

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Kamila Kluczniok

**Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi
na siłę i hipertrofię mięśnia czworogłowego uda oraz funkcję stawu
kolanowego u osób po przebytej rekonstrukcji więzadła
krzyżowego przedniego z tenodezą boczną.**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor

prof. dr hab. Krzysztof Ficek

Promotor pomocniczy

dr Grzegorz Hajduk

KATOWICE 2025

Spis treści

Wykaz skrótów	4
Wstęp	6
1. Uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego – epidemiologia, czynniki ryzyka, mechanizm urazu.....	7
2. Rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego.....	12
2.1. Niestabilność przednio – rotacyjna, tenodeza boczna	14
2.2. Wybrane współistniejące uszkodzenia wewnątrzstawowe	15
3. Postępowanie fizjoterapeutyczne	18
3.1. Przygotowanie do zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego	18
3.2. Postępowanie po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego	19
3.3. Kształtowanie poziomu siły mięśniowej w protokołach fizjoterapeutycznych	20
3.4. Trening z ograniczonym przepływem krwi.....	22
3.5. Powikłania w przebiegu postępowania po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego	24
3.6. Deficyt poziomu siły oraz atrofia mięśnia czworogłowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego.....	25
3.7. Problem badawczy w świetle badań naukowych	27
4. Cel badań, pytania i hipotezy badawcze.....	29
4.1. Pytania badawcze	29
4.2. Hipotezy badawcze.....	29
5. Charakterystyka uczestników i metody badań.....	30
5.1. Zgoda Komisji Bioetycznej	30
5.2. Kryteria włączenia do badań	30
5.3. Przeciwwskazania do wdrożenia treningu z ograniczonym przepływem krwi.....	30
5.4. Kryteria wyłączenia z badań.....	31
5.5. Informacja dla osoby badanej	31
5.6. Charakterystyka uczestników badania.....	31
5.7. Charakterystyka procesu badawczego.....	33

5.7.1.	Pomiar AOP	35
5.7.2.	Pomiar 1 RM	36
5.7.3.	Przydział do grup (randomizacja)	38
5.7.4.	Zaślepienie	39
5.8.	<i>Procedury oraz narzędzia badawcze</i>	39
5.8.1.	Pomiar grubości mięśni obszernego bocznego oraz prostego uda	39
5.8.2.	Pomiar obwodu uda	41
5.8.3.	Badanie stabilności przedniej stawu kolanowego	42
5.8.4.	Badanie izokinetyczne	44
5.8.5.	Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej IPAQ	45
5.8.6.	Kwestionariusz International Knee Documentation Committee	46
5.8.7.	Kwestionariusz Lysholma	47
5.9.	<i>Mezocykl treningowy</i>	47
5.10.	<i>Analiza statystyczna</i>	48
6.	Wyniki badań	50
7.	Omówienie wyników i dyskusja	62
7.1.	<i>Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na maksymalny moment siły mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego</i>	63
7.2.	<i>Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na obwód uda oraz grubość mięśni obszernego bocznego oraz prostego uda</i>	71
7.3.	<i>Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na stabilność przednią stawu kolanowego</i> 74	
7.4.	<i>Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego oraz podejmowaną aktywność fizyczną</i>	75
7.5.	<i>Efekty niepożądane</i>	77
7.6.	<i>Innowacyjność, mocne strony i ograniczenia badania</i>	77
8.	Podsumowanie, wnioski	79
9.	Piśmiennictwo	80
114.	Wykaz rycin	94
115.	Wykaz tabel	96
	Streszczenie	97
	<i>Wstęp</i>	97

<i>Cel badań</i>	97
<i>Materiał i metody</i>	97
<i>Wyniki</i>	98
<i>Wnioski</i>	98
<i>Wartości aplikacyjne</i>	99
Abstract	100
<i>Introduction</i>	100
<i>Purpose of the study</i>	100
<i>Material and methods</i>	100
<i>Results</i>	101
<i>Conclusion</i>	101
<i>Clinical rehabilitation impact</i>	101
Załączniki	102

Wykaz skrótów

ACL – z ang. Anterior Cruciate Ligament - więzadło krzyżowe przednie

ACLR – z ang. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction – rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego

ALC - z ang. Anterolateral Complex – kompleks przednio – boczny

ALL – z ang. Anterolateral Ligament – więzadło przednio – boczne

AMI – z ang. Arthrogenic Muscle Inhibition – stawowa inhibicja mięśni

AOP – z ang. Arterial Occlusion Pressure – ciśnienie konieczne do zamknięcia przepływu krwi tętniczej

AOSSM - American Orthopedic Society for Sports Medicine

BFR – z ang. Blood Flow Restriction – ograniczenie przepływu krwi

BFRT – z ang. Blood Flow Restriction Training – trening z ograniczeniem przepływu krwi

BMI – z ang. Body Mass Index – wskaźnik masy ciała

BTB – z ang. Bone - Tendon - Bone – autograft z więzadła właściwego rzepki z bloczkami kostnymi

CKC – z ang. Closed Kinetic Chain – zamknięty łańcuch kinematyczny

CKRS - Cincinnati Knee Rating System

COL1A1 – z ang. Collagen, type I, Alpha 1 - gen kodujący kolagen

COL12A1 – z ang. Collagen Alpha-1(XII) chain - gen kodujący kolagen

ESSKA - European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy

EX – parametr określający mięśnie prostowniki stawu kolanowego w badaniu izokinetycznym

FLEX – parametr określający mięśnie zginacze stawu kolanowego w badaniu izokinetycznym

GB – grupa badana

GK – grupa kontrolna

GH – z ang. Growth Hormone – hormon wzrostu

IBLA - z ang. Internal Brace Ligament Augumentation

IGF – 1 – z ang. Insulin – like Growth Factor - insulinopodobny czynnik wzrostu

IKDC – International Knee Documentation Committee

IPAQ – International Physical Activity Questionnaire

ITB – z ang. Iliotibial Band – pasmo biodrowo - piszczelowe

Kąt Q – kąt zawarty pomiędzy osią anatomiczną kości udowej oraz kości piszczelowej

LARS - Ligament Augmentation and Reconstrucution System

LSI – z ang. Limb Symmetry Index – wskaźnik symetrii kończyn

MCL – z ang. Medial Collateral Ligament – więzadło poboczne przyśrodkowe

MET – ekwiwalent metaboliczny

NC-ACLI – z ang. Non - Contact Anterior Cruciate Ligament Injury – bezkontaktowe uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego

Nm - niutonometr

OKC – z ang. Open Kinetic Chain – otwarty łańcuch kinematyczny

p – poziom istotności

PFPS – z ang. Patello – Femoral Pain Syndorme – zespół bólowy stawu rzepkowo - udowego

PRLM – z ang. – Posterior Root Tears of Lateral Meniscus – uszkodzenie tylnego korzenia łąkotki przyśrodkowej

RLMM - z ang. RAMP Lesions of Medial Meniscus – uszkodzenie typu RAMP łąkotki przyśrodkowej

ROM – z ang. Range Of Motion – zakres ruchomości

RF – z ang. Rectus Femoris – mięsień prosty uda

RPE – z ang. Rate of Perceived Exertion – subiektywna skala ciężkości wysiłku

SD – odchylenie standardowe

StG – z ang. Semitendinosus – Gracilis – przeszczep z ścięgien mięśni półścięgnistego i smukłego

USG – z ang. Ultrasonography - ultrasonografia

VL – z ang. Vastus Lateralis – mięsień obszerny boczny

1RM – z ang. one Rep Maximum – jedno powtórzenie maksymalne

Wstęp

Podjęcie aktywności fizycznej prowadzi do korzyści zarówno w wymiarze fizycznym, zwiększając możliwości funkcjonalne ciała, czy zmniejszając ryzyko występowania chorób, jak i w wymiarze psychicznym, wywołując poprawę nastroju, a nawet zmniejszenie depresji i lęku, wpływając tym samym na poprawę jakości życia (An *et al.*, 2020). Z drugiej strony, uprawianie aktywności fizycznej na poziomie rekreacyjnym, amatorskim czy profesjonalnym jest związane z ryzykiem występowania urazów układu ruchu, w tym stawu kolanowego. Jednym z najczęściej występujących i najpoważniejszych pourazowych uszkodzeń stawu kolanowego jest zerwanie więzadła krzyżowego przedniego (ACL – z ang. Anterior Cruciate Ligament) (Moses *et al.*, 2012; Price *et al.*, 2017; Takahashi *et al.*, 2019; Larwa *et al.*, 2021). Powszechność występowania uszkodzeń ACL (ACLI – z ang. Anterior Cruciate Ligament Injury) oraz szerokie spektrum implikacji, które niesie za sobą ten uraz, prowadzą do częstego podejmowania tematu ACLI w literaturze naukowej. Badaniom poddaje się epidemiologię, czynniki ryzyka, mechanizmy urazu, a także protokoły postępowania fizjoterapeutycznego po ACLI (Takahashi *et al.*, 2019; Kotsifaki *et al.*, 2023). Poszerzanie stanu wiedzy w obszarze ACLI, udoskonalanie procedur zabiegowych oraz protokołów postępowania fizjoterapeutycznego mają na celu maksymalizację efektów leczenia po zerwaniu ACL, a także zapobieganie ponownym uszkodzeniom więzadła. Dane dotyczące częstości występowania ponownych uszkodzeń ACL nie są jednoznaczne i oscylują wokół wartości od 6% do 14% dla uszkodzeń przeszczepu ACL oraz 6% do 16% w przypadku uszkodzeń ACL drugiej kończyny (Wiggins *et al.*, 2016; Gupta *et al.*, 2020), a nawet ponad 20% w grupie pacjentów poniżej 25 roku życia, którzy powrócili do uprawiania sportów z wysokim ryzykiem ACLI (Barber -Westin and Noyes, 2020). Potencjalnych przyczyn ponownych uszkodzeń ACL jest wiele, podaje się wśród nich między innymi deficyty przekroju poprzecznego oraz siły mięśni uda, czy zbyt wczesny powrót do aktywności sportowej po przebytej ACLR (z ang. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction – rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego) (Kilgas *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2020). Badania w zakresie efektywności wdrażanych protokołów postępowania, metod treningowych i programowania treningu dla pacjentów po ACLR są kluczowym aspektem maksymalizacji zdolności motorycznych pacjentów, zmniejszania ryzyka ponownego urazu oraz późniejszych powikłań.

1. Uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego – epidemiologia, czynniki ryzyka, mechanizm urazu.

Częstość występowania uszkodzeń ACL to 85 na 100 000 wśród pacjentów w wieku 16 do 39 lat. Do 70% uszkodzeń ACL dochodzi w mechanizmie bezkontaktowym (NC-ACLI – z ang. Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury) (Wall *et al.*, 2012; Diermeier *et al.*, 2021). Analizy wideo pokazują, że do NC-ACLI dochodzi bezpośrednio po kontakcie stopy z podłożem, podczas gdy staw kolanowy ustawiony jest w pozycji bliskiej pełnego wyprostu w trakcie nagłego hamowania lub lądowania jednonóż (Boden and Sheehan, 2022).

Zgodnie z wynikami przeglądu systematycznego z meta-analizą opublikowanego w 2018 roku, relatywne ryzyko uszkodzenia ACL jest 1,5 wyższe wśród kobiet w stosunku do mężczyzn, ryzyko jest również wyższe wśród osób trenujących amatorsko w stosunku do średniozaawansowanych i elitarnych sportowców (Montalvo *et al.*, 2019). Wyniki te znajdują potwierdzenie w obserwacjach prowadzonych w latach 2014 – 2019 wśród niemieckich piłkarzy nożnych, grających w zespołach od pierwszej do siódmej ligi. Liczba odnotowanych ACLI była najwyższa w grupie zawodników trenujących amatorsko (50,4% wszystkich urazów), jednocześnie do większości z urazów wśród amatorów doszło w mechanizmie bezkontaktowym (53,2%). Urazy w grupach piłkarzy półprofesjonalnych i profesjonalnych stanowiły kolejno 28,9% oraz 20,7% wszystkich urazów; mechanizmem urazu, który powtarzał się najczęściej w grupie elitarnych sportowców był uraz kontaktowy (48%) (Szymski *et al.*, 2022). Urazy z uszkodzeniem ACL dotyczą zawodników wielu dyscyplin sportowych, które są wymagające pod względem motorycznym, jest to również częsty uraz w jednostkach militarnych (Aguero A., 2023).

Uszkodzenie ACL może wiązać się z wielomiesięcznym okresem rekonwalescencji, koniecznością czasowej przerwy w karierze sportowej czy zawodowej oraz z pogorszeniem jakości życia. Ponadto uszkodzenie ACL skorelowane jest z przyspieszonym występowaniem zmian zwyrodnieniowych stawu kolanowego, niezależnie od podjętej formy leczenia (zachowawczego lub operacyjnego). Biorąc to pod uwagę zasadnym jest wdrażanie działań prewencyjnych, które powinny opierać się o minimalizację czynników ryzyka uszkodzenia ACL (Price *et al.*, 2017). Ogólny podział czynników które mogą predysponować do urazu wyróżnia czynniki zewnętrzne oraz wewnętrzne. Zewnętrzne czynniki ryzyka zazwyczaj pozostają

poza kontrolą jednostki, są związane z uwarunkowaniami atmosferycznymi, używanym sprzętem sportowym, nawierzchnią oraz poziomem sportowym. Czynniki wewnętrzne, czyli indywidualne uwarunkowania jednostki dzieli się na kilka grup: anatomiczne, neuromięśniowe, fizjologiczne, biomechaniczne, genetyczne i inne. Biorąc pod uwagę możliwość wpływu na poszczególne uwarunkowania wewnętrzne dzieli się je dalej na modyfikowalne i niemodyfikowalne (Pfeifer *et al.*, 2018).

Badania pokazują, że masa ciała lub współczynnik BMI (z ang. Body Mass Index – wskaźnik masy ciała) o wartościach powyżej średniej mogą generować ryzyko urazu (Pfeifer *et al.*, 2018). W badaniach przeprowadzonych przez Beynnona i wsp. (Beynnon *et al.*, 2022) ryzyko uszkodzenia ACL wzrastało o 4% z każdym kilogramem powyżej prawidłowej masy ciała, zarówno wśród kobiet, jak i mężczyzn. Wzrost wartości BMI o jednostkę był związany z 20% wzrostem ryzyka uszkodzenia ACL u kobiet, u mężczyzn wzrost ten był mniejszy i nie wykazał istotności statystycznej (Beynnon *et al.*, 2022). W odniesieniu do współczynnika BMI należy pamiętać, iż nie bierze on pod uwagę kompozycji ciała, nie różnicując masy tkanki tłuszczowej od beztłuszczowej masy ciała, które mogą być istotne zarówno w kontekście ogólnego stanu zdrowia, jak i umiejętności motorycznych.

Wśród indywidualnych uwarunkowań jednostki, niemodyfikowalne czynniki ryzyka stanowią: budowa stawu kolanowego oraz samego więzadła krzyżowego przedniego, czynniki genetyczne oraz fizjologiczne (w tym hormonalne).

Badania w obszarze wpływu układu hormonalnego na ryzyko ACLI pokazują, że kobiety po rozpoczęciu pierwszej miesiączki oraz w fazie przedowulacyjnej są w grupie zwiększonego ryzyka urazu. Hormony, których uwalnianie wzrasta w tej fazie cyklu miesięcznego (estrogen, progesteron, relaksyna) regulują wiotkość stawów oraz napięcie mięśniowe, które wpływają na ryzyko uszkodzenia ACL (Price *et al.*, 2017; Pfeifer *et al.*, 2018). Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Liu i wsp. (Liu *et al.*, 1996), które wykazały obecność receptorów dla estrogenu i progesteronu w naczyniach krwionośnych ACL. Ponadto, pojawiają się doniesienia, że zażywanie doustnych leków antykoncepcyjnych zmniejsza przednią translację kości piszczelowej, pełniąc tym samym protekcyjną rolę w uszkodzeniach ACL (Liu *et al.*, 1996; Price *et al.*, 2017).

Prace analizujące wpływ uwarunkowań genetycznych na ryzyko uszkodzenia ACL wskazują, że obecność wariantów genów kodujących kolagen (na przykład COL1A1, COL12A1) zwiększa prawdopodobieństwo uszkodzenia ACL. Pojedyncze badanie

demonstruje, że związek z uszkodzeniem ACL mogą mieć geny metaloproteinaz macierzy zewnątrzkomórkowej, które odgrywają istotną rolę w przebudowie tkanek. Również pojedyncze badanie wskazuje, iż brak polimorfizmu genów proteoglikanów może predysponować do uszkodzenia ACL (Pfeifer *et al.*, 2018). Warto zwrócić również uwagę na obecność genetycznych uwarunkowań, które wykazują działanie protekcyjne w kontekście ACLI. Obecność haplotypu COL1A1 G-T wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem uszkodzenia ACL (Ficek *et al.*, 2013).

Umiejętność identyfikacji czynników ryzyka, a następnie korekcja w zakresie modyfikowalnych czynników mogą przyczynić się do zmniejszenia ryzyka uszkodzenia ACL (Pfeifer *et al.*, 2018). Identyfikacja czynników ryzyka powinna opierać się o wywiad, obserwację kliniczną oraz wyniki testów diagnostycznych.

Jednym z najszerszej opisywanych biomechanicznych czynników ryzyka uszkodzenia ACL jest dynamiczne koślawienie stawu kolanowego, które może występować wtórnie do: osłabienia siły mięśni odwodzicieli stawu biodrowego, słabej kontroli mięśni obręczy biodrowej, zwiększonego kąta antewersji, zwiększonej rotacji wewnętrznej kości piszczelowej, zwiększonej mobilności śródstopia, zwiększonego kąta Q. Wymienione czynniki są charakterystyczne dla płci żeńskiej. Kolejną obserwacją potwierdzającą większe ryzyko uszkodzenia ACL u kobiet w porównaniu do mężczyzn jest niższa siła mięśni odwodzicieli stawu biodrowego w stosunku do masy ciała (Larwa *et al.*, 2021). Literatura prezentuje różne, czasem sprzeczne wnioski na temat biomechanicznych czynników ryzyka ACLI, jednakże obserwuje się pewne trendy. Zgodnie z wnioskami zawartymi w przeglądzie literatury z 2021 roku jako czynniki ryzyka uszkodzenia ACL podaje się nieprawidłowy, sztywny wzorzec lądowania, lądowanie z dominacją obciążenia pięt, osłabienie stabilności tułowia, dynamiczne koślawienie stawu kolanowego. Czynniki te są ściśle związane z uszkodzeniem ACL, powszechniej występują u kobiet niż u mężczyzn oraz wśród osób trenujących amatorsko (Larwa *et al.*, 2021).

Boden i Sheehan w opublikowanej w 2022 roku pracy (Boden and Sheehan, 2022) jako główną komponentę uszkadzającą ACL w momencie urazu bezkontaktowego podają osiową kompresyjną siłę działającą na staw kolanowy, koślawienie stawu kolanowego ma następować natomiast wtórnie do uszkodzenia ACL. Zgodnie z przeprowadzonymi analizami wideo z momentu NC-ACLI, istotne zmiany ustawienia stawu kolanowego w płaszczyźnie czołowej miały miejsce średnio około 67 msec (milisekundy), podczas gdy do uszkodzenia więzadła krzyżowego przedniego dochodziło między 17

a 50 msec po kontakcie stopy z podłożem (Boden and Sheehan, 2022). Koślawienie stawu kolanowego występowało w około 50% przypadków analizowanych NC-ACLI, co wskazuje, że siły koślawiace staw kolanowy przyczyniają się do uszkodzenia ACL, jednak nie stanowią głównej komponenty uszkadzającej więzadło. Innym czynnikiem sprzyjającym uszkodzeniu ACL w momencie urazu bezkontaktowego jest siła generowana przez skurcz mięśnia czworogłowego, która wpływa na obniżenie wartości siły osiowej koniecznej do ACLI. Skurcz mięśnia czworogłowego generuje dodatkową osiową siłę działającą na staw kolanowy oraz drugorzędowo niewielką siłę ścinającą działającą na plateau kości piszczelowej (Boden and Sheehan, 2022). Potwierdzają to badania na zwłokach przeprowadzone przez Walla i współpracowników. Wyniki wskazują, że izolowane siły kompresyjne są wystarczające, aby doprowadzić do uszkodzenia ACL, jednak dodanie siły generowanej przez mięsień czworogłowy redukuje wartości kompresyjnej osiowej siły koniecznej do uszkodzenia ACL o 45% (Wall *et al.*, 2012).

Analizy wideo z momentu uszkodzenia ACL ukazują powtarzające się komponenty mechanizmu urazu. Osoby, które doznały urazu rozpoczynały kontakt stopy z podłożem od tyłostopia, bądź płaskiego ustawienia stopy, ze stawem skokowym ustawionym w niewielkim zgięciu podszwowy (11 stopni), w porównaniu do grupy kontrolnej (23 stopnie). Ponadto zaobserwowano różnice w zmianie kąтового ustawienia stawu skokowego, zawodnicy, którzy doznali urazu wykonywali niewielki ruch stawu skokowego w kierunku zgięcia grzbietowego oraz osiągalni płaskie ustawienie stopy 50% szybciej od zawodników grupy kontrolnej. Wśród osób, które doznały urazu obserwowano również tendencję do mniejszego zgięcia stawu kolanowego (18 stopni zgięcia w grupie zawodników, którzy doznali urazu w stosunku do 22 stopni zgięcia stawu kolanowego u osób w grupie kontrolnej) oraz większego zgięcia stawu biodrowego (50 stopni) w stosunku do grupy kontrolnej (26 stopni), co wpływało na ustawienie tułowia bardziej ku tułowi w stosunku do pola podparcia. U około 50% zawodników, którzy doznali uszkodzenia ACL obserwowano koślawienie stawu kolanowego. Należy mieć jednak na uwadze, że poszczególne komponenty składające się na mechanizm urazu mogą się różnić w zależności od wykonywanej aktywności oraz indywidualnych uwarunkowań. (Boden and Sheehan, 2022). Graficzne przedstawienie komponentów mechanizmu uszkodzenia ACL przedstawia poniższa rycina (Ryc. 1).



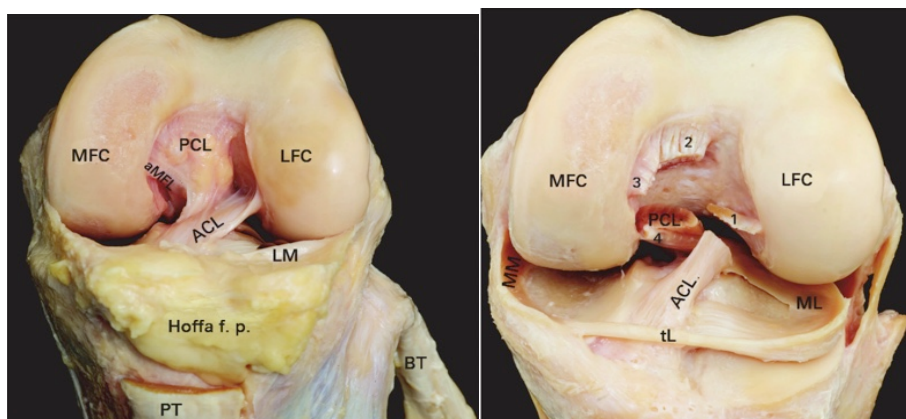
Rycina 1. Komponenty mechanizmu uszkodzenia ACL (Boden and Sheehan, 2022).

Analizując czynniki ryzyka ACI w praktyce klinicznej oraz tworząc programy prewencyjne należy wziąć pod uwagę najczęstszy mechanizm bezkontaktowego uszkodzenia ACL. Edukacja i korekcja w zakresie prawidłowego wzorca lądowania oraz egzekwowanie go w różnych warunkach środowiskowych powinno stanowić jeden z elementów profilaktyki uszkodzeń ACL (Boden and Sheehan, 2022).

2. Rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego

Więzadło krzyżowe przednie jest jedną z niewielu tkanek układu ruchu, do leczenia której wykorzystuje się przeszczep innej tkanki (Murray M., 2021). Nadrzędnym celem wykonania ACLR jest przywrócenie stabilności stawu kolanowego i poprawa funkcjonalności kończyny dolnej, na którą dodatkowo składa się stabilność funkcjonalna, optymalny zakres ruchomości, siła mięśniowa, wytrzymałość, koordynacja (Trichine *et al.*, 2014). Efekty przeprowadzonej rekonstrukcji są zależne od wielu czynników: techniki rekonstrukcji, rodzaju zastosowanego przeszczepu, pozycjonowania tuneli kostnych, rodzaju implantów mocujących przeszczep, czy sposobu jego kotwiczenia, a także przebiegu postępowania po zabiegowego.

Na przestrzeni lat, badania na temat struktury więzadła, jego przebiegu oraz dokładnej lokalizacji przyczepów kostnych prowadziły do modyfikacji technik zabiegowych. Przykładem może być rozpowszechnienie stosowania dwupęczkowej metody rekonstrukcji ACL w wyniku prezentowania teorii o jego pęczkowej budowie w literaturze, w pierwszej połowie XX wieku. Obecnie techniki te są stosowane znacznie rzadziej. Aktualne opracowania na temat struktury ACL pozostają w zgodzie z pierwotnym opisem ACL wykonanym już w 1836 roku przez Wilhelma Weber i Eduarda Weber (Siebold, 2015). Prace te wskazują na płaską, taśmowatą budowę więzadła, co więcej w zgięciu stawu kolanowego pod kątem prostym, ACL skręca się pod kątem 90 stopni. Widok skręconego o 90 stopni więzadła w zgięciowej pozycji stawu kolanowego może dawać obraz dwupęczkowej struktury (Ryc. 2) (Śmigieński *et al.*, 2016).



Rycina 2. Zdjęcie stawu kolanowego ukazujące taśmowatą budowę ACL (Śmigieński *et al.*, 2016)

Pomimo tego, że przeszczep więzadła krzyżowego przedniego nie odtwarza w pełni oryginalnej budowy więzadła, jego struktura i właściwości powinny być zbliżone do cech pierwotnego więzadła, dodatkowo przeszczep powinien mieć wystarczające możliwości regeneracyjne (Lin *et al.*, 2020). Wyróżnia się kilka rodzajów przeszczepów stosowanych w rekonstrukcji ACL: autogenne, allogenne, syntetyczne, ksenogenne (obecnie nie są stosowane w praktyce klinicznej).

Najpowszechniej stosowanymi rodzajami przeszczepu ACL są autografty, czyli przeszczepy własne, pobierane najczęściej z więzadła rzepki z bloczkami kostnymi z guzowatości kości piszczelowej oraz wierzchołka rzepki (BTB z ang. Bone – Tendon – Bone), mięśni kulszowo – goleniowych, dokładniej mięśni półścięgnistego i smukłego (StG – z ang. Semitendinosus - Gracilis) oraz ścięgna mięśnia czworogłowego. Zaletą stosowania autograftów jest mniejsze ryzyko powikłań w stosunku do innych grup przeszczepów oraz maksymalizacja szybkości i prawdopodobieństwa pełnej przebudowy i integracji przeszczepionej tkanki. Wadą autograftów jest osłabienie funkcji miejsca pobrania przeszczepu (Lin *et al.*, 2020).

Możliwe miejsca pobrania allograftów to: więzadło rzepki, mięśnie kulszowo-goleniowe, ścięgno mięśnia czworogłowego, ścięgno Achillesa, ścięgna mięśni piszczelowych oraz strzałkowych. Miejsce pobrania warunkuje właściwości tkanki, spośród wymienionych tkanek największą odpornością na obciążenie cechuje się podwójnie złożony przeszczep z mięśni piszczelowych. Zaletą przeszczepów allogennych w stosunku to autograftów jest wyeliminowanie ingerencji w tkanki pacjenta oraz krótszy czas zabiegu, gdyż nie ma potrzeby pobierania i opracowania przeszczepu w trakcie operacji. Allografty są jednak stosowane znacznie rzadziej od autograftów, gdyż ich zastosowanie wiąże się też z pewnymi zagrożeniami. Sterylizacja i proces przechowywania allograftów prowadzą do zmiany właściwości biomechanicznych przeszczepu, zmniejszając jego wytrzymałość. Istotną informacją przy wyborze allograftu jest również charakterystyka dawcy, starszy wiek dawcy jest skorelowany ze zmniejszeniem wytrzymałości przeszczepu na rozciąganie oraz jego sprężystości. Dlatego też istotna jest znajomość procedur egzekwowanych w banku tkanek (Lin *et al.*, 2020).

Przeszczepy syntetyczne stosowane od lat 70-tych XX wieku cechowały się niską wytrzymałością oraz prowadziły do wtórnych komplikacji po zabiegowych, w tym stanów zapalnych oraz wczesnych zmian zwyrodnieniowych. Prace nad strukturą przeszczepów syntetycznych doprowadziły w 1989 roku do powstania LARS

(z ang. Ligament Augumentation and Reconstrucution System), który prezentował kilka innowacji w stosunku do poprzednich systemów. Jednak pomimo dobrych efektów klinicznych obserwowanych w krótkim czasie po zabiegu rekonstrukcji z wykorzystaniem LARS, badania efektywności tej metody w dłuższym czasie ujawniają wysoki odsetek (około 33%) uszkodzeń przeszczepu (Tulloch *et al.*, 2019).

W przypadku uszkodzeń więzadła w okolicy jego przyczepu do kości stosuje się również metodę IBLA (z ang. Internal Brace Ligament Augumentation), która polega na podszyciu więzadła do kości przeprowadzając taśmę z polietylanu przez uszkodzone fragmenty więzadła oraz jego anatomiczne przyczepy na kości piszczelowej i udowej. Taśma ma stanowić wzmocnienie więzadła do momentu jego wygojenia (Wilson *et al.*, 2022).

Obecnie również w przypadku rekonstrukcji z wykorzystaniem przeszczepów własnych lub allograftów zaleca się osadzenie przeszczepu przez kikuty uszkodzonego ACL ze względu na jego funkcję propriocepcyjną oraz pozostałe w jego wnętrzu naczynia krwionośne. Praktyka ta korzystnie wpływa na przebudowę przeszczepu oraz dalszą funkcję stawu kolanowego (Murray M., 2022).

2.1. Niestabilność przednio – rotacyjna, tenodeza boczna

Jednym z kluczowych aspektów diagnostyki w przypadku podejrzenia ACLI jest określenie, czy występuje niestabilność rotacyjna stawu kolanowego, która jest skutkiem uszkodzenia kompleksu przednio - bocznego (ALC - z ang. Anterolateral Complex). Kompleks przednio – boczny stawu kolanowego jest tworzony przez powierzchowne i głębokie warstwy dystalnej części pasma biodrowo – piszczelowego (ITB - z ang. Iliotibial Band) oraz więzadło przednio-boczne (ALL - z ang. Anterolateral Ligament), definiowanym jako część torebki stawu kolanowego (Devitt, Neri and Fritsch, 2023).

Biomechaniczne i kliniczne badania efektywności zabiegów rekonstrukcji ACL pokazują, że izolowana ACLR może nie eliminować całkowicie objawów niestabilności rotacyjnej stawu kolanowego (Devitt, Neri and Fritsch, 2023). Dodatkowa ingerencja zabiegowa w postaci tenodezy bocznej (LET – z ang. Lateral Extra – articular Tenodesis) ma potencjał przywrócenia pierwotnej kinematyki stawu kolanowego oraz zmniejszania odsetka ponownych uszkodzeń ACL (Devitt, Neri and Fritsch, 2023).

