

**UNIWERSYTET GDAŃSKI**



**WYDZIAŁ MATEMATYKI, FIZYKI I INFORMATYKI UG**

**Kierunek studiów: Bioinformatyka**

**Cezary Muszalski**

**Numer albumu: 288527**

**Wykorzystanie analizy wielowymiarowej do oceny  
jakości życia sportowców po zerwaniu więzadła  
krzyżowego przedniego (ACL)**

Praca licencjacka

wykonana

pod kierunkiem

dr. Mariana Karafa

**Gdańsk 07.07.2025**

**UNIVERSITY OF GDANSK**



**Faculty of Mathematics, Physics and Informatic, University of  
Gdańsk**

**Field of study: Bioinformatics**

**Cezary Muszalski**

**Album No: 288527**

**Using multivariate analysis to assess the quality of life of  
athletes after anterior cruciate ligament (ACL) rupture**

Bachelor's thesis

written

under supervision of

dr. Mariana Karafa

**Gdańsk 07.07.2025**

<b>SPIS TREŚCI</b>	<b>3</b>
<b>WSTĘP.</b>	<b>5</b>
<b>1. Znaczenie więzadła krzyżowego przedniego (ACL) w biomechanice kolana</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Budowa, przyczyny i mechanizmy zerwania ACL</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Konsekwencje zerwania więzadła krzyżowego przedniego</b>	<b>12</b>
<b>1.2.1. Krótkoterminowe konsekwencje</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2. Długoterminowe konsekwencje</b>	<b>14</b>
<b>1.2.3. Konsekwencje psychologiczne</b>	<b>15</b>
<b>2. Proces diagnostyki i leczenia zerwanego ACL</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Objawy charakterystyczne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1. Objawy pierwotne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2. Objawy wtórne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Leczenie zerwanego ACL</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1. Rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2. Naprawa więzadła krzyżowego przedniego</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3. Nieoperacyjne leczenie więzadła krzyżowego przedniego</b>	<b>22</b>
<b>3. Analiza wielowymiarowa jako narzędzie oceny jakości życia</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Czym jest Analiza wielowymiarowa</b>	<b>23</b>
<b>3.2. Przykładowe Metody analizy wielowymiarowej</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1. Analiza głównych składowych (PCA)</b>	<b>23</b>
<b>3.2.2 Analiza skupień(Cluster Analysis)</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 Modelowanie równań strukturalnych (SEM)</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Dlaczego analiza wielowymiarowa może pomóc w ocenie jakości życia sportowców po zerwaniu więzadła krzyżowego przedniego.</b>	<b>24</b>

<b>4.Ocena jakości życia sportowców – analiza statystyczna</b>	<b>26</b>
<b>5. Metodologiczne podstawy badań</b>	<b>35</b>
<b>5.1. Problem pracy, cel, pytania i hipotezy badawcze</b>	<b>35</b>
<b>5.2. Charakterystyka badanych osób</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Metody badań, narzędzia badawcze</b>	<b>35</b>
<b>6. Wyniki badań własnych</b>	<b>36</b>
<b>7. Dyskusja</b>	<b>38</b>
<b>8. Streszczenie</b>	<b>41</b>
<b>7.1 Wnioski</b>	<b>42</b>
<b>9. Abstract</b>	<b>43</b>
<b>8.1 Conclusion</b>	<b>43</b>
<b>10. Bibliografia</b>	<b>44</b>
<b>11. Spis Rycin</b>	<b>47</b>
<b>12. Wykaz Skrótów</b>	<b>48</b>

## Wstęp

Więzadło krzyżowe przednie (ACL – łac. ligamentum cruciatum anterius) jest jednym z kluczowych elementów stabilizujących staw kolanowy. Jest odpowiedzialne za poprawne przemieszczanie się przednie i rotacje kości piszczelowej względem kości udowej [1].

Jest to bardzo częsty rodzaj kontuzji występujący w dyscyplinach takich jak: piłka nożna, koszykówka czy football amerykański. Najczęstszą przyczyną uszkodzenia ACL są urazy skrętne, w większości przypadków spowodowane nagłym skrętem ciała, gwałtownym przeprostem, niespodziewanym czy natychmiastowym zatrzymaniem ruchu. Taki rodzaj kontuzji, jest ogromnym problemem medycznym, gdyż taki rodzaj kontuzji nie jest w stanie samoistnie się zregenerować. Jest to spowodowane słabym unaczynieniem co skutkuje tym, że jego końce ulegają degeneracji po około 3 tygodniach [1].

Uraz ten często prowadzi do długotrwałej przerwy w aktywności fizycznej, co dla sportowca odbija się na tle psychicznym i społecznym. W niektórych przypadkach kontuzja uniemożliwia dalsze kontynuowanie kariery i uprawianie sportu na poziomie zawodowym. Mimo to, wielu sportowców którzy wracają do gry, odczuwa lęk przed kolejną kontuzją, niekiedy zmieniając swój dotychczasowy styl gry, co może wpłynąć na ich pewność siebie a tym samym na wyniki w sporcie.

Mimo wielkiego zainteresowania związanego z urazami ACL, większość obecnych prac skupia się na pojedynczych przypadkach, co zmniejsza ogólny pogląd na czynniki kontuzjogenne. Ta praca jest metaanalizą, czyli metodą która umożliwia połączenie wyników z odrębnych badań. Została ona wybrana, ze względu na znikomą ilość tego typu prac, szczególnie w tej tematyce. Metoda ta pozwala zwiększyć wiarygodność wyników i daje większą wizję na problem niż prace skupiające się na pojedynczych przypadkach, z czym wiążą się bardziej kompleksowe i trafne wnioski odnośnie oceny jakości życia sportowców po zerwaniu ACL.

Metaanaliza pozwala ocenić zbieżność lub rozbieżność wyników co pozwala na zidentyfikowanie kluczowych czynników, które mogą wpływać na odmiennosć poszczególnych badań. Może to się przyczynić na skuteczniejszą interwencję medyczną

oraz dobór rehabilitacji w kontekście poprawy jakości życia po urazie więzadła krzyżowego przedniego.

Celem niniejszej pracy jest porównanie jakości życia sportowców przed i po zerwaniu więzadła krzyżowego przedniego z uwzględnieniem wpływu wieku, płci oraz czasu trwania rehabilitacji na powrót do aktywności sportowej, wykorzystując do tego analizę danych wielowymiarowych. Część czysto teoretyczna pracy skupia się na wprowadzeniu i przedstawieniu budowy ACL, czynników wpływających na jego wytrzymałość, pokazaniu jak taka kontuzja oddziałuje na zawodnika, zaprezentowaniu jak wygląda okres rehabilitacji w zależności od podjętego leczenia oraz wytłumaczeniu jak działa analiza wielowymiarowa i jak jest ona w stanie nam pomóc.

Natomiast część praktyczna skupia się na zidentyfikowaniu kluczowych czynników, które wpływają na ryzyko kontuzji, oraz określenie jak uszkodzenie ACL wpływa na różne płaszczyzny życiowe sportowców skupiając się głównie na ich wynikach sportowych.

Analiza wielowymiarowa to metoda statystyczna, która pozwala na jednoczesne badanie zależności między zmiennym. W przypadku sportowców po zerwaniu ACL, może ona dostarczyć cennych informacji odnośnie podatności na kontuzje tym samym wspomagając tworzenie skuteczniejszych programów rehabilitacyjnych i treningów motorycznych które pomogą zapobiec zerwaniu [2].

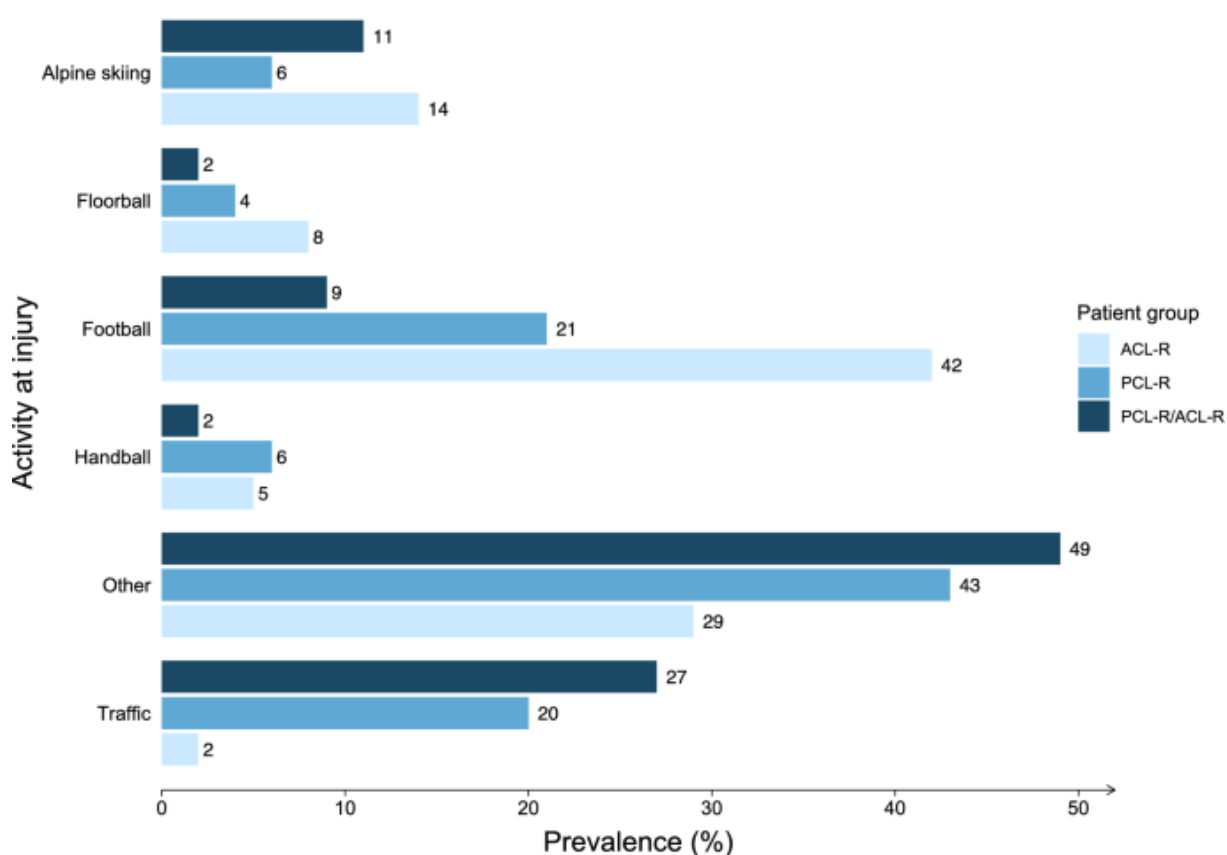
Praca została podzielona na 4 rozdziały. W których przedstawiono charakterystykę urazów ACL oraz ich wpływ na jakość życia. Porównaniu zebranych danych z różnych dyscyplin sportowych i zestawieniu ich za pomocą programu napisanego w języku Python, który pozwoli dokonać analizy danych wielowymiarowych. Pierwsze trzy rozdziały są typowo czysto-teoretyczne, pomagają wprowadzić odbiorcę w tematykę pracy i pomóc zrozumieć potrzebę niniejszego badania. Dodatkowo ostatni rozdział zawiera wyniki badań empirycznych wraz z ich interpretacją, które w dalszym badaniu pomagają określić jakość życia sportowców z różnych dyscyplin sportowych.

Zrozumienie, w jaki sposób dochodzi do urazu ACL, jak taka kontuzja wpływa na życie sportowca oraz kto jest najbardziej na to narażony, może przyczynić się do poprawy efektywności programów rehabilitacyjnych oraz lepszego wsparcia w procesie powrotu do pełnej sprawności.

