



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Biomechanika kolenního kloubu po rekonstrukci předního zkříženého vazů

Biomechanics of the Knee Joint after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Bakalářská práce

Studijní obor: Fyzioterapie

Autor bakalářské práce: Kristýna Nowaková

Vedoucí bakalářské práce: doc. Mgr. Roman Farana, Ph.D.

Kladno 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nowaková** Jméno: **Kristýna** Osobní číslo: **499468**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Fyzioterapie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Biomechanika kolenního kloubu po rekonstrukci předního zkříženého vazů

Název bakalářské práce anglicky:

Biomechanics of the Knee Joint after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Pokyny pro vypracování:

Předmětem této bakalářské práce bude popsat změny v biomechanice a mechanickém zatížení kolenního kloubu při základní lokomoci (chůzi), non-lokomoci (dřep) a polohy na jedné noze u pacientů po rekonstrukci předního zkříženého vazů, sledování těchto změn a rozdílů v porovnání se zdravou končetinou. Teoretická část se bude věnovat zpracováním poznatků o anatomii a biomechanice kolenního kloubu. Dále zde bude charakterizováno poranění předního zkříženého vazů, mechanismus a rizikové faktory zranění, a dále pak možnosti léčby a rehabilitace. Praktická část se bude zabývat kineziologickým rozбором a základními biomechanickými proměnnými pacientů a jejich porovnáním se zdravou dolní končetinou. Získaná data budou vyhodnocena pomocí základních statistických metod a rovněž graficky a tabulkově interpretována. Na základě získaných dat a kineziologického rozboru bude stanoven návrh fyzioterapeutického plánu pro návrat ke sportovní aktivitě.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČIHÁK, Radomír, Anatomie, ed. Třetí, upravené a doplněné vydání, Praha: Grada, 2016, ISBN 978-80-247-3817-8
- [2] PETERSON, Lars a Per RENSTRÖM, Sports injuries: prevention, treatment and rehabilitation, ed. 4, Boca Raton: CRC Press, 2017, Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-84184-705-4
- [3] MURRAY, Martha M., Patrick VAVKEN a Braden C. FLEMING, The ACL handbook: knee biology, mechanics, and treatment, New York: Springer, 2013, ISBN 978-1-4614-0759-1

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Mgr. Roman Farana, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Biomechanika kolenního kloubu po rekonstrukci předního zkříženého vazu vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 17.05.2023

.....
Kristýna Nowaková

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda vyjádřila své poděkování všem, kteří byli součástí této bakalářské práce. Zejména bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Mgr. Romanu Faranovi, Ph.D. za jeho velmi cenné rady, trpělivost, odborné vedení a neustálou podporu. Dále bych chtěla poděkovat probandům za spolupráci a své rodině za to, že mě podporovala a povzbuzovala při mém vzdělávání. Na závěr děkuji všem, kteří přispěli svými znalostmi a zkušenostmi k mému vzdělání a rozvoji.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá změnou biomechaniky kolenního kloubu po rekonstrukci předního zkříženého vazy pomocí biomechanické analýzy.

Cílem je zjistit, zda takové změny v biomechanickém a mechanickém zatížení kolenního kloubu existují.

Teoretická část práce stručně popisuje anatomické a biomechanické vlastnosti kolenního kloubu a následně se zaměřuje na funkci předního zkříženého vazy. Dále se práce zabývá problematikou a mechanismy zranění předního zkříženého vazy a představuje možnosti rehabilitace a prevence. Poslední bod teoretické části pojednává o biomechanické analýze a jejím využití.

Metodická část popisuje výzkumný soubor a základní vyšetřovací metody, které byly použity. Následně popisuje metody sběru dat a způsob jejich analýzy.

Speciální část zaznamenává anamnézu a data z kineziologického rozboru všech sledovaných probandů po rekonstrukci předního zkříženého vazy.

V kapitole výsledky jsou uvedeny nejdůležitější části vyšetření a porovnání dat z biomechanické analýzy pro operovanou a zdravou dolní končetinu v pohybových úkolech chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině každého probanda. Na základě výsledků práce stanoví krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.

Diskuze je zaměřena na srovnání výsledků s jinými studiemi a na využití biomechanické analýzy.