Początkowo LET wykonywana była jako izolowana procedura, stosowana u pacjentów z uszkodzonym więzadłem krzyżowym przednim, zgodnie z opisaną przez Leimara w 1967 roku techniką zabiegową (Getgood *et al.*, 2019). Na przestrzeni lat wykazano, że zabieg ten stosowany jako samodzielna ingerencja chirurgiczna prowadzi do niskiego poziomu zadowolenia pacjentów w dłuższej perspektywie czasu (Branch *et al.*, 2015). Dlatego też zaczęto łączyć zabieg ACLR z tenodezą boczną dla lepszej kontroli rotacyjnej stawu kolanowego. Początkowo wyniki badań porównujących skuteczność izolowanej ACLR z zabiegiem rekonstrukcji ACL z tenodezą boczną nie wykazywały wyższości łączenia procedur nad samodzielną rekonstrukcją wewnątrzstawową (Branch *et al.*, 2015). Jednakże w ostatnich latach pojawia się coraz więcej dowodów potwierdzających wyższą skuteczność łączenia rekonstrukcji ACL z tenodezą boczną w kontekście subiektywnej oceny pacjentów oraz zmniejszenia po zabiegowej niestabilności rotacyjnej w porównaniu do izolowanej ACLR, bez ryzyka zwiększenia komplikacji po zabiegowych (Rackemann, Robinson and Dandy, 1991; Sonnery-Cottet *et al.*, 2018; Grassi *et al.*, 2020; Devitt, Neri and Fritsch, 2023). Ostateczna decyzja o konieczności wykonania tenodezy bocznej podejmowana jest po wykonaniu testu pivot – shift, u pacjenta wprowadzonego w znieczulenie pozwalające na zniesienie odczucia bólu i redukującego napięcie mięśniowe.

2.2. Wybrane współistniejące uszkodzenia wewnątrzstawowe

Uszkodzenia łąkotek oraz powierzchni stawowych są powszechne u pacjentów z uszkodzonym ACL i mogą wpływać na wyniki zabiegu rekonstrukcji (Webster *et al.*, 2018). Obecność uszkodzeń w obrębie łąkotek zaburza ich funkcję zwiększając ryzyko zmian degeneracyjnych stawu, dlatego leczeniem z wyboru powinna być naprawa struktury i zachowanie maksymalnej powierzchni łąkotki (Gaillard *et al.*, 2019). Diagnostyka i ocena współistniejących uszkodzeń mają miejsce zarówno w procesie planowania zabiegu rekonstrukcji ACL (diagnostyka kliniczna, badania obrazowe), jak i w jego trakcie. Dokładna ocena struktury łąkotek oraz możliwości ich leczenia jest możliwa do wykonania w trakcie artroskopii stawu, ze względu na niską czułość badań obrazowych w diagnozowaniu niektórych uszkodzeń łąkotek (Magosch *et al.*, 2021).

Literatura podaje wysoką częstość występowania (40% do 72%) uszkodzeń łąkotek wśród pacjentów z uszkodzonym ACL (Tandogan *et al.*, 2004; Gaillard *et al.*, 2019). Badania przeprowadzone przez Magosch i wsp. (Magosch *et al.*, 2021) obejmujące

śródooperacyjną diagnostykę współistniejących uszkodzeń stawu kolanowego ukazały uszkodzenia łąkotek u 67% badanych pacjentów. Połowę wszystkich uszkodzeń łąkotek stanowiły uszkodzenia typu RAMP łąkotki przyśrodkowej oraz uszkodzenia tylnego korzenia łąkotki bocznej. Uszkodzenie typu RAMP dotyczy rozdarcia łąkotki na obwodzie tylnego rogu łąkotki przyśrodkowej, powodując oderwanie się łąkotki od tylnej części torebki stawowej. Uszkodzenia łąkotki przyśrodkowej typu RAMP są związane z urazami o charakterze kontaktowym oraz częściej występują w przypadku całkowitego niż częściowego uszkodzenia ACL, co wskazuje na korelację tego typu uszkodzeń z urazami wysokoenergetycznymi. Uszkodzenia łąkotek wpływają na zwiększenie niestabilności przednio – rotacyjnej stawu kolanowego potwierdzonej wykonaniem testu pivot - shift, w stosunku do poziomu niestabilności wywołanej izolowanym uszkodzeniem ACL. Biorąc pod uwagę trudność z diagnostyką tego rodzaju uszkodzeń szacuje się, że nawet połowa współistniejących uszkodzeń łąkotek może nie być odpowiednio identyfikowana. Wyniki te podkreślają potrzebę szczegółowej oceny struktury łąkotek oraz jednoczesowej naprawy łąkotek w przebiegu rekonstrukcji ACL dla maksymalizacji efektów zabiegu (Magosch *et al.*, 2021).

Tandogan i wsp. (Tandogan *et al.*, 2004) zaobserwowali uszkodzenia chrząstne u 19% z 764 przebadanych pacjentów z uszkodzonym ACL. Czterdzieści procent lezji dotyczyło środkowej części przyśrodkowego kłykcia kości udowej, 60% procent dotyczyło przyśrodkowego przedziału stawu kolanowego. Prawie 80% uszkodzeń chrząstnych współwystępowało z uszkodzeniem łąkotki po tej samej stronie stawu. Doniesienia te pokrywają się z wynikami pracy Murrella i wsp. (Murrell *et al.*, 2001), którzy przeprowadzili badania u 130 pacjentów poddanych rekonstrukcji ACL. Badacze najczęściej lokalizowali uszkodzenia chrząstne w środkowej części kłykcia przyśrodkowego kości udowej, ponadto wykazali korelację między miejscem występowania uszkodzeń chrząstnych a deficytami w obrębie łąkotek (Murrell *et al.*, 2001; Webster *et al.*, 2018b). Istotnym czynnikiem w kwestii progresji nasilenia i rozmiaru uszkodzeń chrząstnych oraz łąkotkowych u pacjentów z uszkodzonym ACL jest czas od urazu. Częstotliwość występowania, rozległość oraz stopień uszkodzenia chrząstki oraz łąkotek są dodatnio skorelowane z czasem od urazu (Keene *et al.*, 1993; Murrell *et al.*, 2001; Webster *et al.*, 2018).

Kolejnymi zaburzeniami strukturalnymi towarzyszącymi uszkodzeniu ACL są stłuczenia kości, które w badaniach obrazowych widoczne są jako obrzęk kości gąbczastej. Zmiany te są swego rodzaju statyczną reprezentacją mechanizmu urazu.

Typową zmianą w przypadku uszkodzenia ACL jest uszkodzenie bocznego przedziału stawu kolanowego, stłuczenia kości w obrębie przyśrodkowego przedziału rozpoznawane są znacznie rzadziej. Złamania podchrzęstne widoczne są w ponad 80% przypadków uszkodzeń ACL i najczęściej dotyczą przedniej oraz bocznej części kłykcia bocznego kości udowej. Rozległość złamania podchrzęstnego u osób po uszkodzeniu ACL jest dodatnio skorelowana z częstością występowania uszkodzeń łąkotec oraz uszkodzenia więzadła pobocznego piszczelowego (MCL – z ang. Medial Collateral Ligament) (Yoon, Yoo and Kim, 2011).

Częstość uszkodzenia MCL szacuje się na 20% do 44% przypadków uszkodzenia ACL, co stanowi najczęstszy uraz wielowięzadłowy (Yoon, Yoo and Kim, 2011; Rao *et al.*, 2022). Uszkodzenie MCL określa się w trzech stopniach, biorąc pod uwagę nasilenie zmian strukturalnych oraz funkcjonalnych. W zależności od stopnia uszkodzenia MCL oraz lokalizacji uszkodzenia (proksymalne, dystalne, całkowite) podejmuje się decyzję o sposobie leczenia MCL. W przypadku urazów I i II stopnia standardowym postępowaniem jest leczenie zachowawcze (Rao *et al.*, 2022).

3. Postępowanie fizjoterapeutyczne

3.1. Przygotowanie do zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

Celem rekonstrukcji ACL wraz z postępowaniem pozabiegowym jest umożliwienie pacjentowi powrotu do poziomu aktywności fizycznej sprzed urazu przy jednoczesnej minimalizacji ryzyka kolejnego urazu (Giesche *et al.*, 2020). Co więcej rehabilitacja po ACLR powinna umożliwić uzyskanie wyższego poziomu wszechstronnej sprawności, proces ten powinien stanowić wstęp do dalszej pracy i rozwoju w obszarze treningu motorycznego.

Rozpoczęcie procesu rehabilitacji jeszcze przed zabiegiem (prehabilitacja – z ang. prehabilitation) wspiera maksymalizację efektów ACLR wpływając na psychiczne i fizyczne przygotowanie pacjenta do samego zabiegu i rehabilitacji pooperacyjnej oraz wpływa na poprawę efektów osiąganych w przebiegu rehabilitacji po ACLR (Carter *et al.*, 2020; Brinlee *et al.*, 2022).

Badania potwierdzają wpływ prehabilitacji na poprawę w zakresie: poziomu siły mięśnia czworogłowego badanej w warunkach izokinetycznych, odległości osiąganego skoku jednonoż oraz subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego badanej kwestionariuszami Lysholm oraz CKRS (Cincinnati Knee Rating System) (Keays and Selangor, 2006; Shaarani *et al.*, 2013; Giesche *et al.*, 2020) badanych przed przystąpieniem do zabiegu rekonstrukcji. Literatura prezentuje niejednoznaczne doniesienia w zakresie wpływu prehabilitacji na wskaźnik symetrii (LSI – Limb Symmetry Index) poziomu siły mięśni czworogłowych przed ACLR (Keays and Selangor, 2006; Shaarani *et al.*, 2013).

Analizy wpływu prehabilitacji na efekty osiągnięte w przebiegu postępowania pooperacyjnego wykazują niższy spadek LSI w odniesieniu do siły mięśni prostowników stawu kolanowego (Shaarani *et al.*, 2013; Kim, Hwang and Park, 2015) oraz skoku jednonoż (Kim, Hwang and Park, 2015). Dodatkowo pacjenci po przebytej prehabilitacji raportują lepszą funkcję stawu kolanowego po przebytej ACLR (w okresie od 12 tygodnia do 2 lat po ACLR) (Keays and Selangor, 2006; Kim, Hwang and Park, 2015) oraz obserwuje się też wśród nich trend do wcześniejszego powrotu do aktywności sportowej (Giesche *et al.*, 2020). Nie obserwuje się wpływu prehabilitacji na poziom siły, atrofie mięśni kulszowo – goleniowych czy stabilność stawu kolanowego (Kotsifaki *et al.*, 2023).

Trwają badania nad ustaleniem optymalnego protokołu postępowania fizjoterapeutycznego przed ACLR. Protokoły wdrożone w przytoczonych powyżej badaniach znacznie się od siebie różniły, prehabilitacja trwała od 4 do 6 tygodni, zakładając od 3 do 7 jednostek treningowych tygodniowo. Wdrażano ćwiczenia wzmacniające, trening neuromięśniowy (ćwiczenia równoważne, stabilizacyjne, proprioceptywne, zawierające elementy perturbacji), ćwiczenia kontroli mięśniowej z akcentem na pracę mięśnia czworogłowego, ćwiczenia rozciągające, poprawiające zakres ruchomości (ROM – z ang. Range Of Motion) (Giesche *et al.*, 2020).

Coraz częściej poruszonym w literaturze tematem w odniesieniu do prehabilitacji jest zastosowanie w tym okresie treningu z ograniczonym przepływem krwi (BFRT – Blood Flow Restricted Training). Przegląd literatury z 2020 roku wskazuje, że wyniki badań w tym zakresie nie są jednoznaczne, jednakże część z nich sugeruje pozytywny wpływ BFRT na poziom siły, wytrzymałość i hipertrofię mięśni uda w przebiegu prehabilitacji. Wyniki te są zbieżne z aktualnymi doniesieniami na temat wpływu BFRT na wzrost hipertrofii i poziomu siły mięśniowej zarówno u osób zdrowych, jak i w populacji osób kontuzjowanych oraz po zabiegach ortopedycznych (Lu *et al.*, 2020). Należy zwrócić uwagę na fakt, że pacjenci poddawani ACLR w trakcie zabiegu również doświadczają okluzji naczyń kończyny dolnej, jest to procedura umożliwiająca wykonanie ACLR. Warto zatem rozważyć wdrożenie BFR w ramach przygotowania do zabiegu rekonstrukcji również jako formę adaptacji pacjenta, układu ruchu oraz układu krwionośnego do bodźca, któremu zostanie poddany w trakcie zabiegu ACLR.

3.2. Postępowanie po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

Pomimo tego, iż temat postępowania po uszkodzeniu i rekonstrukcji ACL jest szeroko badany i opisywany w literaturze naukowej, analizowane protokoły postępowania po ACLR nie są jednorodne. Nie ma konsensusu co do wyboru obiektywnych kryteriów progresji do kolejnych etapów rehabilitacji czy powrotu do poszczególnych poziomów aktywności fizycznej (Kotsifaki *et al.*, 2023). Wachlarz dostępnych technik fizjoterapeutycznych oraz metod treningowych jest obszerny, a osiągnięty efekt terapeutyczny jest zależny nie tylko od bodźców fizjologicznych, ale i aspektów psychologicznych. Dlatego istotne jest otoczenie pacjenta opieką zespołu specjalistów (lekarza ortopedy, fizjoterapeuty, trenera) celem osiągnięcia optymalnych efektów rehabilitacji po ACLR. Działania podejmowane w jej ramach

powinny być odpowiednio zaplanowane, egzekwowane i stopniowo progresowane, a jednocześnie zindywidualizowane i zaadaptowane do aktualnych potrzeb i możliwości pacjentów, ponadto powinny brać pod uwagę fizjologiczne tempo gojenia się tkanek. Poszczególne ośrodki rehabilitacyjne tworzą własne protokoły postępowania w oparciu o dostępne informacje z zakresu efektywności poszczególnych metod fizjoterapeutycznych oraz treningowych. Protokoły rehabilitacyjne po ACLR dzielą się na etapy, a kryteria przejścia do kolejnych z nich stanowią testy funkcjonalne, które oceniają możliwość intensyfikacji treningu, a także gotowość do podejmowania wyzwań w ujęciu psychologicznym.

3.3. Kształtowanie poziomu siły mięśniowej w protokołach fizjoterapeutycznych

Jednym ze skutków uszkodzenia ACL, a następnie jego rekonstrukcji, które wiążą się z czasowym unieruchomieniem kończyny oraz ograniczeniem funkcji kończyny dolnej jest deficyt poziomu siły mięśniowej oraz atrofia mięśni uda. Biorąc to pod uwagę jednym z celów postępowania przed- oraz pooperacyjnego jest optymalizacja tych parametrów. Ćwiczenia wzmacniające mięśnie operowanej kończyny dolnej są wdrażane w pierwszej dobie po zabiegu ACLR, początkowo w formie czynnego ruchu operowanego stawu kolanowego oraz izometrycznej pracy mięśni, głównie mięśnia czworogłowego.

Proces rehabilitacji po ACLR powinien obejmować kształtowanie siły mięśni w aspekcie wytrzymałości siłowej, siły maksymalnej, a następnie dystrybucję w kierunku siły eksplozywnej.

Programowanie kształtowania siły mięśniowej opiera się o dobór metod treningowych, rodzaju pracy mięśniowej, konkretnych wzorców ruchowych i innych parametrów jak: częstotliwość jednostek treningowych, objętość i intensywność jednostki treningowej, liczba serii i powtórzeń danego ćwiczenia, tempo wykonania powtórzeń, czas przerw wypoczynkowych. Biorąc to pod uwagę już początki rehabilitacji po ACLR przybierają formę treningu siły mięśniowej, jednak dobór poszczególnych parametrów treningu znacznie się różni między specjalistami i może zależeć od doświadczeń i preferencji fizjoterapeuty (Brinlee *et al.*, 2022). Na przestrzeni lat badaniom poddawano zastosowanie różnych metod treningowych i form pracy mięśniowej w protokołach rehabilitacji po ACLR.

W praktyce klinicznej nadal można spotkać się z poglądem, że ćwiczenia wykonywane w otwartym łańcuchu kinetycznym (OKC – z ang. Open Kinetic Chain) mogą przyczynić się do rozciągnięcia przeszczepu ACL. Przekonania te były związane z badaniami przeprowadzonymi ponad 40 lat temu, na temat przedniej translacji kości piszczelowej w trakcie ruchów w OKC u osób z częściowym i całkowitym uszkodzeniem ACL. Konkluzją badań było zalecenie, aby w celu zmniejszenia obciążenia ACL unikać ruchów wykonywanych w OKC. Badania pokazują jednak, że obciążenie ACL w trakcie wykonywania ruchów w OKC jest zbliżone do tego osiąganego w trakcie wykonywania ćwiczeń w zamkniętym łańcuchu kinetycznym (CKC – z ang. Closed Kinetic Chain) czy w trakcie testu Lachmana, co więcej w trakcie chodzenia więzadło krzyżowe przednie jest obciążane ponad trzykrotnie mocniej. (Brinlee *et al.*, 2022). Wyniki przeglądu literatury wykonanego przez naukowców z kliniki Aspetar w Katarze (Kotsifaki *et al.*, 2023) wskazują, że nie ma różnicy między wpływem ćwiczeń wykonywanych w OKC oraz w CKC na stabilność stawu kolanowego, funkcję stawu kolanowego, ROM i atrofię mięśni. Ćwiczenia wykonywane w OKC mogą prowokować więcej dolegliwości bólowych przedniego przedziału stawu kolanowego w stosunku do ćwiczeń wykonywanych w CKC, jednak zaleca się wykorzystywanie zarówno OKC, jak i CKC w protokole postępowania po ACLR (Hooper *et al.*, 2001).

Kolejnym ciekawym aspektem do rozważenia jest efektywność zastosowania ćwiczeń z akcentem na ekscentryczną i koncentryczną fazę ruchu w protokole postępowania po ACLR. Wyniki wskazują, że trening siły mięśniowej z akcentem na ekscentryczną i koncentryczną fazę ruchu wykazują porównywalną poprawę w zakresie poziomu siły mięśni czworogłowego oraz kulszowo-goleniowych, natomiast wdrożenie treningu z akcentem na ekscentryczną fazę ruchu wpływa dodatkowo na poprawę funkcji stawu kolanowego oraz gotowość do powrotu do uprawiania sportu (Milandri and Sivarasu, 2021). Autorzy wskazują również lepsze wyniki w zakresie funkcji stawu kolanowego oraz aspektów psychicznych w przypadku połączenia treningu siły mięśniowej o charakterze ekscentrycznym i plyometrycznym, niż przy zastosowaniu tych interwencji oddzielnie (Kasmi *et al.*, 2021).

Porównanie zastosowania ćwiczeń izotonicznych i izokinetycznych wskazuje, że połączenie wymienionych form treningu przynosi lepszy wzrost siły mięśniowej niż w przypadku zastosowania metod oddzielnie. Trening siły mięśnia czworogłowego z akcentem na ekscentryczną fazę ruchu wykonany w warunkach izokinetycznych

poprawia izometryczną oraz ekscentryczną siłę tego mięśnia, jednak pozostaje bez wpływu na siłę koncentryczną (Vidmar *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2023).

Ze względu na istotną propriocepcyjną funkcję, którą pełni ACL, część specjalistów wdraża ćwiczenia kontroli motorycznej, które obejmują między innymi trening na niestabilnym podłożu, ćwiczenia stabilizacyjne wykonywane jedno nogą, czy chód tyłem. Wdrożenie tych ćwiczeń w protokoły rehabilitacyjne korzystnie wpływa na propriocepcję, jednak nie przynosi efektów w kontekście kształtowania siły mięśniowej, hipertrofii, zniesienia dolegliwości bólowych czy subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego (Kotsifaki *et al.*, 2023).

Kolejną metodą treningową, którą można wdrożyć w protokół rehabilitacji po ACLR jest trening z ograniczonym przepływem krwi. Badania pokazują, że BFRT może wpływać na poprawę poziomu siły mięśnia czworogłowego i zapobiegać jego atrofii we wczesnych fazach po ACLR. BFRT jest również skuteczny w zmniejszaniu dolegliwości bólowych stawu kolanowego (Hughes *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020).

3.4. Trening z ograniczonym przepływem krwi

Trening oporowy jest podstawową metodą kształtowania siły mięśniowej oraz stymulacji hipertrofii mięśni (Krzysztofik *et al.*, 2019). Zgodnie z wytycznymi American College of Sports Medicine optymalnymi dla kształtowania siły mięśniowej i hipertrofii są obciążenia rzędu 70% do 100% maksymalnego powtórzenia (1RM – z ang. One Rep Maximum) (Wilk *et al.*, 2018; Krzysztofik *et al.*, 2019; Wortman *et al.*, 2021).

Trening z wykorzystaniem BFR zyskuje na popularności dzięki możliwości uzyskania podobnych efektów (wzrostu poziomu siły mięśniowej i hipertrofii) jak w przypadku wykonywania standardowego treningu oporowego, jednak z użyciem znacznie mniejszych obciążeń zewnętrznych (20% - 50% 1RM). Jest to atut szczególnie w odniesieniu do populacji klinicznych, w których czasowo lub stale nie ma możliwości zastosowania wysokich obciążeń zewnętrznych w treningu oporowym, głównie u pacjentów po zabiegach ortopedycznych, z nasilonymi zmianami zwyrodnieniowymi, z chorobami reumatycznymi i neurologicznymi (Wortman *et al.*, 2021; Duarte de Oliveira *et al.*, 2023). Możliwości te mogą być również istotne dla elitarnych sportowców oraz osób chcących minimalizować ryzyko kontuzji (Krzysztofik *et al.*, 2019).

Trening oporowy prowadzi do wzrostu siły mięśniowej i hipertrofii poprzez wywoływanie obciążenia mechanicznego, reakcji metabolicznej oraz zmian hormonalnych w odpowiedzi na bodziec treningowy. Główne mechanizmy odpowiedzialne za adaptacyjne zmiany powstałe w wyniku BFRT obejmują zwiększone napięcie mechaniczne oraz wyższy stres metaboliczny (Wilk *et al.*, 2018). Metaboliczne efekty tworzącego się pod wpływem BFR beztlenowego środowiska powodują wytwarzanie wyższego stężenia mleczanu, wolnych rodników tlenowych oraz tlenku azotu, co prowadzi do zwiększonej syntezy protein i rekrutacji włókien mięśniowych, a także redukcji proteolizy. Poziomy hormonu wzrostu (GH – z ang. Growth Hormone) oraz insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1), które prowadzą do zwiększonej syntezy protein, są znacznie wyższe w przypadku wykonania treningu z BFR niż treningu oporowego wysokiej intensywności bez BFR (Tabata *et al.*, 2016; Wortman *et al.*, 2021).

Do wykonania treningu z BFR konieczne jest użycie opaski uciskowej, mankietu ciśnieniowego lub elastycznych taśm, które zakłada się w proksymalnej części kończyny. W przypadku kończyny dolnej jak najbliżej pachwiny oraz jak najbliżej dołu pachowego dla kończyny górnej. W przypadku użycia mankietu, napełnia się go do ustalonego wcześniej ciśnienia, tak aby ograniczyć przepływ krwi tętniczej przy jednoczesnym zamknięciu żylnego powrotu krwi. Ciśnienie w mankiecie stosowane w trakcie BFR ustalane jest jako procent ciśnienia koniecznego do całkowitego zamknięcia przepływu krwi tętniczej (AOP – z ang. Arterial Occlusion Pressure) (Wilk *et al.*, 2018; Wortman *et al.*, 2021).

Najczęściej stosowaną i jednocześnie najszerzej przebadaną metodą treningu z wykorzystaniem BFR jest metoda ciągła, która zakłada wykonanie czterech serii ćwiczenia, przy czym w pierwszej serii wykonuje się 30 powtórzeń, w kolejnych trzech seriach wykonuje się po 15 powtórzeń danego ćwiczenia, z obciążeniem zewnętrznym rzędu 20% do 30% 1RM oraz z uciskiem odpowiadającym 40% do 80% AOP, przerwy pomiędzy seriami powinny wynosić 30 do 60 sekund (Krzysztofik *et al.*, 2019).

Trening z użyciem BFR został poddany również badaniom pod kątem jego bezpieczeństwa i prowokowania ewentualnych skutków ubocznych (Loenneke *et al.*, 2011; Hughes *et al.*, 2017). Autorzy są zgodni, że prawidłowa implementacja treningu z ograniczonym przepływem krwi nie generuje większego ryzyka dla zdrowia niż tradycyjny trening oporowy. Badania epidemiologiczne przeprowadzone w Japonii wykazują niskie występowanie powikłań po wykonaniu treningu z BFR. Najczęściej raportowanym skutkiem ubocznym jest pojawianie się krwiaków na skórze (13,1%)

(Loenneke *et al.*, 2011; Hughes *et al.*, 2017). Literatura wskazuje dwa przypadki wystąpienia rądomiolizy u pacjentów poddanych treningowi z BFR (Iversen and Røstad, 2016; Tabata *et al.*, 2016). Biorąc pod uwagę rzadko występujące, jednak możliwe powikłania po treningu w warunkach BFR, autorzy podkreślają konieczność wykluczenia czynników ryzyka przed przystąpieniem do treningu, w tym infekcji, przedłużającego się unieruchomienia kończyny, a także odpowiedniego dobierania parametrów treningu (Tabata *et al.*, 2016; Hughes *et al.*, 2017).

3.5. Powikłania w przebiegu postępowania po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

Nawet 25% pacjentów po przebytej ACLR może zgłaszać dolegliwości bólowe lub niestabilność stawu kolanowego. Część badań raportuje, że rocznie 3 000 do 10 000 ACLR kończy się niepowodzeniem (Heard, Chahal and Bach, 2013). W badaniach kohortowych przeprowadzonych przez Wrighta i wsp. (Wright *et al.*, 2007) w okresie 2 lat po ACLR, 3% pacjentów uszkodziło przeszczep oraz taka sama liczba pacjentów uszkodziła ACL drugiej kończyny dolnej. Aktualne dane wskazują, że częstość występowania uszkodzeń przeszczepu i uszkodzeń kontrlateralnego ACL mogą wynosić kolejno od 6% do 14% i od 6% do 16% (Wiggins *et al.*, 2016; Gupta *et al.*, 2020), a nawet ponad 20% w grupie pacjentów poniżej 25 roku życia, którzy powrócili do uprawiania sportów z wysokim ryzykiem ACLI (Barber -Westin and Noyes, 2020).

Wtórne uszkodzenie przeszczepu ACL może mieć wiele przyczyn zarówno w postępowaniu śródoperacyjnym, jak i pooperacyjnym, i stanowi jednoznaczne niepowodzenie dla wykonanej procedury zabiegowej. Jednak pacjenci po przebytej ACLR mogą borykać się też z innymi powikłaniami po operacyjnych, jak: dolegliwości bólowe, długotrwałe obrzęki stawu kolanowego, ograniczenie zakresu ruchomości stawu kolanowego, deficyty motoryczne, które wpływają na pogorszenie jakości życia. Możliwych przyczyn wymienionych powikłań jest wiele, wiążą się one z zaburzeniami strukturalnymi bądź funkcjonalnymi powstałymi w przebiegu ACLR lub postępowania po zabiegu.

Jednym z możliwych powikłań pooperacyjnych jest infekcja, która według doniesień literatury dotyka od 0,19% do 1,7% pacjentów po ACLR i może rozwinąć się nawet do kilku miesięcy po przebytej ACLR (Heard, Chahal and Bach, 2013).

Ograniczenie ROM stawu kolanowego jest naturalną, czasową konsekwencją ACLR, jednak przedłużający się deficyt zakresu ruchomości może świadczyć o wystąpieniu powikłań, w tym artrofibrozy lub zespołu cyklopa.

Artrofibroza to niekontrolowany rozrost tkanki łącznej wewnątrz oraz wokół stawu kolanowego, który objawia się ograniczeniem zakresu ruchomości stawu kolanowego. Lokalizacja oraz rozległość zrostów łącznotkankowych warunkują kierunek i poziom ograniczenia ruchomości. Artrofibroza może dotyczyć od 4% do 38% pacjentów po przebytej ACLR. Możliwości leczenia artrofibrozy oraz jej objawów obejmują leczenie zachowawcze oraz operacyjne (Ekhtiari *et al.*, 2017).

Bolesne ograniczenie wyprostu stawu kolanowego po ACLR może być wynikiem rozwoju zespołu cyklopa, którego objawy są wywołane przez tworzenie się guzkowatych zmian bliznowatych, najczęściej w okolicy piszczelowego przyczepu przeszczepu ACL. Badania wykazują, że zmiany te mogą dotyczyć nawet 47% pacjentów po ACLR, jednak generują objawy tylko u 1% do 10% pacjentów. Rozmiar, budowa i położenie guzków warunkują, czy zmiana pozostaje niema klinicznie. Leczenie polega na artroskopowym usunięciu zmiany (Kambhampati *et al.*, 2020).

Opisane powikłania są diagnozowane w pierwszych tygodniach bądź miesiącach po wykonaniu ACLR i już na tym etapie mogą negatywnie wpływać na osiągnięty ROM oraz poziom siły i hipertrofię mięśni operowanej kończyny. Warto zwrócić uwagę na powikłania, które mogą wystąpić w dłuższej perspektywie, są nimi m.in. atrofia i deficyt poziomu siły mięśnia czworogłowego, które mogą limitować funkcję operowanej kończyny dolnej oraz zwiększać ryzyko ponownego urazu (Kilgas *et al.*, 2019).

3.6. Deficyt poziomu siły oraz atrofia mięśnia czworogłowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

Wiele osób po przebytej ACLR nie odzyskuje optymalnej siły i rozmiaru mięśnia czworogłowego uda nawet wiele lat po zabiegu (Kilgas *et al.*, 2019). W publikacji Herringtona i współpracowników (Herrington, Ghulam and Comfort, 2018) znajdują się informacje, że 80% piłkarzy nie odzyskuje satysfakcjonującego poziomu siły mięśnia czworogłowego w momencie powrotu do aktywności sportowej (około 8 miesięcy po zabiegu ACLR). Długotrwałe deficyty w tym zakresie prowadzą do asymetrii pomiędzy kończynami, co wpływa na zmianę obciążenia stawu kolanowego.

Zaburzenie wskaźnika LSI w zakresie poziomu siły mięśnia czworogłowego prowadzi do zaburzenia wzorca chodu oraz lądowania jednonoż, dynamicznej stabilności stawu kolanowego, niższej subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego, zwiększa ryzyko ponownego urazu oraz prowadzi do wcześniejszych pourazowych zmian zwyrodnieniowych (Palmieri-Smith and Lepley, 2015; Kilgas *et al.*, 2019).

Jedną z przyczyn znacznego osłabienia poziomu siły mięśnia czworogłowego uda po ACLR jest artrogenna inhibicja mięśnia (AMI – z ang. Arthrogenic Muscle Inhibition), która jest najwyższa w pierwszych miesiącach po ACLR, następnie zmniejsza się w trakcie procesu rehabilitacji. AMI jest spowodowana zmianą w obrębie receptorów czuciowych z okolicy stawu kolanowego, co jest związane z obrzękiem stawu, dolegliwościami bólowymi, uszkodzeniami strukturalnymi, niestabilnością stawu. Zaburzenie aferentnej informacji ma znaczny wpływ na centralny układ nerwowy zmieniając pobudliwość szlaków rdzeniowych i nadrdzeniowych, co limituje aktywację mięśnia czworogłowego (Rice and McNair, 2010; Nuccio *et al.*, 2021).