# 1. Znaczenie więzadła krzyżowego przedniego (ACL) w biomechanice kolana

## 1.1 Budowa, przyczyny i mechanizmy zerwania ACL

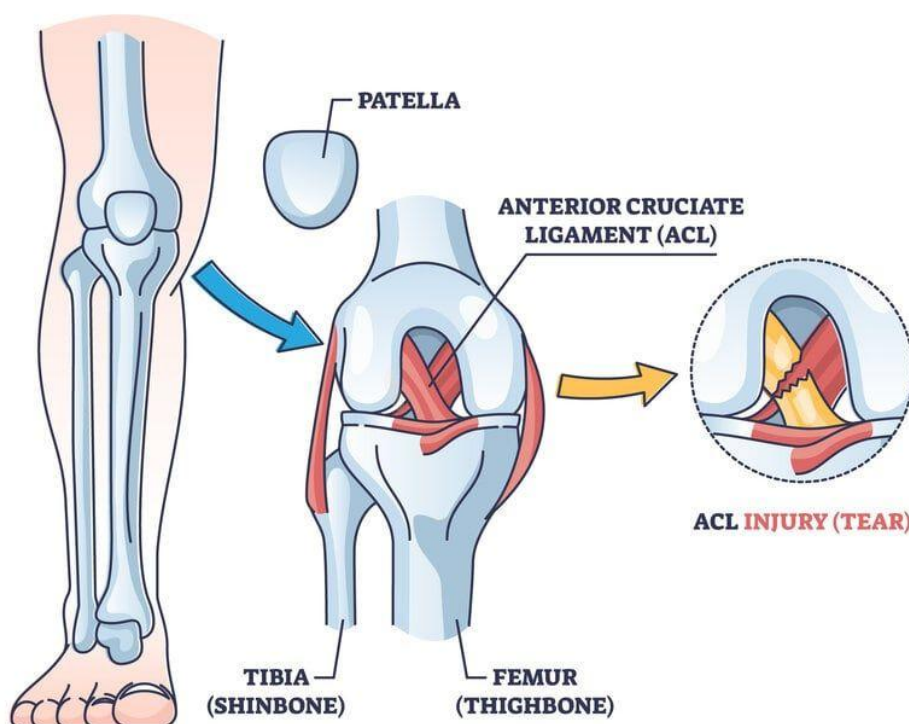
Więzadło krzyżowe przednie (ACL) jest głównym elementem stabilizującym kolano, znajdując się ono wewnątrz stawu kolanowego, a dokładniej mówiąc, pomiędzy jego warstwą włóknistą, a warstwą maziową. Jest to jedno z głównych więzadeł wewnątrzstawowych oraz jedno z dwóch więzadeł krzyżowych w kolanie odpowiedzialnych za ślizg kości piszczelowej względem kości udowej. ACL jest mniejszy, z czego wynika jego mniejsza wytrzymałość od więzadła krzyżowego tylnego (PCL – ligamentum cruciatum posterius), przez co zdecydowanie częściej dochodzi do urazów więzadła krzyżowego przedniego podczas uprawiania sportu co można dostrzec na Rysunku nr (1) z artykułu (Zsidai, B., Horvath, A., Winkler, P.W. *et al.* Different injury patterns exist among patients undergoing operative treatment of isolated PCL, combined PCL/ACL, and isolated ACL injuries: a study from the Swedish National Knee Ligament Registry. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **30**, 3451–3460 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00167-022-06948-x>) [1].



Rycina [1].

ACL to pasmo gęstej tkanki łącznej która w pozycji wyprostowanej ma średnią długość 32mm oraz szerokość 10 mm, co przyczynia się do wytrzymałości na poziomie w granicach od 1725 N do 2500 N. Stosunkowo zakłada się, że codziennie czynności produkują obciążenie w granicach 100 - 500 N. Podczas biegania czy skakania generowana siła wzrasta do około 1100 N, co nadal pozostaje znacznie poniżej progu zerwania. Sprawa natomiast drastycznie zmienia się podczas nagłych zmian kierunku ruchu, lądowaniu po wyskoku czy nieprawidłowym ułożeniu nogi. Mimo że ACL jest bardzo wytrzymałe, to w wyniku nagłych, dynamicznych obciążeń, złej techniki czy predyspozycji anatomicznych, może dojść do wygenerowania wystarczającej siły, która umożliwia jego zerwanie [1].

## ACL INJURY



Rycina [2].



Dodatkowo należy wspomnieć o czynnikach które wpływają na wytrzymałość połączenia, takich jak:

- **Dysproporcja pomiędzy siłą mięśniową a elastycznością więzadeł**

Odpowiednia równowaga między siłą mięśniową a elastycznością więzadeł odgrywa kluczową rolę w ochronie stawu kolanowego przed przeciążeniami i kontuzjami. Jeśli mięśnie stabilizujące kolano, zwłaszcza mięsień czworogłowy uda oraz mięśnie dwugłowe uda, są osłabione, więzadło krzyżowe przednie (ACL) musi przejmować większe obciążenia. To z kolei zwiększa ryzyko jego nadmiernego rozciągnięcia, przeprostu oraz mikrourazów, które mogą prowadzić do jego całkowitego zerwania.

Silne mięśnie stabilizujące staw kolanowy pomagają efektywnie rozkładać siły działające na kończynę dolną, zmniejszając tym samym obciążenie przenoszone na więzadła. W przypadku znacznej dysproporcji między siłą mięśniową a elastycznością więzadeł, mechanizmy stabilizacyjne kolana zostają zaburzone, co istotnie zwiększa ryzyko urazów. Dlatego tak ważne jest zachowanie odpowiedniej harmonii pomiędzy siłą mięśni a wytrzymałością struktur więzadłowych poprzez regularny trening wzmacniający i stabilizacyjny [3].

- **Brak odpowiedniego treningu i techniki**

Sportowcy, którzy nie wzmacniają kluczowych grup mięśniowych odpowiedzialnych za stabilizację stawu kolanowego, nie opanowali prawidłowej techniki lądowania oraz nie posiadają właściwie rozwiniętej mechaniki ruchowej, są znacznie bardziej narażeni na urazy więzadła krzyżowego przedniego (ACL). Szczególnie istotnym aspektem jest mechanika zmiany kierunku ruchu, która w przypadku nieprawidłowego wykonania generuje nadmierne obciążenia więzadeł i może prowadzić do ich uszkodzenia.

Aby zmniejszyć ryzyko kontuzji, profesjonalni sportowcy regularnie uczestniczą w treningach motorycznych, które mają na celu poprawę kontroli ruchowej, koordynacji oraz stabilności dynamicznej. Kluczowym elementem przygotowania są również treningi plyometryczne, polegające na wykonywaniu eksplozywnych ruchów, odwierciedlających sytuacje występujące podczas danej dyscypliny sportowej. Ćwiczenia te uczą zawodników prawidłowej techniki lądowania, właściwego

rozłożenia sił w trakcie skoków oraz optymalnego sposobu zmiany kierunku, co skutecznie redukuje ryzyko przeciążeń i urazów ACL.

Regularne wdrażanie tych metod treningowych pozwala nie tylko poprawić osiągi sportowe, ale przede wszystkim zwiększa bezpieczeństwo zawodnika, minimalizując prawdopodobieństwo poważnych kontuzji kolana [1] [4].

- **Uwarunkowanie genetyczne**

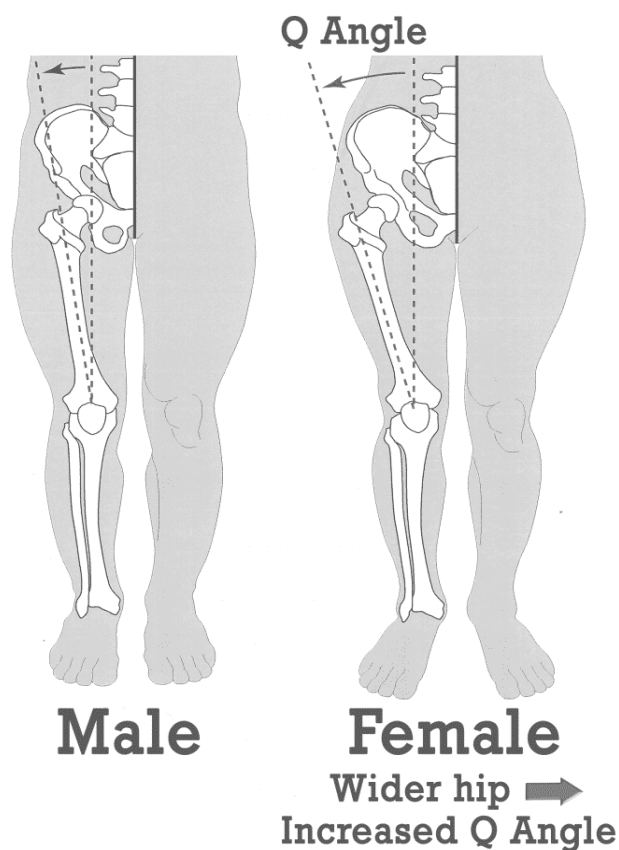
Niektóre osoby wykazują wrodzoną hiper mobilność stawów, co oznacza, że ich ścięgna i więzadła charakteryzują się większą elastycznością niż u przeciętnej populacji. Zjawisko to prowadzi do zwiększonej ruchomości stawu kolanowego oraz ograniczonej zdolności więzadeł do absorpcji energii, co w konsekwencji może zwiększać podatność na urazy, zwłaszcza w sytuacjach generujących znaczne obciążenia [5].

Badania naukowe wskazują na istnienie związku między predyspozycjami genetycznymi a ryzykiem uszkodzenia więzadła krzyżowego przedniego (ACL). Jednym z kluczowych elementów tej zależności jest gen **COL1A1**, który koduje kolagen typu I, który jest podstawowym składnikiem strukturalnym więzadeł i ścięgien. Zidentyfikowano, że określone warianty tego genu mogą wiązać się ze zwiększoną podatnością na urazy ACL, co podkreśla rolę czynników genetycznych w mechanizmach ich powstawania [6].

- **Wahania hormonalne i różnice genetyczne u kobiet**

Badania naukowe wskazują, że u kobiet istnieje większe ryzyko na zerwanie więzadła niż u mężczyzn, ryzyko to jest wyższe od 2 aż do 8 razy, a wynika to z kombinacji różnych czynników anatomicznych i hormonalnych. Jednym z tych czynników jest mniejsza wielkość więzadeł u kobiet względem mężczyzn. Badanie takie i takie pokazuje, że u kobiet często obserwuje się mniejsze oraz cieńsze więzadło ACL. Mniejsze wymiary wpływają na mniejszą wytrzymałość, z czym wiąże się zwiększona podatność na urazy, prócz tego u kobiet obserwuje się zazwyczaj szerszą miednicę, co

proceeds to a larger Q angle (or angle between the hip line and the patella line, as shown in image (2)). An increased Q angle is often a cause of knee valgus, which leads to increased loading and ACL strain during physical activities [7] [8].



Rycina [3].

In this context, it is also worth mentioning the hormone sex, which is estrogen, which plays a key role in modulating ligaments. It can influence the reduction of ACL structure stiffness, leading to lower stability and as a consequence, significantly increasing the risk of injury [9].

The result of the complex interaction of the above-mentioned factors is an increased risk of this type of injury in women. Understanding these differences is the foundation for developing preventive programs aimed at minimizing the frequency of such injuries in women.

- **Niewłaściwie dobrane obuwie oraz powierzchnia**

Obuwie sportowe oraz rodzaj podłoża, na którym wykonywana jest aktywność sportowa, ma ogromne znaczenie dla stabilności ruchu i obciążeń działających na staw kolanowy. Przykładowo buty z nadmierną przyczepnością mogą spowodować zakleszczenie się stopy w podłożu, znacznie utrudniając swobodne ślizganie się buta przy zmianie kierunku ruchu co skutkuje zwiększoną siłą rotacyjną oddziałującą na kolano. Źle dobrany but, który wykazuje słabą stabilizację boczną zwiększa ryzyko nadmiernej pronacji lub supinacji stopy, z czym wiążą się niekontrolowane ruchy kolana [10].

Dodatkowo niektóre powierzchnie mogą zwiększyć ryzyko urazu, zwłaszcza gdy współpracują z źle dobranym pod nie obuwie. Badania wskazują, że sztuczna trawa w porównaniu do naturalnej murawy jest bardziej inwazyjna, dzieje się tak za sprawą jej sztywności co powoduje większe siły reakcji podłoża i mniejszą amortyzację wstrząsów. W sportach zespołowych halowych takich jak piłka ręczna, koszykówka czy siatkówka nawierzchnia odgrywa ogromny wpływ na ruchomość zawodnika, drewniany parkiet może oferować dobrą amortyzację, ale wiele z nich posiada nadmierny poślizg, który wpływa na kontrolę nad zmianą kierunku ruchu oraz stabilności stopy.

Podsumowując, brak odpowiedniego dopasowania butów oraz podłoża do gry może znacząco wpłynąć na nieprawidłowe ustawienie stawu skokowego i stawu kolanowego zwiększając ryzyko przeciążenia więzadeł [11].

## **1.2 Konsekwencje zerwania więzadła krzyżowego przedniego**

Zerwanie więzadła krzyżowego jest poważnym urazem, który niesie ze sobą wiele konsekwencji krótkoterminowych jak i długoterminowych. Jest to poważna kontuzja, przy której najczęściej występuje przewlekła niestabilność stawu. Jednakże może ona prowadzić do uszkodzeń wtórnych, chorób zwyrodnieniowych a również problemów na tle psychologicznym. Dlatego tak ważne jest właściwe leczenie i odpowiednia rehabilitacja, aby zminimalizować zjawisko występowania skutków doznanego urazu i umożliwienie powrotu do pełnej sprawności przed kontuzją.

- **1.2.1 Krótkoterminowe konsekwencje** – Natychmiastowo widoczne i odczuwalne. Wpływają na funkcjonowanie stawu kolanowego i utrudniają codzienne funkcjonowanie. Należą do nich:

**- Ból i obrzęk całego stawu**

ACL jest bardzo dobrze unaczyniony co jest powodem nagłego silnego bólu i szybko narastającego obrzęku podczas zerwania. Obrzęk powstaje na skutek krwawienia wewnątrz stawu kolanowego powodując uczucie sztywności.

Dodatkowo najczęściej pacjent nie jest w stanie przełożyć ciężaru ciała na kontuzjowaną kończynę, ponieważ kolano jest niestabilne i bolesne



**Rycina [4]**

**- Utrata stabilności**

Zerwane więzadło nie pełni już swojej roli stabilizującej, dlatego jego rolę muszą przejąć mięśnie, które jeśli nie są wystarczająco dobrze rozwinięte mogą zezwolić na niekontrolowane przemieszczanie się stawu, szczególnie przy ruchach nagłych i skrętnych.