Klíčová slova

Kolenní kloub; přední zkřížený vaz; biomechanická analýza pohybu; zranění předního zkříženého vazy; plastika předního zkříženého vazy

ABSTRACT

This bachelor thesis examines the change in knee joint biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction using biomechanical analysis.

The aim is to determine whether such changes in the biomechanical and mechanical loading of the knee joint exist.

The theoretical part of the thesis briefly describes the anatomical and biomechanical properties of the knee joint and then focuses on the function of the anterior cruciate ligament. Furthermore, the thesis deals with the problems and mechanisms of anterior cruciate ligament injuries and presents the possibilities of rehabilitation and prevention. The last section of the theoretical section discusses the biomechanical analysis and its application.

The methodological section describes the research population and the basic examination methods used. Then, this section describes the methods of data collection and the method of data analysis.

The special section documents the medical history and the kinesiological analysis data of all probands after anterior cruciate ligament reconstruction.

The results section presents the most important parts of the examination and the comparison of the biomechanical analysis data for the operated and healthy lower limb in the walking, squatting and standing tasks on one lower limb of each proband. Based on the results of the work, a short-term and long-term rehabilitation plan is determined.

The discussion focuses on comparison of the results with other studies and use of the biomechanical analysis.

Keywords

Knee joint; anterior cruciate ligament; biomechanical analysis of movement; anterior cruciate ligament injuries; anterior cruciate ligament reconstruction

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce.....	11
3	Přehled současného stavu	12
3.1	Anatomie a biomechanika kolenního kloubu	12
3.1.1	Anatomie kolenního kloubu	12
3.1.2	Biomechanika kolenního kloubu.....	14
3.1.3	Funkce předního zkříženého vazy v kolenním kloubu.....	15
3.2	Problematika a mechanismy zranění předního zkříženého vazy	16
3.3	Operační léčba.....	21
3.4	Možnosti rehabilitace po zranění a plastice předního zkříženého vazy a prevence.....	23
3.5	Biomechanická analýza pohybu.....	28
3.5.1	Kinematická analýza.....	29
3.5.2	Kinetická analýza	31
3.5.3	Možnosti využití biomechanické analýzy v rehabilitační praxi při zranění LCA.....	31
4	Metodika.....	33
4.1	Popis výzkumného souboru.....	33
4.2	Kineziologický rozbor.....	33
4.2.1	Anamnéza	33
4.2.2	Aspekce.....	34
4.2.3	Palpační vyšetření	34
4.2.4	Goniometrie	34

4.2.5	Antropometrie	34
4.2.6	Svalový test dle Jandy	35
4.2.7	Dynamické rozvíjení páteře	35
4.2.8	Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy	36
4.2.9	Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu	36
4.3	Protokol měření	37
4.4	Metody sběru dat	38
4.5	Metody analýzy dat	39
5	SPECIÁLNÍ ČÁST	40
5.1	Proband 1	40
5.2	Proband 2.....	42
5.3	Proband 3.....	44
5.4	Proband 4	47
5.5	Proband 5.....	49
5.6	Proband 6	51
6	Výsledky	54
6.1	Proband 1	54
6.1.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	54
6.1.2	Biomechanická analýza	55
6.1.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	56
6.2	Proband 2.....	57
6.2.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	57
6.2.2	Biomechanická analýza	58
6.2.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	59

6.3	Proband 3.....	60
6.3.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	60
6.3.2	Biomechanická analýza.....	61
6.3.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	62
6.4	Proband 4	63
6.4.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	63
6.4.2	Biomechanická analýza.....	64
6.4.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	65
6.5	Proband 5.....	66
6.5.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	66
6.5.2	Biomechanická analýza.....	67
6.5.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	68
6.6	Proband 6	69
6.6.1	Výběr z kineziologického rozboru.....	69
6.6.2	Biomechanická analýza.....	70
6.6.3	Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.....	71
7	Diskuze	72
8	Závěr	77
9	Seznam použitých zkratk	78
10	Seznam použité literatury.....	80
11	Seznam použitých obrázků	83
12	Seznam použitých tabulek	84