Badania pokazują, że deficyt poziomu siły mięśnia czworogłowego przed wykonaniem zabiegu ACLR niekorzystnie wpływa na możliwości optymalizacji tego parametru w postępowaniu pozabiegowym, ponadto deficyt ten na etapie przedzabiegowym wpływa na osiąganą funkcję oraz subiektywne odczucie funkcji stawu kolanowego po zabiegu (Kim *et al.*, 2022).

LSI jest jednym ze wskaźników wykorzystywanych klinicznie do określenia gotowości do powrotu do aktywności sportowej. Wskaźnik symetrii kończyn dolnych może być określany na przykład w odniesieniu do siły mięśniowej, dystansu skoku, obciążenia kończyn dolnych, subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego i innych wskaźników sprawności, do oceny których wykorzystuje się różne narzędzia pomiarowe. LSI dla siły mięśnia czworogłowego jest jednym ze wskaźników rozpatrywanych przy ocenie możliwości powrotu do aktywności sportowej po ACLR. Literatura omawiająca ten temat jako kryterium powrotu do aktywności sportowej wskazuje wynik poniżej 10% deficytu siły względem kończyny nieoperowanej (Kim *et al.*, 2022). Zalecenia opublikowane przez specjalistów z kliniki Aspetar w Katarze wskazują, że jednym z warunków powrotu do uprawiania sportów z wysokim ryzykiem ACLI jest uzyskanie w operowanej kończynie dolnej 100% wartości poziomu siły mięśni kulszowo – goleniowych oraz czworogłowego jak w kończynie nieoperowanej (Kotsifaki *et al.*, 2023).

Deficyt poziomu siły i atrofia mięśnia czworogłowego uda utrzymujące się długo po przebytych zabiegach ACLR mogą stanowić czynniki zwiększające ryzyko ponownego uszkodzenia ACL, szybszego wystąpienia zmian zwyrodnieniowych i utrzymującego się pogorszenia funkcji stawu kolanowego (Palmieri-Smith and Lepley, 2015, Kilgas *et al.*, 2019, Herrington, Ghulam and Comfort, 2018). Jednym głównych kryteriów oceny poszczególnych etapów rehabilitacji po ACLR, a także możliwości powrotu do uprawiania aktywności fizycznej jest ocena poziomu siły mięśnia czworogłowego uda (Kim *et al.*, 2022, Kotsifaki *et al.*, 2023). Protokoły postępowania po ACLR są stale optymalizowane i udoskonalane, tak aby maksymalizować możliwości motoryczne pacjentów przy jednoczesnym niwelowaniu ryzyka uszkodzenia przeszczepu ACL.

3.7. Problem badawczy w świetle badań naukowych

Biorąc pod uwagę zalety zastosowania BFRT w populacjach klinicznych (Wilk *et al.* 2018, Krzystofik *et al.*, 2019, Wortman *et al.*, 2021; Duarte de Oliveira *et al.*, 2023) w ostatnich latach efektywność BFRT była badana również w odniesieniu do pacjentów po przebytych ACLI (Lu *et al.*, 2020) w przebiegu prehabilitacji, jak i po przebytej ACLR (Ohta *et al.*, 2003; Iversen, Røstad and Larmo, 2016, Hughes *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020; Wengle *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023). Podejmowano również temat zastosowania BFRT w populacjach klinicznych pacjentów z innymi dysfunkcjami stawu kolanowego (Giles *et al.*, 2017, Tennent *et al.*, 2017, Segal, Davis, Mikesky, 2015, Segal *et al.* 2015, Bryk *et al.* 2016, Ferraz *et al.* 2018, Harper *et al.* 2019, Alvarez *et al.* 2021).

Wyniki badań w zakresie wpływu zastosowania BFRT na poziom siły i hipertrofię mięśnia czworogłowego nie są jednoznaczne. Istnieją doniesienia o pozytywnym wpływie rehabilitacji z zastosowaniem BFR na poprawę poziomu siły mięśnia czworogłowego u pacjentów we wczesnych etapach rehabilitacji po ACLR (Ohta *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2019, Li *et al.*, 2023, Roman *et al.*, 2023) oraz w innych populacjach (Segal *et al.* 2015, Ferraz *et al.* 2018). Część autorów wykazała również pozytywny wpływ zastosowania BFRT na hipertrofię mięśnia czworogłowego we wczesnych etapach rehabilitacji po ACLR (Wengle *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023) oraz u pacjentów z innymi dolegliwościami stawu kolanowego (Tennent *et al.*, 2017, Ferraz *et al.* 2018). Z drugiej strony istnieją również doniesienia o braku wpływu zastosowania BFRT na wspomniane parametry poziomu siły (Curran *et al.*, 2020) i hipertrofii mięśnia

czworogłowego (Hughes *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020, Iversen, Røstad and Larmo, 2016) w przebiegu rehabilitacji po ACLR. Podobne wyniki o braku wpływu zastosowania BFRT na wspomniane parametry można znaleźć również w odniesieniu do innych populacji klinicznych (Segal, Davis, Mikesky, 2015, Bryk *et al.* 2016, Giles *et al.*, 2017, Harper *et al.* 2019, Segal *et al.* 2015).

Warto podkreślić, że protokoły treningowe w przytoczonych pracach różnią się od siebie pod względem wielu parametrów opisujących cykl treningowy i poszczególne jednostki, a także metodykę BFRT. Różnice te mogą w znacznym stopniu wpływać na osiągnięte wyniki, dlatego obszar badań na temat efektywności BFRT w populacjach pacjentów z dysfunkcjami stawu kolanowego wymaga dalszych badań celem optymalizacji stosowanych protokołów i maksymalizacji efektów zastosowania tej metody treningowej.

Znaleziono wyłącznie jedną pracę, której celem była ocena efektywności wdrożenia BFRT u pacjentów długo (średnio 5 lat) po przebytej rekonstrukcji ACL (Kilgas *et al.*, 2019). Ograniczona liczba doniesień na temat wpływu zastosowania BFRT na poziom siły i hipertrofię mięśnia czworogłowego uda w grupie pacjentów długo po przebytej ACLR wpłynęła na podjęcie tego problemu badawczego w niniejszej pracy. Projekt uzupełniono dodatkowo o badanie stabilności przedniej stawu kolanowego oraz kwestionariusze subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego oraz kwestionariusz podejmowanej aktywności fizycznej. Dodatkowo w grupie pacjentów stanowiących uczestników niniejszego projektu procedura zabiegowa rekonstrukcji ACL była uzupełniona o dodatkową ingerencję zabiegową – tenodezę boczną.

4. Cel badań, pytania i hipotezy badawcze

Celem niniejszej pracy jest ustalenie wpływu zastosowania treningu z ograniczonym przepływem krwi na wybrane parametry warunkujące funkcję stawu kolanowego u pacjentów od roku do 10 lat po przebytym zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego z tenodezą boczną. Szczegółowe cele niniejszej pracy zawarto w formie pytań badawczych.

4.1. Pytania badawcze

1. Czy i w jaki sposób trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi wpływa na maksymalny moment siły mięśni prostowników stawu kolanowego?
2. Czy i w jaki sposób trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi wpływa na obwód uda oraz grubość mięśni prostego uda oraz obszernego bocznego??
3. Czy i w jaki sposób trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi wpływa na stabilność przednią stawu kolanowego?
4. Czy i w jaki sposób trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi wpływa na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego oraz na ilość i rodzaj podejmowanej aktywności fizycznej?

4.2. Hipotezy badawcze

1. Trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi prowadzi do wzrostu maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego.
2. Trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi prowadzi do wzrostu obwodu uda oraz do wzrostu grubości mięśni prostego uda oraz obszernego bocznego.
3. Trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi pozostaje bez wpływu na stabilność przednią stawu kolanowego.
4. Trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi prowadzi do poprawy subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego oraz do wzrostu ilości i intensyfikacji podejmowanej aktywności fizycznej.

5. Charakterystyka uczestników i metody badań

5.1. Zgoda Komisji Bioetycznej

Protokół badań został zaakceptowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach. *Uchwała Nr 02/2019 Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach.*

5.2. Kryteria włączenia do badań

Kryteria włączenia do badań obejmowały:

- udzielenie pisemnej zgody na udział w badaniach;
- wiek od 18 do 50 lat;
- przebyty zabieg rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego (minimum rok po zabiegu, maksymalnie 10 lat po zabiegu);
- subiektywne odczucie utrzymującego się zaburzenia funkcji operowanego stawu kolanowego;
- uprawianie aktywności fizycznej o umiarkowanej i / lub dużej intensywności minimum przez 150 minut tygodniowo;
- minimum 10% deficytu siły mięśni prostowników operowanego stawu kolanowego w porównaniu do kończyny nieoperowanej;
- brak przeciwwskazań do wdrożenia treningu z ograniczonym przepływem krwi;
- zgoda lekarza prowadzącego.

5.3. Przeciwwskazania do wdrożenia treningu z ograniczonym przepływem krwi

Przeciwwskazania bezwzględne do wdrożenia treningu z ograniczonym przepływem krwi zgodnie z zaleceniami Australian Sports Commission (Załącznik nr 1) obejmują:

- choroby obwodowych naczyń krwionośnych;
- przebytą operację naczyń krwionośnych kończyn;
- przebyty przeszczep skóry;
- występowanie przetoki tętniczo-żylnej kończyn górnych lub dolnych.

5.4. Kryteria wyłączenia z badań

Kryteria wyłączenia z badań obejmowały:

- brak udzielenia pisemnej zgody na udział w badaniach;
- wiek poniżej 18 lub powyżej 50 lat;
- występowanie przeciwwskazań bezwzględnych do wdrożenia treningu z ograniczonym przepływem krwi;
- brak zgody lekarza prowadzącego;
- uprawianie aktywności fizycznej poniżej 150 minut tygodniowo (wysiłek o umiarkowanej i / lub dużej intensywności);
- poniżej 10% deficytu siły mięśni prostowników operowanego stawu kolanowego w porównaniu do kończyny nieoperowanej.

5.5. Informacja dla osoby badanej

Osoby badane poinformowano o założeniach i planowanym przebiegu procesu badawczego oraz o możliwości rezygnacji z uczestnictwa w badaniach na dowolnym etapie ich trwania bez podawania przyczyny. Rezygnacja mogła nastąpić również na prośbę lekarza prowadzącego. Uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach.

5.6. Charakterystyka uczestników badania

Uczestnicy badania byli pacjentami ośrodków Galen Ortopedia oraz Galen Rehabilitacja w Bieruniu oraz Katowicach, którzy odpowiedzieli na ogłoszenie dotyczące projektu badawczego znajdujące się w wymienionych ośrodkach oraz na stronie internetowej Galen Rehabilitacja. Projekt badawczy zrealizowano w placówkach Galen Rehabilitacja oraz Galen Ortopedia w Bieruniu i Katowicach.

Analiza mocy a priori została przeprowadzona przy użyciu G*Power 3.1 (Faul *et al.*, 2009) w celu określenia wymaganej wielkości próby dla powtarzanych pomiarów ANOVA w grupach i pomiędzy grupami. Na podstawie założonej średniej wielkości efektu ($f = 0,35$), poziomu alfa 0,05 i pożądanej mocy statystycznej 0,95, analiza wskazała, że konieczny będzie minimalny całkowity rozmiar próby 20 uczestników.

Chęć udziału w projekcie badawczym wyraziło 26 osób, jednak po zweryfikowaniu kryteriów włączenia i wyłączenia z projektu, do udziału w badaniu zakwalifikowano 20 uczestników (8 kobiet, 12 mężczyzn).

W każdej z grup obliczono średnie wieku, masy ciała i wysokości ciała oraz czasu od zabiegu, dane zamieszczono w tabeli poniżej (Tab.1).

Tabela 1. Charakterystyka osób badanych (grupa badana/kontrolna).

Gr	Zmienna	M	SD	-95%CI	+95%CI	Min	Max
Kontrolna N=10	Wiek	26,30	7,12	21,21	31,39	19,00	41,00
	Wysokość	179,90	7,56	174,49	185,31	164,00	191,00
	Masa	77,30	9,59	70,44	84,16	60,00	90,00
	Czas od	2,80	1,60	1,65	3,95	1,50	7,00
Badana N=10	Wiek	34,20	10,18	26,91	41,49	18,00	49,00
	Wysokość	178,80	10,54	171,26	186,34	160,00	198,00
	Masa	75,40	16,70	63,45	87,35	51,00	108,00
	Czas od	3,95	2,45	2,19	5,71	1,50	9,00

M – średnia arytmetyczna, SD – odchylenie standardowe. 95% CI – przedział ufności dla wartości średniej

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w badanych grupach ze względu na wiek, wysokość ciała, masę ciała oraz czas od zabiegu $p > 0,05$ (test t-studenta dla prób niezależnych).

Tabela 2. Podsumowująca tabela dwudzielcza: częstości obserwowane grupa vs kończyzna operowana.

Kończyna operowana	Grupa		Razem
	badana	kontrolna	
PRAWA	7	6	13
%	70,00%	60,00%	
LEWA	3	4	7
%	30,00%	40,00%	
Ogół	10	10	20

Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy odsetkami obserwacji w badanych grupach $p > 0,05$.

Tabela 3. Podsumowująca tabela dwudzielcza: częstości obserwowane grupa vs kończyzna dominująca.

Kończyna dominująca	Grupa		Razem
	badana	kontrolna	
PRAWA	10	9	19
%	100,00%	90,00%	
LEWA	0	1	1
%	0,00%	10,00%	
Ogół	10	10	20

Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy odsetkami obserwacji w badanych grupach $p > 0,05$.

5.7. Charakterystyka procesu badawczego

Badanie zaplanowano jako randomizowane badanie kliniczne, prowadzone w dwóch grupach, badanej (GB) poddanej protokołowi treningowemu z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi oraz kontrolnej (GK) poddanej protokołowi treningowemu z terapią pozorowaną.

W pierwszym etapie rekrutacji uczestników do udziału w projekcie, weryfikowano kryteria włączenia i wyłączenia oraz występowanie przeciwwskazań do zastosowania BFRT, po czym wykonywano badania wstępne. Procedury te w przypadku każdego uczestnika badania wykonywał jeden badacz. W skład badań wstępnych wchodziły następujące procedury badawcze:

- badanie grubości mięśni prostego uda i obszernego bocznego;
- pomiar obwodu uda;
- badanie stabilności przedniej stawu kolanowego;
- badanie poziomu siły mięśni prostowników stawu kolanowego;
- subiektywna ocena funkcji stawu kolanowego przy użyciu kwestionariuszy IKDC 2000 (Załącznik nr 2) oraz Lysholm (Załącznik nr 3);
- określenie poziomu aktywności fizycznej na podstawie kwestionariusza IPAQ (Załącznik nr 4).

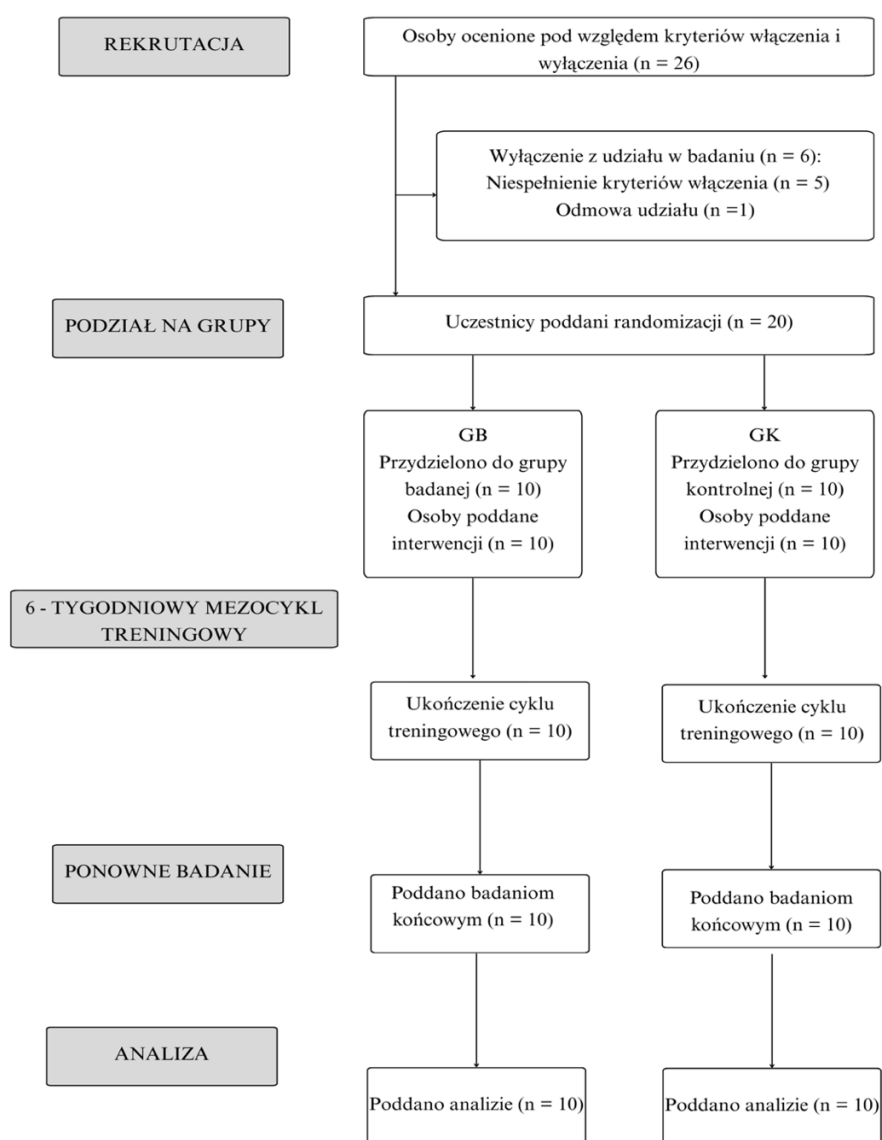
Aby zakwalifikować uczestnika do udziału w projekcie badawczym weryfikowano wartość deficytu maksymalnego momentu siły mięśnia czworogłowego uda kończyny operowanej w stosunku do kończyny nieoperowanej oraz wskaźnik MET dla podejmowanej tygodniowo aktywności fizycznej. Konieczne do włączenia do badań wartości określono w podrozdziale 5.3. Na podstawie uzyskanych wyników dokonywano włączenia uczestnika do udziału w projekcie badawczym.

Po badaniach wstępnych wykonywano pomiar AOP oraz pomiar 1 RM oraz losowy przydział uczestników do jednej z dwóch grup (GK lub GB), co zostało opisane w kolejnych podrozdziałach.

Uczestnicy rozpoczynali 6 – cio tygodniowy mezocykl treningowy, w ramach którego wykonywali 3 jednostki treningowe w tygodniu. Uczestnicy obu grup wykonywali identyczne ćwiczenia z zastosowaniem obciążenia odpowiadającego 30% 1RM oraz wykonywali jednostki treningowe z mankietem ciśnieniowym założonym na udo operowanej kończyny. Osoby, które znalazły się w grupie badanej realizowały jednostki treningowe z mankietem, którego ciśnienie wynosiło kolejno 40%, 50%

oraz 60% AOP (wartość % AOP zwiększano co 2 tygodnie). Uczestnicy w grupie kontrolnej wykonywali jednostki treningowe z mankietem, wewnątrz którego ciśnienie wynosiło 10 mmHg, co stanowiło zbyt niską wartość dla uzyskania ograniczenia przepływu krwi.

Po zakończeniu 6 tygodniowego cyklu ćwiczeń (minimum 3, maksymalnie 7 dni po zakończeniu cyklu) uczestnicy ponownie zostali poddani testom – badaniom końcowym, które obejmowały identyczne procedury badawcze jak w przypadku badań wstępnych. Procedury te wykonywane były ponownie przez badacza, który dokonywał wstępnej kwalifikacji do udziału w projekcie badawczym oraz wykonywał badania wstępne. Schemat przepływu uczestników projektu badawczego przedstawiono na rycinie poniżej (Ryc. 3)



Rycina 3. Schemat przepływu uczestników.

5.7.1. Pomiar AOP

Tego samego dnia, w którym wykonywano badania wstępne wyznaczano również wartość ciśnienia koniecznego do całkowitego zatrzymania przepływu tętniczego w badanej kończynie dolnej, które wyznaczano przy pomocy przenośnego ultrasonograficznego Dopplera naczyniowego SonoTrax (SonoTrax Vascular Ultrasonic Pocket Doppler, 8Hz, version 2.4, EDAN Instruments) (Ryc. 6). Urządzenie umożliwia precyzyjne badanie przepływu krwi za pomocą fal dźwiękowych o wysokiej czułości.

Ciśnienie mankietu ciśnieniowego stosowane w trakcie jednostki treningowej określano jako % AOP.



Rycina 4. Przenośny ultrasonograficzny Doppler naczyniowy SonoTrax (materiał własny).

Pomiar AOP przeprowadzano po 10 – minutowym spoczynku w pozycji siedzącej. Na udo badanej kończyny zakładano mankiet ciśnieniowy firmy Fit Cuffs o szerokości 10cm, z podpiętym manometrem (Ryc. 7). Na sondę przenośnego Dopplera naczyniowego nakładano żel transmisyjny, po czym sondę umieszczano na tętnicy grzbietowej stopy. Po zlokalizowaniu tętnicy i usłyszeniu pulsu, mankiet stopniowo napełniano powietrzem, początkowo do 50 mmHg, następnie ciśnienie zwiększano o 10 mmHg, co 10 sekund do momentu wystąpienia pełnej okluzji (ustania pulsu) (Ryc. 8). Wartość ciśnienia, przy której puls ustawał zapisywano, po czym zdejmowano mankiet.



Rycina 5. Mankiet ciśnieniowy z podpiętym manometrem Fit Cuffs (materiał własny).



Rycina 6. Pomiar AOP (materiał własny).

5.7.2. Pomiar 1 RM

Po wykonaniu pomiaru AOP metodą pośrednią wyznaczano 1RM dla ćwiczeń: przysiad w wykroku, wejście na stopień bokiem, prostowanie stawu kolanowego siedząc. Po czym z otrzymanych wartości określano 30% 1RM, co stanowiło wartość obciążenia zewnętrznego do zastosowania w mezocyklu treningowym.

Pomiar 1 RM przeprowadzano metodą pośrednią, w której wartość maksymalnego obciążenia obliczano zgodnie z przedstawionym poniżej wzorem (Brzycki, 1993).

$$\text{Przewidywany 1 RM} = \frac{\text{Podniesiony ciężar}}{1,0278 - 0,0278X}$$

X = liczba wykonanych powtórzeń

Pomiar przeprowadzano kolejno dla 3 ćwiczeń (Ryc. 7):

- przysiadu w wykroku;
- wejścia na stopień bokiem (wysokość stopnia wynosiła 30 cm);
- prostowania stawu kolanowego w pozycji siedzącej.



Rycina 7. Ćwiczenia główne: A – przysiad w wykroku, B- wejście na stopień bokiem, C – prostowanie stawu kolanowego w pozycji siedzącej (material własny).

Osoba badana wykonywała w pierwszej serii 10 powtórzeń danego ćwiczenia bez obciążenia, następnie po przerwie trwającej 60 – 120 sekund zwiększano obciążenie zewnętrzne kierując się subiektywnym odczuciem ciężkości wysiłku po poprzedniej serii (RPE – z ang. Rate of Perceived Exertion) (Ryc. 8). Schemat ten powtarzano do momentu uzyskania obciążenia, z którym osoba badana nie była w stanie wykonać więcej niż 10 powtórzeń. W sytuacji, gdy w piątej serii ćwiczenia osoba badana nadal była w stanie wykonać więcej niż 10 powtórzeń danego ćwiczenia, proszono ją o wykonanie maksymalnej liczby powtórzeń z danym obciążeniem. Protokół powtarzano kolejno dla pozostałych ćwiczeń, zachowując 60 - 120 sekund przerwy pomiędzy seriami oraz 3 do 5 minut przerwy wypoczynkowej pomiędzy ćwiczeniami.

Po uzyskaniu wartości maksymalnego obciążenia, z którym osoba badana była w stanie wykonać do 10 powtórzeń ćwiczenia, obliczano przewidywaną wartość 1 RM. Obciążenie stosowane w trakcie mezocyklu treningowego wynosiło 30% szacowanego 1 RM.

RPE	Opis
10	Maksymalny wysiłek
9	Bardzo ciężki wysiłek, 1 powtórzenie w rezerwie
8	Ciężki wysiłek, 2 powtórzenia w rezerwie
7	Ciężki wysiłek, 3 powtórzenia w rezerwie
6	Średni wysiłek, 4 powtórzenia w rezerwie
5	Średni wysiłek, 5 powtórzeń w rezerwie
4	Lekki wysiłek, 6 powtórzeń w rezerwie
3	Lekki wysiłek, 7 powtórzeń w rezerwie
2	Bardzo mały wysiłek
1	Odpoczynek

Rycina 8. Skala RPE.

5.7.3. Przydział do grup (randomizacja)

Po wykonaniu badań wstępnych, zakwalifikowaniu uczestników do udziału w badaniu i wyrażeniu pisemnej zgody na udział w badaniu, osoby badane zostały podzielone losowo na 2 grupy po 10 osób w grupie badanej (GB – BFRT) oraz grupie kontrolnej (GK – terapia pozorowana). W celu zapewnienia poprawnego i bezstronnego podziału na grupy, zrealizowano go w oparciu o dobór losowy bez zwracania losów. Procedura podziału na grupy obejmowała:

- przygotowanie 20 identycznych kartek, z których każda zawierała numer identyfikacyjny od 1 do 20, wszystkie kartki umieszczono w pojemniku;
- 2 badacze niezwiązanych z procesem włączania do projektu badawczego kolejno losowali kartki dla każdego z uczestników badania;
- uczestnicy, dla których wylosowano kartki z numerami od 1 do 10 zostali przydzieleni do grupy badanej, natomiast pozostali uczestnicy (dla których wylosowano kartki z numerami od 11 do 20) trafili do grupy kontrolnej;
- badacze uczestniczący w losowym podziale uczestników na grupy czuwali nad stosowaniem prawidłowego ciśnienia mankietu u uczestników badania w przebiegu całego mezocyklu treningowego.

5.7.4. Zaślepienie

Zaślepieniem objęto uczestników badania, lekarza prowadzącego, osobę wykonującą badania wstępne oraz końcowe.

Zaślepieniem nie objęto badaczy wykonujących losowy podział na grupy, którzy czuwali również nad stosowaniem prawidłowych parametrów w przebiegu jednostki treningowej dla poszczególnych uczestników.

5.8. Procedury oraz narzędzia badawcze

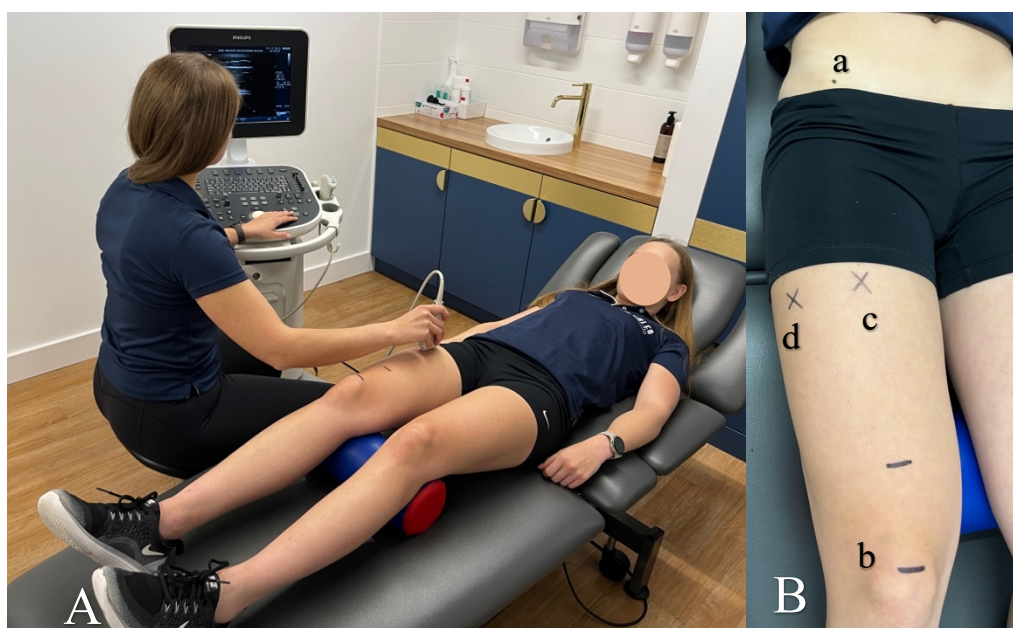
Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC – z ang. Intraclass Correlation Coefficient) dla pomiarów grubości mięśni prostego uda i obszernego bocznego, obwodu uda oraz badania artrometrycznego mieścił się w zakresie 0,92 - 0,97.

5.8.1. Pomiar grubości mięśni obszernego bocznego oraz prostego uda

Za złoty standard pomiaru grubości mięśni szkieletowych uznaje się badanie rezonansem magnetycznym (MRI z ang. Magnetic Resonance Imaging) (Bemben 2002, Betz *et al.*, 2021). Jednak biorąc pod uwagę koszty i dostępność badania MRI, w wielu projektach oceniających wpływ protokołów treningowych (w tym BFRT) na parametry morfologiczne mięśni, wykorzystywano badanie ultrasonograficzne, które jest tańsze i szybsze do wykonania oraz równie bezpieczne, jak badanie rezonansem magnetycznym (Betz *et al.*, 2021, Kilgas *et al.*, 2019; Wengle *et al.*, 2022; Li, *et al.*, 2023). W badaniu Betz i wsp. oceniającym współczynnik korelacji wewnątrzklasowej dla rzetelności wewnątrz – i między oceniającymi wykazano bardzo dobrą zgodność dla wszystkich

parametrów pomiarów ultrasonograficznych ($ICC = 0,929 - 0,994$, $p < 0,001$). Dodatkowo pomiary grubości mięśni i grubości podskórnej tkanki tłuszczowej badanej za pomocą USG oraz MRI wykazały dobrą do bardzo dobrej zgodność ($ICC = 0,835 - 0,969$, $p < 0,001$) (Betz et al., 2021). Obserwacje te są tożsame z wynikami innych autorów, którzy wskazują, że badanie USG jest rzetelną i nisko kosztową metodą pomiaru grubości mięśni, alternatywną do badania za pomocą rezonansu magnetycznego (Bemben 2002, Ahtiainen et al., 2021, Betz et al., 2021).