### **- Ograniczony zakres ruchu**

Powstały na skutek urazu obrzęk, uniemożliwia pełny zakres ruchu, co prowadzi do ograniczonej mobilności. Towarzyszącym temu, często widocznym zjawiskiem jest osłabiony mięsień uda, szczególnie czworogłowy, co dodatkowo negatywnie wpływa na funkcjonowanie całej kończyny.

- **1.2.2 Długoterminowe konsekwencje** – Rozwijające się stopniowo, mogą prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych. Niektóre z nich mogą oddziaływać na nas przez wiele lat po urazie, lub nawet do końca życia.

### **- Przewlekła niestabilność kolana jeśli nie zostało dokładnie wyleczone**

Jeden z najczęstszych długoterminowych skutków, może występować nawet po rekonstrukcji. Jeśli ACL nie został odpowiednio odbudowany, pacjent niechętnie podchodził do rehabilitacji przez co nie powrócił do pełnej kontroli nerwowo-mięśniowej, istnieje wysokie ryzyko zjawiska „uciekania” kolana, czyli nadmiernego i niekontrolowanego przez więzadła wysuwania się do przodu lub tyłu względem kości udowej. Może to doprowadzić do powtórnego zerwania oraz uszkodzenia innych struktur stawu kolanowego [12].

### **- Wzrost ryzyka uszkodzeń wtórnych**

Po zerwaniu ACL, kolano staje się bardziej podatne na wszelakie inne uszkodzenia. Przykładowo istnieje badanie [Incidence and Risk Factors of Subsequent Meniscal Surgery After Successful Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Retrospective Study With a Minimum 2-Year Follow-up] które pokazują, że pacjenci po zerwaniu ACL mają od 3 do 6 razy większe ryzyko uszkodzenia łąkotek w przyszłości. Jednym z przyczyn takiego zjawiska jest to, że niestabilny staw kolanowy generuje zwiększony nacisk na łąkotki, ryzykując ich przeciążeniem, dodatkowo niestabilność prowadzi do nierównomiernego rozkładu wyżej wspomnianych obciążeń, co jest czynnikiem który przyspiesza degradację chrząstki z czym wiąże się ryzyko choroby zwyrodnieniowej. Ponadto częste epizody z

wcześniej wspomnianym zjawiskiem „uciekania”, powodują nadmierne rozciąganie się więzadeł pobocznych co z czasem prowadzi do ich osłabienia i finalnie uszkodzenia [13].

#### **-Zwiększone ryzyko choroby zwyrodnieniowej stawu kolanowego**

Artykuł "Knee Osteoarthritis Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Frequency, Contributory Elements, and Recent Interventions to Modify the Route of Degeneration" zwraca uwagę na uszkodzenia łąkotek jako kluczowy czynnik ryzyka OA. Jak zostało wyżej wspomniane wraz z uszkodzeniem ACL pacjent znajduje się w podwyższonej grupie ryzyka w kontekście uszkodzeń łąkotek. Zjawisko meniscektomii znacząco podwyższa ryzyko degeneracji chrząstki stawowej, powodem tego jest brak ochrony, którą normalnie pełni łąkotka. Wiąże się to ze zwiększonym naciskiem na powierzchnie stawowe co przyspiesza zmiany zwyrodnieniowe [14].

#### **- Niepełny powrót do sportu**

W badaniu „Return to Level I Sports After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Evaluation of Age, Sex, and Readiness to Return Criteria”. Autorzy analizują czynniki wpływające na powrót do sportów na wysokim poziomie po rekonstrukcji ACL. Podkreślają że pełny powrót zależny jest od wielu aspektów takich jak płeć, wiek czy rodzaj rekonstrukcji której się poddali. W artykule można wyczytać, że kobiety rzadziej wracają do pełni zdrowia sprzed urazu w porównaniu do mężczyzn, na co ma wpływ mają różnice anatomiczne, genetyczne czy hormonalne wspomniane wcześniej [15].

- **1.2.3 Konsekwencje psychologiczne** – Mogą być równie poważne jak skutki fizyczne. W zależności od osobowości danej osoby, możemy spotykać najróżniejsze problemy emocjonalne. Najczęściej spotykane to spadek motywacji, pewności siebie i samo ogólnego poczucia.

#### **- Blokada przed wykonywaniem niektórych czynności**

Po urazie więzadeł, pacjenci często odczuwają strach przed wykonaniem niektórych ruchów, szczególnie w kontekście stawu kolanowego. Taki lęk nazywa się kinezjofobią i może być bardzo irytująca i ciężką do przeskoczenia barierą dla sportowców i osób aktywnych fizycznie, którym taki rodzaj aktywności towarzyszy na co dzień. Strach

przed ponownym urazem, jest czynnikiem prowadzącym do pewnego rodzaju błędnego koła – brak pewności siebie wpływa psychicznie co często odbija się na mechanice ruchu, ryzykując ponowieniem urazu [16].

### **- Zaburzenia psychiczne**

Długotrwała przerwa, może doprowadzić do ciężkich problemów na tle psychicznym. Brak możliwości wykonywania aktywności dla niektórych osób odbija się bardzo na zdrowiu psychicznym, powodów tego jest wiele np. wczesne zakończenie sezonu, konieczność zakończenia kariery sportowej, długotrwałe ograniczenia czy gnębiące przemyślenia związane z niepokojem o przyszłość. W badaniu [Self-Reported Symptoms of Depression and Anxiety After ACL Injury: A Systematic Review] wykazano, że aż 34% pacjentów po urazie ACL zgłaszało objawy depresji, zwłaszcza w początkowej fazie po operacji. Objawy te były bardziej nasilone u profesjonalnych sportowców, aniżeli amatorów, gdyż taka kontuzja ogranicza ich pracę [17].

Zerwanie ACL to uraz o szerokim zakresie konsekwencji, obejmujących skutki fizyczne jak i psychologiczne. Stopień ich nasilenia, jest zależny od wielu czynników, przez co każdy różnie odczuwa ich skutki. Do czynników odpowiedzialnych za stopień nasilenie w.w efektów należą wiek, płeć, stan psychiczny, poziom aktywności fizycznej, indywidualne różnice anatomiczne, rodzaj zastosowanego leczenia i proces rehabilitacji.

Każdy organizm mniej, lub bardziej różni się od siebie przez co inaczej może reagować na uraz i różnić się długością leczenia – podczas gdy niektórzy odzyskują pełną sprawność fizyczną i wracają do rywalizacji na wysokim poziomie dość szybko jak na tego typu uraz, inni są zmuszeni do dłuższej rehabilitacji i nie zawsze wracają do pełnej sprawności sprzed kontuzji, zmusza ich to do modyfikacji swojego podejścia do sportów a w skrajnych przypadkach nawet rezygnacji z wyczynowego konkurowania.

Kompleksowe podejście do rehabilitacji jest kluczowe aby powrócić do pełni zdrowia oraz zminimalizowania ponownego tego typu kontuzji w przyszłości. W artykule "Rehabilitation Role in Sport Injury", podkreślają, że rehabilitacja powinna rozpocząć się w pełni jak najszybciej to możliwe. Celem rehabilitacji nie jest tylko przywrócenie sprawności formy anatomicznej i funkcjonalnej, ale także uwzględnienie w niej specjalnych potrzeb pacjenta związanych ze zróżnicowaną budową anatomiczną, rodzajem uszkodzenia. Personalizacja programu rehabilitacyjnego, odgrywa kluczową rolę w skutecznym powrocie do pełni zdrowia oraz wzmocnieniu struktur w celu zminimalizowaniu nawrócenia kontuzji [12].



## **2. Proces diagnostyki i leczenia zerwania ACL**

### **2.1 Objawy charakterystyczne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego**

Istnieje kilka sposobów diagnozy uszkodzonego ACL. Pomimo, że można zdiagnozować to klinicznie, zazwyczaj w celu potwierdzenia i dokładniejszego zbadania urazu wysyła się pacjenta na dalszą diagnozę. Do najdokładniejszych należą artroskopia oraz rezonans magnetyczny. W większości przypadków stosuje się tę drugą opcję pomimo, że jest delikatnie lżej czuła i swoista, jednakże jest mniej inwazyjna i nie wymaga użycia znieczulenia w porównaniu do artroskopii [1].

#### **2.1.1 Objawy pierwotne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego**

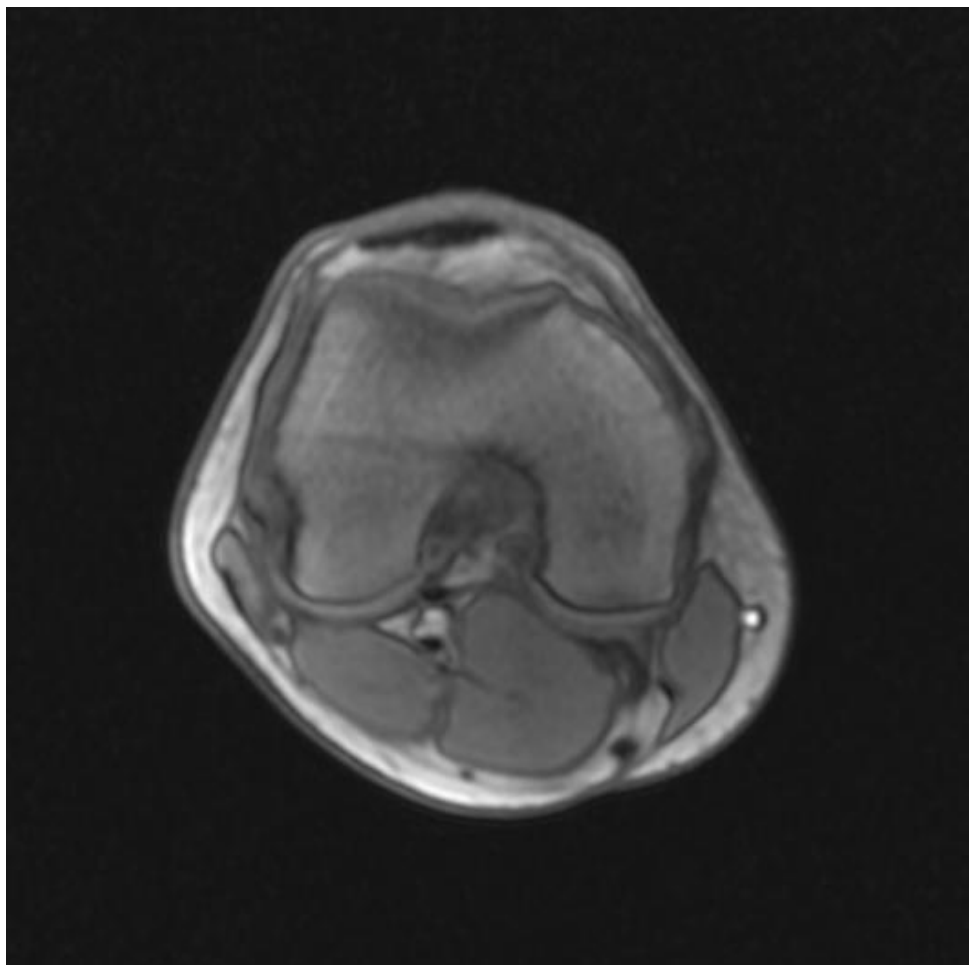
„**Widok strzałkowy:** wskazuje na zmiany bezpośrednio związane z uszkodzeniem więzadłowym, podczas gdy objawy wtórne to zmiany ściśle powiązane z uszkodzeniem ACL. Objawy pierwotne obejmują obrzęk, zwiększony sygnał więzadła krzyżowego przedniego w obrazach ważonych w T2 lub obrazach o gęstości protonowej, przerwanie ciągłości lub całkowity brak włókien oraz zmianę przewidywanego przebiegu ACL; zbyt płaskie włókna w porównaniu do sklepienia między kłykciowego lub linii Blumensaata. Płaski wygląd włókien ACL jest częstszy w przypadkach przewlekłych, gdy ACL ulega bliznowaceniu w PCL. Zerwania zwykle występują w środkowej części więzadła, a zmiany sygnału są najczęściej widoczne właśnie w tej okolicy i mają charakter hiperintensywny.

**Widok czołowy:** Objaw pustego wcięcia (empty notch sign), w którym obecny jest płyn przylegający do bocznej ściany wcięcia. Może także występować przerwanie ciągłości włókien” [1].