1 ÚVOD

Kolenní kloub je jedním z nejdůležitějších a nejvíce zatěžovaných kloubů v lidském těle. Jeho správná funkce je klíčová pro pohyb a aktivity denního života. Zranění této oblasti je velmi závažné a může zásadně ovlivnit život jedince. V rámci kolenního kloubu plní přední zkřížený vaz (LCA) spolu s dalšími vazy nezastupitelnou funkci při stabilizaci a patří k nejdůležitějším stabilizátorům kolenního kloubu. Zranění vazů, zejména při sportovních aktivitách, se vyskytují často. Nicméně mohou nastat i v běžném životě. Jejich zranění pak můžeme rozdělit na kombinované nebo izolované. Pokud dojde k ruptuře vazů existují dvě možnosti řešení. První z možností je konzervativní řešení, ale ve velké většině případů zranění následuje operační řešení a rekonstrukce vazů. Rekonstrukce vazů zásadně zpomalí vznik degenerativních změn a snaží se obnovit normální funkci kolenního kloubu. Tím dává sportovci naději na opětovný návrat ke sportovní aktivitě, avšak i po úspěšné plastice se mohou objevit poruchy pohybu a stability kolenního kloubu, což může mít vliv na každodenní život pacienta (Dungl 2014).

Tato práce se proto bude věnovat biomechanické analýze pacientů po plastice LCA během chůze, v dřepu a při stožení na jedné dolní končetině. Následně se pomocí porovnání zdravé a operované končetiny práce pokusí posoudit a popsat rozdíly v biomechanické funkcionalitě a objevit případné deficity v pohybové soustavě.

Výsledky této práce by mohly přispět k lepšímu porozumění biomechanických změn po plastice LCA a mohou pomoci při následné rehabilitaci a prevenci opětovného zranění.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjistit, zda u pohybově aktivních osob po rekonstrukci předního zkříženého vazů existují změny v biomechanice a mechanickém zatížení kolenního kloubu při lokomoci, dřepu a stožení na jedné dolní končetině v porovnání se zdravou dolní končetinou.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Anatomie a biomechanika kolenního kloubu

Kolenní kloub je velmi složitá struktura, jak z anatomického, tak z biomechanického hlediska. Má významnou roli ve všech fyzických aktivitách, a proto taky bývá nejčastějším zraněním ve sportu (Peterson 2017).

3.1.1 Anatomie kolenního kloubu

Kolenní kloub (*articulatio genus*) je v lidském těle největším a nejsložitějším kloubem. Jedná se o bikondylární složený kloub, který se skládá ze tří kostí, a to z femuru (stehenní kosti), tibie (holenní kosti) a pately (čéšky). *Articulatio femorotibialis* je spojení femuru a tibie. Kloubní hlavice tohoto spojení je tvořená condyli femoris a jamka condyli tibiae. *Articulatio femoropatellaris* je spojení femuru a pately. Jeho hlavice je tvořená *facies patellaris femoris* a jamka *facies articularis patellae* (Číhák 2011; Hudák 2017).

Plochy femuru a tibie mají odlišný tvar a velikost, vzájemně si tedy neodpovídají, proto musí být tyto rozdíly vyrovnávány kloubními menisky. V kolenním kloubu se nachází dva menisky. Prvním z nich je vnitřní meniskus (*meniscus medialis*) a druhým je zevní meniskus (*meniscus lateralis*). Oba tyto menisky jsou složeny z hustého vaziva, které přechází do vazivové chrupavky. Vnitřní část menisků je oproti vnější velmi tenká. Menisky se od sebe navzájem liší, jak tvarem a velikostí, tak i svou pohyblivostí. Vnitřní meniskus má poloměsíčitý tvar a je méně pohyblivý než vnější meniskus, což má za následek častější poranění tohoto menisku. Pohyblivost vnitřního menisku ovlivňuje mediální srůst s *ligamentum collaterale tibiale* (vnitřním postranním vazem) a kloubním pouzdem. Vnější meniskus má kruhový tvar a nesrůstá s kloubním pouzdem. Menisky se svými cípy upínají na přední a zadní interkondylární plochu na tibiai. Jednou z jejich funkcí je schopnost vydržet zátěž, která na kloub působí v extendované i flektované pozici. Ve stoji absorbují až 50 % tlaku, který na kloub působí a při flexi dokáží absorbovat až 90 % tlaku. Při pohybu kolenního kloubu se menisky posouvají dozadu a zpět, při čemž dokáží i měnit svůj tvar podle pohybu v kolenním kloubu (Dylevský 2009; Číhák 2011; Hudák 2017).