Pomiary grubości mięśni wykonywano w czasie rzeczywistym, w trybie B, za pomocą liniowej sondy ultrasonograficznej (PHILIPS HD5 Diagnostic Ultrasound System, 50Hz). W trakcie pomiaru osoby badane znajdowały się w pozycji leżenia tyłem, pod dołami podkolanowymi umieszczano wałek o średnicy 10 cm. Na skórze osoby badanej zaznaczano punkowo kołec biodrowy przedni górny oraz podstawę rzepki, następnie mierzono odległość pomiędzy punktami. Miejsce pomiaru zaznaczano w punkcie stanowiącym 50% odległości od kolca biodrowego przedniego górnego do podstawy rzepki, punkt ten zaznaczano krzyżykiem na skórze w rzutach mięśni prostego uda oraz obszernego bocznego (Ryc. 9). Badanie rozpoczynano po 5 minutach spoczynku w opisanej pozycji. Na sondę nakładano żel transmisyjny, aby uzyskać powierzchnię przewodzącą między sondą, a skórą. Sondę umieszczano na skórze równoległe do przebiegu włókien mięśniowych, tak, aby nie powodować kompresji tkanek. Pomiar rozpoczynano od mięśnia prostego uda, umieszczając sondę we wcześniej zaznaczonym miejscu na skórze, gdzie wykonywano 5 pomiarów. Następnie sondę umieszczano wzdłuż mięśnia obszernego bocznego, aż powierzchowne i głębokie rozciągnięcia mięśnia były dobrze zdefiniowane i równoległe do siebie, w tym miejscu również wykonywano 5 pomiarów. Grubość mięśnia mierzono jako prostopadłą odległość między powierzchowną a głęboką warstwą rozciągnięcia. Najwyższa i najniższa wartość z pięciu pomiarów były wykluczane, do analizy brano pod uwagę średnią z pozostałych trzech pomiarów. Wszystkie pomiary zostały wykonane przez jedną osobę. Poszczególne elementy protokołu badania grubości mięśni wykorzystywano we wcześniejszych publikacjach (Csapo, Alegre and Baron, 2011; Kilgas *et al.*, 2019).



Rycina 9. A - Badanie grubości mięśni, B – Oznaczenie punktów orientacyjnych i pomiarowych na skórze: a - kołec biodrowy przedni górny, b – podstawa rzepki, c – 50% długości uda w rzucie mięśnia prostego uda, d – 50% długości uda w rzucie mięśnia obszernego bocznego (materiał własny).

5.8.2. Pomiar obwodu uda

Pomiar obwodu uda jest szeroko stosowaną metodą oceny efektywności ingerencji treningowych w warunkach klinicznych. W badaniu Bakar i wsp. (Bakar et al., 2017) ocenie poddano rzetelność pomiarów obwodu kończyny dolnej za pomocą taśmy centymetrowej. Wyniki wykazały dobrą do wysokiej powtarzalność dla pomiarów wykonanych przez jednego badacza (ICC 0,65 – 0,99), oraz wysoką powtarzalność pomiarów pomiędzy badaczami (ICC 0,92 – 0,99). Jednocześnie autorzy zwracają uwagę na konieczność standaryzacji wykonania pomiaru celem osiągnięcia wysokiej powtarzalności (Bakar et al., 2017).

Pomiar obwodu uda wykonywano bezpośrednio po pomiarze ultrasonograficznym. W trakcie pomiaru obwodu uda osoby badane znajdowały się w pozycji leżenia tyłem, pod dołami podkolanowymi umieszczano wałek o średnicy 10 cm. Przed przystąpieniem do pomiaru na skórze osoby badanej zaznaczano markerem miejsce pomiaru znajdujące się w odległości 7 cm od podstawy rzepki osoby badanej (Ryc. 10). Wykonywano 5 pomiarów przy użyciu taśmy centymetrowej, najwyższą oraz najniższą z uzyskanych

wartości wykluczano, do analizy wzięto pod uwagę średnią z pozostałych trzech pomiarów. Wszystkie pomiary zostały wykonane przez jedną osobę.



Rycina 10. A - Pomiar obwodu uda, B - Oznaczenie punktów orientacyjnych i pomiarowych na skórze: a – podstawa rzepki, b – 7 cm ponad podstawą rzepki – miejsce pomiaru obwodu uda (materiał własny).

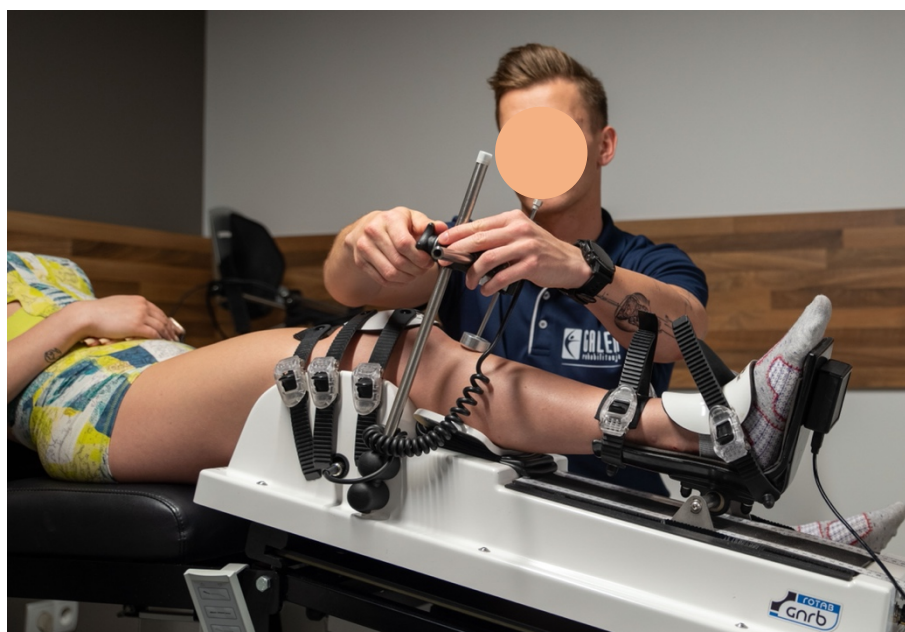
5.8.3. Badanie stabilności przedniej stawu kolanowego

Artrometr jest obiektywnym narzędziem diagnostycznym, które służy do ilościowej oceny stabilności przedniej stawu kolanowego. W trakcie badania dochodzi do przesunięcia podudzia ku przodowi, względem ustabilizowanego uda. Porównanie wartości przesunięcia podudzia względem uda w obu kończynach dolnych umożliwia diagnozę niestabilności przedniej stawu kolanowego (Jenny *et al.*, 2017). Artrometr GNRB mierzy przednią translację kości piszczelowej w ustawieniu stawu kolanowego pod kątem 20 stopni zgięcia, co odtwarza pozycję wykonania testu Lachmana, jednocześnie kontrolując siłę stabilizacji uda. Badania Magdica i wsp. wykazały dobrą wiarygodność wewnątrz oceniającego dla pomiarów wykonanych z siłą 134 N i 200 N (ICC 0,76 – 0,85). Autorzy zwracają uwagę na standaryzację protokołu pomiarowego, wykonywanie pomiarów zgodnie z instrukcją w celu osiągnięcia wysokiej wiarygodności badania (Magdic *et al.*, 2023).

Badania stabilności przedniej stawów kolanowych wykonywano przy użyciu artrometru GNRB firmy Genorub. Protokół badania był zgodny z instrukcją dołączoną

do urządzenia oraz wskazaniemi zawartymi w publikacji Colette i wsp. (Collette *et al.*, 2012).

Przed rozpoczęciem pomiarów informowano osobę badaną o ich planowanym przebiegu. Na skórze osoby badanej zaznaczano najwyższy punkt guzowatości kości piszczelowych obu kończyn dolnych. Badanie każdorazowo rozpoczynano od kończyny nieoperowanej. W trakcie badania osoba badana znajdowała się w pozycji pólleżącej z badaną kończyną dolną umieszczoną w artrometrze, tak, aby szpara stawu kolanowego znajdowała się pomiędzy elementem stabilizującym udo, a elementem podpierającym podudzie. Następnie stabilizowano stopę i dystalną część podudzia oraz udo, wierzchołek rzepki znajdował się w wyznaczonym miejscu elementu stabilizującego rzepkę. Element ten, w trakcie badania wywiera nacisk na rzepkę siłą od 40 do 60 N. Po ustabilizowaniu kończyny, zapisywano odległość określającą lokalizację pięty na miarce umieszczonej na artrometrze. Następnie ustawiano czujnik artrometru na wcześniej zaznaczonej guzowatości kości piszczelowej (Ryc. 11). Po wprowadzeniu pozostałych danych do komputera, informowano osobę badaną o konieczności rozluźnienia mięśni, po czym rozpoczynano badanie. W trakcie badania element podpierający podudzie przesuwają się ku przodowi osiągając określoną siłę 134 N, względem ustabilizowanej rzepki, jednocześnie czujnik zbiera pomiar o ilości przesunięcia podudzia. Każdorazowo wykonywano dwa pomiary – próbny i właściwy. Po wykonaniu pomiarów procedurę powtarzano na operowanej kończynie dolnej.



Rycina 11. Badanie artrometryczne – ustawienie badanej kończyny (materiał własny).

5.8.4. Badanie izokinetyczne

Dynamometria izokinetyczna to istotna metoda pomiaru siły mięśniowej, która jest używana jako standard odniesienia dla innych metod pomiarowych (Stark *et al.*, 2011). Dynamometr pozwala na ocenę funkcji mięśni przy akomodacyjnym oporze stałej prędkości kątowej, co umożliwia generowanie maksymalnej siły w określonym zakresie ruchu. Badania zostały przeprowadzone na dynamometrze HUMAC NORM.

Badania Habetsa i wsp. wykazały dobrą do doskonałej wiarygodność wewnątrz ocenianego biorąc pod uwagę pomiar maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego (ICC 0,74 – 0,89) badanego na dynamometrze HUMAC NORM (Habets *et al.*, 2020). Błąd pomiarowy badania maksymalnego momentu siły badanego za pomocą dynamometru HUMAC NORM zgodnie z informacją producenta wynosi $\pm 3,4\text{Nm}$ (<https://humacnorm.com/wp-content/uploads/2024/11/300004N-409-HUMAC-NORM-User-Guide.pdf>).

Każde badanie poprzedzane było instruktażem, rozgrzewką oraz kalibracją urządzenia.

Protokół rozgrzewki:

- jazda na rowerze stacjonarnym – 5 minut; intensywność 100 - 150 WAT;
- stretching dynamiczny kończyn dolnych – 5 minut;
- głębokie przysiady 2 x 10 powtórzeń, wykroki w miejscu 2 x 10 powtórzeń.

Po wykonaniu rozgrzewki następowało przygotowanie do badania. Pacjent siedział w fotelu z głową i plecami opartymi o oparcie, stawami biodrowymi oraz kolanowymi zgiętymi pod kątem 90 stopni. Kończyny górne ustawione były wzdłuż tułowia, ręce trzymały specjalne uchwyty znajdujące się na bocznych częściach fotela. Osoba badana była stabilizowana w fotelu za pomocą pasów piersiowych oraz biodrowego, udo badanej kończyny dolnej również stabilizowano pasem. Fotel oraz dynamometr ustawiano tak, aby oś obrotu dynamometru pokrywała się z osią obrotu stawu kolanowego, przebiegającą przez kłykcie kości udowej. Zakres ruchu stawu kolanowego w trakcie badania ustawiano na zakres 0 do 90 stopni zgięcia (Ryc. 12). Po odpowiednim ustawieniu fotela oraz dynamometru rozpoczynano badanie, które obejmowało wykonanie 3 testów, przed każdym z testów wykonywano 1 powtórzenie próbne w celu zapoznania się z prędkością kątową działania dynamometru.



Rycina 12. Badanie izokinetyczne. A – ustawienie osoby badanej w fotelu, B – ustawienie badanej kończyny dolnej (materiał własny).

5.8.5. Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej IPAQ

Uczestnicy badania dwukrotnie odpowiadali na pytania zawarte w Międzynarodowym Kwestionariuszu Aktywności Fizycznej IPAQ – wersji krótkiej, każdorazowo odnosząc się do 7 dni poprzedzających datę wypełnienia kwestionariusza. Kwestionariusz zawiera 7 pytań dotyczących wszystkich rodzajów aktywności fizycznej, związanych z życiem codziennym, pracą zawodową oraz wypoczynkiem. Osoby badane określały, ile czasu spędzały siedząc, chodząc oraz uprawiając aktywność sportową z różną intensywnością, raportowano czas aktywności, która wynosiła minimum 10 minut bez przerwy (Biernat E. et al. 2007).

Przegląd literatury z 2011 roku wskazuje, że korelacja pomiędzy skróconą wersją kwestionariusza IPAQ, a obiektywnymi pomiarami aktywności fizycznej w znacznej większości prac jest poniżej akceptowalnej, a ilość aktywności fizycznej podawana

w kwestionariuszu może być przeszacowana średnio o 84 %. W związku z tym używanie kwestionariusza jako wskaźnika względnej lub bezwzględnej aktywności fizycznej nie jest wskazane. W niniejszej pracy pod uwagę wzięto wyłącznie różnicę w raportowanej ilości podejmowanej aktywności fizycznej przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu mezocyklu treningowego, a nie jej bezwzględną wartość (Lee et al., 2011).

5.8.6. Kwestionariusz International Knee Documentation Committee

Funkcja stawu kolanowego raportowana przez pacjentów jest istotną częścią badania zarówno w warunkach klinicznych, jak i w kontekście eksperymentu badawczego, dlatego w niniejszym badaniu zdecydowano się na włączenie 2 kwestionariuszy subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego.

Subiektywny Kwestionariusz oceny stawu kolanowego Knee Documentation Committee został utworzony przez ekspertów z American Orthopedic Society for Sports Medicine (AOSSM) oraz European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy (ESSKA). Kwestionariusz składa się z trzech części dotyczących odczuwanych dolegliwości, funkcji stawu kolanowego w trakcie czynności życia codziennego oraz aktywności sportowej. Pierwsza grupa pytań dotyczy objawów związanych z odczuwaniem: dolegliwości bólowych, sztywności, obrzęku, blokowania się stawu, niestabilności stawu. Kolejne punkty kwestionariusza dotyczą możliwości wykonania poszczególnych aktywności sportowych oraz życia codziennego. Odpowiedzi na pytania udziela się w formie punktowej lub wybierając jedną z podanych odpowiedzi, która najlepiej określa odczuwane dolegliwości i możliwości stawu. Każda odpowiedź w kwestionariuszu ma przypisaną odpowiednią wartość punktową, ostateczny wynik to suma punktów przypisanych dla udzielonych odpowiedzi. Maksymalna liczba punktów, którą można uzyskać to 100, przy czym wyższy wynik świadczy o lepszej funkcji stawu kolanowego i mniejszych dolegliwościach (Higgins *et al.*, 2007).

Kwestionariusz IKDC obejmuje pytania o czynności istotne z perspektywy pacjenta, dodatkowo wykazuje odpowiednią spójność wewnętrzną i dobrze odzwierciedla zmiany w grupach pacjentów po przebytych interwencjach chirurgicznych stawu kolanowego. Minimalną klinicznie istotną różnicę w wynikach, w terminie 6 do 28 miesięcy po zabiegu określa się na 11,5 do 20,5. Wiarygodność test – retest kwestionariusza IKDC jest właściwa dla grup pacjentów z urazami stawu kolanowego. Minimalna wykrywalna zmiana w wyniku testu to między 8,8 a 15,6 punktów, natomiast błąd standardowy

pomiaru wynosi między 3,2 a 5,6 punktów. Biorąc pod uwagę mnogość pytań kwestionariusza, pojawiają się doniesienia o możliwości pominięcia odpowiedzi przez uczestników badania na część pytań (co weryfikowano w badaniu własnym), nie obserwuje się efektu podłogi oraz efektu sufitu (Collins et al., 2011).

5.8.7. Kwestionariusz Lysholma

Skala oceny stawu kolanowego wg Lysholma to formularz zbudowany z 8 kategorii dotyczących dolegliwości i funkcji stawu kolanowego, w tym: utykanie, obciążenie kończyny, blokowanie się stawu kolanowego, niestabilność, ból, obrzęk, chodzenie po schodach, przysiady. Biorąc pod uwagę rodzaje kategorii, kwestionariusz dedykowany jest dla pacjentów po przebytych zabiegach chirurgicznych stawu kolanowego, w tym rekonstrukcji ACL. Do każdej z odpowiedzi przyporządkowane są wartości liczbowe, maksymalna liczba punktów, którą można uzyskać to 100, wyższy wynik oznacza lepszą funkcję stawu kolanowego. Wiarygodność test – retest kwestionariusza Lysholm jest odpowiednia w przypadku użycia w grupach pacjentów z określonym urazem stawu kolanowego i spada w grupach pacjentów obejmujących większą liczbę dysfunkcji stawu kolanowego. Minimalna wykrywalna zmiana to wartość od 8,9 do 10,1 punktów, natomiast standardowy błąd pomiaru dla urazów stawu kolanowego to 3,2 do 3,6 punktów (Collins *et al.*, 2011, Matla *et al.*, 2017) .

5.9. Mezocykl treningowy

Mezocykl treningowy obejmował 18 jednostek treningowych realizowanych w czasie 6 tygodni (3 jednostki tygodniowo). Jednostka treningowa składała się z 3 ćwiczeń: przysiadu w wykroku z operowaną kończyną ustawioną z przodu, wejścia na stopień bokiem oraz prostowania stawu kolanowego siedząc. Obciążenie zewnętrzne w każdym z ćwiczeń wynosiło 30% 1 RM. Osoby badane wykonywały 4 serie każdego z ćwiczeń, w pierwszej serii 30 powtórzeń, w trzech kolejnych seriach po 15 powtórzeń danego ruchu. Przerwy wypoczynkowe pomiędzy seriami wynosiły 30 – 60 sekund, natomiast pomiędzy ćwiczeniami 5 do 10 minut.

Przed rozpoczęciem każdej jednostki treningowej dokonywano pomiaru AOP, po czym na jego podstawie ustalano ciśnienie, do którego pompowano mankiety u uczestników w grupie badanej. W grupie kontrolnej po pomiarze AOP mankiety pompowano do stałej wartości 10mmHg. Przed wykonaniem pierwszego ćwiczenia

uczestnicy projektu zakładali mankiet ciśnieniowy na udo i napełniali go do uzyskania ustalonej wartości ciśnienia, mankiet pozostawał na udzie zarówno w trakcie wykonywania ćwiczenia, jak i przerw wypoczynkowych, zdejmowany był po zakończeniu ćwiczenia. Przed rozpoczęciem kolejnego ćwiczenia ponownie zakładano mankiet i napełniano go powietrzem do uzyskania ustalonego ciśnienia, po czym ponownie zdejmowano go po wykonaniu 4 serii. Procedurę powtarzano w trakcie wykonywania trzeciego ćwiczenia.

Schemat treningu był identyczny dla obu grup, zmienną stanowiło ciśnienie mankieta. Uczestnicy w grupie badanej napełniali mankiet, aby uzyskać odpowiednio 40%, 50%, 60% AOP. Wartość ciśnienia mankieta zmieniano co 2 tygodnie, rozpoczynając od ciśnienia wynoszącego 40% AOP w pierwszych 2 tygodniach treningu, 50% w 3 i 4 tygodniu mezcycłu oraz 60% AOP w ostatnich 2 tygodniach. Uczestnicy z grupy kontrolnej stosowali stałą wartość ciśnienia, która wynosiła 10mmHg.

Tabela 4. Schemat jednostki treningowej.

Nazwa ćwiczenia	Seria I (n. powt)	Przerwa [s]	Seria II (n. powt)	Przerwa [s]	Seria III (n. powt)	Przerwa [s]	Seria IV (n. powt)
Założenie mankieta							
Przysiad w wykroku	30	30 – 60	15	30 – 60	15	30 – 60	15
Przerwa 5 – 10 minut – zdjęcie mankieta							
Założenie mankieta							
Wejście na stopień	30	30 – 60	15	30 – 60	15	30 – 60	15
Przerwa 5 – 10 minut – zdjęcie mankieta							
Założenie mankieta							
Prostowanie kolana siedząc	30	30 – 60	15	30 – 60	15	30 – 60	15

n powt. – liczba powtórzeń

5.10. Analiza statystyczna

W dysertacji doktorskiej ocenom poddano zmienne o charakterze ilościowym (skala ilorazowa) i jakościowym (skala rangowa). Analiza takich danych jest specyficzna i polega na zastosowaniu do porównań adekwatnych narzędzi statystycznych. W celu scharakteryzowania struktury badanych zmiennych obliczono podstawowe statystyki opisowe w postaci miar położenia (średnia arytmetyczna, mediana) i zmienności (odchylnie standardowe). Normalność rozkładów analizowanych zmiennych zweryfikowano przy pomocy testu Shapiro - Wilka. Do weryfikacji jednorodności wariancji zastosowano test Levene'a. Obliczono również 95% przedziały ufności dla wartości średniej. Do weryfikacji istotności różnic zastosowano analizę

wariancji z powtarzanymi pomiarami (Babbie, 2003). Weryfikacji poddano również założenia o sferyczności, przy pomocy testu Mauchly'a, gdy założenie było niespełnione stosowano poprawkę Greenhouse'a - Geissera. W przypadku wystąpienia istotnych statystycznie różnic w analizie wariancji do weryfikacji, pomiędzy którymi grupami wystąpiły istotne różnice, zastosowano testy wielokrotnych porównań post-hoc Bonferroniego. Siłę efektu dla interakcji obliczono przy pomocy współczynnika η^2 . Siła efektu była klasyfikowana jako słaba, gdy η^2 należała do przedziału 0,01-0,059; przeciętna 0,06-0,137 oraz duża $>0,137$ (Prajzner, 2022). W przypadku zmiennych w skali rangowej lub zmiennych, które nie miały rozkładu normalnego do weryfikacji istotności różnic zastosowano nieparametryczny test U Manna - Whitneya. Analiza mocy a priori została przeprowadzona przy użyciu G*Power 3.1 (Faul i in., 2009) w celu określenia wymaganej wielkości próby dla powtarzanych pomiarów ANOVA w grupach i pomiędzy grupami. Na podstawie założonej średniej wielkości efektu ($f = 0,35$), poziomu alfa 0,05 i pożądanej mocy statystycznej 0,95, analiza wskazała, że konieczny będzie minimalny całkowity rozmiar próby 20 uczestników. Jako korelację między powtarzanymi pomiarami przyjęto wartość 0,7 i korektę niesferyczności (ϵ) ustawioną na 1. Obliczona rzeczywista moc dla projektu wyniosła 0,968. ICC dla badania artrometrycznego, pomiarów grubości mięśni, pomiarów obwodów kończyn mieściło się w zakresie 0,92 – 0,97. Wszystkie analizy wykonano przy pomocy pakietu Statistica 13.1. Dla wszystkich analiz przyjęto poziom istotności równy 0,05.

6. Wyniki badań

Analizę wyników rozpoczęto od obliczenia podstawowych statystyk opisowych dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę (Tab.5).

Tabela 5. Podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę.

Zmienne	Grupa							
	Badana				Kontrolna			
	M	SD	-95% CI	+95% CI	M	SD	-95% CI	+95% CI
Artrometria 134N Różnica [mm] - przed	1,03	1,83	-0,28	2,34	1,73	2,40	0,015	3,44
Artrometria 134N Różnica [mm] - po	1,26	1,61	0,11	2,41	1,71	2,40	-0,004	3,42
Kończyna obwód - Różnica [cm] - przed	1,53	0,83	0,94	2,12	0,65	0,78	0,090	1,21
Kończyna obwód - Różnica [cm] - po	1,08	1,01	0,36	1,80	0,60	0,84	-0,003	1,20
Mięsień prosty uda - Różnica [cm] - przed	-0,040	0,24	-0,21	0,13	0,21	0,40	-0,075	0,50
Mięsień prosty uda - Różnica [cm] - po	-0,12	0,24	-0,28	0,054	0,15	0,21	-0,004	0,30
Mięsień obszerny boczny - Różnica [cm] - przed	0,13	0,45	-0,19	0,46	0,12	0,30	-0,095	0,33
Mięsień obszerny boczny - Różnica [cm] - po	-0,021	0,21	-0,17	0,13	0,19	0,29	-0,019	0,40
Deficyt Peak Torque 60°/s - EX – przed [Nm]	37,80	31,52	15,25	60,35	34,50	31,25	12,15	56,85
Deficyt Peak Torque 60°/s - EX – po [Nm]	9,40	14,25	-0,79	19,59	19,20	29,00	-1,55	39,95
Deficyt Peak Torque 60°/s - EX – przed [%]	21,50	16,67	9,58	33,42	17,11	13,37	6,83	27,39
Deficyt Peak Torque 60°/s - EX – po [%]	8,10	6,37	3,54	12,66	10,00	13,50	-0,38	20,38
Deficyt Peak Torque 60°/s - FLEX – przed [Nm]	24,40	16,50	12,60	36,20	14,50	31,84	-8,28	37,28
Deficyt Peak Torque 60°/s - FLEX – po [Nm]	15,40	10,86	7,63	23,17	16,50	19,44	2,59	30,41
Deficyt Peak Torque 60°/s - FLEX – przed [%]	17,80	13,27	8,30	27,30	13,70	12,89	4,48	22,92
Deficyt Peak Torque 60°/s - FLEX – po [%]	12,10	7,39	6,82	17,38	13,10	10,07	5,90	20,30

M – średnia arytmetyczna, SD – odchylenie standardowe. 95% CI – przedział ufności dla wartości średniej

Weryfikacja normalności rozkładów analizowanych zmiennych nie dała podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o normalności rozkładów analizowanych zmiennych. Weryfikacji poddano również jednorodność wariancji przy pomocy testu Levene’a i również nie stwierdzono podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji analizowanych zmiennych $p > 0,05$. Z tego względu w dalszych analizach

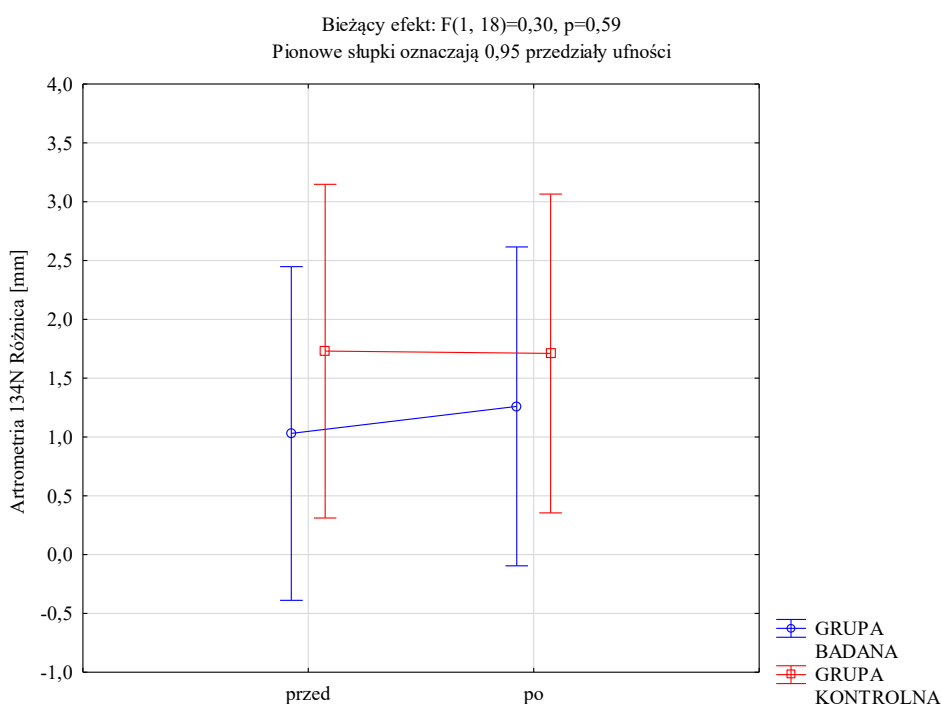
do weryfikacji istotności różnic zastosowano parametryczną analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami.

Tabela 6. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej artrometria 134N różnica [mm].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,40	0,53	0,022
Przed-po	0,21	0,65	0,011
Przed-po*grupa	0,30	0,59	0,016

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Analiza wyników zawartych w tabeli 6 nie pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennej artrometria 134N różnica [mm] zarówno w przypadku efektów głównych Przed-po $F=0,21$; $p=0,65$; $\eta^2=0,011$ jak i dla efektu grupa $F=0,40$; $p=0,53$; $\eta^2=0,022$. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=0,30$; $p=0,59$; $\eta^2=0,016$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



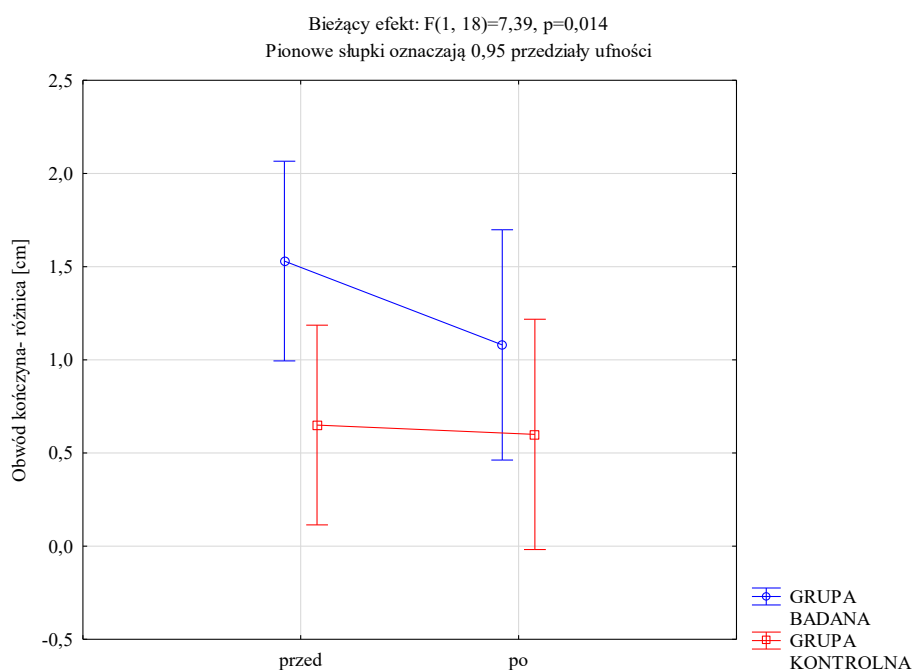
Rycina 13. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej artrometria 134N różnica [mm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Analogicznie analizy przeprowadzono dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm].
Tabela 7. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm] .