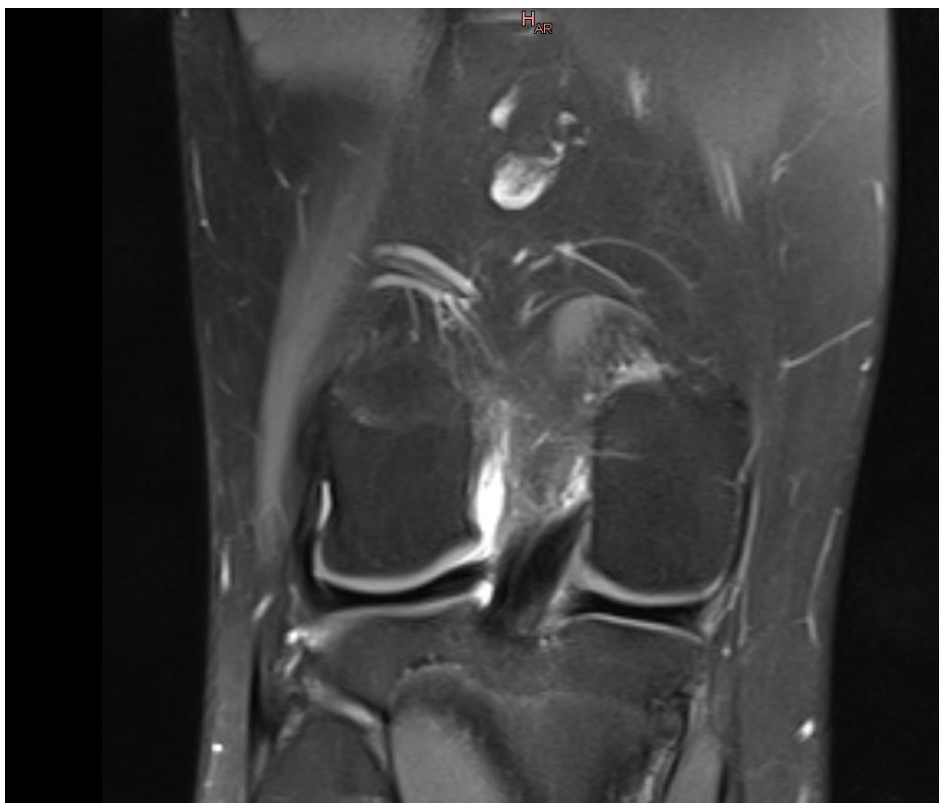
#### **2.1.2 Objawy wtórne dla zerwania więzadła krzyżowego przedniego podczas rezonansu magnetycznego**

„Obrzęk szpiku kostnego (wtórny do stłuczenia kości) w ponad połowie przypadków zerwania ACL. Charakterystyczne stłuczenie szpiku kostnego w przypadku uszkodzenia ACL obejmuje środkową trzecią część bocznego kłykcia kości udowej oraz tylną trzecią część bocznego plateau piszczeli. Inne objawy wtórne obejmują złamanie Segonda (omówione poniżej),

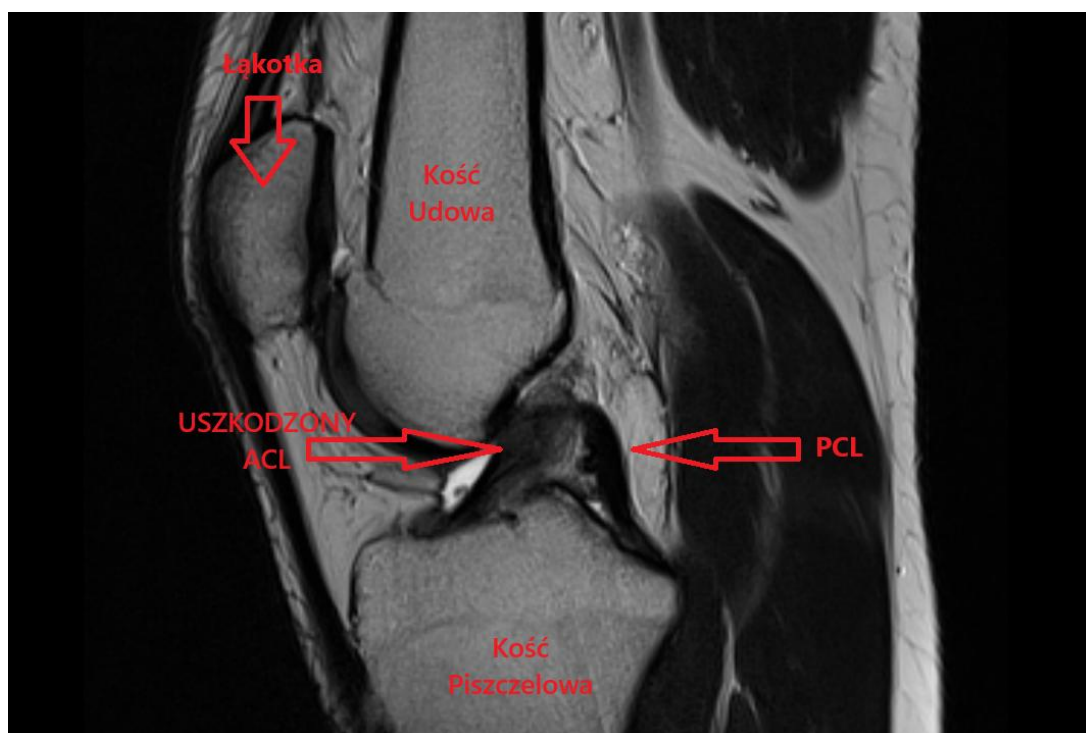
współistniejące uszkodzenie więzadła pobocznego przyśrodkowego lub przednie przemieszczenie piszczeli względem kości udowej o ponad 7 mm (najlepiej widoczne w widoku bocznym) oraz złamanie awulsyjne kolca piszczelowego” [1].



**Rycina [5].**



Rycina [6].



Rycina [7].

## **2.2 Leczenie zerwanego ACL**

Podczas podejmowania decyzji odnośnie leczenia ACL trzeba wziąć pod uwagę czynniki takie jak wiek, poziom aktywności fizycznej, uszkodzenia struktur wspierających. Dlatego tak ważne jest zindywidualizowane podejście do każdego pacjenta, gdyż u niektórych osób istnieje możliwość podejścia nieoperacyjnego tak, że nie będą odczuwać skutków podjętej decyzji w życiu codziennym.

Aktualnie wyróżniamy dwie opcje w kontekście operacyjnego leczenia ACL, są nimi pełna rekonstrukcja więzadła oraz jego naprawa [1].

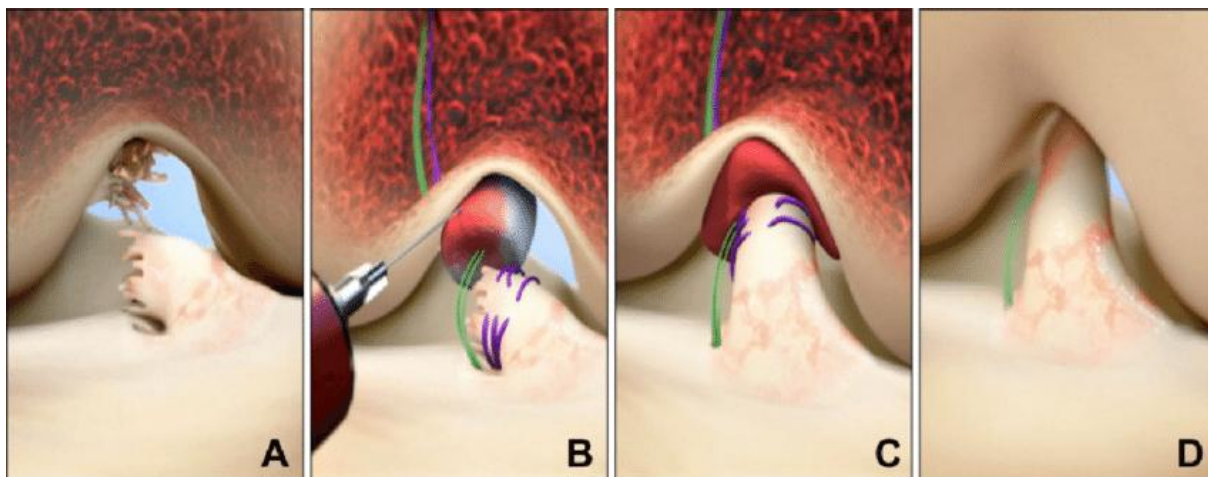
### **2.2.1 Rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego**

Metoda stosowania zazwyczaj podczas całkowitych zerwań, u osób młodych oraz osób o wysokim poziomie aktywności fizycznej. Przeprowadza się ją metodą artroskopową, czyli poprzez małe nacięcia pozwalające na wprowadzenie do wnętrza stawu kamery nazywanej artroskopem oraz specjalnych narzędzi potrzebnych do wykonania operacji. Bardzo ważna jest rehabilitacja przedoperacyjna która ma na celu przywrócenie pełnego zakresu ruchu oraz zmniejszenie obrzęku, redukując tym samym ryzyko powikłań pooperacyjnych. Dodatkowo przed operacją wybiera się z pacjentem rodzaj przeszczepu, najlepiej do niego pasujący. Przykładowo decydując się na przeszczep ze ścięgna mięśni kulszowo-goleniowych otrzymujemy największą wytrzymałość, lecz ryzykujemy osłabieniem siły zginaczy kolana. Gdy mamy już to za sobą i anestezjolog daje zielone światło, lekarz rozpoczyna operację poprzez oczyszczenie stawu kolanowego, usuwając pozostałości po zerwaniu. Następnie pobiera wcześniej wybrany przeszczep i przygotowuje go do implantacji. W kości udowej i piszczelowej wywierca tunele w której później zostają wprowadzone i odpowiednio napięte więzadła poprzez zgięcie kolana w +/- 25°. Po odpowiednim zamocowaniu przeszczepu i sprawdzeniu napięcia i stabilności stawu, lekarz zamyka nacięcia szwami i zakłada opatrunek [1].

## **Wideo [1]**

### **2.2.2 Naprawa więzadła krzyżowego przedniego**

Metoda alternatywna, stosowana podczas częściowych zerwań lub oderwania więzadła od kości. Możliwa jedynie do 3-4 tygodni po urazie, gdyż później tkanka ulega degradacji i jedyną opcją wtedy zostaje pełna rekonstrukcja. Metoda naprawy polega na ponownym przytwierdzeniu więzadła w jego anatomicznej pozycji, pozwalając na naturalne gojenie szkody. Proces operacji wygląda bardzo podobnie do rekonstrukcji. Również wymagana jest rehabilitacja przedoperacyjna oraz artroskopowe oczyszczenie stawu. Natomiast w tej metodzie nie wycina się przeszczepu a wykorzystuje się specjalnie implanty w celu ponownego przytwierdzenia lub zszycia więzadła. Dodatkowo można dostrzec pewne różnice odnośnie rehabilitacji pooperacyjnej. Przy naprawie ACL często pacjent od razu jest w stanie obciążyć kończynę oraz jest w stanie szybciej pracować nad odzyskaniem pełnego zakresu ruchu, niestety metoda ta wiąże się z większym ryzykiem powtórnego nabawienia się urazu [1].



Rycina [8]

### 2.2.3 Nieoperacyjne leczenie więzadła krzyżowego przedniego

Zalecany rodzaj leczenia dla osób, które doznały częściowego uszkodzenia ACL, lub ich styl życia nie wywiera dużego nakładu na te strukturę. Zazwyczaj stosuje się wtedy fizjoterapię nadzorowaną która początkowo pomaga odzyskać pełny zakres ruchu i stopniowo wzmacniać mięśnie i ścięgna które przejmą rolę uszkodzonego więzadła, dodatkowo wprowadza się delikatne modyfikacje w kontekście aktywności fizycznych, np. zabrania się wtedy pływać stylem „żabka” gdyż taki ruch generuje obciążenie głównie naciskające na ACL [1].



Rycina [9].

### **3. Analiza wielowymiarowa jako narzędzie oceny jakości życia**

#### **3.1 Czym jest Analiza wielowymiarowa**

Analiza wielowymiarowa w nauce to metoda statystyczna, która wyraża relacje pomiędzy zmiennymi poprzez identyfikację ich wielkości bazowych oraz jednostek miary, a następnie śledzenie tych wymiarów podczas obliczeń czy porównywań. Najczęściej sięga się po nią gdy pojedyncza zmienna nie jest wystarczająca aby wygenerować nam odpowiedź na zadane pytanie i potrzebne do tego jest uwzględnienie kilku zmiennych jednocześnie.

Wszystkie współmierne zmienne które są tego samego rodzaju oraz mają ten sam wymiar mogą być bezpośrednio porównywane ze sobą nawet jeśli są wyrażone w różnych jednostkach miary. Przykładowo cm i stopy. Natomiast niewspółmierne zmienne, posiadające różnego wymiary nie mogą podlegać bezpośredniemu porównaniu. Ponieważ nie da się określić czy np. tona jest większa niż kilometr [18].

#### **3.2 Przykładowe Metody analizy wielowymiarowej**

##### **3.2.1 Analiza głównych składowych (PCA)**

PCA czyli analiza głównych składowych to technika statystyczna służąca do redukcji wymiarowości przy jednoczesnym zachowaniu jak największej ilości informacji. Stosowana jest analizie dużych zbiorów danych gdzie zmienne mogą być ze sobą skorelowane np. eksploracyjna analiza danych czy wizualizacji i wstępne przetwarzanie danych.

PCA przekształca oryginalne zmienne na nowy układ współrzędnych zwanych (głównymi składowymi) tak aby można było z łatwością zidentyfikować najbardziej odbiegające zmienne.

Analiza głównych składowych może być wykorzystane w takich dziedzinach jak genetyka(analiza ekspresji genów), finanse(analiza ryzyka inwestycyjnego) czy analiza danych medycznych (do identyfikacji cech wpływających na występowanie kontuzji [19].

##### **3.2.2 Analiza skupień(Cluster Analysis)**

Analiza skupień inaczej nazywana klasteryzacja to technika eksploracyjna stosowana w statystyce i uczeniu maszynowym polegająca na zestawianiu obiektów w taki sposób aby klastry(obiekty w tej samej grupie) były bardziej podobne do siebie wzajemnie niż do obiektów w innych klastrach. Jest to kluczowe zadanie eksploracyjnej analizy danych stosowanej w wielu

dziedzinach takich jak, analiza obrazów, wyszukiwanie informacji, bioinformatyka, kompresja danych czy uczenie maszynowe [20].

### **3.2.3 Modelowanie równań strukturalnych (SEM)**

Modelowanie równań strukturalnych to zaawansowana technika analizy stosowana głównie w naukach społecznych i behawioralnych. SEM jest wykorzystywane do modelowania zmiennych ukrytych (latentnych), które nie są mierzalne bezpośrednio, lecz wnioskowane na podstawie innych zmiennych. Dzięki SEM możemy badać skomplikowane relacje między zmiennymi bezpośrednimi jak i pośrednimi, przykładowo poziom stresu którego nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zmierzyć, lecz możemy go ustalić na podstawie różnych metod psychologicznych i biologicznych [21].

### **3.3 Dlaczego analiza wielowymiarowa może pomóc w ocenie jakości życia sportowców po zerwaniu więzadła krzyżowego przedniego.**

Na ocenę jakości życia sportowców którzy doznali urazu więzadła krzyżowego przedniego wpływa szereg zmiennych, które mają wpływ na wiele czynników takich jak dobór rehabilitacji, okres rekonwalescencji, rodzaj leczenia czy nawet decyzja o kontynuowaniu kariery sportowej. Analiza wielowymiarowa jest w stanie uwzględnić wszystkie zmienne pośrednie i bezpośrednie w czasie analizy wyników. Przykładowe zmienne brane pod uwagę to:

- Wiek sportowca – bardzo ważne w kontekście czasu rehabilitacji jest uwzględnienie wieku pacjenta, podczas gdy młodsi zawodnicy mają większą szansę na pełny i szybszy powrót do sportu, tak starsze osoby mogą napotkać trudności takie jak wydłużony proces leczenia oraz zmuszenie do zakończenia kariery
- Płeć – różnice biologiczne między płciami mogą wpływać na czynniki takie jak czas rehabilitacji, wyniki w sporcie czy nawet samo narażenie na powtórne zerwanie więzadła.
- Porównanie statystyk przed i po kontuzji – analiza zmiennych takich jak osiągi podczas meczu, liczba rozegranych meczy czy porównanie skuteczności i stylu gry sprzed i po kontuzji jest w stanie pomóc ocenić poziom jakości życia sportowca po urazie.



-Decyzja o zakończeniu kariery – Pewien odsetek sportowców decyduje się na zakończenie kariery po tak poważnym urazie, podczas gdy inni postanawiają podjąć wymagającą próbę powrotu do sprawności sprzed urazu

## 4.Ocena jakości życia sportowców – analiza statystyczna

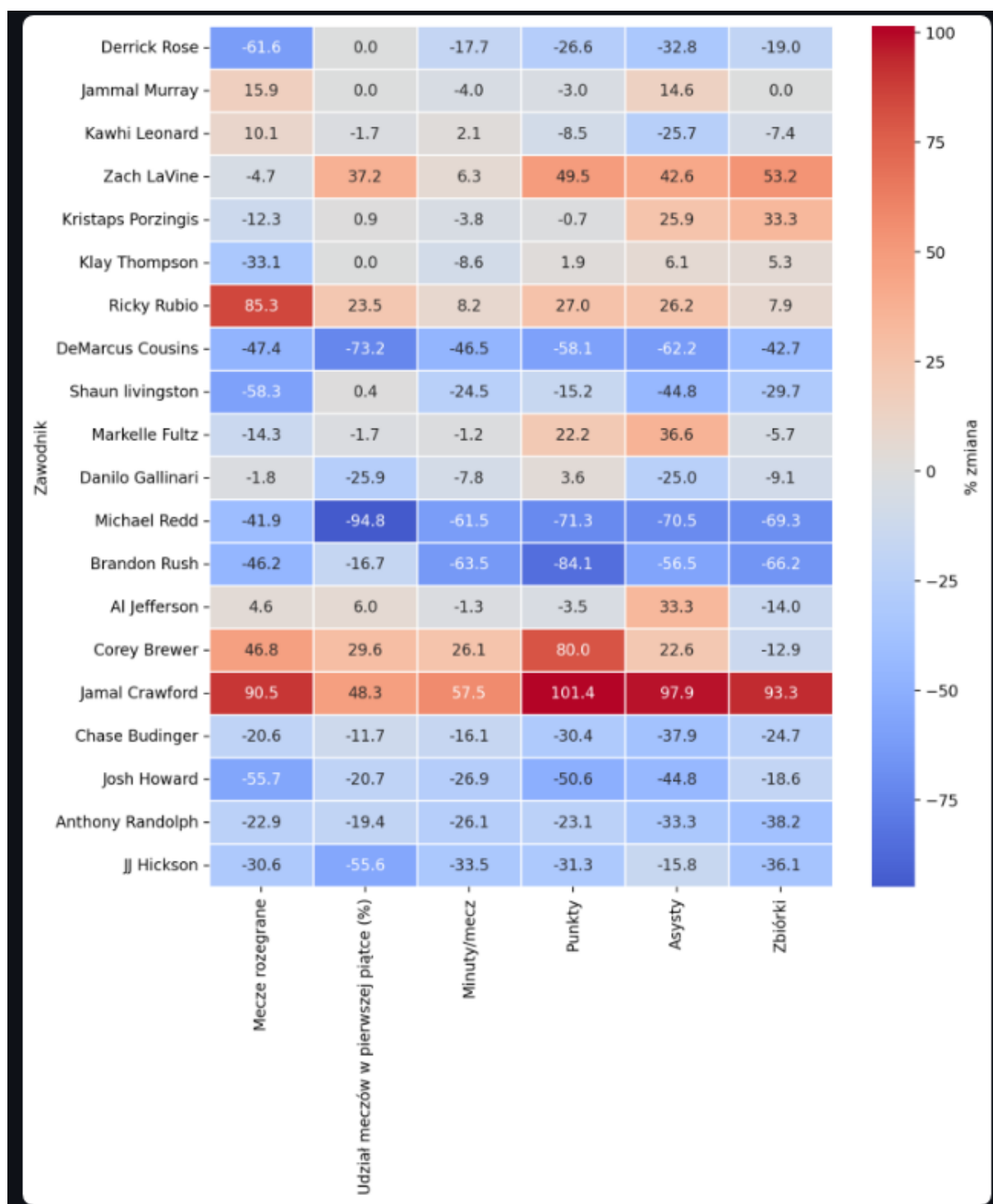
W tej części pracy zostały przedstawione przykładowo wybrane wyniki pracy, obrazujące jak wyglądają dane na których została dokonana szczegółowa analiza mająca na celu ocenę jakości życia na podstawie efektywności sportowej zawodników z różnych dyscyplin sportowych. Prezentowane ryciny pozwalają na identyfikację najczęściej dotkniętych statystyk przy urazie stawu kolanowego. Zestawienie tych wszystkich danych stanowi kluczowe źródło informacji do oceny skutków urazu i powrotu do formy, które mogą posłużyć dla lekarzy, fizjoterapeutów, trenerów czy nawet samych zawodników. Pozwalają przewidzieć potencjalne trudności związane z powrotem na boisko oraz indywidualizować programy rehabilitacyjne na potrzeby zawodnika, tak aby maksymalnie zmniejszyć ryzyko nawrotu kontuzji.

Name - Season	gender	games played	GS	Minutes played per game	Field goals made attempted per game	FG%	Three point field goals made attempted per game	3PT%	Free throws made attempted per game	FT%	OR	DR	REB	AST	BLK	STL	PF	TD	PTS	Recovery period	Age during the inj
Derrick Rose - 2009-10	Male	78	78	38.06	8.8-16.8	48.36	2.8-6.3	28.70	8.8-16.8	76.86	0.88	2.88	6.88	0.38	0.78	1.28	1.88	20.88			
Derrick Rose - 2010-11		81	81	37.48	8.8-16.8	45.38	1.8-4.8	38.38	8.8-16.8	88.88	1.88	3.18	4.38	0.78	0.88	1.78	1.48	20.88			
Derrick Rose - 2011-12		39	39	31.18	8.8-16.8	38.48	1.8-4.7	38.88	8.8-16.8	77.12	0.88	2.28	4.28	0.38	0.88	1.28	1.48	18.88			
Derrick Rose - 2012-13		81	81	38.08	8.8-16.8	48.38	1.8-5.3	38.08	8.8-16.8	81.38	0.78	2.58	3.28	4.08	0.38	0.78	1.28	1.78	17.88	18 months	23
Derrick Rose summary before		319	319	37.18	8.7-16.7	47.28	8.8-19	38.88	8.8-16.8	81.28	0.88	2.88	3.88	4.88	0.48	0.88	1.48	1.18	18.88		
Derrick Rose summary after	Male	81	81	38.08	8.8-16.8	47.28	1.8-5	38.88	8.8-16.8	82.88	0.88	2.88	4.88	0.38	0.88	1.28	1.28	18.88			
Jamal Murray - 2019-20		58	48	32.38	7.9-16.6	47.79	2.7-6.6	48.88	8.8-16.8	88.38	0.88	3.28	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	2.28	18.88		
Jamal Murray - 2020-21		48	48	32.38	7.9-16.6	47.79	2.7-6.6	48.88	8.8-16.8	88.38	0.88	3.28	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	2.28	18.88		
Jamal Murray - 2021-22		65	59	32.38	8.0-16.2	48.89	2.8-5.5	50.89	8.8-16.8	88.38	0.88	3.28	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	2.28	18.88	18 months	24
Jamal Murray - 2022-23		58	58	32.38	8.0-16.2	48.89	2.8-5.5	50.89	8.8-16.8	88.38	0.88	3.28	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	2.28	18.88		
Jamal Murray summary before	Male	124	124	32.38	7.9-16.6	48.89	2.8-5.1	47.28	8.8-16.8	87.38	0.88	3.28	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	2.28	18.88		
Kawhi Leonard - 2019-20		57	57	32.48	8.8-16.8	47.88	2.8-5.7	37.88	8.8-16.8	88.38	0.88	6.38	7.38	4.88	0.88	1.88	2.88	27.88			
Kawhi Leonard - 2020-21		52	52	34.38	8.8-16.8	51.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	1.38	5.88	6.38	5.38	0.48	1.48	1.88	28.88			
Kawhi Leonard - 2021-22		52	52	34.38	8.8-16.8	51.38	2.8-4.8	48.88	8.8-16.8	87.38	1.38	5.88	6.38	5.38	0.48	1.48	1.88	28.88	18 months	29	
Kawhi Leonard - 2022-23		68	68	34.38	8.8-16.8	51.38	1.8-4.8	48.88	8.8-16.8	87.38	1.38	5.88	6.38	5.38	0.48	1.48	1.88	27.78			
Kawhi Leonard summary before	Male	189	189	33.28	8.7-16.7	48.38	2.1-5.3	38.88	8.8-16.8	88.38	1.88	5.78	6.38	5.38	0.78	1.88	1.88	2.38	28.88		
Kawhi Leonard summary after		129	129	33.28	8.7-16.7	48.38	2.1-5.3	38.88	8.8-16.8	87.38	1.38	5.78	6.38	5.38	0.78	1.88	1.78	27.88			
Zach LaVine - 2019-20		62	62	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Zach LaVine - 2020-21		47	47	37.38	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88	11 months	21
Zach LaVine - 2021-22		62	62	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Zach LaVine summary before	Male	129	129	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Zach LaVine summary after		122	122	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Kristaps Porzingis - 2019-20		68	68	32.88	8.7-16.4	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Kristaps Porzingis - 2020-21		48	48	32.88	8.7-16.4	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88	18 months	22
Kristaps Porzingis - 2021-22		57	57	31.88	7.8-16.4	48.38	2.7-5.1	52.88	8.8-16.8	79.88	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Kristaps Porzingis - 2022-23	Male	43	43	32.88	7.8-16.4	48.38	2.7-5.1	52.88	8.8-16.8	79.88	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Kristaps Porzingis summary before		114	114	32.88	7.8-16.4	48.38	2.8-5.4	50.88	8.8-16.8	79.88	1.38	5.88	6.38	5.38	0.78	1.88	1.88	28.88			
Kristaps Porzingis summary after		189	189	33.28	7.8-16.4	48.38	2.8-5.4	50.88	8.8-16.8	79.88	1.38	5.88	6.38	5.38	0.78	1.88	1.88	28.88			
Klay Thompson - 2019-20		73	73	34.88	7.8-16.3	48.38	3.1-7.1	43.38	34.48	88.38	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88			
Klay Thompson - 2020-21	Male	78	78	34.88	8.8-16.8	48.38	3.1-7.7	42.38	17.28	88.38	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88			
Klay Thompson - 2021-22		48	48	34.88	8.8-16.8	48.38	3.1-7.7	42.38	17.28	88.38	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88	18 months	28	
Klay Thompson - 2022-23		69	69	33.08	7.8-16.3	48.38	4.8-8.8	48.88	42.28	87.88	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88			
Klay Thompson summary before		151	151	34.38	8.8-16.8	47.78	3.1-7.1	48.88	42.28	87.88	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88			
Klay Thompson summary after		189	189	33.28	7.8-16.3	48.38	4.8-8.8	48.88	42.28	87.88	0.88	3.88	4.88	5.88	0.88	1.88	1.88	28.88			
Ricky Rubio - 2019-20	Male	38	38	28.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Ricky Rubio - 2020-21		41	41	34.28	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Ricky Rubio - 2021-22		57	57	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88	9 months	21
Ricky Rubio - 2022-23		82	82	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Ricky Rubio summary before		129	129	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Danuelo Cassin - 2019-20	Male	48	48	28.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Danuelo Cassin - 2020-21		38	38	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Danuelo Cassin - 2021-22		38	38	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88	18 months	29
Danuelo Cassin - 2022-23		38	38	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Danuelo Cassin summary before		129	129	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Danuelo Cassin summary after	Male	41	41	34.28	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Shawn Livingston - 2019-20		61	61	38.88	7.8-16.7	47.79	1.6-4.7	33.88	48.88	88.38	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	27.88		
Shawn Livingston - 2020-21		54	54	38.88	7.8-16.7	47.79	1.6-4.7	33.88	48.88	88.38	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	27.88		
Shawn Livingston - 2021-22		12	1	38.88	7.8-16.7	47.79	1.6-4.7	33.88	48.88	88.38	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	27.88	25 months	21
Shawn Livingston - 2022-23		38	38	38.88	7.8-16.7	47.79	1.6-4.7	33.88	48.88	88.38	0.88	2.78	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.78	27.88		
Shawn Livingston summary before	Male	115	45	37.48	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		
Shawn Livingston summary after		48	38	38.88	8.8-16.8	48.38	1.8-4.8	38.88	8.8-16.8	88.38	0.88	2.88	3.88	4.88	0.38	0.38	1.38	1.88	18.88		

Rycina [10]

Tabela powyżej przedstawia fragment surowych danych pobranych z jednego z arkuszy użytych w analizie. Dokładniej mówiąc fragment ten obejmuje zawodników NBA, ale analogicznie tabele przygotowano dla innych lig (m.in. NFL, piłka nożna ...).