Efekt	F	p	η^2
Grupa	3,16	0,092	0,15
Przed-po	11,54	0,0032	0,39
Przed-po*grupa	7,39	0,014	0,29

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Analiza wyników zawartych w tabeli 7 pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic zmiennej obwód kończyny – różnica [cm] tylko w przypadku efektu głównego Przed-po $F=11,54$; $p=0,0032$; $\eta^2= 0,39$ oraz dla interakcji Przed-po*grupa $F=7,39$; $p=0,014$; $\eta^2= 0,29$. Aby stwierdzić pomiędzy którymi grupami wystąpiły istotne różnice w dalszych analizach zastosowano testy wielokrotnych porównań post-hoc Bonferroni. Istotne różnice stwierdzono tylko w przypadku grupy badanej, pomiędzy wynikami dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm] przed a po eksperymencie $p=0,002$ (istotnie statystycznie zmniejszyła się różnica w obwodach kończyn w grupie badanej). Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wynikami przed i po eksperymencie dla różnicy w obwodzie kończyn w grupie kontrolnej $p=0,99$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 14. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

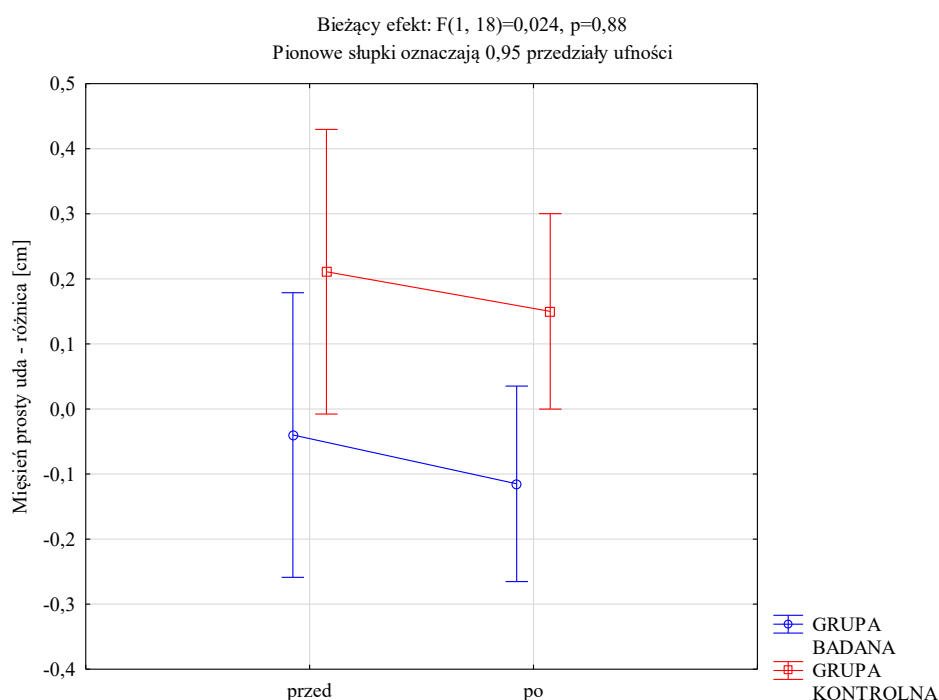
Analogicznie analizy przeprowadzono dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm].

Tabela 8. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	3,81	0,064	0,15
Przed-po	2,33	0,14	0,11
Przed-po*grupa	0,024	0,88	0,0014

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Analiza wyników zawartych w tabeli 8 nie pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm] zarówno w przypadku efektów głównych Przed-po $F=2,33$; $p=0,14$; $\eta^2=0,11$ jak i dla efektu grupa $F=3,81$; $p=0,064$; $\eta^2=0,015$. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=0,024$; $p=0,88$; $\eta^2=0,0014$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 15. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

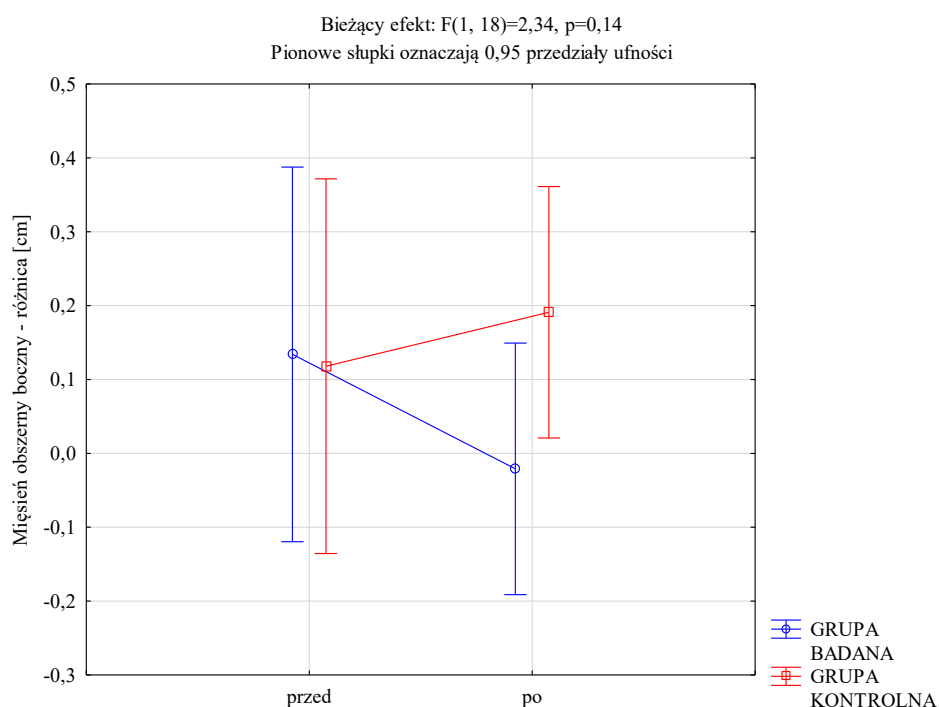
Analogicznie analizy przeprowadzono dla zmiennej mięsień obszerny boczny – różnica [cm].

Tabela 9. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej mięsień obszerny boczny – różnica [cm].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,62	0,44	0,033
Przed-po	0,30	0,59	0,017
Przed-po*grupa	2,34	0,14	0,12

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Wyniki zawarte w tabeli 9 nie pozwoliły na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennej mięsień obszerny boczny – różnica [cm] zarówno w przypadku efektów głównych Przed-po $F=0,30$; $p=0,59$; $\eta^2=0,033$ jak i dla efektu grupa $F=0,62$; $p=0,44$; $\eta^2=0,033$. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=2,34$; $p=0,14$; $\eta^2=0,12$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 16. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej mięsień obszerny boczny – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

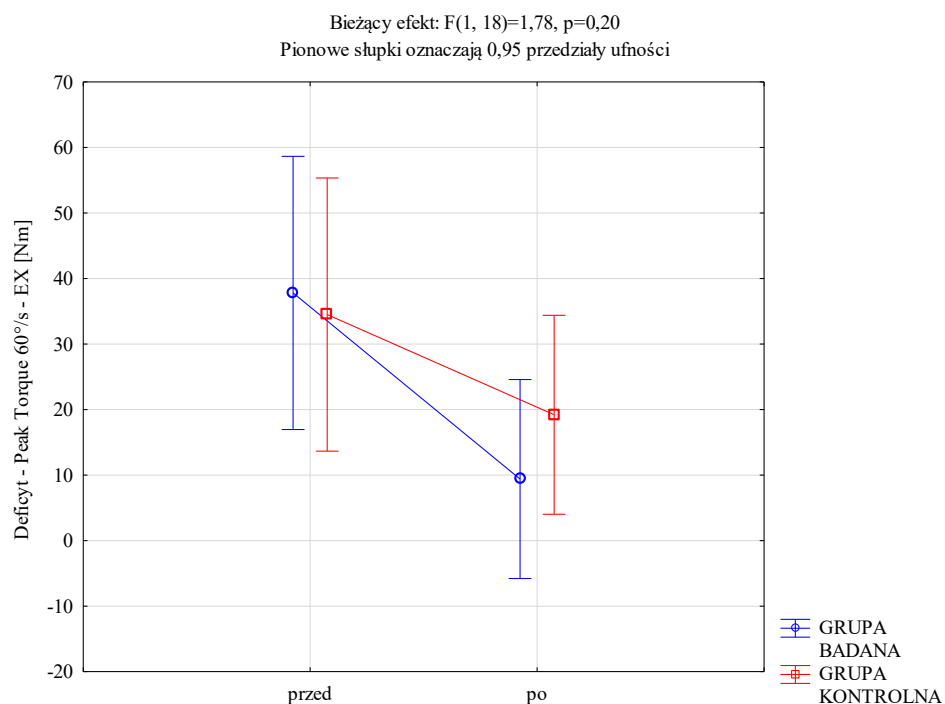
Kolejne analizy przeprowadzono dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s – EX [Nm].

Tabela 10. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [Nm].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,08	0,7760	0,0046
Przed-po	19,80	0,0003	0,52
Przed-po*grupa	1,78	0,1989	0,090

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Analiza wyników zawartych w tabeli 10 pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic dla Deficytu siły mięśniowej Peak Torque 60°/s - EX [Nm] tylko w przypadku efektu głównego Przed-po $F=19,80$; $p=0,0003$; $\eta^2=0,52$. Stwierdzono, że bez względu na grupę były istotne statystycznie różnice pomiędzy wynikami przed i po eksperymencie. Po eksperymencie stwierdzono istotnie statystycznie niższy deficyt siły mięśniowej pomiędzy operowaną, a nieoperowaną kończyną. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=1,78$; $p=0,20$; $\eta^2=0,090$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 17. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [Nm] ze względu na czas badania oraz grupę.

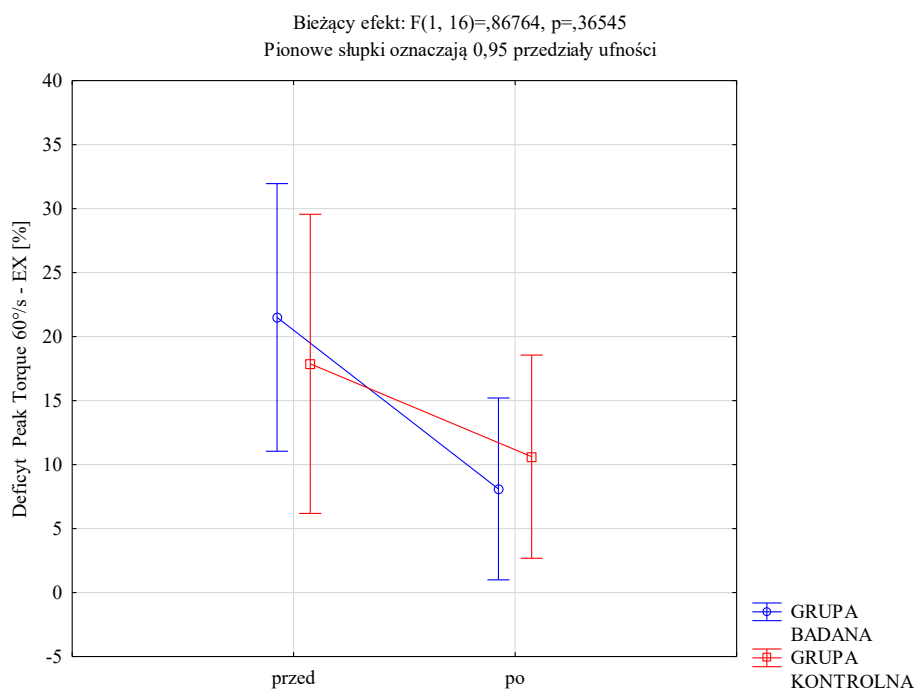
Takie same analizy przeprowadzono dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s – EX [%].

Tabela 11. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [%].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,01	0,92	0,001
Przed-po	9,78	0,006	0,38
Przed-po*grupa	0,87	0,37	0,051

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Analiza wyników zawartych w tabeli 11 pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic dla Deficytu siły mięśniowej Peak Torque 60°/s - EX [%] tylko w przypadku efektu głównego Przed-po $F=9,78$; $p=0,006$; $\eta^2= 0,38$. Stwierdzono, że bez względu na grupę były istotne statystycznie różnice pomiędzy wynikami przed i po eksperymencie. Po eksperymencie stwierdzono istotnie statystycznie niższy deficyt siły mięśniowej pomiędzy operowaną a nieoperowaną kończyną. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=0,87$; $p=0,37$; $\eta^2= 0,051$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 18. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [%] ze względu na czas badania oraz grupę.

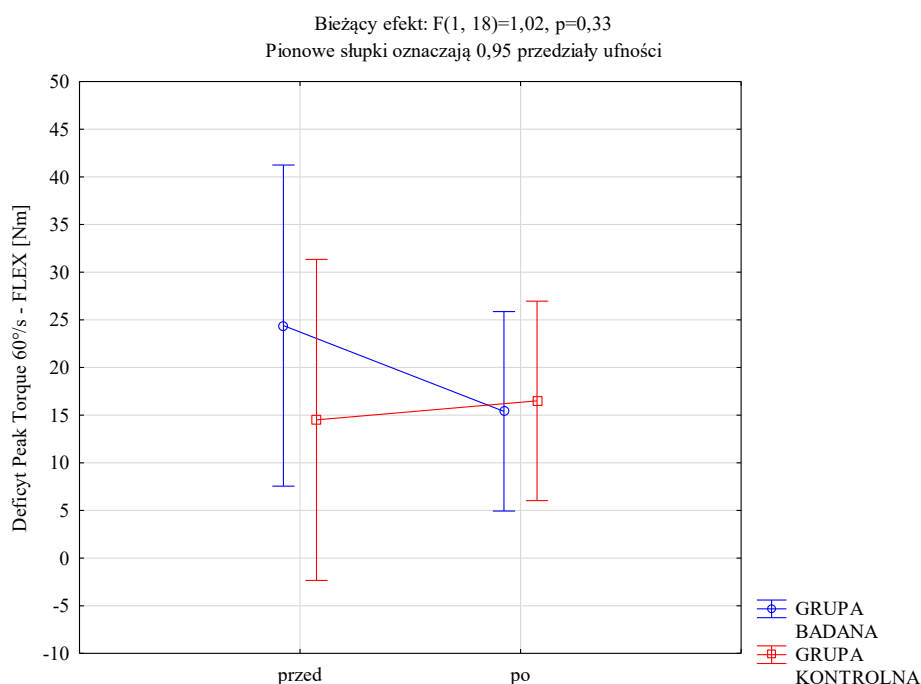
Kolejne analizy przeprowadzono dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm].

Tabela 12. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,33	0,58	0,018
Przed-po	0,41	0,53	0,022
Przed-po*grupa	1,02	0,33	0,054

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Wyniki zawarte w tabeli 12 nie pozwoliły na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm] zarówno w przypadku efektów głównych Przed-po $F=0,41$; $p=0,53$; $\eta^2=0,022$ jak i dla efektu grupa $F=0,33$; $p=0,53$; $\eta^2=0,018$. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=1,02$; $p=0,33$; $\eta^2=0,054$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 19. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm] ze względu na czas badania oraz grupę.

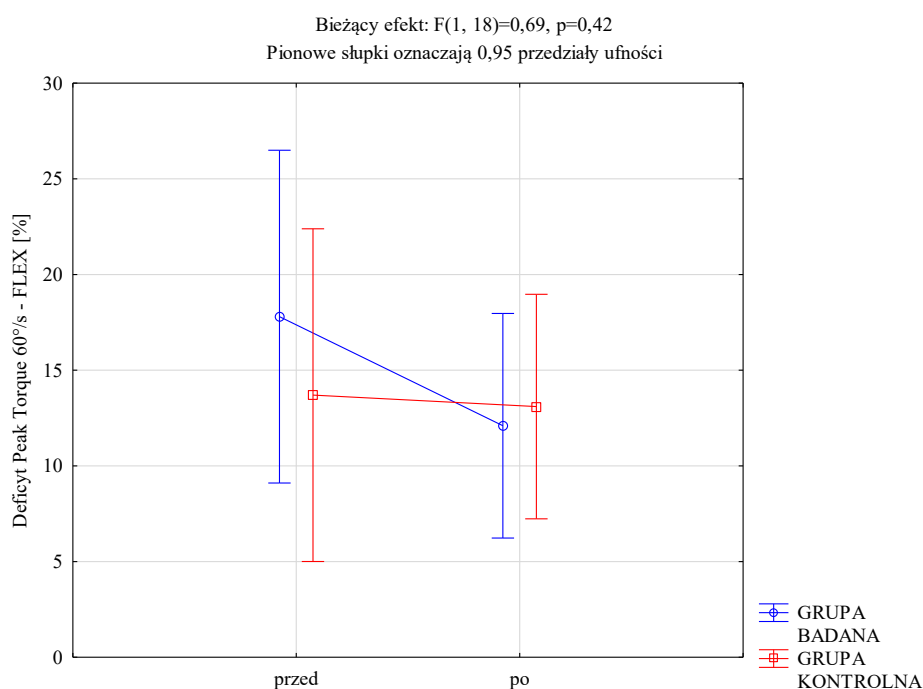
Kolejne analizy przeprowadzono dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%].

Tabela 13. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%].

Efekt	F	p	η^2
Grupa	0,16	0,70	0,009
Przed-po	1,05	0,32	0,055
Przed-po*grupa	0,69	0,42	0,037

F- wyniki testu F, p – prawdopodobieństwo testowe, η^2 – siła efektu eta-kwadrat cząstkowe

Wyniki zawarte w tabeli 13 nie pozwoliły na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%] zarówno w przypadku efektów głównych Przed-po $F=1,05$; $p=0,32$; $\eta^2=0,055$ jak i dla efektu grupa $F=0,16$; $p=0,70$; $\eta^2=0,009$. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla interakcji przed-po*grupa $F=0,69$; $p=0,42$; $\eta^2=0,037$. Wyniki te potwierdza również poniższa rycina.



Rycina 20. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%] ze względu na czas badania oraz grupę.

W kolejnych analizach przedstawiono w tabeli 14 podstawowe statystyki dla delt analizowanych zmiennych, czyli różnic pomiędzy wynikami po i przed eksperymentem.

Tabela 14. Podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę badana/kontrolna.

Zmienne	Grupa							
	Badana				Kontrolna			
	M	SD	-95% CI	+95% CI	M	SD	-95% CI	+95% CI
$\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s – EX [Nm]	24,90	19,15	11,20	38,60	3,20	19,14	-10,49	16,89
$\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s – FLEX [Nm]	14,00	10,99	6,13	21,87	-3,30	26,03	-21,92	15,32
$\Delta_{po-przed}$ Intensywny wysiłek MET [min/tydz]	8,00	109,12	-70,06	86,06	-2,50	23,00	-18,96	13,96
$\Delta_{po-przed}$ Umiarkowany wysiłek MET [min/tydz]- przed	46,50	136,10	-50,86	143,86	36,50	90,86	-28,50	101,50
$\Delta_{po-przed}$ Chodzenie MET [min/tydz]- przed	-9,50	394,30	-291,56	272,56	16,50	36,37	-9,51	42,51
$\Delta_{po-przed}$ Pozycja siedząca MET [min/tydz]- przed	-51,00	229,37	-215,08	113,08	0,00	0,00	-	-
$\Delta_{po-przed}$ Lysholm [pkt]	6,10	6,69	1,31	10,89	3,00	3,89	0,22	5,78
$\Delta_{po-przed}$ IKDC [pkt]	5,20	7,52	-0,18	10,58	3,90	4,68	0,55	7,25

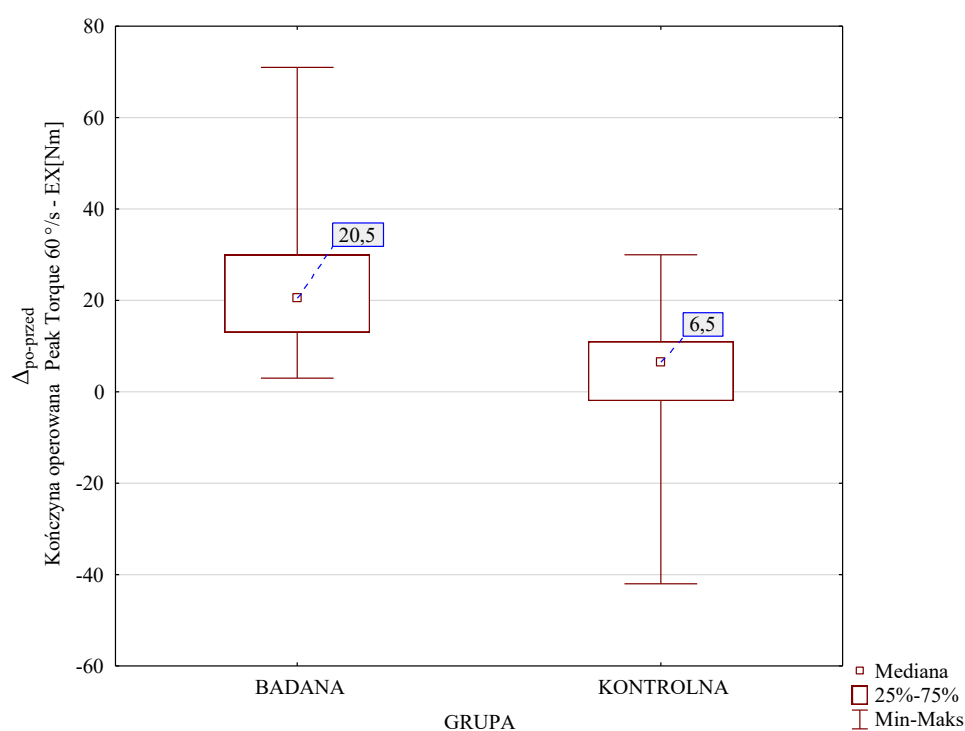
Ze względu na brak normalności rozkładów analizowanych zmiennych oraz skal rangowych w przypadku skal Lysholma i IKDC do analizy istotności różnic ze względu na grupę badana/kontrolna zastosowano nieparametryczny test U Manna - Whitneya.

Tabela 15. Test U Manna-Whitneya dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę

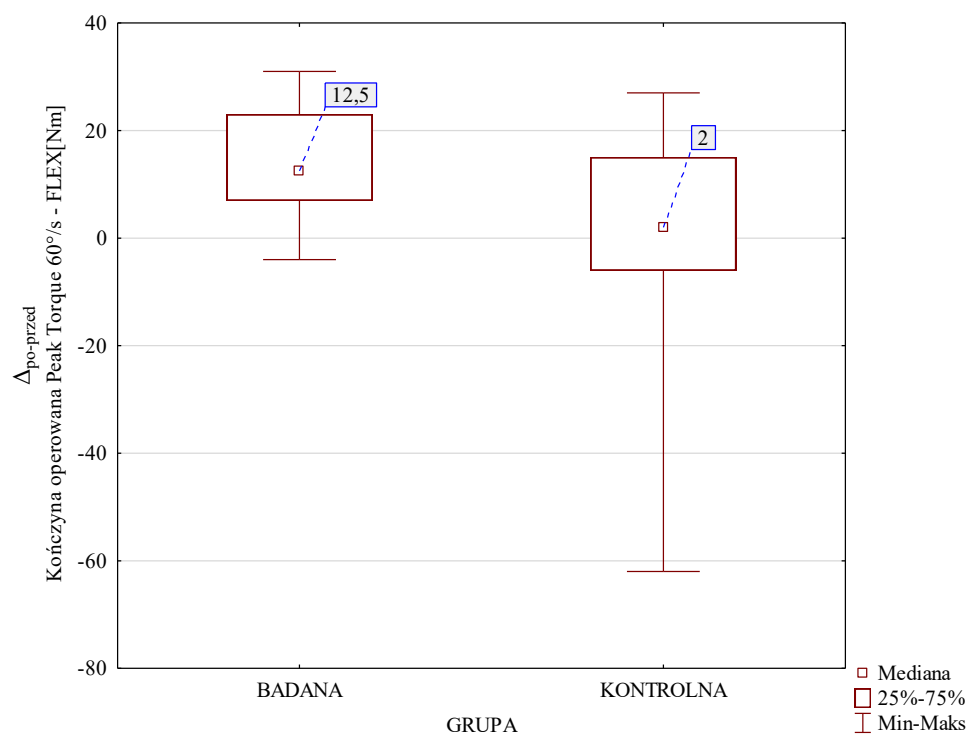
Zmienne	Sum.rang GB	Sum.rang GK	U	Z	p
$\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - EX[Nm]	138,50	71,50	16,50	2,49	0,013
$\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - FLEX[Nm]	130,50	79,50	24,50	1,89	0,059
$\Delta_{po-przed}$ intensywny wysiłek MET [min/tydz]	110,00	100,00	45,00	0,34	0,73
$\Delta_{po-przed}$ umiarkowany wysiłek MET [min/tydz]- przed	106,00	104,00	49,00	0,038	0,97
$\Delta_{po-przed}$ Chodzenie MET [min/tydz]- przed	95,00	115,00	40,00	-0,72	0,47
$\Delta_{po-przed}$ Pozycja siedząca MET [min/tydz]- przed	105,00	105,00	50,00	0,038	0,97
$\Delta_{po-przed}$ Lysholm [pkt]	127,00	83,00	28,00	1,63	0,10
$\Delta_{po-przed}$ IKDC [pkt]	112,00	98,00	43,00	0,49	0,62

U – wyniki testu U, Z – wynik testu Z, p – prawdopodobieństwo testowe

Analiza wyników pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic ze względu na grupę tylko w przypadku zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - EX[Nm] $Z=2,49$; $p=0,013$. Stwierdzono, że efekt eksperymentu był istotnie silniejszy w grupie badanej niż w kontrolnej. W grupie badanej nastąpił istotnie wyższy przyrost siły mięśniowej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - EX[Nm] niż w grupie kontrolnej, co potwierdza również poniższa rycina. W przypadku zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - FLEX[Nm] wyniki testu Z oraz prawdopodobieństwo testowe wynosiły $Z=1,89$; $p=0,059$ co może sugerować, że w przypadku większej próby badawczej w kolejnych badaniach być może również uda się udowodnić istotne różnice pomiędzy grupami badaną i kontrolną. W przypadku pozostałych zmiennych z kwestionariusza IPAQ oraz efektów dla skal Lysholm i IKDC nie stwierdzono istotnych różnic ze względu na grupę badana/kontrolna $p>0,05$.



Rycina 21. Porównanie wyników dla zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - EX[Nm] ze względu na grupę.



Rycina 22. Porównanie wyników dla zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - FLEX[Nm] ze względu na grupę.

7. Omówienie wyników i dyskusja

Trening z ograniczonym przepływem krwi stymuluje hipertrofię i wzrost poziomu siły mięśniowej szczególnie w grupach osób trenujących amatorsko, nawet gdy wykonywany jest z użyciem niskich obciążeń zewnętrznych (Abe, Kearns and Sato, 2006; Fujita *et al.*, 2008; Wilk *et al.*, 2018). Możliwość aplikacji BFRT do wielu rodzajów aktywności fizycznej oraz uzyskania zmian adaptacyjnych przy użyciu niskich obciążeń zewnętrznych powoduje, że znajduje on zastosowanie w populacjach klinicznych (Wilk *et al.*, 2018). Rekonstrukcja ACL jest jedną z najczęściej wykonywanych procedur zabiegowych stawu kolanowego, a powrót stawu do pełnej funkcji stanowi wyzwanie między innymi ze względu na znaczne osłabienie siły mięśniowej i atrofię mięśni uda, utrzymujące się nawet 12 miesięcy po zabiegu. Atrofia mięśnia czworogłowego powstała w konsekwencji ACLI i ACLR jest znacznie większa oraz utrzymuje się dłużej niż atrofia wywołana wyłącznie unieruchomieniem kończyny (Iversen, Røstad and Larmo, 2016). Deficyt siły mięśniowej i atrofia mogą wiązać się ze zwiększonym ryzykiem ponownego urazu, a długoterminowo z wcześniejszym wystąpieniem zmian zwyrodnieniowych (Gupta *et al.*, 2020). U osób po przebytym urazie z uszkodzeniem ACL ryzyko zmian zwyrodnieniowych wzrasta 6-cio krotnie w porównaniu do osób, które nie doznały ACLI (Telfer *et al.*, 2021). Powikłania po ACLR, zbyt wczesne zakończenie rehabilitacji po zabiegu, niewykonywanie profilaktycznego treningu po powrocie do aktywności sportowej mogą prowadzić do dolegliwości bólowych i zaburzeń funkcji stawu kolanowego po przebytej ACLR. Trening z ograniczonym przepływem krwi ma zastosowanie na wczesnych etapach rehabilitacji po ACLR, jednak efektywność jego wdrażania w okresie prehabilitacji, czy w formie treningu profilaktycznego oraz stosowanego długo po zabiegu ACLR wymaga dalszych badań (Wengle *et al.*, 2022). Dodatkowo mnogość metod BFRT, różnorodność badanych protokołów treningowych, czy często nieprecyzyjne opisywanie stosowanych procedur w badaniach naukowych sprawiają, że temat ten wymaga dalszych badań i systematyzacji, celem określenia optymalnych zasad programowania cykli i jednostek treningowych z wykorzystaniem BFR w populacjach klinicznych.

7.1. Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na maksymalny moment siły mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego

Analiza wyników przeprowadzonych badań własnych pozwala na potwierdzenie pierwszej hipotezy badawczej, zakładającej, że trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi prowadzi do wzrostu maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego. Proponowany w pracy własnej mezocykl treningowy trwał 6 tygodni i zawierał 3 jednostki treningowe tygodniowo (łącznie 18 jednostek treningowych), każda z jednostek obejmowała 3 ćwiczenia (przysiad w wykroku, wejście na stopień bokiem, prostowanie stawu kolanowego w pozycji siedzącej) wykonywane metodą ciągłą BFRT z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi w GB oraz terapii pozorowanej w GK. Ciśnienie mankieta okluzyjnego w GK wynosiło 10% AOP, natomiast w GB ciśnienie zwiększano co 2 tygodnie i wynosiło kolejno 40%, 50%, 60% AOP. Ćwiczenia wykonywano z zastosowaniem niskiej intensywności (30% 1RM).

Wyniki niniejszego projektu wykazały, że 6-cio tygodniowy mezocykl treningowy prowadzi do istotnych statystycznie różnic w zakresie parametrów deficyt Peak Torque $60^{\circ}/s$ - EX [Nm] ($p=0,0003$) oraz deficyt Peak Torque $60^{\circ}/s$ - EX [%] ($p=0,006$) badanych przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu cyklu treningowego, niezależnie od grupy osób badanych. Parametry te odpowiadają różnicy maksymalnych momentów sił generowanych przez mięśnie prostowniki stawu kolanowego po przebytej ACLR w stosunku do kończyny nieoperowanej. Nie stwierdzono istotności dla interakcji przed-po*grupa (kolejno $p=0,20$, $p=0,37$). Porównanie maksymalnych momentów sił generowanych przez mięsień czworogłowy przy prędkości kątowej $60^{\circ}/s$ ($\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque $60^{\circ}/s$ - EX[Nm]) przez uczestników GB i GK wykazało istotny statystycznie wzrost siły mięśni prostowników stawu kolanowego w przypadku zastosowania treningu z ograniczonym przepływem krwi ($p(GB;GK) = 0,013$) w porównaniu do grupy kontrolnej.

Dodatkowym parametrem, który został poddany badaniom jednocześnie z pomiarem poziomu siły mięśnia czworogłowego był poziom siły mięśni zginaczy stawu kolanowego. Analizy w zakresie parametrów deficyt - Peak Torque $60^{\circ}/s$ - FLEX [Nm] ($p=0,53$) oraz deficyt - Peak Torque $60^{\circ}/s$ - FLEX [%] nie wykazały istotnych różnic wyników uzyskanych przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu mezocyklu w obu grupach ($p=0,52$). Różnic nie stwierdzono również ze względu na grupę (kolejno $p=0,53$, $p=0,70$) oraz dla interakcji przed-po*grupa (kolejno $p=0,33$, $p=0,42$). Jednakże wśród

osób w grupie badanej zaobserwowano wyższy wzrost w obrębie wymienionych parametrów niż w grupie kontrolnej. Porównanie maksymalnych momentów sił generowanych przez mięśnie zginacze stawu kolanowego przy prędkości kątowej 60°/s ($\Delta_{\text{po-przed}}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - FLEX[Nm]) przez uczestników GB i GK również nie wykazało istotności statystycznej ($p(\text{GB}; \text{GK}) = 0,059$). Jednak wynik ten może sugerować, że w przypadku większej próby badawczej w kolejnych badaniach być może również uda się udowodnić istotne różnice w zakresie tego parametru pomiędzy grupami badaną i kontrolną.