Możemy dostrzec tam zebrane statystyki z sezonów sprzed jak i po kontuzji, między innymi liczbę rozegranych meczów, punkty, skuteczność procentowa z gry, okres rekonwalescencji czy wiek w którym doznali kontuzji.



Rycina [11]

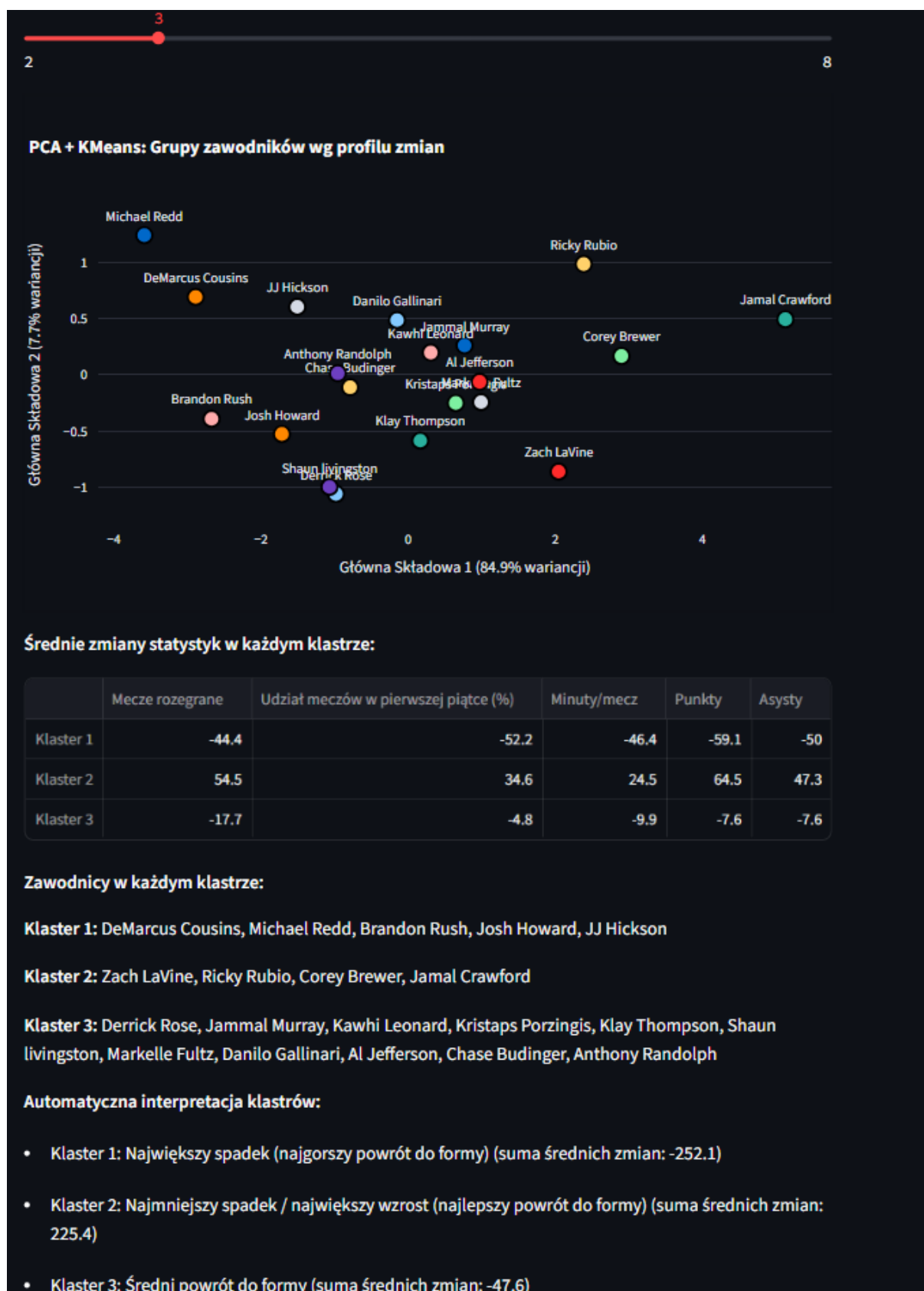
Powyższa heatmapa wskazuje procentowe zmiany statystyk przed i po kontuzji ACL wszystkich zebranych zawodników NBA.

Odcienie niebieskiego oznaczają pogorszenie się formy, natomiast kolor czerwony oznacza wzrost.

Wartości w komórkach, są procentową różnicą, dla przykładu 93.3 zawodnika Jamal Crawford przy statystyce zbiórki oznacza wzrost tej statystyki po kontuzji aż o 93.3% w porównaniu przed urazem.

Na osi pionowej znajdują się nazwiska zawodników, natomiast oś pozioma ukazuje nam wybrane statystyki.

Taka heatmapa pozwala na szybką analizę i identyfikację, jak zmieniały się dane parametry dla wybranego zawodnika.



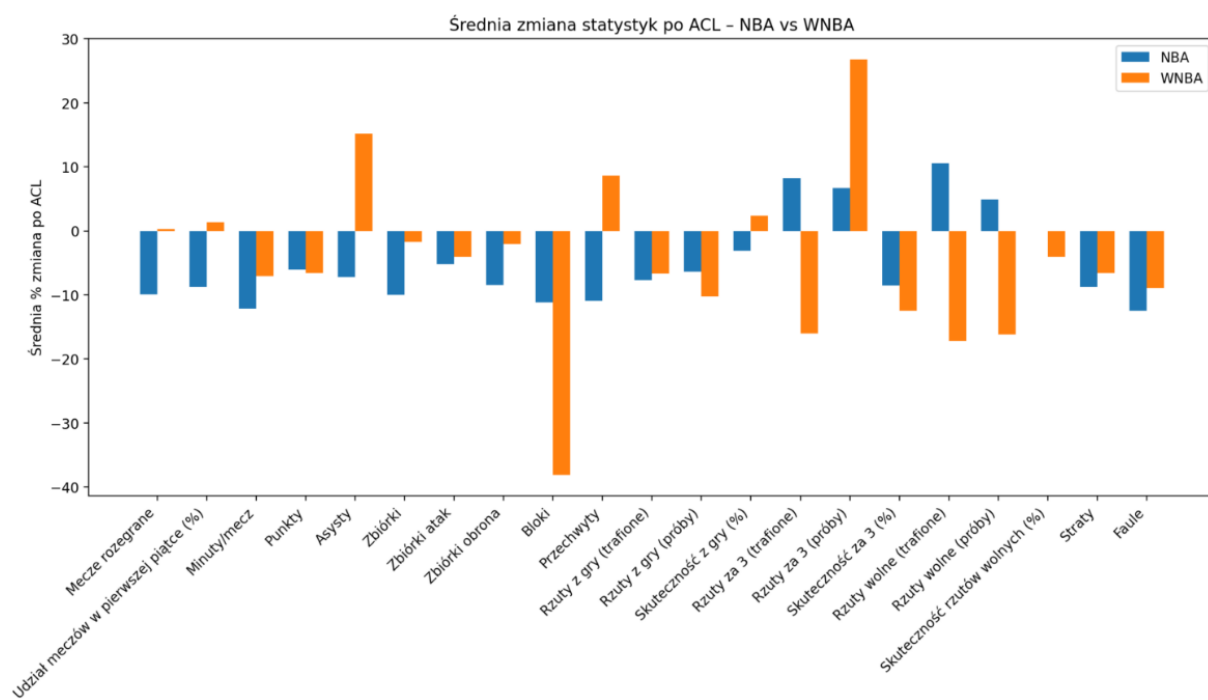
Rycina [12]

Rycina przedstawia wyniki analizy wielowymiarowej PCA oraz klasteryzacji na wszystkich zawodnikach NBA którzy doznali zerwania więzadła krzyżowego ACL znajdujących się w zrobionej własnoręcznie bazie danych.

Na górze jesteśmy w stanie dostrzec suwak, który odpowiada za wybór liczby klastrow na które zostaną podzieleni wskazani zawodnicy. Pozwala to na dynamiczną obserwację, jak zmienia się podział w zależności od ilości wybranych klastrow.

Wykres punktowy obrazuje nam jak zawodnicy zostali ukazani w układzie dwóch głównych składowych PCA, które tłumaczą wariancję badanych przez nas statystyk (w tym przypadku są to: mecze rozegrane, udział w meczach w pierwszej piątce, minuty na mecz, punkty i asysty). Dodatkowo każdy kolor odpowiada danemu klastrowi, co pozwala na szybką analizę którzy zawodnicy są razem sklasteryzowani.

Dla ułatwienia badania użytkownika dodałem tabelę z uśrednionymi zmianami procentowymi z każdego klastru oraz listę która przedstawia jacy zawodnicy są przypisani do jakiego klastru. Dodatkowo automatyczna interpretacja pomaga określić, która grupa wykazała najmniejszy i największy spadek parametrów sportowych.



Rycina [13]



Przedstawiony wykres słupkowy na rycinie [13] porównuje średnie procentowe zmiany statystyk po zerwaniu ACL u zawodników różnej płci.

Niebieskie słupki odzwierciedlają mężczyzn(NBA)

Pomarańczowe natomiast kobiety(WNBA)

Na osi X zapisane są wszystkie statystyki takie jak skuteczność rzutów, ilość rozegranych minut na mecz, bloki czy nawet faule.

Oś Y natomiast jest odzwierciedleniem średnich zmian procentowych badanej grupy.

Możemy łatwo zauważyć, że zarówno u mężczyzn jak i u kobiet występują widoczne spadki w statystykach, jednakże w zależności na płęć i specyfikę ligi, skala zmian nie pokrywa się przy tych samych parametrach.

## **5. METODOLOGICZNE PODSTAWY BADAŃ**

### **5.1 Problem pracy, cel, pytania i hipotezy badawcze**

Celem pracy jest ocenienie jak zerwanie więzadła krzyżowego przedniego (ACL) wpływa na jakość życia sportowców poprzez analizę wyników sportowych przed i po kontuzji, uwzględniając przy tym płeć i wiek zawodnika.

W związku z powyższym można postawić pytania badawcze i wynikające z nich hipotezy:

**Pytanie 1:** Jak wiek zawodników wpływa na powrót do formy przy uszkodzeniu więzadeł krzyżowych. W związku z tym można postawić hipotezę:

**Hipoteza 1:** Młodszy zawodnicy szybciej wracają do pełni zdrowia w porównaniu z zawodnikami bliżej schyłku swojej kariery

**Pytanie 2:** Czy istnieją istotne różnice w skutkach kontuzji stawu kolanowego pomiędzy kobietami a mężczyznami. Toteż, założyć można że:

**Hipoteza 2:** Różnice w skutkach urazu ACL u kobiet są większe niż u mężczyzn, ze względu na dynamikę gry i ilość masy mięśniowej.

### **5.2 Charakterystyka badanych osób**

Badania przeprowadzano na podstawie powszechnie dostępnych danych znajdujących się na rzetelnych stronach internetowych o tematyce sportowej. Analizie poddano zawodników obu płci z różnych dyscyplin sportowych, zespołowych jak i indywidualnych w różnym wieku u których wystąpił potwierdzony uraz ACL. Zawodnik musiał charakteryzować się tym, że przed, jak i po kontuzji zagrał minimum 2 sezony, aby można było porównać jak zmieniły się jego statystyki po kontuzji.