Tendencja do zwiększenia poziomu siły mięśni zginaczy stawu kolanowego pomimo tego, że ćwiczenia znajdujące się w planie treningowym akcentowały pracę mięśnia czworogłowego jest interesującą obserwacją. Wyniki te mogą wynikać ze zjawiska synergii mięśniowej oraz konieczności koaktywacji mięśni kulszowo – goleniowych w trakcie wykonywania każdego z ćwiczeń, dodatkowo w przypadku ćwiczeń wykonywanych w pozycji stojącej aktywacja mięśni tylnej części uda jest konieczna do utrzymania pozycji wyjściowej i wykonania zadania ruchowego. Biorąc pod uwagę metodykę wykonania treningu z użyciem BFR, ograniczenie przepływu krwi dotyczy wszystkich mięśni ćwiczącej kończyny, dlatego też pomimo położenia akcentu na pracę mięśni prostowników stawu kolanowego, mięśnie zginacze również poddane były czynnikowi czasowego niedokrwienia wśród uczestników w grupie badanej. Być może połączenie powyższych czynników wpłynęło na progresję siły mięśni kulszowo – goleniowych u osób w GB.

Aktualne doniesienia naukowe dotyczące stosowania treningu z BFR u pacjentów po ACLR opierają się o różne protokoły treningowe i rehabilitacyjne oraz badają populację osób po przebytym zabiegu rekonstrukcji ACL na różnych etapach rehabilitacji, jednak zdecydowana większość skupia się na badaniu parametrów siły mięśnia czworogłowego, a nie mięśni kulszowo - goleniowych (Wengle *et al.*, 2022).

Badanie przeprowadzone przez Kilgasa i wsp. koresponduje z badaniem własnym biorąc pod uwagę charakterystykę osób badanych, ponieważ obejmuje pacjentów długo (minimum 2 lata) po przebytej ACLR, którzy prezentują deficyty hipertrofii i poziomu siły mięśnia czworogłowego operowanej kończyny. Wyniki przywołanych badań również wykazały istotny przyrost siły mięśnia czworogłowego (średnio o około 20%) po zastosowaniu treningu z ograniczonym przepływem krwi w stosunku do grupy kontrolnej. Dodatkowo wykazano poprawę LSI w zakresie siły mięśnia czworogłowego kończyny operowanej i nieoperowanej (wzrost z 88% do 99%) w grupie pacjentów

wykonujących trening z BFR. Cykl treningowy w przytoczonej pracy różnił się od mezocyklu wdrożonego w pracy własnej, był to cykl 4 - tygodniowy, składający się z 5 jednostek treningowych tygodniowo (łącznie 20 jednostek treningowych). Jednostka treningowa obejmowała 3 ćwiczenia (prostowanie stawu kolanowego siedząc z oporem taśmy, półprzysiad wykonywany bez dodatkowego obciążenia zewnętrznego oraz chodzenie) wykonywane metodą ciągłą BFR z zastosowaniem 50% AOP (Kilgas *et al.*, 2019).

Więcej dostępnych prac badawczych opisuje wdrożenie treningu z ograniczonym przepływem krwi na wcześniejszych etapach rehabilitacji po ACLR (Ohta *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020; Wengle *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023) oraz w innych populacjach klinicznych, np. u pacjentów z dolegliwościami bólowymi stawu kolanowego (Giles *et al.*, 2017), po przebytej artroskopii stawu kolanowego (Tennent *et al.*, 2017), czy pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego (Segal, Davis and Mikesky, 2015; Segal *et al.*, 2015; Bryk *et al.*, 2016; Ferraz *et al.*, 2018; Harper *et al.*, 2019; Álvarez *et al.*, 2021).

W opublikowanym w 2003 roku artykule, Ohta i wsp. (Ohta *et al.*, 2003) opisali wyniki badań przeprowadzonych na grupie pacjentów po przebytej ACLR. Projekt badawczy obejmował czas od pierwszego do szesnastego tygodnia po przebytym zabiegu, przy czym trening z BFR rozpoczynano w 2 tygodniu po przebytej operacji. Autorzy wymieniają 6 ćwiczeń wchodzących w skład cyklu treningowego, które osoby badane wykonywały 2 do 3 razy dziennie, 6 razy w tygodniu, obciążenie zewnętrzne było stopniowo progresowane. Pacjenci wykonywali ćwiczenia z mankietem ciśnieniowym napompowanym do 180mmHg przez 15 minut, po czym zdejmowali go na czas przerwy trwającej 15 do 20 minut. Wyniki powyższych badań wskazują na istotny statystycznie wzrost siły mięśnia czworogłowego badanej w warunkach izokinetycznych przy prędkości kątowej 60°/s oraz 180°/s po zastosowaniu treningu z ograniczonym przepływem krwi w stosunku do grupy kontrolnej, po 16 - tygodniowym cyklu treningowym (Ohta *et al.*, 2003). W stosunku do pracy własnej badacze zastosowali znacznie dłuższy cykl treningowy, większą częstotliwość jednostek treningowych oraz większą liczbę ćwiczeń. Wdrożony protokół BFRT różnił się od protokołu zastosowanego w pracy własnej biorąc pod uwagę metodykę treningu, główne różnice w stosunku do pracy własnej to brak indywidualnego doboru ciśnienia mankieta okluzyjnego oraz odmienny schemat jednostki treningowej.

W projekcie przeprowadzonym przez Li i wsp. (Li *et al.*, 2023) treningowi z BFR poddano pacjentów po 8. tygodniu po przebytej ACLR. Osoby badane wykonywały 8 – tygodniowy cykl treningowy, obejmujący 2 jednostki treningowe tygodniowo (łącznie 16 jednostek). Każda z sesji obejmowała rozgrzewkę (10 minut chodzenia), 2 ćwiczenia wzmacniające mięsień czworogłowy oraz rozciąganie. Podobnie jak w badaniu własnym, zastosowano metodę ciągłą BFRT, dodatkowo w badaniu zastosowano różne wartości procentowe AOP (40%AOP, 80%AOP, grupa kontrolna). W badaniu poziomu siły mięśniowej również wykorzystano badanie izokinetyczne przy prędkości kątowej 60°/s, a otrzymane wyniki korespondują z wynikami pracy własnej. Autorzy wykazali istotny statystycznie wzrost poziomu siły mięśnia czworogłowego w grupach wykonujących BFRT z 40%AOP i 80%AOP w porównaniu do grupy kontrolnej, co więcej zaobserwowano również istotny przyrost siły w grupie 80% AOP w stosunku do grupy wykonującej BFRT z 40% AOP (Li *et al.*, 2023).

W projekcie Hughesa i współpracowników (Hughes *et al.*, 2019) podobnie jak w badaniu własnym zastosowano metodę ciągłą BFR z obciążeniem 30% 1RM, jednak osoby w grupie eksperymentalnej wykonywały tą metodą tylko jedno ćwiczenie – pchanie jednonóż, z ciśnieniem w mankiecie na poziomie 80% AOP. Cykl treningowy obejmował 2 jednostki treningowe w tygodniu, przez 8 tygodni, rozpoczynając po drugim tygodniu po przebytej ACLR. Wśród parametrów sprawdzających siłę mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego badacze zastosowali test 10RM oraz badanie izokinetyczne przy zastosowaniu 3 prędkości kątowych (60°/s, 150°/s, 300°/s). Zaobserwowano istotne statystycznie złagodzenie osłabienia siły mięśni prostowników (dla prędkości 150°/s, 300°/s) i zginaczy (dla wszystkich badanych prędkości kątowych) stawu kolanowego badanych po 8 – tygodniowym cyklu treningowym u osób wykonujących trening z BFR w porównaniu do grupy kontrolnej (Hughes *et al.*, 2019). Podobnie jak w badaniu własnym, w przytoczonej pracy zwrócono uwagę na wpływ BFRT na siłę mięśni kulszowo – goleniowych, pomimo, iż protokół treningu obejmował ćwiczenie akcentujące pracę aparatu wyprostnego stawu kolanowego.

W badaniu przeprowadzonym na grupie nastoletnich (12 do 18 lat) pacjentów po przebytej ACLR, porównano wpływ standardowego protokołu postępowania treningowego z zastosowaniem standardowego protokołu uzupełnionego o BFRT na parametry siły mięśni uda i subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego. Pacjenci wykonywali 12 – tygodniowy cykl treningowy obejmujący 2 jednostki treningowe

tygodniowo, rozpoczynając w pierwszym tygodniu po przebytych zabiegach. Jednostki treningowe składały się z 3 ćwiczeń, które zmieniano co 2 tygodnie. Do treningu z BFR używano mankietów systemu DELFI Medical Innovations, pompowanych do wartości od 60% do 80% wyznaczonego AOP. Podobnie jak w pracy własnej, w projekcie Romana i wsp. (Roman *et al.*, 2023) zastosowano metodę ciągłą BFRT z obciążeniem zewnętrznym na poziomie 20% do 30 % 1RM. Autorzy wykonywali pomiar izometrycznego i izokinetycznego poziomu siły mięśni czworogłowego i kulszowo-goleniowych. Zaobserwowano istotne różnice poziomów siły mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego badanych zarówno w warunkach izometrycznych, jak i izokinetycznych w krótkim (3 miesiące) i długim czasie po zabiegu (w trakcie powrotu do aktywności sportowej) wśród uczestników wykonujących trening z użyciem BFR.

W pracy Currana i wsp. (Curran *et al.*, 2020) z 2020 roku badaniom poddano również pacjentów po przebytej ACLR. Osoby badane wykonywały 8 – tygodniowy mezocykl treningowy, rozpoczynający się w 10 tygodniu po ACLR, obejmujący 2 jednostki treningowe tygodniowo (łącznie 16 jednostek). Projekt zakładał podział uczestników na 4 grupy, w których w dodatku do standardowego postępowania uczestnicy wykonywali jedno ćwiczenie (pchanie jednonóż) w pięciu seriach po 10 powtórzeń, z przerwami wypoczynkowymi trwającymi 2 minuty. Interwencje w grupach różniły się akcentowaniem ekscentrycznej lub koncentrycznej fazy ruchu oraz wykonywaniem treningu z zastosowaniem BFR lub brakiem BFR. Pacjenci w grupie z zastosowaniem BFR wykonywali ćwiczenie z mankietem Delfi EasyFit, z ciśnieniem wynoszącym 80% AOP oraz obciążeniem odpowiadającym 70% 1RM w akcentowanej fazie ruchu oraz 20% 1RM w przeciwnej fazie. Wyniki opisanych badań wskazują na brak istotnego wpływu wykonanego treningu z BFR na aktywację mięśnia czworogłowego oraz maksymalny moment siły mięśnia czworogłowego badany w warunkach izokinetycznych, niezależnie od akcentowanej fazy ruchu (Curran *et al.*, 2020). Przytoczone badanie różni się od opisanych wcześniej prac oraz od pracy własnej wysoką intensywnością wykonywanych ćwiczeń (70% 1RM) aplikowaną wyłącznie w trakcie jednej z faz ćwiczenia (ekscentrycznej lub koncentrycznej), dodatkowo autorzy wdrożyli tylko jedno ćwiczenie z zastosowaniem BFR.

Wpływ stosowania BFRT na poziom siły mięśnia czworogłowego jest badany również w innych populacjach klinicznych, między innymi u pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego (Segal, Davis and Mikesky, 2015; Segal *et al.*,

2015; Bryk *et al.*, 2016; Ferraz *et al.*, 2018; Harper *et al.*, 2019b). Wyniki badań w tym obszarze nie są jednoznaczne. Istnieją doniesienia o braku przewagi w zastosowaniu BFRT o niskiej intensywności nad treningiem siły mięśniowej bez zastosowania okluzji (Bryk *et al.*, 2016; Ferraz *et al.*, 2018; Harper *et al.*, 2019). Jednak prace te porównują trening BFRT o niskiej intensywności z treningiem siłowym o wysokiej intensywności. Wyniki prac porównujących wdrożenie treningu siłowego niskiej intensywności z zastosowaniem BFR oraz bez zastosowania BFR wykazują pozytywny wpływ BFRT na kształtowanie siły mięśniowej (Segal *et al.*, 2015; Ferraz *et al.*, 2018). Ciekawą obserwacją jest porównanie 2 badań prowadzonych przez zespoły badaczy pod kierownictwem Segala, którzy pomimo zastosowania identycznych protokołów treningowych uzyskali inne efekty w kontekście siły mięśniowej w grupie badanych kobiet i mężczyzn (Segal, Davis and Mikesky, 2015; Segal *et al.*, 2015). W projekcie prowadzonym na grupie kobiet zaobserwowano istotnie statystyczny wzrost poziomu siły mięśnia czworogłowego w porównaniu do grupy kontrolnej. Zmian takich nie zaobserwowano w badaniach prowadzonych zgodnie z tym samym protokołem w grupie mężczyzn. Autorzy doszukują się przyczyn braku wzrostu siły mięśnia czworogłowego w zbyt krótkim okresie treningowym (4 tygodnie) oraz wyższym wyjściowym poziomie siły wśród osób w grupie badanej niż w grupie kontrolnej w przytoczonej pracy (Segal, Davis and Mikesky, 2015).

Do udziału w projekcie badawczym Gilesa i wsp. (Giles *et al.*, 2017) włączono osoby z dolegliwościami bólowymi stawu rzepkowo – udowego (PFPS – z ang. Patello - Femoral Pain Syndrome). Uczestnicy zostali podzieleni na dwie grupy, jedna z grup wykonywała trening z użyciem BFR, druga natomiast trening z pozorowanym BFR, co koresponduje z metodologią wdrożoną w pracy własnej. Jednakże autorzy zastosowali inny protokół jednostki treningowej dla uczestników każdej z grup. Uczestnicy w grupie treningu z użyciem BFR wykonywali trening zgodnie z metodą ciągłą BFRT (30% 1RM), natomiast uczestnicy w grupie terapii pozorowanej wykonywali 3 serie od 7 do 10 powtórzeń (70% 1 RM) każdego z ćwiczeń (pchanie jednonóż, prostowanie stawu kolanowego jednonóż). Mezocykl treningowy trwał 8 tygodni, obejmował 3 jednostki treningowe tygodniowo. Wyniki opisanego projektu nie wykazały wyższej efektywności BFRT w kontekście kształtowania siły mięśnia czworogłowego w porównaniu do grupy placebo. Podgrupa pacjentów, którzy odczuwali ból w trakcie oporowanego prostowania stawu kolanowego uzyskała istotnie większy przyrost siły mięśnia czworogłowego na skutek treningu z BFR w porównaniu do treningu placebo. W 6 - cio miesięcznej

obserwacji nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w kształtowaniu siły mięśnia czworogłowego przez trening niskiej intensywności z BFR oraz trening wysokiej intensywności, zauważono jednak trend do większego wzrostu poziomu siły mięśniowej w grupie trenującej z użyciem BFR. Autorzy zwracają jednak uwagę na fakt, iż pacjenci w grupie treningu o wysokiej intensywności mogli redukować obciążenie ze względu na występujące dolegliwości bólowe, dlatego istnieje ryzyko, że wykonywali trening z obciążeniem niższym niż 70% 1 RM (Giles *et al.*, 2017).

Część przytoczonych badań, przeprowadzonych na populacjach pacjentów po przebytej ACLR, ale także wśród pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego wskazuje na istotny statystycznie wzrost poziomu siły mięśnia czworogłowego lub istotnie mniejszy spadek siły tego mięśnia po zabiegu u osób stosujących BFRT, co koresponduje z wynikami uzyskanymi w pracy własnej (Ohta *et al.*, 2003; Segal *et al.*, 2015; Ferraz *et al.*, 2018; Hughes *et al.*, 2019; Kilgas *et al.*, 2019; Li, Li, Qing, Wang, *et al.*, 2023; Roman *et al.*, 2023). Istnieją również doniesienia o braku pozytywnego wpływu zastosowania BFRT na siłę mięśnia czworogłowego w porównaniu do treningu siłowego bez użycia BFR (Segal, Davis and Mikesky, 2015; Bryk *et al.*, 2016; Giles *et al.*, 2017; Harper *et al.*, 2019b; Curran *et al.*, 2020).

Znaczna większość przytoczonych prac, dotyczących zastosowania BFRT u pacjentów po przebytej ACLR skupia się na wcześniejszych etapach po zabiegu, wyłącznie jedno ze znalezionych badań dotyczyło pacjentów w długim czasie po przebytym zabiegu ACLR (Kilgas *et al.*, 2019). W pozostałych pracach uczestnicy projektów stanowili osoby z innymi dysfunkcjami stawu kolanowego, jak PFPS oraz zmiany zwyrodnieniowe.

Opisane protokoły rehabilitacyjno – treningowe różnią się pod względem wielu parametrów, jak: czas trwania mezocyklu, liczba jednostek treningowych w cyklu, częstotliwość jednostek treningowych, objętość jednostek treningowych, intensywność i rodzaj ćwiczeń, rodzaj mankietu okluzyjnego, stosowany % AOP.

Obserwacje poczynione na podstawie pracy własnej oraz przytoczonych prac innych autorów wskazują, że trening niskiej intensywności (20% - 30% 1RM) z zastosowaniem BFR jest bardziej efektywny w kontekście kształtowania siły mięśnia czworogłowego od treningu niskiej intensywności bez użycia BFR (Ohta *et al.*, 2003; Segal *et al.*, 2015; Ferraz *et al.*, 2018; Hughes *et al.*, 2019; Kilgas *et al.*, 2019; Li, Li, Qing, Wang, *et al.*, 2023; Roman *et al.*, 2023a), jednocześnie wykazuje podobne lub gorsze efekty w porównaniu z treningiem siły mięśniowej o wysokiej intensywności

(60 % - 70 % 1RM) (Giles *et al.*, 2015; Bryk *et al.*, 2016; Ferraz *et al.*, 2018). Wyłącznie w jednym z opisanych projektów zastosowano BFRT w połączeniu z wysoką intensywnością ćwiczeń. Ingerencja ta nie przyniosła korzystniejszych efektów w porównaniu do treningu siły mięśniowej wysokiej intensywności bez użycia BFR (Curran *et al.*, 2020). Być może efektywniejszym byłoby zastosowanie w przytoczonym projekcie wysokiej intensywności ćwiczeń w połączeniu z BFR w trakcie trwania całego ćwiczenia, a nie wyłącznie w trakcie jego koncentrycznej lub ekscentrycznej fazy.

Zaobserwowano rozbieżności w stosowanych długościach trwania mezocykli treningowych oraz częstotliwości jednostek treningowych. Protokoły w przytoczonych pracach zakładały wykonywanie ćwiczeń od 2 razy w tygodniu do 6 dni w tygodniu (2 do 3 jednostek dziennie) przez okres od 4 do 16 tygodni. Biorąc pod uwagę wyłącznie prace porównujące protokoły treningowe o niskiej intensywności z użyciem BFR oraz bez użycia BFR, efektywności nie wykazano w przypadku protokołu trwającego 4 tygodnie (Segal, Davis and Mikesky, 2015). W innych projektach, które również nie wykazały pozytywnego efektu wdrożenia BFR występują jednocześnie inne parametry treningowe, które mogły wpłynąć na otrzymane wyniki. Wydaje się zatem, że aby osiągnąć pozytywne efekty z treningu siłowego niskiej intensywności z użyciem BFR warto wdrożyć cykle treningowe trwające dłużej niż 4 tygodnie (12 jednostek treningowych).

W przytoczonych projektach badawczych pojawiają się 3 formy doboru ciśnienia w mankietach okluzyjnych. Autorzy określają wartości przyjmując wartość procentową zmierzonego AOP (jak w pracy własnej) (Giles *et al.*, 2017; Ferraz *et al.*, 2018; Hughes *et al.*, 2019; Kilgas *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020; Li, Li, Qing, Wang, *et al.*, 2023) lub ogólnie przyjętych wartości ciśnienia mankietu (Ohta *et al.*, 2003; Segal, Davis and Mikesky, 2015; Segal *et al.*, 2015; Bryk *et al.*, 2016). W jednej pracy wartość ciśnienia w mankiecie obliczano na podstawie wzoru, biorąc pod uwagę ciśnienie krwi i obwód uda osoby badanej (Harper *et al.*, 2019a). Biorąc pod uwagę rozbieżności w metodach doboru wartości ciśnienia mankietu stosowanego w trakcie jednostki treningowej, trudno jest określić jakie przedziały wartości są optymalne dla kształtowania siły mięśnia czworogłowego. Analizując wspomniane prace, wydaje się, że w pracy własnej zastosowano jedno z niższych wartości %AOP spośród przytoczonych prac. Badanie Li i wsp. (Li *et al.*, 2023) którzy porównali efektywność zastosowania dwóch różnych wartości %AOP wskazuje, że wyższe wartości %AOP prowadzą do lepszych efektów w stosunku do wykonywania ćwiczeń z niższym %AOP.

Przytoczone protokoły treningowe różniły się również znacznie w obszarze liczby ćwiczeń (od 1 do 6 ćwiczeń) oraz ich rodzaju, większość z nich była oparta o ćwiczenia akcentujące pracę aparatu wyprostnego stawu kolanowego, jednak badano również protokoły oparte o ćwiczenia wzmacniające inne partie mięśniowe.

Planowanie mezocyklu treningowego wymaga określenia wielu wspomnianych wcześniej parametrów, z których każdy może mieć wpływ na osiągnięte efekty treningu. W kontekście kształtowania siły mięśnia czworogłowego z użyciem BFRT w populacjach klinicznych, najistotniejszymi parametrami wydają się być: czas trwania cyklu i częstotliwość jednostek treningowych oraz stosowane wartości %AOP.

7.2. Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na obwód uda oraz grubość mięśni obszernego bocznego oraz prostego uda

Analiza wyników przeprowadzonych badań własnych potwierdza założenie, że trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi prowadzi do wzrostu obwodu uda mierzonego 7 cm nad rzepką, na przebiegu mięśnia obszernego przyśrodkowego. Przeprowadzone analizy wykazały, że trening z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi nie prowadzi do wzrostu grubości mięśni prostego uda oraz obszernego bocznego.

Otrzymane wyniki wskazują, że zastosowanie treningu z ograniczonym przepływem krwi wpływa na wzrost obwodu uda. Analizy statystyczne wykazały, że istotnie statystycznie zmniejszyła się różnica w obwodzie kończyny operowanej (poddanej treningowi) w stosunku do uda kończyny nieoperowanej, badanych przed i po 6-cio tygodniowym cyklu treningowym, zmiany te zaobserwowano wyłącznie w grupie badanej ($p=0,002$). Nie stwierdzono różnic pomiędzy wynikami badań wstępnych i końcowych w grupie kontrolnej ($p=0,99$).

Analizy wyników dotyczących wpływu proponowanego 6-cio tygodniowego mezocyklu treningowego nie pozwalają na stwierdzenie istotnych różnic dla zmiennych opisujących grubość mięśni prostego uda i obszernego bocznego przed i po zastosowaniu treningu (kolejno $p=0,14$; $p=0,59$), nie stwierdzono też istotnych różnic dla interakcji przed-po*grupa (kolejno $p=0,88$; $p=0,14$).

Najczęściej stosowaną metodą oceny wpływu ingerencji treningowej na hipertrofię mięśnia czworogłowego uda jest pomiar grubości wykonywany na podstawie badania ultrasonograficznego, znacznie rzadziej wykorzystuje się w tym celu badanie rezonansem magnetycznym, czy tomografem komputerowym

prawdopodobnie ze względu na dostępność i koszt wykonania badań. Co więcej pomiary grubości mięśni w badaniu ultrasonograficznym są rzetelnym narzędziem oceny hipertrofii i atrofii mięśnia czworogłowego uda (czułość: 73,7; specyficzność: 74,2%) (Scott *et al.*, 2017). Wcześniejsze badania pokazują dobrą korelację pomiędzy wynikami pomiarów grubości mięśnia czworogłowego w badaniach USG oraz MRI (Giles *et al.*, 2015).

Aktualne doniesienia naukowe nie są jednoznaczne w kwestii wpływu treningu z ograniczonym przepływem krwi na wartości grubości mięśni uda u pacjentów po przebytej ACLR (Wengle *et al.*, 2022). Rozbieżności te mogą wynikać z odmienności wdrażanych protokołów treningowych w obrębie BFRT oraz protokołów pomiarowych. Część autorów opisuje istotny statystycznie wpływ zastosowania treningu z ograniczonym przepływem krwi na grubość mięśnia czworogłowego uda, badanego za pomocą USG (Kilgas *et al.*, 2019; Wengle *et al.*, 2022; Li, *et al.*, 2023). W badaniu przeprowadzonym przez Ohtę i wsp. do oceny hipertrofii wykorzystano badanie MRI. Porównanie grubości mięśni przed rozpoczęciem treningu oraz po 16 – tygodniowym mezocyklu treningowym również wykazało istotne statystycznie różnice na korzyść pacjentów wykonujących trening z BFR. Istnieją również doniesienia o braku przewagi zastosowania treningu z BFR nad treningiem wykonywanym bez ograniczenia przepływu krwi, w kontekście kształtowania hipertrofii mięśnia czworogłowego (Hughes *et al.*, 2019; Curran *et al.*, 2020), co koresponduje z wynikami pracy własnej. Należy jednak wziąć pod uwagę, że przytoczone badania wykonywano na wczesnych etapach rehabilitacji po ACLR, w przeciwieństwie do badań własnych.

Kolejną pracą opisującą wpływ zastosowania BFRT na grubość mięśnia czworogłowego, mierzoną przy użyciu wyników MRI jest badanie przeprowadzone przez Iversena i wsp. (Iversen, Røstad and Larmo, 2016). Badany protokół ćwiczeń wykonywano przez dwa tygodnie, rozpoczynając od drugiego dnia po przebytej ACLR. Osoby badane wykonywały ćwiczenia 2 razy dziennie, a każdy z zestawów ćwiczeń składał się z 5 serii ćwiczeń wzmacniających mięśnia czworogłowego (izometryczna aktywacja, aktywacja mięśnia czworogłowego, unoszenie operowanej kończyny) z przerwami wypoczynkowymi trwającymi 3 minuty, łącznie osoby badane wykonywały 100 powtórzeń w ramach pojedynczej jednostki treningowej. Osoby w grupie badanej wykonywały ćwiczenia z użyciem BFR, po czym zdejmowały mankiet okluzyjny na czas trwania przerwy, osoby w grupie kontrolnej wykonywały zestaw ćwiczeń bez użycia mankieta okluzyjnego. Ciśnienie mankieta w grupie badanej wynosiło początkowo 130

mmHg, następnie zwiększano je o 10 mmHg co 2 dni, do maksymalnego ciśnienia, wynoszącego 180 mmHg. Analizy wyników przeprowadzonych badań nie wykazały różnic w redukcji grubości mięśnia czworogłowego badanej w 40% i 50% długości uda między grupą badaną i kontrolną (Iversen, Røstad and Larmo, 2016). Podobnie jak w przypadku wcześniej przytoczonych prac, badanie Iversena i wsp. obejmowało wczesny etap postępowania po ACLR, w odróżnieniu od pracy własnej. Dodatkowo cykl treningowy był znacznie krótszy niż zastosowany w pracy własnej, jednocześnie obejmował więcej jednostek treningowych, o parametrach odmiennych od wdrożonych w badaniu własnym.

W badaniach prowadzonych na grupach pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego również pojawiają się odmienne wyniki w kontekście wpływu zastosowania BFRT na grubość mięśnia czworogłowego. We wcześniej przytoczonej pracy Segala i wsp. nie wykazano wpływu treningu z BFR na grubość mięśnia czworogłowego badanego za pomocą MRI (Segal *et al.*, 2015). W pracy Ferraza i wsp. (Ferraz *et al.*, 2018) zauważono istotny statystycznie wpływ zastosowania treningu z BFR na grubość mięśnia czworogłowego uda badany w tomografii komputerowej. Uzyskany przyrost grubości w grupie pacjentów wykonujących trening niskiej intensywności z BFR był na poziomie zmian uzyskanych w grupie treningu o wysokiej intensywności bez zastosowania BFR. Zmiany w grubości mięśni we wspomnianych grupach były istotnie statystycznie wyższe niż w grupie pacjentów, którzy wykonywali trening niskiej intensywności bez zastosowania BFR (Ferraz *et al.*, 2018).

W projekcie Gilesa i wsp. nie zaobserwowano wpływu BFRT na grubość mięśni: obszernego przysiodkowego, obszernego bocznego i prostego uda, pomimo zmian w zakresie siły mięśnia czworogłowego, co koreluje z wynikami pracy własnej (Giles *et al.*, 2017).

Tennent i wsp. ocenili w swoim badaniu wpływ treningu z BFR na hipertrofię mięśni uda za pomocą badania obwodu uda wykonywanego 6 cm oraz 16 cm powyżej podstawy rzepki. Projekt obejmował pacjentów po przebytej artroskopii stawu kolanowego, część osób badanych poza standardowym postępowaniem pozabiegowym wykonało dodatkowo 12 sesji treningowych składających się z 3 ćwiczeń wykonywanych z BFR. Wyniki wspomnianej pracy wykazały istotny statystycznie wzrost obwodu uda u osób wykonujących ćwiczenia z BFR w porównaniu do grupy kontrolnej wykonującej wyłącznie standardowy protokół postępowania (Tennent *et al.*, 2017).

Czynnikami, które należy rozważyć w kontekście wpływu BFRT na grubość mięśnia czworogłowego uda są przede wszystkim parametry wdrażanych cykli i jednostek treningowych. Obserwacja aktualnych doniesień naukowych wskazuje na przewagę stosowania dłuższych mezocykli treningowych lub wyższej częstotliwości (minimum 16 jednostek treningowych) i objętości jednostek treningowych (2 ćwiczenia i więcej) oraz wyższe wartości procentowe AOP (80%AOP) celem maksymalizacji efektu hipertrofii w BFRT (Giles *et al.*, 2017; Wengle *et al.*, 2022).

Obserwacje własne oraz wnioski autorów przytoczonych prac poszukują wyjaśnienia rozbieżności pomiędzy wzrostem poziomu siły mięśnia czworogłowego, przy jednoczesnym braku hipertrofii w mechanizmie neurologicznej adaptacji do zadań ruchowych, który wpływa na poprawę maksymalnego momentu siły mięśniowej bez wpływu na grubość mięśnia czworogłowego (Giles *et al.*, 2017).

Pomimo istotnej różnicy w obwodzie uda u osób w GB, nie zaobserwowano różnic w grubości mięśni prostego uda i obszernego bocznego, co może mieć związek z wykonywaniem pomiarów w innych punktach pomiarowych. Pomiar obwodu uda wykonywany był 7 cm powyżej podstawy rzepki, przez co w większym stopniu obejmował przebieg mięśnia obszernego przyśrodkowego, natomiast pomiary grubości mięśni prostego uda i obszernego bocznego wykonywano w 50% długości uda, znacznie powyżej 7 cm od podstawy rzepki.

Warto zwrócić również uwagę na fakt, że zarówno praca własna, jak i żadna z przytoczonych prac nie zwracają uwagi na dodatkowe czynniki, które mogą wpływać na hipertrofię mięśniową, jak czynniki związane z dietą.

7.3. Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na stabilność przednią stawu kolanowego

Analiza wyników przeprowadzonych badań własnych pozwala na potwierdzenie trzeciej hipotezy zakładającej, że wdrożona interwencja treningowa z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi pozostaje bez wpływu na stabilność przednią stawu kolanowego.