### **5.3 Metody badań, narzędzia badawcze**

Dane do badań pozyskano z baz sportowych takich jak ESPN dla zawodników grających w koszykówkę i futbol amerykański, czy Transfermarkt dla zawodników grających w piłkę nożną, Bazę dla teoretycznej części pracy stanowi PubMed. Obliczenia statystyczne zostały wykonane przy pomocy języka programowa Python oraz programu Microsoft Excel.

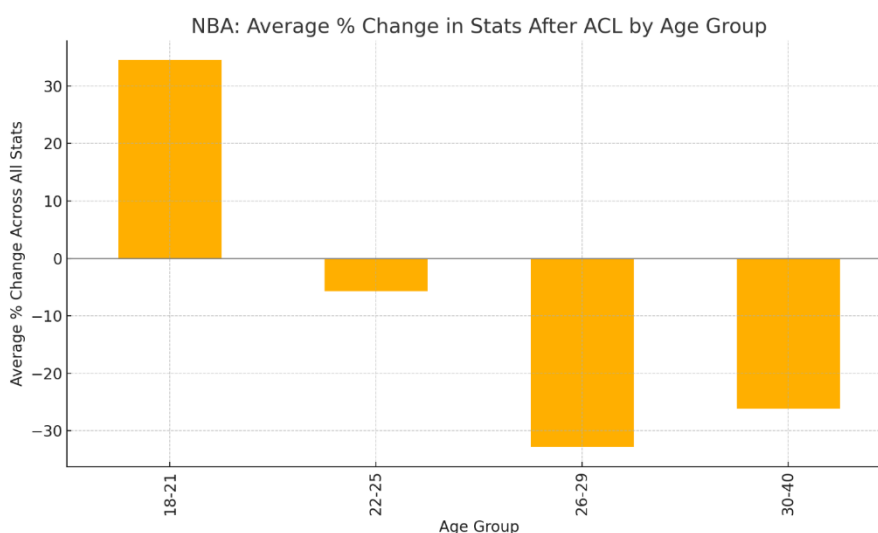
## 6. Wyniki badań własnych

W tej części przedstawiam wyniki moich własnych badań dotyczących wpływu zerwania więzadła krzyżowego przedniego (ACL) na wyniki sportowców, z uwzględnieniem wieku i płci. Analiza została przeprowadzona na podstawie informacji zebranych z wielu dyscyplin sportowych, takich jak koszykówka, piłka nożna i futbol amerykański.

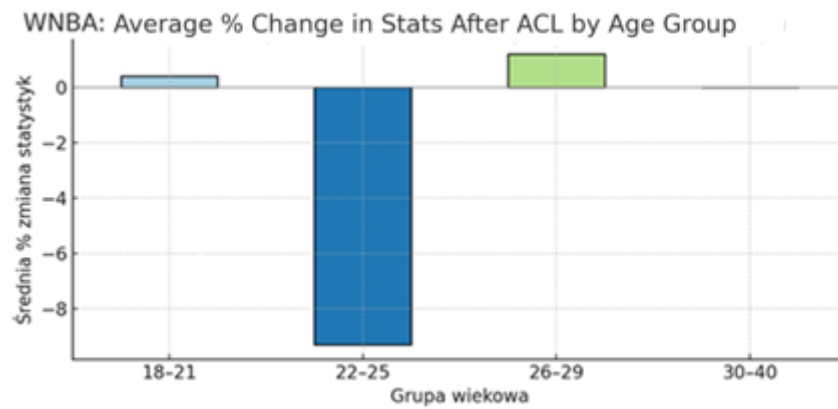
Analizy wykazały duże różnice w powrocie do sprawności sportowej po urazie ACL w zależności od wieku sportowców. Młodszy sportowcy po zakończeniu rehabilitacji wykazywali znaczną poprawę wyników, często osiągając lepsze wyniki niż przed kontuzją. W przeciwieństwie do nich, starsi sportowcy znacznie spadli w rankingu a ci najstarsi często decydowali się na wcześniejszą emeryturę.

Ponadto analiza wykazała trudności w porównywaniu skutków urazów między płciami. Chociaż literatura sugeruje większą podatność kobiet na urazy ACL, faktyczna liczba urazów wśród kobiet w dostępnych danych była znacznie niższa w porównaniu z mężczyznami, częściowo z powodu krótszej historii i mniejszej popularności kobiecych sportów. Ograniczyło to możliwość przeprowadzenia szczegółowych i wiarygodnych porównań między grupami płci.

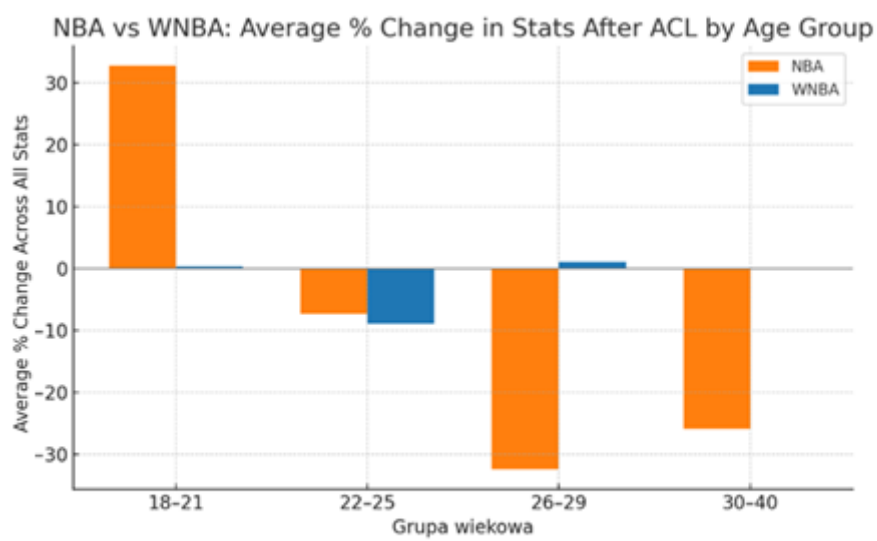
Poniżej przedstawiono szczegółowe wykresy i tabele obrazujące zmiany w wynikach przed i po urazie ACL



Rycina [14].



Rycina [15].



Rycina [16].

## 7. DYSKUSJA

W tym badaniu przeanalizowano jakość życia, bazując na wynikach sportowców po zerwaniu więzadła krzyżowego przedniego(ACL). Podejście, które zostało przyjęte, obejmowało kompleksową metaanalizę istniejącej literatury naukowej oraz w pełni dokładną analizę statystyczną danych dotyczących wyników sportowych przed i po odniesieniu kontuzji. Wykorzystane podejście, różni się od większości prac na ten temat, gdyż wiele z nich skupia się na pojedynczych pacjentach, lub na bardzo ogólnikowym przedstawieniu wszystkich osób, bez większego względu na poziom ich aktywności fizycznej [22][23][24][25][26][27][28].

W celu zebrania zbioru danych niezbędnych do analizy wykorzystano bazy danych które głównie są zorientowane w kontekście sportowym. Najważniejsze z nich to ESPN i Transfermarkt z których to właśnie zostały zaczerpnięte dane które umożliwiły na stworzenie własnego i uporządkowanego arkusza kalkulacyjnego Excel, co ułatwiło zarządzanie danymi i ich analizę. Dodatkowo, aby część teoretyczna była rzetelnie wsparta, przeprowadzano obszerne przeglądy literatury przy pomocy bazy PubMed, która umożliwiła dostęp do porządných i zrecenzowanych artykułów i badań naukowych dotyczących urazów więzadeł krzyżowych. Wszystkie te źródła w połączeniu zapewniają ważność i wiarygodność przedstawionych danych i ustaleń.

Jednakże, kluczowym elementem całej metodyki było zastosowanie rozwiniętych technik statystycznych, szczególnie wykorzystanie metod analizy danych wielowymiarowych, takich jak analiza głównych składowych(PCA). Umożliwiła ona identyfikację najważniejszych wskaźników niezbędnych do oceny zmian jakości życia po kontuzji. Dodatkowo również wykorzystana w pracy Analiza skupień pozwoliła na ugrupowanie sportowców względem podobnych trajektorii powrotu do zdrowia i zmian w wynikach sportowych, dostarczając wystarczające informacje które mogą pomóc strategicznym podejściu do rehabilitacji przyszłych zawodników aby mogli jak najlepiej powrócić do sportu.

Wyniki uzyskane z wyżej wspomnianych analiz potwierdziły kluczowe założenia. Szczególnie odnoszących się na wpływ wieku na powrót do pełni zdrowia. Często obserwowana, że starsi sportowcy którzy zbliżali się do tak zwanego „wieku emerytalnego” podejmowali decyzje o zakończeniu kariery po urazie stawu kolanowego. Wielu z nich decydowało się przejść na emeryturę natychmiast lub w przeciągu 2 sezonów po doznaniu urazu. Kluczowym aspektem tej decyzji były drastyczne zmiany w statystykach, które wynikały z obniżonych możliwości wydajnościowych i psychologicznych. Zebrane dane potwierdzają, że rzadko, o ile w ogóle,

powracają do poziomu sprzed urazu. Dodatkowo trwoniąca myśl z tyłu głowy odnośnie kończącej się ścieżki ich kariery sportowej, wydawała się pogłębiać psychologiczny wpływ, odbijając to na motywacji oraz podejściu do rehabilitacji.

Z drugiej strony niektóre hipotezy, które początkowo wysunięto, nie zostały poparte wynikami. Największym zaskoczeniem okazali się młodzi sportowcy, którzy padli ofiarą kontuzji więzadła krzyżowego. Wykazali się ogromną odpornością, często polepszając swoje wyniki nawet dwukrotnie, niż przed urazem. Ten precedens można wytłumaczyć na parę sposobów. Jednym z nich może być ich fizjologiczna i psychologiczna zdolność przystosowawcza, czy ograniczone narażenie na szczytowy poziom konkurencji przed urazem. Ponadto młodszy sportowcy pokazali, że są w ciągle trwającym rozwoju aby dorównać fizyczności i poziomowi gry na najwyższych ligach. Stąd wygląda jakby skuteczniej wykorzystali okresy rehabilitacyjne, poświęcając czas na szlifowanie umiejętności indywidualnych, co miało kolosalny wpływ na ich formę po powrocie do zdrowia. Takie wyniki pokazują, że osoby młode mogą skorzystać z ustrukturyzowanego czasu wolnego w przeciwieństwie do powszechnie zakładanych założeń związanych z pogarszającym się stanem spowodowanym absencją zawodnika.

Szczególnie ważnym spostrzeżeniem podczas badań była trudność z porównaniem analiz opartych na płci. Pomimo, że istnieje wiele dowodów w literaturze, które wskazują, że to właśnie kobiety są bardziej podatne na urazy ACL, to rzeczywiste wskaźniki w zbiorze danych były zdecydowanie mniejsze w porównaniu z mężczyznami. Taki zbieg wydarzeń doprowadził do problemów w stworzeniu kompleksowego i znaczącego porównania w kontekście płci. Ograniczona dostępność danych odnośnie kobiet-sportowców, w połączeniu z ekstremalnie nieproporcjonalną ilością kobiet do mężczyzn (czasami wynoszącą nawet 50 do 1-2), utrudniła wyciągnięcie jednoznacznych wniosków dotyczących wpływu płci. Warto zaznaczyć, że to ograniczenie niekoniecznie wynika z luk w literaturze, lecz raczej jest to spowodowane tym, że kobiece sporty cieszą się mniejszą popularnością oraz mają krótszą historię na poziomie profesjonalnym niż dyscypliny męskie. Z tego właśnie powodu liczba zawodniczek jest drastycznie niska co przekłada się na mniejszą ilość kontuzji, a za czym idzie okrojona możliwość przeprowadzenia dokładnych badań statystycznych jak w przypadku mężczyzn.

Podsumowując, przeprowadzone badania i analizy dostarczyły wystarczających informacji na temat zakładanych wyników względem kontuzji ACL w gronie profesjonalnych sportowców. Podkreślono w nim kluczowy wpływ wieku jako głównego czynnika wyznaczającego skuteczność powrotu do zdrowia. Dodatkowo utrudnienia które wystąpiły podczas badań,

podkreśliły aby rozszerzyć zakres badanych osób, lub kontynuować badanie w przyszłości gdy potrzebna baza danych się zwiększy w celu zwiększenia dokładności przyszłych badań oraz sprawdzenia czy rozwijające się programy rehabilitacyjne przynoszą pożądane skutki.

## **8. STRESZCZENIE**

### **Wstęp:**

Więzadło krzyżowe przednie(ACL) jest kluczowym elementem odpowiedzialnym za stabilizację kolana. Zerwanie go spowoduje masę problemów i należy do jednej z najczęstszych i najbardziej problematycznych urazów w sportach wymagających dużej dynamiki i nagłych zmian ruchu. Uszkodzenie ACL rzutuje na jakość życia i wyniki sportowe zawodników.

### **Cel badań**

Celem pracy było badanie wpływu zerwania więzadła krzyżowego przedniego (ACL) na zmiany w wynikach sportowych profesjonalnych zawodników z różnych dyscyplin sportowych, uwzględniając przy tym różnice wynikające z okresu rekonwalescencji, wieku oraz płci.