Zgodnie z otrzymanymi wynikami można stwierdzić, że trening z ograniczonym przepływem krwi nakierowany na progresję siły mięśni prostowników stawu kolanowego nie wpływa na stabilność przednią stawu kolanowego badaną za pomocą artrometrii. Nie stwierdzono wpływu wdrożonego treningu na stabilność stawu kolanowego

w płaszczyźnie strzałkowej zarówno w grupie badanej, jak i kontrolnej, nie zauważono też różnic międzygrupowych porównując wyniki badań wstępnych i końcowych (przed-po*grupa=0,59).

Podobne wnioski zawarto w przywołanej w podrozdziale 7.1. pracy Hughsa i współpracowników (Hughes *et al.*, 2019). Autorzy porównali wyniki badań stabilności przedniej przeprowadzonych przed zabiegiem ACLR oraz po 10 tygodniu po ACLR (po 8 tygodniach treningu). Stabilność stawu kolanowego znacznie poprawiła się w obu grupach po interwencji chirurgicznej (średnio o 2,3 mm w grupie badanej oraz kontrolnej), a dodanie pchania jedno nogą wykonywanego metodą BFRT do standardowego protokołu postępowania po ACLR nie wpłynęło na wyniki stabilności badanej artrometrem KT-1000. Należy zwrócić uwagę, że w porównaniu do badań własnych, wspomniana praca obejmuje wczesny okres rehabilitacji po ACLR, kiedy przeszczep więzadła narażony jest większym stopniu na uszkodzenie. Być może dlatego badacze zdecydowali się na włączenie wyłącznie jednego ćwiczenia (pchania jedno nogą) z BFRT do protokołu rehabilitacji.

Stabilność stawu kolanowego w dłuższej perspektywie po ACLR obserwowali Ohta i wsp., którzy trening z BFR wprowadzili już w 2 tygodniu po zabiegu, uczestnicy badania wykonywali identyczny protokół postępowania, jedyną różnicą było zastosowanie BFR podczas wszystkich ćwiczeń w grupie badanej przez okres 15 tygodni (od 2 do 16 tygodnia po zabiegu). Badacze nie zaobserwowali istotnych różnic w stabilności stawu kolanowego badanego za pomocą artrometru KT - 2000 przed zabiegiem oraz po wykonaniu interwencji treningowej (Ohta *et al.*, 2003).

7.4. Wpływ treningu z ograniczonym przepływem krwi na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego oraz podejmowaną aktywność fizyczną

Analiza wyników przeprowadzonych badań własnych pozwala na odrzucenie czwartej hipotezy badawczej, zakładającej, że trening z ograniczonym przepływem krwi prowadzi do poprawy subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego oraz do wzrostu ilości i intensyfikacji podejmowanej aktywności fizycznej.

Analizy uzyskanych wyników w zakresie subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego, badanych za pomocą kwestionariuszy Lysholm ($p=0,1$) i IKDC ($p=0,62$) oraz poziom podejmowanej aktywności fizycznej, określany przez uczestników projektu w kwestionariuszu IPAQ (intensywny wysiłek $p=0,73$; umiarkowany wysiłek $p=0,97$)

nie wykazały istotnych statystycznie różnic ze względu na podjętą interwencję treningową.

Przegląd aktualnych doniesień w kontekście wpływu BFRT na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego w pacjentów po ACLR nie daje jednoznacznych wniosków. Wyniki prac Hughesa i wsp. oraz Li i wsp. (Hughes et al., 2019; Li, et al., 2023) wskazują na istotną statystycznie poprawę wyników kwestionariusza IKDC po zastosowaniu treningu z użyciem BFR w porównaniu do treningu bez wykorzystania BFR u pacjentów po ACLR. Hughes wiąże uzyskane wyniki z wpływem ćwiczenia z zastosowaniem BFR na szybsze zmniejszenie poziomu dolegliwości bólowych, obrzęku oraz poprawę zakresu ruchomości w porównaniu do grupy kontrolnej. Wyniki badań przeprowadzonych przez Li i wsp. wskazują, że zastosowanie wartości 80%AOP przekłada się na większy wzrost wyników kwestionariusza IKDC 2000, w stosunku do zastosowania 40%AOP (średni wzrost kolejno o 19,63 pkt oraz o 7,67 pkt). W projekcie Romana i wsp. (Roman et al., 2023) zaobserwowano większą poprawę subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego wśród uczestników w grupie treningu BFR niż w grupie kontrolnej w kwestionariuszu Pedi IKDC. Autorzy wskazują, że zastosowanie BFRT u pacjentów po przebytej ACLR może prowadzić do poprawy subiektywnych wskaźników w przebiegu rehabilitacji, jak zmniejszenie niepożądanych objawów, zwiększenie poziomu aktywności i poprawy funkcji stawu kolanowego (Roman *et al.*, 2023a).

Tennent i wsp. również zaobserwowali poprawę wskaźników subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego u uczestników projektu po przebytej artroskopii stawu kolanowego. Pacjenci, którzy wykonywali trening z BFR (12 jednostek treningowych) osiągnęli istotnie wyższe wyniki kwestionariusza KOOS (Knee Osteoarthritis Outcome Score) oraz VR12 (Veterans RAND 12_Item Health Survey) w porównaniu do grupy kontrolnej (Tennent *et al.*, 2017).

Przeciwnie wyniki prezentuje Curran i wsp. (Curran *et al.*, 2020), którzy nie zaobserwowali istotnych różnic w zakresie wyników kwestionariusza IKDC porównując grupy pacjentów wykonujących trening z BFR oraz bez zastosowania BFR. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w tym badaniu zastosowano wysoką intensywność treningu (70% 1RM), w przeciwieństwie do badań przytoczonych wcześniej.

Wszystkie z opisanych badań wykonano we wcześniejszych okresach rehabilitacji po ACLR w porównaniu do badania własnego. Być może właśnie ten aspekt w znacznym stopniu wpływa na otrzymane wyniki. Wczesny okres po ACLR wiąże się z większym zaburzeniem funkcji stawu kolanowego i pomimo tego, iż uczestnicy

badan własnych zgłaszali dysfunkcje stawu kolanowego nie były one na takim poziomie jak we wczesnym okresie po zabiegu ACLR, co stwarza mniejszą możliwość korekcji w tym zakresie. Być może zastosowanie dłuższego mezocyklu treningowego przyczyniłoby się do większych zmian w zakresie kwestionariuszy IKDC oraz Lysholm. Jedyne badanie wykonane w podobnym okresie po zabiegu (Kilgas *et al.*, 2019), które znaleziono, nie analizuje subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego.

W projektach, których uczestnikami były osoby ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego nie zaobserwowano korzystniejszego wpływu zastosowania BFRT na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego w porównaniu do ćwiczeń wykonywanych bez BFR (Grantham, Korakakis and O'Sullivan, 2021). W pracach Segala i wsp. (Segal, Davis and Mikesky, 2015; Segal *et al.*, 2015) prowadzonych na grupach pacjentów i pacjentek ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu kolanowego nie zaobserwowano wpływu BFRT na poziom odczuwanych dolegliwości bólowych i funkcję stawu kolanowego ocenianych za pomocą kwestionariusza KOOS (Knee Osteoarthritis Outcome Score). W projekcie Ferraza i wsp. (Ferraz *et al.*, 2018) zaobserwowano istotną poprawę wyników kwestionariusza WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) wśród wszystkich badanych osób, niezależnie od podjętej interwencji treningowej. Nie stwierdzono różnic w wynikach kwestionariusza SF-36 oceniającego subiektywną ocenę jakości życia.

Żadna z dostępnych prac w tej dziedzinie nie badała wpływu zastosowania BFRT na podejmowaną aktywność fizyczną.

7.5. Efekty niepożądane

W niniejszym badaniu nie zaobserwowano wystąpienia niepożądanych objawów na skutek wykonywanych ćwiczeń, które doprowadziłyby do pogorszenia stanu zdrowia lub uniemożliwiły kontynuację udziału w projekcie badawczym. Osoby badane zgłaszały wyłącznie zmęczenie w trakcie wykonywania ćwiczeń oraz powysiłkowe bóle mięśni.

7.6. Innowacyjność, mocne strony i ograniczenia badania

Dyskusyjnym aspektem pracy jest mała liczebność uczestników projektu. Trendy obecne w analizie statystycznej pokazują, że wyższa liczebność grup mogłaby wpłynąć na sformułowanie dodatkowych wniosków z przeprowadzonych badań. Liczebność

uczestników projektu ma związek między innymi z zastosowaniem szczegółowych kryteriów włączenia i wyłączenia z projektu, po zweryfikowaniu których pięciu chętnych do udziału w projekcie uczestników musiało zostać z niego wyłączonych. Udział w projekcie zakładał wykonanie 18 jednostek treningowych z częstotliwością 3 jednostek treningowych w tygodniu, co również mogło stanowić barierę dla pacjentów niewykonyjących na co dzień treningu siły mięśniowej. Ponadto grupę badaną stanowili pacjenci w okresie od 1 roku do 10 lat po przebytej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, co w obserwacjach własnych może wpływać na mniejszą potrzebę i gotowość pacjentów do wdrażania działań optymalizujących funkcję stawu kolanowego, często pomimo odczuwanych ograniczeń i dolegliwości.

Być może wartościowym aspektem pracy okazałoby się dodanie trzeciej grupy osób badanych, w której nie wdrożono by żadnej interwencji treningowej. Dodatkowo, biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, można wnioskować, że warto byłoby włączyć dodatkowy protokół treningowy lub rozszerzyć aktualny o ćwiczenia akcentujące pracę mięśni tylnej części uda.

Atutem badań mogłoby być również przeprowadzenie kolejnego cyklu badań po dłuższym czasie od zakończenia mezocyklu treningowego.

Niniejszy projekt badawczy jest randomizowanym badaniem klinicznym, w którym zaślepieniem objęto osoby badane, lekarza prowadzącego oraz badacza wykonującego pomiary wstępne i końcowe. Praca własna jako jedna z niewielu dostępnych bada efektywność wdrożenia BFRT w grupie pacjentów długo po przebytej ACLR, zgodnie z wiedzą autorki dotychczas opublikowano wyłącznie jedną pracę badającą pacjentów w dłuższej perspektywie po przebytej ACLR.

Szczegółowy opis projektu i poszczególnych parametrów zastosowanego mezocyklu treningowego pozwalają na dokładne odtworzenie go zarówno na potrzeby kolejnych badań w tej samej lub innej grupie pacjentów, a także w warunkach klinicznych.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na bezpośrednie wdrożenie zastosowanego protokołu ćwiczeń w postępowaniach rehabilitacyjnym oraz treningowym u osób z deficytem siły mięśnia czworogłowego uda oraz zaburzoną funkcją stawu kolanowego, zarówno w przebiegu postępowania po zabiegu rekonstrukcji ACL, jak i w innych przypadkach.

8. Podsumowanie, wnioski

Na podstawie danych zebranych w toku badań dotyczących wpływu zastosowania treningu z ograniczonym przepływem krwi na siłę i hipertrofię mięśnia czworogłowego oraz funkcję stawu kolanowego u osób długo po przebytej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego z tenodezą boczną, sformułowano następujące wnioski:

1. Proponowany sześciotygodniowy mezocykl treningowy wykonywany metodą ciągłą treningu z ograniczonym przepływem krwi prowadzi do zwiększenia maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego.
2. Proponowany sześciotygodniowy mezocykl treningowy wykonywany metodą ciągłą treningu z ograniczonym przepływem krwi prowadzi do wzrostu obwodu uda mierzonego na wysokości przebiegu mięśnia obszernego przysródkowego, natomiast pozostaje bez wpływu na grubość mięśni prostego uda oraz obszernego bocznego.
3. Proponowany sześciotygodniowy mezocykl treningowy wykonywany metodą ciągłą treningu z ograniczonym przepływem krwi nie wpływa na stabilność stawu kolanowego w płaszczyźnie strzałkowej.
4. Proponowany sześciotygodniowy mezocykl treningowy wykonywany metodą ciągłą treningu z ograniczonym przepływem krwi nie wpływa na subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego badaną kwestionariuszami IKD 2000 i Lysholm oraz na poziom i rodzaj podejmowanej aktywności fizycznej określanej w kwestionariuszu IPAQ.

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych można stwierdzić, że zaproponowany 6-cio tygodniowy mezocykl treningowy wykonywany z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi jest bezpieczną i efektywną metodą treningową. Specjaliści wdrażający 6-cio tygodniowy mezocykl treningowy zaproponowany w pracy mogą spodziewać się progresji w zakresie siły maksymalnej mięśnia czworogłowego oraz obwodu uda, przy jednoczesnym braku negatywnego wpływu na stabilność stawu kolanowego oraz innych efektów niepożądanych.

W przyszłości konieczne są dalsze badania celem weryfikacji optymalnych protokołów treningowych dla maksymalizacji siły i hipertofii mięśnia czworogłowego u pacjentów długo po przebytej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. Warto również poszerzyć ten obszar badań o parametry dotyczące tylnej taśmy mięśniowej.

9. Piśmiennictwo

1. Abe, T., Kearns, C.F. and Sato, Y. (2006) 'Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training', *J Appl Physiol*, 100, pp. 1460–1466. Available at: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01267.2005.-Previous>.
2. Agüero, A. D., Irrgang, J. J., MacGregor, A. J., Rothenberger, S. D., Hart, J. M., & Fraser, J. J. (2023). Sex, military occupation and rank are associated with risk of anterior cruciate ligament injury in tactical-athletes. *BMJ military health*, 169(6), 535–541. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmjilitary-2021-002059>
3. Ahtiainen, J. P., Hoffren, M., Hulmi, J. J., Pietikäinen, M., Mero, A. A., Avela, J., & Häkkinen, K. (2010). Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. *European journal of applied physiology*, 108(2), 273–279. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1211-6>
4. Álvarez, C.B. *et al.* (2021) 'Comparison of blood flow restriction training versus non-occlusive training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction or knee osteoarthritis: A systematic review', *Journal of Clinical Medicine*. MDPI, pp. 1–23. Available at: <https://doi.org/10.3390/jcm10010068>.
5. An, H.Y. *et al.* (2020) 'The relationships between physical activity and life satisfaction and happiness among young, middle-aged, and older adults', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134817>.
6. Babbie Earl 'Badania społeczne w praktyce' Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
7. Bakar, Y., Özdemir, Ö. C., Sevim, S., Duygu, E., Tuğral, A., & Sürmeli, M. (2017). Intra-observer and inter-observer reliability of leg circumference measurement among six observers: a single blinded randomized trial. *Journal of medicine and life*, 10(3), 176–181.
8. Barber-Westin, S. and Noyes, F.R. (2020) 'One in 5 Athletes Sustain Reinjury Upon Return to High-Risk Sports After ACL Reconstruction: A Systematic Review in 1239 Athletes Younger Than 20 Years', *Sports Health*. SAGE Publications Inc., pp. 587–597. Available at: <https://doi.org/10.1177/1941738120912846>.

9. Bemben M. G. (2002). Use of diagnostic ultrasound for assessing muscle size. *Journal of strength and conditioning research*, 16(1), 103–108.
10. Betz, T. M., Wehrstein, M., Preisner, F., Bendszus, M., & Friedmann-Bette, B. (2021). Reliability and validity of a standardised ultrasound examination protocol to quantify vastus lateralis muscle. *Journal of rehabilitation medicine*, 53(7), jrm00212. Available at: <https://doi.org/10.2340/16501977-2854>
11. Beynnon, B.D. *et al.* (2022) ‘Intrinsic Risk Factors for First-Time Noncontact ACL Injury: A Prospective Study of College and High School Athletes’, *Sports Health* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1177/19417381221121136>.
12. Biernat Elżbieta, Stupnicki Romuald and Gajewski Antoni K. (2007) *Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej (IPAQ)-wersja polska*.
13. Boden, B.P. and Sheehan, F.T. (2022) ‘Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021’, *Journal of Orthopaedic Research*. John Wiley and Sons Inc, pp. 531–540. Available at: <https://doi.org/10.1002/jor.25257>.
14. Branch, T. *et al.* (2015) ‘Single-bundle ACL reconstruction with and without extra-articular reconstruction: evaluation with robotic lower leg rotation testing and patient satisfaction scores’, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(10). Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3772-8>.
15. Brinlee, A.W. *et al.* (2022) ‘ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline’, *Sports Health*. SAGE Publications Inc., pp. 770–779. Available at: <https://doi.org/10.1177/19417381211056873>.
16. Bryk, F.F. *et al.* (2016) ‘Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial’, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(5), pp. 1580–1586. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4064-7>.
17. Brzycki, M. (1993) ‘Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue’, *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), pp. 88–90. Available at: <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>.
18. Carter, H.M. *et al.* (2020) ‘The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: A systematic review’, *BMC Musculoskeletal Disorders*. BioMed Central Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6>.

19. Collette, M. *et al.* (2012) 'Objective evaluation of anterior knee laxity; comparison of the KT-1000 and GNRB® arthrometers', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(11), pp. 2233–2238. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1869-2>.
20. Collins, N. J., Misra, D., Felson, D. T., Crossley, K. M., & Roos, E. M. (2011) 'Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS)' *Arthritis care & research*, 63 Suppl 11(0 11), S208–S228. Available at: <https://doi.org/10.1002/acr.20632>
21. Computer Sports Medicine, Inc., (CSMi) (2024) 'Humac® Norm™ Testing & Rehabilitation System.' Available at: <https://humacnorm.com/wp-content/uploads/2024/11/300004N-409-HUMAC-NORM-User-Guide.pdf>
22. Cooper Randall and Hughes Mick 'ACL Melbourne ACL Rehabilitation Guide 2.0' Available at: https://www.melbourneaclguide.com/docs/ACL_Guide.pdf (Accessed: 13 July 2023).
23. Csapo, R., Alegre, L.M. and Baron, R. (2011) 'Time kinetics of acute changes in muscle architecture in response to resistance exercise', *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), pp. 270–274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.02.003>.
24. Curran, M.T. *et al.* (2020) 'Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial', *American Journal of Sports Medicine*, 48(4), pp. 825–837. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>.
25. Devitt, B.M., Neri, T. and Fritsch, B.A. (2023) 'Combined anterolateral complex and anterior cruciate ligament injury: Anatomy, biomechanics, and management—State-of-the-art', *Journal of ISAKOS. International Society of Arthroscopy Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine*, pp. 37–46. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2022.10.004>.

26. Diermeier, T.A. *et al.* (2021) 'Treatment after ACL injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group', in *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group, pp. 14–22. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102200>.
27. Duarte de Oliveira, J.L. *et al.* (2023) 'Cardiovascular and Perceptual Responses to Resistance Training with Practical Blood Flow Restriction Induced by a Non-Elastic Band vs. Pneumatic Cuff: A Crossover Randomized Study', *Perceptual and Motor Skills*, 130(3), pp. 1152–1167. Available at: <https://doi.org/10.1177/00315125231162732>.
28. Earl Babbie (2009) *Podstawy badań społecznych*.
29. Ekhtiari, S. *et al.* (2017) 'Arthrofibrosis after ACL reconstruction is best treated in a step-wise approach with early recognition and intervention: a systematic review', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Springer Verlag, pp. 3929–3937. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4482-1>.
30. Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. *et al.* Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* **41**, 1149–1160 (2009). Available at: <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
31. Ferraz, R.B. *et al.* (2018) 'Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis', *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), pp. 897–905. Available at: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>.
32. Ficek, K. *et al.* (2013) 'Gene variants within the COL1A1 gene are associated with reduced anterior cruciate ligament injury in professional soccer players', *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), pp. 396–400. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.10.004>.
33. Fujita, T. *et al.* (2008) 'Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow', *International Journal of KAATSU Training Research*, 4(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.3806/ijltr.4.1>.
34. Gaillard, R. *et al.* (2019) 'Anatomic risk factor for meniscal lesion in association with ACL rupture', *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 14(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1281-z>.
35. Getgood, A. *et al.* (2019) 'The Stability study: A protocol for a multicenter randomized clinical trial comparing anterior cruciate ligament reconstruction with and without Lateral Extra-articular Tenodesis in individuals who are at high risk of

- graft failure', *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2589-x>.
36. Giesche, F. *et al.* (2020) 'Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-reported knee function: A systematic review', *PLoS ONE*. Public Library of Science. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240192>.
 37. Giles, L. *et al.* (2017) 'Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: A double-blind randomised trial', *British Journal of Sports Medicine*, 51(23), pp. 1688–1694. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096329>.
 38. Giles, L.S. *et al.* (2015) 'Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain?', *Physical Therapy in Sport*, 16(1), pp. 45–52. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.04.002>.
 39. Grantham, B., Korakakis, V. and O'Sullivan, K. (2021) 'Does blood flow restriction training enhance clinical outcomes in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis', *Physical Therapy in Sport*. Churchill Livingstone, pp. 37–49. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.01.014>.
 40. Grassi, A. *et al.* (2020) 'Good mid-term outcomes and low rates of residual rotatory laxity, complications and failures after revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACL) and lateral extra-articular tenodesis (LET)', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05625-w>.
 41. Gupta, R. *et al.* (2020) 'Predictors for anterior cruciate ligament (Acl) re-injury after successful primary acl reconstruction (aclr)', *Malaysian Orthopaedic Journal*, 14(3), pp. 50–56. Available at: <https://doi.org/10.5704/MOJ.2011.009>.
 42. Habets, B., Staal, J. B., Tijssen, M., & van Cingel, R. (2018). Intrarater reliability of the Humac NORM isokinetic dynamometer for strength measurements of the knee and shoulder muscles. *BMC research notes*, 11(1), 15. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3128-9>.
 43. Harper, S.A. *et al.* (2019) 'Blood-flow restriction resistance exercise for older adults with knee osteoarthritis: A pilot randomized clinical trial', *Journal of Clinical Medicine*, 8(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/jcm8020265>.

44. Heard, W. M., Chahal, J., & Bach, B. R., (2013). 'Recognizing and managing complications in ACL reconstruction' *Sports medicine and arthroscopy review*, 21(2), 106–112. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e318290070c>
45. Herrington, L., Ghulam, H., & Comfort, P. (2021). 'Quadriceps Strength and Functional Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Professional Soccer players at Time of Return to Sport' *Journal of strength and conditioning research*, 35(3), 769–775. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002749>
46. Higgins, L.D. *et al.* (2007) 'Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form', *Joint Bone Spine*, 74(6), pp. 594–599. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2007.01.036>.
47. Hooper, D.M. *et al.* (2001) 'Open and closed kinetic chain exercises in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction: Improvements in level walking, stair ascent, and stair descent', *American Journal of Sports Medicine*, 29(2), pp. 167–174. Available at: <https://doi.org/10.1177/03635465010290020901>.
48. Hughes, L. *et al.* (2017) 'Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis', *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group, pp. 1003–1011. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>.
49. Hughes, L. *et al.* (2019) 'Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial', *Sports Medicine*, 49(11), pp. 1787–1805. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>.
50. Iversen, E., Røstad, V. and Larmo, A. (2016) 'Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction', *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), pp. 115–118. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>.
51. Jenny, J.Y. *et al.* (2017) 'Experimental validation of the GNRB® for measuring anterior tibial translation', *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, 103(3), pp. 363–366. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.12.011>.
52. Kambhampati, S.B.S. *et al.* (2020) 'Cyclops Lesions of the Knee: A Narrative Review of the Literature', *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1177/2325967120945671>.

53. Kasmi, S. *et al.* (2021) 'The Effects of Eccentric and Plyometric Training Programs and Their Combination on Stability and the Functional Performance in the Post-ACL-Surgical Rehabilitation Period of Elite Female Athletes', *Frontiers in Physiology*, 12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.688385>.
54. Keays, S.L. and Selangor, N. (2006) 'The effectiveness of a pre-operative home-based physiotherapy programme for chronic anterior cruciate ligament deficiency', *Physiotherapy Research International Physiother. Res. Int*, 11(4), pp. 204–218. Available at: <https://doi.org/10.1002/pri>.
55. Kilgas, M.A. *et al.* (2019) 'Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long after ACL Reconstruction', *International Journal of Sports Medicine*, 40(10), pp. 650–656. Available at: <https://doi.org/10.1055/a-0961-1434>.
56. Kim, D.K. *et al.* (2022) 'Preoperative quadriceps muscle strength deficit severity predicts knee function one year after anterior cruciate ligament reconstruction', *Scientific Reports*, 12(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09816-3>.
57. Kim, D.K., Hwang, J.H. and Park, W.H. (2015) 'Effects of 4 weeks preoperative exercise on knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction', *Journal of Physical Therapy Science*, 27(9), pp. 2693–2696. Available at: <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2693>.
58. Kotsifaki, R. *et al.* (2023) 'Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction', *British Journal of Sports Medicine*, 57(9), pp. 500–514. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>.
59. Krzysztofik, M. *et al.* (2019) 'Maximizing muscle hypertrophy: 'A systematic review of advanced resistance training techniques and methods'', *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>.
60. Larwa, J. *et al.* (2021) 'Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: 'A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes'', *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18073826>.
61. Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H., & Stewart, S. M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): a systematic

- review. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8, 115. Available at: <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-115>
62. Li, X., Li, J., Qing, L., Wang, H., *et al.* (2023) 'Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study', *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06483-x>.
 63. Lin, K. M., Boyle, C., Marom, N., & Marx, R. G. (2020). 'Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction' *Sports medicine and arthroscopy review*, 28(2), 41–48. Available at: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000265>
 64. Liu, S. H., al-Shaikh, R., Panossian, V., Yang, R. S., Nelson, S. D., Soleiman, N., Finerman, G. A., & Lane, J. M. (1996). Primary immunolocalization of estrogen and progesterone target cells in the human anterior cruciate ligament. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 14(4), 526–533. Available at: <https://doi.org/10.1002/jor.1100140405>
 65. Loenneke, J.P. *et al.* (2011) 'Potential safety issues with blood flow restriction training', *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, pp. 510–518. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x>.
 66. Lu, Y. *et al.* (2020) 'Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review', *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1177/2325967120906822>.
 67. Magdič, M., Dahmane, R. G., & Vauhnik, R. (2023). Intra-rater reliability of the knee arthrometer GNRB® for measuring knee anterior laxity in healthy, active subjects. *Journal of orthopaedics*, 39, 7–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2023.03.016>
 68. Magosch, A. *et al.* (2021) 'Medial meniscus ramp and lateral meniscus posterior root lesions are present in more than a third of primary and revision ACL reconstructions', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29(9), pp. 3059–3067. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06352-3>.
 69. Murray M. M. (2021). 'Optimizing outcomes of ACL surgery-Is autograft reconstruction the only reasonable option?' *Journal of orthopaedic research :*

- official publication of the Orthopaedic Research Society*, 39(9), 1843–1850.
<https://doi.org/10.1002/jor.25128>
70. Matla, J. *et al.* (2017) ‘Ocena stanu funkcjonalnego pacjentów po zabiegu alloplastyki całkowitej stawu kolanowego’, *Postepy Rehabilitacji*, 31(2), pp. 17–27. Available at: <https://doi.org/10.1515/rehab-2015-0064>.
 71. Milandri, G. and Sivarasu, S. (2021) ‘A Randomized Controlled Trial of Eccentric Versus Concentric Cycling for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation’, *American Journal of Sports Medicine*, 49(3), pp. 626–636. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546520987566>.
 72. Montalvo, A.M. *et al.* (2019) “‘what’s my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?’” A systematic review with meta-analysis’, *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group, pp. 1003–1012. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096274>.
 73. Moses B., Orchard J., and Orchard J. (2012) ‘Systematic Review: Annual Incidence of ACL Injury and Surgery in Various Populations. Rese’, *Research in Sports Medicine*, 20(3–4), pp. 157–179.
 74. Murrell, G.A.C. *et al.* (2001) ‘The effects of time course after anterior cruciate ligament injury in correlation with meniscal and cartilage loss’, *American Journal of Sports Medicine*, 29(1), pp. 9–14. Available at: <https://doi.org/10.1177/03635465010290012001>.
 75. Nuccio, S. *et al.* (2021) ‘Deficit in knee extension strength following anterior cruciate ligament reconstruction is explained by a reduced neural drive to the vasti muscles’, *Journal of Physiology*, 599(22), pp. 5103–5120. Available at: <https://doi.org/10.1113/JP282014>.
 76. Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). ‘Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction’ *Acta orthopaedica Scandinavica*, 74(1), 62–68. Available at: <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>
 77. Palmieri-Smith, R.M. and Lepley, L.K. (2015) ‘Quadriceps strength asymmetry after anterior cruciate ligament reconstruction alters knee joint biomechanics and functional performance at time of return to activity’, *American Journal of Sports Medicine*, 43(7), pp. 1662–1669. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546515578252>.

78. Pfeifer, C.E. *et al.* (2018) 'Risk factors associated with non-contact anterior cruciate ligament injury: a systematic review', *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(4), pp. 575–587. Available at: <https://doi.org/10.26603/ijsp20180575>.
79. Prajzner, A. (2023) 'Selected Indicators of Effect Size in Psychological Research', *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio J – Paedagogia-Psychologia*, 35(4), pp. 139–157. Available at: <https://doi.org/10.17951/j.2022.35.4.139-157>.
80. Price, M.J. *et al.* (2017) 'Nonmodifiable risk factors for anterior cruciate ligament injury', *Current Opinion in Pediatrics*, pp. 55–64. Available at: <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000444>.
81. Keene, G. C., Bickerstaff, D., Rae, P. J., & Paterson, R. S. (1993). 'The natural history of meniscal tears in anterior cruciate ligament insufficiency' *The American journal of sports medicine*, 21(5), 672–679. Available at: <https://doi.org/10.1177/036354659302100506>
82. Rackemann, S., Robinson, A. and Dandy, D.J. (1991) 'Reconstruction of the anterior cruciate ligament with an intra-articular patellar tendon graft and an extra-articular tenodesis. Results after six years', *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B*, 73(3). Available at: <https://doi.org/10.1302/0301-620x.73b3.1670429>.
83. Rao, R. *et al.* (2022) 'The management of combined ACL and MCL injuries: A systematic review', *Journal of Orthopaedics*. Reed Elsevier India Pvt. Ltd., pp. 21–30. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2022.07.024>.
84. Rice, D.A. and McNair, P.J. (2010) 'Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: Neural Mechanisms and Treatment Perspectives', *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, pp. 250–266. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2009.10.001>.
85. Roman, D.P. *et al.* (2023a) 'Early- and Late-Stage Benefits of Blood Flow Restriction Training on Knee Strength in Adolescents After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction', *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(11). Available at: <https://doi.org/10.1177/23259671231213034>.
86. Roman, D.P. *et al.* (2023b) 'Early- and Late-Stage Benefits of Blood Flow Restriction Training on Knee Strength in Adolescents After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction', *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(11). Available at: <https://doi.org/10.1177/23259671231213034>.

87. Scott, J.M. *et al.* (2017) 'Panoramic ultrasound: a novel and valid tool for monitoring change in muscle mass', *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 8(3), pp. 475–481. Available at: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12172>.
88. Segal, N., Davis, M.D. and Mikesky, A.E. (2015) 'Efficacy of Blood Flow-Restricted Low-Load Resistance Training For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis', *Geriatric Orthopaedic Surgery and Rehabilitation*, 6(3), pp. 160–167. Available at: <https://doi.org/10.1177/2151458515583088>.
89. Shaarani, S.R. *et al.* (2013) 'Effect of prehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction', *American Journal of Sports Medicine*, 41(9), pp. 2117–2127. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546513493594>.
90. Siebold, R. (2015) 'Flat ACL anatomy: fact no fiction', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3818-y>.
91. Sobolewski, Eric & Wein, Leah & Crow, Jacquelyn & Carpenter, Kaitlyn. (2021). Intra-rater and inter-rater reliability of the process of obtaining cross-sectional area and echo intensity measurements of muscles from ultrasound images. *Journal of Ultrasonography*. 21. e7-e11.
92. Sonnery-Cottet, B. *et al.* (2018) 'Clinical outcomes of extra-articular tenodesis/anterolateral reconstruction in the ACL injured knee', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4596-5>.
93. Stark, T., Walker, B., Phillips, J. K., Fejer, R., & Beck, R. (2011). Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 3(5), 472–479. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.10.025>
94. Szymiski, D. *et al.* (2022) 'Higher risk of ACL rupture in amateur football compared to professional football: 5-year results of the “Anterior cruciate ligament-registry in German football”', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(5), pp. 1776–1785. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06737-y>.
95. Śmigielski, R., *et al.* (2016). 'The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction' *The bone & joint journal*, 98-B(8), 1020–1026. Available at: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B8.37117>

96. Tabata, S. *et al.* (2016) 'Rhabdomyolysis after performing blood flow restriction training: A case report', *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), pp. 2064–2068. Available at: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001295>.
97. Takahashi, S. *et al.* (2019) 'A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball', *Medicine*, 98(26), p. e16030. Available at: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016030>.
98. Tandogan, R.N. *et al.* (2004) 'Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: Relationship with age, time from injury, and level of sport', *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 12(4), pp. 262–270. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-003-0398-z>.
99. Telfer, S. *et al.* (2021) 'Biomechanical Effects of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction', *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(1), pp. 115–123. Available at: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002437>.
100. Tennent, D.J. *et al.* (2017) 'Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study', *Clin J Sport Med.*, 3, pp. 245–252.
101. Trichine, F. *et al.* (2014) 'Patellar tendon autograft reconstruction of the anterior cruciate ligament with and without lateral plasty in advanced-stage chronic laxity. A clinical, prospective, randomized, single-blind study using passive dynamic X-rays', *Knee*, 21(1). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.06.001>.
102. Tulloch, S. J., Devitt, B. M., Porter, T., Hartwig, T., Klemm, H., Hookway, S., & Norsworthy, C. J. (2019). 'Primary ACL reconstruction using the LARS device is associated with a high failure rate at minimum of 6-year follow-up' *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 27(11), 3626–3632. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05478-3>
103. Vidmar, M.F. *et al.* (2020) 'Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial', *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(5), pp. 424–432. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.07.003>.
104. Wall, S.J. *et al.* (2012) 'The role of axial compressive and quadriceps forces in noncontact anterior cruciate ligament injury: A cadaveric study', *American Journal*

- of *Sports Medicine*, 40(3), pp. 568–573. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546511430204>.
105. Wang, K. *et al.* (2023) ‘Effect of isokinetic muscle strength training on knee muscle strength, proprioception, and balance ability in athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised control trial’, *Frontiers in Physiology*, 14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1237497>.
 106. Webster, K.E. *et al.* (2018) ‘Medial meniscal and chondral pathology at the time of revision anterior cruciate ligament reconstruction results in inferior mid-term patient-reported outcomes’, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(4), pp. 1059–1064. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4880-z>.
 107. Wengle, L. *et al.* (2022) ‘The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis’, *American Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Inc., pp. 2824–2833. Available at: <https://doi.org/10.1177/03635465211027296>.
 108. Wiggins, A.J. *et al.* (2016) ‘Risk of Secondary Injury in Younger Athletes after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction’, *American Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Inc., pp. 1861–1876. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546515621554>.
 109. Wilk, M. *et al.* (2018) ‘Technical and training related aspects of resistance training using blood flow restriction in competitive sport - A review’, *Journal of Human Kinetics*. Sciendo, pp. 249–260. Available at: <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0101>.
 110. Wilson, W.T. *et al.* (2022) ‘Anterior cruciate ligament repair with internal brace augmentation: A systematic review’, *Knee*. Elsevier B.V., pp. 192–200. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2022.03.009>.
 111. Wortman, R.J. *et al.* (2021) ‘Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review’, *American Journal of Sports Medicine*, 49(7), pp. 1938–1944. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546520964454>.
 112. Wright, R.W. *et al.* (2007) ‘Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective MOON cohort study’, *American Journal of Sports Medicine*, 35(7), pp. 1131–1134. Available at: <https://doi.org/10.1177/0363546507301318>.

113. Yoon, K.H., Yoo, J.H. and Kim, K. Il (2011) 'Bone contusion and associated meniscal and medial collateral ligament injury in patients with anterior cruciate ligament rupture', *Journal of Bone and Joint Surgery*, 93(16), pp. 1510–1518. Available at: <https://doi.org/10.2106/JBJS.J.01320>.

114. Wykaz rycin

Rycina 1. Komponenty mechanizmu uszkodzenia ACL. (Boden and Sheehan, 2022)

Rycina 2. Zdjęcie stawu kolanowego ukazujące taśmowatą budowę ACL. (Śmigielski et al., 2016)

Rycina 3. Schemat przepływu uczestników.

Rycina 4. Przenośny ultrasonograficzny Doppler naczyniowy SonoTrax (materiał własny).

Rycina 5. Mankiet ciśnieniowy z podpiętym manometrem Fit Cuffs (materiał własny).

Rycina 6. Pomiar AOP (materiał własny).

Rycina 7. Ćwiczenia główne: A – przysiad w wykroku, B- wejście na stopień bokiem, C – prostowanie stawu kolanowego w pozycji siedzącej.

Rycina 8. Skala RPE.

Rycina 9. A - Badanie grubości mięśni, B – Oznaczenie punktów orientacyjnych i pomiarowych na skórze (a - kołec biodrowy przedni górny, b – podstawa rzepki, c – 50% długości uda w rzucie mięśnia prostego uda, d – 50% długości uda w rzucie mięśnia obśzerneho bocznego)

Rycina 10. A - Pomiar obwodu uda, B - Oznaczenie punktów orientacyjnych i pomiarowych na skórze (a – podstawa rzepki, b – 7 cm ponad podstawą rzepki – miejsce pomiaru obwodu uda).

Rycina 11. Badanie artrometryczne – ustawienie badanej kończyny w artrometrze.

Rycina 12. Badanie izokinetyczne. A – ustawienie osoby badanej w fotelu, B – ustawienie badanej kończyny dolnej.

Rycina 13. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej artrometria 134N różnica [mm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 14. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 15. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 16. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej mięsień obśzerne boczne – różnica [cm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 17. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [Nm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 18. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [%] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 19. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 20. Porównanie wartości średnich i przedziałów ufności dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%] ze względu na czas badania oraz grupę.

Rycina 21. Porównanie wyników dla zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - EX[Nm] ze względu na grupę.

Rycina 22. Porównanie wyników dla zmiennej $\Delta_{po-przed}$ Kończyna operowana Peak Torque 60°/s - FLEX[Nm] ze względu na grupę.

115. Wykaz tabel

Tabela 1. Charakterystyka osób badanych (grupa badana/kontrolna).

Tabela 2. Podsumowująca tabela dwudzielcza: częstości obserwowane grupa vs kończyna operowana.

Tabela 3. Podsumowująca tabela dwudzielcza: częstości obserwowane grupa vs kończyna dominująca.

Tabela 4. Schemat jednostki treningowej.

Tabela 5. Podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę.

Tabela 6. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej artrometria 134N różnica [mm].

Tabela 7. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej obwód kończyny – różnica [cm].

Tabela 8. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej mięsień prosty uda – różnica [cm].

Tabela 9. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej mięsień obszerny boczny – różnica [cm].

Tabela 10. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [Nm].

Tabela 11. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - EX [%].

Tabela 12. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [Nm].

Tabela 13. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami dla zmiennej deficyt - Peak Torque 60°/s - FLEX [%].

Tabela 14. Podstawowe statystyki opisowe dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę badana/kontrolna.

Tabela 15. Test U Manna-Whitneya dla analizowanych zmiennych ze względu na grupę.

Streszczenie

Wstęp

Zerwanie ACL to jedno z najczęstszych pourazowych uszkodzeń stawu kolanowego, jedną z metod leczenia niestabilności powstającej wskutek uszkodzenia ACL jest zabieg rekonstrukcji. Pomimo udoskonalania procedur zabiegowych oraz protokołów postępowania fizjoterapeutycznego ryzyko ponownego uszkodzenia ACL po zabiegu rekonstrukcji może wynosić od 6 do 14 % (nawet ponad 20% w przypadku osób poniżej 25 roku życia). Czynniki związane z wysokim ryzykiem ponownego uszkodzenia ACL mogą być długo utrzymujące się deficyty siły mięśniowej oraz atrofia mięśni uda. Wiele osób po przebytej ACLR nie odzyskuje optymalnej siły i rozmiaru mięśnia czworogłowego nawet wiele lat po zabiegu, co może prowadzić do zwiększenia ryzyko ponownego urazu oraz prowadzi do wcześniejszych pourazowych zmian zwyrodnieniowych. Protokoły postępowania po ACLR poddawane są badaniom w celu określenia obiektywnych kryteriów progresji do kolejnych etapów rehabilitacji czy powrotu do aktywności sportowej, a także w celu określenia optymalnych metod fizjoterapeutycznych i treningowych, aby zmniejszać deficyty powstałe po urazie i zabiegu, maksymalizować możliwości sportowe i jednocześnie minimalizować ryzyko ponownego urazu. Trening z ograniczonym przepływem krwi znajduje zastosowanie w wielu populacjach, istnieją doniesienia, o jego efektywności również u osób po przebytej ACLR, jednak większość z nich dotyczy zastosowania we wczesnych etapach rehabilitacji po ACLR, jest mało doniesień o jego efektywności u osób długo po przebytej rekonstrukcji.

Cel badań

Celem pracy jest ustalenie wpływu zastosowania treningu z ograniczonym przepływem krwi na siłę i hipertrofię mięśnia czworogłowego, stabilność stawu kolanowego, subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego oraz ilość i rodzaj podejmowanej aktywności fizycznej u pacjentów od roku do 10 lat po przebytych zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego z tenodezą boczną.

Materiał i metody

Po wykonaniu badań wstępnych, zweryfikowaniu kryteriów włączenia i wyłączenia z badań, ostatecznie do udziału w projekcie zakwalifikowano 20 uczestników (8 kobiet, 12 mężczyzn) po przebytej ACLR (od roku do 10 lat po zabiegu), którzy zgłaszali utrzymujące się zaburzenie funkcji operowanego stawu kolanowego.

Osoby badane zostały podzielone losowo na 2 grupy po 10 osób w grupie badanej (GB – BFR^T) oraz grupie kontrolnej (GK – terapia pozorowana). U wszystkich osób badanych metodą pośrednią wykonywano pomiar 1RM dla trzech ćwiczeń; przysiad w wykroku, wejście na stopień bokiem, prostowanie stawu kolanowego siedząc oraz przeprowadzono pomiar AOP. Następnie uczestnicy rozpoczynali 6 – cio tygodniowy mezocykl treningowy, w ramach którego wykonywali 3 jednostki treningowe w tygodniu. Uczestnicy obu grup wykonywali identyczne ćwiczenia z zastosowaniem obciążenia odpowiadającego 30% 1RM oraz wykonywali trening z mankietem ciśnieniowym założonym na udo operowanej kończyny. Osoby, które znalazły się w grupie badanej wykonywały trening z mankietem, którego ciśnienie wynosiło kolejno 40%, 50% oraz 60% AOP (% AOP zmieniano co 2 tygodnie). Uczestnicy z grupy kontrolnej wykonywali trening z mankietem, wewnątrz którego ciśnienie wynosiło 10mmHg, co stanowiło zbyt niską wartość dla uzyskania ograniczenia przepływu krwi. Po zakończeniu 6 tygodniowego cyklu ćwiczeń (minimum 3, maksymalnie 7 dni po zakończeniu cyklu) uczestnicy ponownie zostali poddani testom – badaniom końcowym, które obejmowały identyczne procedury badawcze jak w przypadku badań wstępnych.

Wyniki

Stwierdzono istotną statystycznie różnicę obwodu kończyny w grupie badanej, po 6 tygodniowym mezocyklu cyklu treningowym istotnie zmniejszyła się różnica obwodu pomiędzy kończyną operowaną i nieoperowaną wśród uczestników grupy badanej. Stwierdzono istotny statystycznie wzrost maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego w grupie badanej.

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla pomiaru stabilności przedniej stawu kolanowego, pomiarów grubości mięśni prostego uda i obszernego bocznego, subiektywnej oceny funkcji stawu kolanowego oraz podejmowanej aktywności fizycznej.

Wnioski

Sześciotygodniowy mezocykl treningowy z zastosowaniem metody ciągłej treningu z ograniczonym przepływem krwi korzystnie wpływa na siłę maksymalną mięśnia czworogłowego uda oraz na obwód uda, jednocześnie nie wpływa negatywnie na stabilność przednią stawu kolanowego. Nie stwierdzono wpływu treningu z BFR na grubość mięśni prostego uda i obszernego bocznego, subiektywną ocenę funkcji stawu kolanowego oraz podejmowaną aktywność fizyczną.

Wartości aplikacyjne

Zaproponowany 6-cio tygodniowy mezocykl treningowy wykonywany z zastosowaniem ograniczonego przepływu krwi jest bezpieczną i efektywną metodą treningową. Fizjoterapeuci i trenerzy wdrażający 6-cio tygodniowy mezocykl treningowy zaproponowany w pracy własnej mogą spodziewać się progresji w zakresie siły maksymalnej mięśnia czworogłowego oraz obwodu uda, przy jednoczesnym braku negatywnego wpływu na stabilność stawu kolanowego oraz innych efektów niepożądanych.

Słowa kluczowe: trening z ograniczonym przepływem krwi, rekonstrukcja ACL, deficyt siły mięśnia czworogłowego, atrofia mięśnia czworogłowego

Abstract

Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is one of the most common injuries of knee joint, which can result in knee instability. One of the methods of healing instability of the knee joint is surgical reconstruction (ACLR). Despite improvements in surgical procedures and rehabilitation protocols, there is still risk of ligament re-rupture after ACLR. The risk of ACL re – rupture is estimated for 6% to 14% (even above 20% in case of people under 25 years of age). High re-rupture rates could be associated with long lasting muscle strength deficits and thigh muscle atrophy. A lot of patients after ACLR is not gaining an optimal strength and size of thigh muscles for many years after ACLR, what can increase the risk of re – rupture and early developing of arthrosis. There are many research investigating different parameters of rehabilitation protocols after ACLR, they are trying to determine objective criteria of progression to another stages of rehabilitation or to physical activity. There is still need to determine optimal methods to decrease deficits after ACL rupture and reconstruction, maximize athletic performance and minimize risk of another injuries. Blood flow restriction training (BFRT) can be used in a lot of different populations, there are reports of its efficacy in people after ACLR, but major of them are concerning on early stages of rehabilitation after ACLR, there is still few reports abouts it's efficacy long after ACLR.

Purpose of the study

The aim of this study is to determine the influence of BFRT on strength and hypertrophy of quadriceps muscle, knee joint stability, subjective rate of knee joint function and amount and type of physical activity in patients from one year to ten years after ACL reconstruction with lateral tenodesis.

Material and methods

After preliminary examinations, verifying inclusion and exclusion criteria, 20 participants (8 women, 12 men), who underwent ACLR with lateral tenodesis were qualified to attend in study. All participants reported functional problems of operated knee. Participants were randomly divided into one of 2 groups. 10 people were in experimental group (GB) and 10 in control group (GK). All participants underwent testing of 1 rep maximum (1RM) of three exercises (split squat, side step up, knee extensions) and AOP (Arterial Occlusion Pressure) testing. After all tests were performed participants started 6 weeks training program. Training program was the same for both groups, it included 3 training session

per week, 3 exercises during each session. Training session was done using BRFT protocol, which included 4 sets of each exercise (30, 15, 15, 15 repetitions) done with external load of 30% 1RM. Participants in experimental group were doing training with pressure cuff inflated to 40% AOP in first 2 weeks, 50% AOP in week 3 and 4, and 60% AOP for last 2 weeks. Participants in control group did all training sessions with pressure cuff inflated to 10mm Hg, which is too less to produce blood flow occlusion. After completing training program all participants were examined again.

Results

Statistically significant differences were found for thigh girth and knee extensor peak torque in experimental group. After 6 weeks training program there was statistically significant decrease of difference between thigh girth between operated and non-operated knee and increase of knee extensor peak torque in experimental group.

No significant changes were found for other examined parameters (knee stability, muscle thickness, subjective knee function and parameters of physical activity).

Conclusion

6-week blood flow restriction training program produced significantly better results compared to sham-BFRT for thigh girth and knee extensor strength with no negative influence on knee stability.

Clinical rehabilitation impact

6-week blood flow restriction training program is safe and effective training method. Physiotherapists and trainers using it in their practice can expect increase in muscle strength and thigh girth without negative influence on knee stability and other side effects.

Key words: blood flow restriction training, ACL reconstruction, quadriceps strength deficit, quadriceps atrophy

Załączniki

Załącznik 1



APPENDIX 1: BLOOD FLOW RESTRICTION PRE-SCREENING QUESTIONNAIRE

- Have you ever had a stroke (haemorrhagic or thrombotic) or a transient ischaemic attack (TIA)? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever been diagnosed with cancer? ☐ Yes ☐ No
- Have you been diagnosed with heart disease? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever had rhabdomyolysis? ☐ Yes ☐ No
- Have you been diagnosed with diabetes? ☐ Yes ☐ No
- Do you have sickle cell disease? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever had compartment syndrome? ☐ Yes ☐ No
- Do you have a history of nerve damage or injury? ☐ Yes ☐ No
- Have you had a previous complication or adverse event following BFR training? ☐ Yes ☐ No
- Do you have any other medical conditions not covered above, that you think should be discussed with a doctor prior to commencing BFR training? ☐ Yes ☐ No
- Are you pregnant? ☐ Yes ☐ No

If you answer yes to any of the questions above, do not proceed. Please arrange a consult with a doctor before commencing BFR training, to assess whether it is safe for you

- Are you taking the oral contraceptive pill? ☐ Yes ☐ No

The oral contraceptive pill may slightly increase the risk of blood clots. You may wish to discuss your individual risk further with your doctor before commencing BFR training.

- Do you have any other medical conditions not covered above, that you think should be discussed with a doctor prior to commencing BFR training? ☐ Yes ☐ No

Please arrange a consult with a doctor before commencing BFR training, to assess whether it is safe for you.

It is important to acknowledge that this is not an exhaustive list of medical conditions that should prompt medical review. Any participant with medical concerns should be encouraged to err on the side of caution and seek medical review prior to commencing BFR training.

February 2021

[AIS.gov.au](https://ais.gov.au)



ASC3819



APPENDIX 1: BLOOD FLOW RESTRICTION PRE-SCREENING QUESTIONNAIRE

- Have you ever had a stroke (haemorrhagic or thrombotic) or a transient ischaemic attack (TIA)? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever been diagnosed with cancer? ☐ Yes ☐ No
- Have you been diagnosed with heart disease? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever had rhabdomyolysis? ☐ Yes ☐ No
- Have you been diagnosed with diabetes? ☐ Yes ☐ No
- Do you have sickle cell disease? ☐ Yes ☐ No
- Have you ever had compartment syndrome? ☐ Yes ☐ No
- Do you have a history of nerve damage or injury? ☐ Yes ☐ No
- Have you had a previous complication or adverse event following BFR training? ☐ Yes ☐ No
- Do you have any other medical conditions not covered above, that you think should be discussed with a doctor prior to commencing BFR training? ☐ Yes ☐ No
- Are you pregnant? ☐ Yes ☐ No

If you answer yes to any of the questions above, do not proceed. Please arrange a consult with a doctor before commencing BFR training, to assess whether it is safe for you

- Are you taking the oral contraceptive pill? ☐ Yes ☐ No

The oral contraceptive pill may slightly increase the risk of blood clots. You may wish to discuss your individual risk further with your doctor before commencing BFR training.

- Do you have any other medical conditions not covered above, that you think should be discussed with a doctor prior to commencing BFR training? ☐ Yes ☐ No

Please arrange a consult with a doctor before commencing BFR training, to assess whether it is safe for you.

It is important to acknowledge that this is not an exhaustive list of medical conditions that should prompt medical review. Any participant with medical concerns should be encouraged to err on the side of caution and seek medical review prior to commencing BFR training.

February 2021

[AIS.gov.au](https://ais.gov.au)



ASZ3819

2000 IKDC Subjective Knee Evaluation Form

1. Jaki rodzaj czynności może Pani/Pan wykonywać bez bólu kolana?

- ☐ bardzo intensywne czynności jak np. skoki, gra w koszykówkę, piłkę nożną 4
☐ intensywne czynności jak ciężka praca fizyczna, jazda na nartach, tenis 3
☐ umiarkowane czynności jak umiarkowana praca fizyczna, bieganie 2
☐ lekkie czynności jak spacer, praca w domu lub ogrodzie 1
☐ nie mogę wykonywać żadnej z powyższych czynności z powodu bólu kolana 0

2. Jak często w ciągu ostatnich 4 tygodni odczuwał/a Pan/Pani ból kolana?

- | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| nigdy | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | stale |

3. Jeśli odczuwał/a Pan/Pani ból, jakie było jego nasilenie?

- | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| bez bólu | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | bardzo silny ból |

4. Jak sztywne lub obrzęknięte było Pana/Pani kolano w okresie ostatnich 4 tygodni?

- ☐ w ogóle 4
☐ łagodnie 3
☐ umiarkowanie 2
☐ silnie 1
☐ bardzo silnie 0

5. Jaki rodzaj czynności może Pani/Pan wykonywać bez zauważalnego obrzęku kolana?

- ☐ bardzo intensywne czynności jak np. skoki, gra w koszykówkę, piłkę nożną 4
☐ intensywne czynności jak ciężka praca fizyczna, jazda na nartach, gra w tenis 3
☐ umiarkowane czynności jak umiarkowana praca fizyczna, bieganie 2
☐ lekkie czynności jak spacerowanie, praca w domu lub ogrodzie 1
☐ nie mogę wykonywać żadnej z powyższych czynności z powodu obrzęku kolana 0

6. Czy w ostatnich 4 tygodniach miał/a Pan/Pani zablokowane kolano lub odczułeś/aś nagle „przeskoczenie”?

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| tak | nie |
| ☐ 0 | ☐ 1 |

7. Jaki rodzaj czynności może Pani/Pan wykonywać bez uczucia „uciekania/ustępowania” kolana?

- ☐ bardzo intensywne czynności jak np. skoki, gra w koszykówkę, piłkę nożną 4
☐ intensywne czynności jak ciężka praca fizyczna, jazda na nartach, tenis 3
☐ umiarkowane czynności jak umiarkowana praca fizyczna, bieganie 2
☐ lekkie czynności jak spacer, praca w domu lub ogrodzie 1
☐ nie mogę wykonywać żadnej z powyższych czynności z uczucia ustępowania/uciekania kolana 0

8. Jaki jest największy poziom Pana/Pani normalnej aktywności fizycznej?

- ☐ bardzo intensywne czynności jak np. gra w koszykówkę, piłkę nożną 4
☐ intensywne czynności jak ciężka praca fizyczna, jazda na nartach, tenis 3
☐ umiarkowane czynności jak umiarkowana praca fizyczna, bieganie 2
☐ lekkie czynności jak spacer, praca w domu lub jego otoczeniu 1
☐ niezdolność do wykonania żadnej z powyższych czynności 0

9. Czy dolegliwości ze strony kolana wpływają na wykonywanie poniższych czynności?

	bez trudności	minimalne trudności	umiarkowane trudności	duże trudności	niemożliwe do wykonania
	4	3	2	1	0
a. wchodzenie po schodach	☐	☐	☐	☐	☐
b. schodzenie ze schodów	☐	☐	☐	☐	☐
c. klęczenie	☐	☐	☐	☐	☐
d. kucanie	☐	☐	☐	☐	☐
e. siedzenie ze zgiętymi kolanami	☐	☐	☐	☐	☐
f. wstawanie z krzesła	☐	☐	☐	☐	☐
g. bieg po prostej	☐	☐	☐	☐	☐
h. podskoki na jednej nodze	☐	☐	☐	☐	☐
i. szybkie ruszanie i zatrzymywanie	☐	☐	☐	☐	☐

10. Jak oceni Pan/Pani funkcję swojego kolana w skali od 0 do 10 (10 – normalna, nie zaburzona funkcja; 0 – niezdolność do wykonania żadnej czynności dnia codziennego)?

Funkcja kolana przed urazem:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
niezdolność do wykonywania codziennych czynności	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	bez ograniczeń

Obecna funkcja kolana:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
niezdolność do wykonywania codziennych czynności	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	bez ograniczeń

Załącznik 3

Punktowa Ocena Stawu Kolanowego wg Skali Lysholma

Utykanie	brak	5
	niewielkiego stopnia	3
	obecne	0
Stosowanie kul łokciowych	nie jest stosowana	5
	jedna kula lub laska	3
	chodzenie przy asekuracji dwóch kul	0
Przeskakiwanie / blokowanie	nie występuje	15
	przeskakiwanie, nie występuje blokowanie	10
	występuje okresowe blokowanie	6
	występuje częste blokowanie	2
	objaw wystąpił podczas badania	0
Niestabilność / „uciekania nogi”	uczucie	
	Nie występuje	25
	Występuje rzadko	20
	Występuje podczas ćwiczeń	15
	Występuje podczas normalnej aktywności	10
	Występuje zawsze	0
Ból	Nigdy	25
	Rzadko	20
	Obecny podczas wysiłku	15
	Obecny po więcej niż 2 km marszu	10
	Obecny po mniej niż 2 km marszu	5
	Stale obecny	0
Wysięki	Nie	10
	Rzadko podczas wysiłku	6
	Często podczas wysiłku	2
	stale	0
Wchodzenie po schodach	Bez problemu	10
	Z niewielką trudnością	5
	Po jednym stopniu	2
	niemożliwe	0
Przysiad	Bez problemu	5
	Z niewielką trudnością	4
	Do 90stopni zgięcia w kolanie	2
	niemożliwe	0

Załącznik 4

Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej IPAQ

Chciał(a)bym zadać kilka pytań dotyczących czasu spędzanego na czynnościach wymagających aktywności fizycznej. Dotyczą one wszystkich rodzajów aktywności fizycznej związane z życiem codziennym, z pracą i z wypoczynkiem. Pytania te zadajemy wszystkim, niezależnie od tego, czy ktoś uważa się za osobę aktywną fizycznie, czy też nie.

Pytania będą dotyczyły czynności związanych z aktywnością fizyczną w ciągu ostatnich 7 dni, tzn. od (podać dzień tygodnia) **do wczoraj.**

Proszę teraz pomyśleć o wszystkich czynnościach wykonywanych w ciągu ostatnich 7 dni w domu i w jego otoczeniu, w pracy zawodowej, związanych z przemieszczaniem się z miejsca na miejsce, np. drodze do pracy i z pracy, robieniu zakupów. Proszę także uwzględnić czynności wykonywane w czasie wolnym, tj. spacer, rekreacja, praca na działce, ćwiczenia fizyczne oraz sport. Najpierw zapytam Pana/ą o czynności wymagające dużego wysiłku fizycznego, następnie o czynności wymagające umiarkowanego, średniego wysiłku, a na koniec o spacer i inne czynności związane z chodzeniem oraz siedzeniem.

Na początek proszę przypomnieć sobie wszystkie czynności wymagające intensywnego wysiłku fizycznego, wykonywane w ciągu ostatnich 7 dni.

Intensywny wysiłek fizyczny wywołuje bardzo szybkie oddychanie i bardzo szybkie bicie serca

Intensywnego wysiłku fizycznego wymaga np. dźwiganie ciężkich przedmiotów, kopanie ziemi, aerobik, szybki bieg, szybka jazda rowerem. Interesują nas tylko czynności, które trwały **co najmniej 10 min. bez przerwy.**

1. Czy w ciągu **ostatnich 7 dni** wykonywał/a Pan/i czynności wymagające **intensywnego wysiłku fizycznego**?

Tak – przez ile dni w ciągu ostatniego tygodnia? dni

Nie → **przejdź do pytania pyt. 3**

Nie wiem/Nie jestem pewien(a) → **przejdź do pytania pyt. 3**

2. Przeciętnie ile czasu wykonywał/a Pan/i czynności wymagające **intensywnego wysiłku fizycznego** w ciągu takiego dnia?

..... minut dziennie

Nie wiem/Nie jestem pewien(a)

A teraz proszę przypomnieć sobie wszystkie czynności wymagające umiarkowanego (średniego) wysiłku fizycznego wykonywane w ciągu ostatnich 7 dni.,

Umiarkowany wysiłek fizyczny prowadzi do trochę szybszego oddychania i trochę szybszego bicia

Umiarkowanego wysiłku fizycznego wymaga np. noszenie lżejszych ciężarów, jazda rowerem w normalnym tempie, gra w siatkówkę lub bardzo szybki marsz. Proszę jednak nie brać pod uwagę chodzenia. Chodzi znowu tylko o czynności, które trwały **co najmniej 10 minut bez przerwy.**

3. Czy w ciągu **ostatnich 7 dni** wykonywał/a Pan/i czynności wymagające umiarkowanego, średniego wysiłku fizycznego?

Tak – przez ile dni w ciągu ostatniego tygodnia? dni

Nie → **przejdź do pytania pyt. 5**

Nie wiem/Nie jestem pewien(a) → **przejdź do pytania pyt. 5**

4. Przeciętnie ile czasu wykonywał/a Pan/i czynności wymagające **umiarkowanego wysiłku fizycznego** w ciągu takiego dnia?

..... minut dziennie

Nie wiem/Nie jestem pewien(a)

Teraz proszę przypomnieć sobie, ile czasu zajęło Panu/i **chodzenie** w ciągu **ostatnich 7 dni**. Interesuje nas chodzenie związane z pracą, chodzenie ulicą, np. po zakupy, do pracy, a także o spacer. Chodzi znowu o chodzenie, które trwało **co najmniej 10 minut bez przerwy**.

5. Czy w ciągu **ostatnich 7 dni** chodził/a Pan/i **co najmniej 10 min. bez przerwy**?

Tak – przez ile dni w ciągu ostatniego tygodnia? dni

Nie → **przejdź do pytania pyt. 7**

Nie wiem/Nie jestem pewien(a) → **przejdź do pytania pyt. 7**

6. Przeciętnie ile czasu poświęcał/a Pan/i na **chodzenie lub spacer** w ciągu takiego dnia?

..... minut dziennie

Nie wiem/Nie jestem pewien(a)

A ile czasu w ostatnim tygodniu spędzał Pan/i **siedząc**? Tym razem **proszę uwzględnić tylko dni powszednie**, tzn. proszę pominąć sobotę i niedzielę. Chodzi np. o siedzenie przy biurku, siedzenie podczas odwiedzin u znajomych, podczas czytania, a także siedzenie lub leżenie podczas oglądania telewizji. Proszę uwzględnić czas spędzony na siedzeniu w domu, w pracy, w szkole, w pojazdach i w innych miejscach.

7. Biorąc pod uwagę **dni powszednie w ciągu ostatniego tygodnia**, ile zazwyczaj czasu w ciągu dnia spędzał/a Pan/i **siedząc**?

..... minut dziennie

Nie wiem/Nie jestem pewien(a)