### **Materiał i metody**

Dane zostały zgromadzone z baz sportowych takich jak (ESPN, Transfermarkt) oraz badań naukowych powszechnie dostępnych w PubMed. Analiza polegała na porównaniu wyników sportowców 2 sezony przed i 2 sezony po kontuzji ACL korzystając z analizy głównych składowych(PCA) oraz analizy skupień(Cluster Analysis).

### **Wyniki badań**

Podczas badań wynikło, iż starszym zawodnikom trudniej było powrócić do pełnej sprawności na poziomie sprzed kontuzji, a wielu z nich zdecydowało się na zakończenie kariery na najwyższym poziomie w niedalekiej przyszłości od doznania urazu. Młodszy zawodnicy często wykazywali znaczącą poprawę po powrocie z okresu rehabilitacji. Porównania dotyczące płci przy niektórych dyscyplinach okazały się trudne lub wręcz niemożliwe ze względu na braki w dostępnych danych, co jest wynikiem krótszej historii sportów kobiecych a za czym idzie mniejszej popularności i ilości kobiet w danych dyscyplinach.



## **8.1. Wnioski**

- 1.** Młodzi zawodnicy wykazywali się skutecznym powrotem do formy, bardzo często poprawiając wyniki, co wskazuje, że w pełni skupiali się na okresie rehabilitacyjnym szlifując swoje umiejętności.
- 2.** Starsi zawodnicy często nie wracali na podobny poziom, zaliczając drastyczne spadki formy, przez co podejmowali decyzje na przedwczesne zakończenie kariery
- 3.** Konieczne jest kontynuowanie badań w przyszłości gdy liczba badań obejmujących kobiety się powiększy w celu uzyskania bardziej szczegółowych analiz na wpływ płci do pełnego powrotu do zdrowia

## **9. ABSTRACT**

### **Introduction**

The anterior cruciate ligament (ACL) is a key element responsible for knee stabilization. Breaking it down brings a lot of problems and is one of the most common and most problematic injuries in sports that require a lot of dynamics and sudden changes in movement. Damage to the ACL affects the quality of life and sports performance of athletes.

### **The aim of the study**

The aim of the study was to investigate the effect of anterior cruciate ligament (ACL) rupture on changes in the sports results of professional athletes from various sports disciplines, taking into account the differences resulting from the recovery period, age, and gender.

### **Materials and methods**

Data were gathered from sports databases such as (ESPN, Transfermarkt) and scientific research widely available on PubMed. The analysis involved comparing the results of athletes 2 seasons before and 2 seasons after ACL injury using principal component analysis (PCA) and cluster analysis.

### **Resultats**

During the research, it turned out that older players had a harder time regaining full fitness at the level they had before the injury, and many of them decided to end their top-level careers in the near future after the injury. Younger players often showed significant improvement after returning from rehabilitation. Comparisons by gender for some sports were difficult or impossible due to a lack of available data, which is a result of the shorter history of women's sports and the lower popularity and number of women in those sports.

### **Conclusions**

1. Young players demonstrated an effective return to form, often improving their results, which indicates that they fully focused on the rehabilitation period and honed their skills.
2. Older players often did not return to the same level, experiencing drastic declines in form, which led them to make decisions about prematurely ending their careers.
3. It is necessary to continue research in the future when the number of studies involving women increases in order to obtain more detailed analyses on the influence of gender on full recovery.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] (Evans J, Mabrouk A, Nielson JI. Anterior Cruciate Ligament Knee Injury. [Updated 2023 Nov 17]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan)
- [2] ([https://en.wikipedia.org/wiki/Multivariate\\_statistics](https://en.wikipedia.org/wiki/Multivariate_statistics))
- [3] (Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res*. 2016 Nov;34(11):1843-1855. doi: 10.1002/jor.23414. Epub 2016 Sep 19. PMID: 27612195; PMCID: PMC5505503.)
- [4] (Benjaminse A, Otten E. ACL injury prevention, more effective with a different way of motor learning? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 Apr;19(4):622-7. doi: 10.1007/s00167-010-1313-z. Epub 2010 Nov 13. PMID: 21079917; PMCID: PMC3062033.)
- [5] (Zsidai B, Piuksi R, Thomeé R, Sundemo D, Musahl V, Samuelsson K, Hamrin Senorski E. Generalised joint hypermobility leads to increased odds of sustaining a second ACL injury within 12 months of return to sport after ACL reconstruction. *Br J Sports Med*. 2023 Aug;57(15):972-978. doi: 10.1136/bjsports-2022-106183. Epub 2023 May 16. PMID: 37192830; PMCID: PMC10423474.)
- [6] (Posthumus M, September AV, Keegan M, O'Cuinneagain D, Van der Merwe W, Schwellnus MP, Collins M. Genetic risk factors for anterior cruciate ligament ruptures: COL1A1 gene variant. *Br J Sports Med*. 2009 May;43(5):352-6. doi: 10.1136/bjsm.2008.056150. Epub 2009 Feb 4. PMID: 19193663.)
- [7] (Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg*. 2013 Jan;21(1):41-50. doi: 10.5435/JAAOS-21-01-41. PMID: 23281470.)
- [8] (The female ACL: Why is it more prone to injury? *J Orthop*. 2016 Mar 24;13(2):A1-4. doi: 10.1016/S0972-978X(16)00023-4. PMID: 27053841; PMCID: PMC4805849.)
- [9] (Chidi-Ogbolu N, Baar K. Effect of Estrogen on Musculoskeletal Performance and Injury Risk. *Front Physiol*. 2019 Jan 15;9:1834. doi: 10.3389/fphys.2018.01834. PMID: 30697162; PMCID: PMC6341375.)
- [10] (Dowling AV, Corazza S, Chaudhari AM, Andriacchi TP. Shoe-surface friction influences movement strategies during a sidestep cutting task: implications for anterior cruciate ligament injury risk. *Am J Sports Med*. 2010 Mar;38(3):478-85. doi: 10.1177/0363546509348374. PMID: 20194954.)
- [11] (Ngatuvai MS, Yang J, Kistamgari S, Collins CL, Smith GA. Epidemiological Comparison of ACL Injuries on Different Playing Surfaces in High School Football and Soccer. *Orthop J Sports Med*. 2022 May 5;10(5):23259671221092321. doi: 10.1177/23259671221092321. PMID: 35547616; PMCID: PMC9083053.)

[12] (Defi IR. Rehabilitation Role in Sport Injury. *Orthop J Sports Med.* 2023 Feb 28;11(2 Suppl):2325967121S00833. doi: 10.1177/2325967121S00833. PMID: PMC9999154.)

[13] (Kimura Y, Sasaki E, Yamamoto Y, Sasaki S, Tsuda E, Ishibashi Y. Incidence and Risk Factors of Subsequent Meniscal Surgery After Successful Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Retrospective Study With a Minimum 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* 2020 Dec;48(14):3525-3533. doi: 10.1177/0363546520967670. Epub 2020 Oct 30. PMID: 33125263.)

[14] (Rodriguez-Merchan EC, Encinas-Ullan CA. Knee Osteoarthritis Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Frequency, Contributory Elements, and Recent Interventions to Modify the Route of Degeneration. *Arch Bone Jt Surg.* 2022 Nov;10(11):951-958. doi: 10.22038/ABJS.2021.52790.2616. PMID: 36561222; PMCID: PMC9749126.)

[15] (Webster KE, Feller JA. Return to Level I Sports After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Evaluation of Age, Sex, and Readiness to Return Criteria. *Orthop J Sports Med.* 2018 Aug 2;6(8):2325967118788045. doi: 10.1177/2325967118788045. PMID: 30116761; PMCID: PMC6088492.)

[16] (Bullock GS, Sell TC, Zarega R, Reiter C, King V, Wrona H, Mills N, Ganderton C, Duhig S, Räisänen A, Ledbetter L, Collins GS, Kvist J, Filbay SR. Kinesiophobia, Knee Self-Efficacy, and Fear Avoidance Beliefs in People with ACL Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2022 Dec;52(12):3001-3019. doi: 10.1007/s40279-022-01739-3. Epub 2022 Aug 13. PMID: 35963980.)

[17] (Piussi R, Berghdal T, Sundemo D, Grassi A, Zaffagnini S, Sansone M, Samuelsson K, Senorski EH. Self-Reported Symptoms of Depression and Anxiety After ACL Injury: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2022 Jan 18;10(1):23259671211066493. doi: 10.1177/23259671211066493. PMID: 35071657; PMCID: PMC8777351.)

[18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Dimensional\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Dimensional_analysis)

[19] [https://en.wikipedia.org/wiki/Principal\\_component\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis)

[20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis)

[21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_equation\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_equation_modeling)

[22] Perera J, Miller MD, Danahy P. Case Report Demonstrating Multifactorial Risks of Anterior Cruciate Ligament Re-tear Injuries and Appropriate Response Among Those With High Chance of Recurrence. *Cureus.* 2022 May 13;14(5):e24965. doi: 10.7759/cureus.24965. PMID: 35698701; PMCID: PMC9188759.

[23] Burkhart B, Ford KR, Myer GD, Heidt RS, Hewett TE. ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT TEAR IN AN ATHLETE: DOES INCREASED HEEL LOADING CONTRIBUTE TO ACL RUPTURE? *N Am J Sports Phys Ther.* 2008 Aug;3(3):141-144. PMID: 20333261; PMCID: PMC2843432.

[24] Le Guen A, Lucena T, Laboute E, Cavaignac E. Management of a rare case of anterior cruciate ligament reconstruction in a Paralympic athlete with a transtibial amputation - a case

report. SICOT J. 2025;11:23. doi: 10.1051/sicotj/2025022. Epub 2025 Apr 8. PMID: 40198809; PMCID: PMC11978240.

**[25]** Noronha JC, Oliveira JP, Brito J. Return to play after three ipsilateral anterior cruciate ligament reconstructions in an elite soccer player: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2020;68:1-3. doi: 10.1016/j.ijscr.2020.02.027. Epub 2020 Feb 19. PMID: 32109765; PMCID: PMC7044495.

**[26]** Haack C, Zeppieri G, Moser MW. Rehabilitation Following ACL Repair with Internal Brace Ligament Augmentation in Female Gymnast: A Resident's Case Report. *Int J Sports Phys Ther.* 2024 Jun 1;19(6):745-757. doi: 10.26603/001c.117773. PMID: 38835983; PMCID: PMC11144659.

**[27]** Dewig DR, Boltz AJ, Moffit RE, Rao N, Collins CL, Chandran A. Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Tears in National Collegiate Athletic Association Athletes: 2014/2015-2018/2019. *Med Sci Sports Exerc.* 2024 Jan 1;56(1):29-36. doi: 10.1249/MSS.0000000000003281. Epub 2023 Aug 23. PMID: 37616175.

**[28]** Gopinath V, Smith MV, Matava MJ, Brophy RH, Knapik DM. Most Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Athletes Occur Without Contact to the Injured Knee: A Systematic Review of Video Analysis Studies. *Arthroscopy.* 2025 Apr;41(4):1155-1162.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2024.03.047. Epub 2024 Apr 23. PMID: 38663569.

## 11. SPIS RYCIN

Rycina [1] Graf porównujący ilość zerwań ACL i PCL w różnych sytuacjach życiowych

Rycina [2] Zdjęcie przedstawiające więzadła krzyżowe oraz zerwane więzadło krzyżowe przednie

Rycina [3] Zdjęcie przedstawiające kąt między linią biodra a linią rzepki u kobiety i u mężczyzny

Rycina [4] Opuchlizna stawu kolanowego przy uszkodzeniu więzadeł

Rycina [5] Zdjęcie z MRI stawu kolanowego z widokiem osiowym pacjenta Cezary Muszalski

Rycina [6] Zdjęcie z MRI stawu kolanowego z widokiem czołowym pacjenta Cezary Muszalski

Rycina [7] Zdjęcie z MRI stawu kolanowego z widokiem strzałkowym pacjenta Cezary Muszalski z widocznym i wskazanym uszkodzonym więzadłem krzyżowym.

Rycina [8] Zdjęcie demonstrujące naprawę więzadła krzyżowego przedniego metodą mostkową

Rycina [9] Zdjęcie przedstawiające przykładowe ćwiczenie do odzyskania pełnego zakresu ruchu stawu kolanowego

Rycina [10] Przykładowy arkusz danych który jest bazą całego programu (NBA)

Rycina [11] Heatmapa zmian procentowych u wybranych zawodników NBA którzy doznali zerwania ACL

Rycina [12] Analiza PCA + KMeans przedstawiające powrót do formy po rekonstrukcji ACL

Rycina [13] Porównanie średnich zmian w statystykach po urazie ACL między NBA a WNBA

Rycina [14] Procentowy rozkład zmian wyników sportowych w NBA po urazie ACL w zależności od wieku sportowców

Rycina [15] Procentowy rozkład zmian wyników sportowych w WNBA po urazie ACL w zależności od wieku sportowców

Rycina [16] Porównanie procentowego rozkładu zmian wyników sportowych w profesjonalnej koszykówce pomiędzy mężczyznami a kobietami po urazie ACL w zależności od wieku sportowców

Video [1] Schemat artroskopowej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

## **12. WYKAZ SKRÓTÓW**

**ACL** – Więzadło krzyżowe przednie

**PCL** – Więzadło krzyżowe tylne

**PCA** - Analiza głównych składowych

**SEM** – Modelowanie równań strukturalnych

**Kąt Q** - Kąt między linią biodra a linią rzepki