Kloubní pouzdro má dvě vrstvy, a to vrstvu synoviální a vazivovou, jinak nazývanou fibrózní vrstvu. Pouzdro je připojené na okraje kloubních ploch tibie, pately a femuru, ovšem u femuru se pouzdro neupíná přímo na okraji kloubních ploch, ale dále od okraje. Na epikondyly femuru jsou připojeny svaly a vazy, proto se zde pouzdro neupíná. V místech, kde se nachází postranní vazy, je kloubní pouzdro silnější (Dylevský 2009; Čihák 2011).

Existují statické a dynamické stabilizátory kolenního kloubu. Mezi statické stabilizátory patří vazy, menisky, kloubní pouzdra a tvary kloubních ploch a mezi dynamické stabilizátory patří svaly (Dylevský 2009).

Jak již bylo řečeno, pro stabilitu kolenního kloubu jsou vazy nezbytnou součástí. Vazy kolenního kloubu jsou rozděleny do dvou skupin. První skupinou jsou ligamenta kloubního pouzdra, která se dělí na přední, postranní a zadní. Přední skupinu vytváří šlacha m. quadriceps femoris a její pokračování ligamentum patellae, které vede od pately na tuberositas tibiae. Postranní skupinu tvoří ligamentum collaterale tibiale (vnitřní postranní vaz) a ligamentum collaterale fibulare (zevní postranní vaz). Tyto vazy jsou důležité stabilizátory kolene při extenzi, ve které jsou napjaté, a současně při provádění neúplného flečného pohybu kloubu. Ligamentum collaterale tibiale je ploché a široké. Začíná na mediálním epikondyly femuru a upíná se na tibií. V zadní části srůstá s meniscus medialis a pouzdrem kolenního kloubu. Ligamentum collaterale fibulare začíná na laterálním epikondyly femuru a upíná se na fibulu. Zadní skupinu tvoří ligamentum popliteum olivum a ligamentum popliteum arcuatum. Druhou skupinou jsou nitrokloubní vazy, které procházejí středem kolenního kloubu. Mezi nitrokloubní vazy patří ligamenta cruciata genus (zkřížené kolenní vazy), které jsou největšími stabilizátory kolenního kloubu, a patří mezi ně ligamentum cruciatum anterius (přední zkřížený vaz) a ligamentum cruciatum posterius (zadní zkřížený vaz). Zadní zkřížený vaz jde od zevní plochy vnitřního kondyly a upíná se do přední interkondylární plochy. Zadní zkřížený vaz omezuje zevní rotaci a zabraňuje posouvání bérce směrem dozadu. Je podobně dlouhý jako přední, akorát o něco silnější (Dylevský 2009; Čihák 2011).

Přední zkřížený vaz je orientován na mediální (vnitřní) ploše laterálního (zevního) kondylu femuru a vede šikmo dopředu na přední interkondylární plochu tibiae. Vaz není ve všech částech stejně široký, při jeho úponu na femur je užší než při úponu na tibi. Délka vazů je přibližně 32 mm a šířka ve střední části je mezi 7 a 17 mm. Běžně se uvádí, že se LCA dělí na anteromediální a posterolaterální svazek. Anteromediální svazek je delší a silnější a napíná se při flexi, kdežto k napnutí posterolaterálního svazku dochází při extenzi kolenního kloubu (Dylevský 2009; Pauček 2014; Noyes 2018).

Dále mezi nitrokloubní vazy patří ligamentum transversum genus, ligamentum meniscofemorale anterius et posterius (Dylevský 2009; Čihák 2011).

Funkčně je kolenní kloub podstatně složitější než kyčelní, ovšem z pohledu uspořádání svalů je tomu přesně naopak. Hlavní svaly pro správnou funkci kolenního kloubu jsou uloženy na přední a zadní straně stehna. Přední strana stehna se skládá z m. sartorius a m. quadriceps femoris. Zadní strana je složena z hamstringů a to z m. biceps femoris, m. semitendinosus, m. semimembranosus a dále z m. popliteus a m. gastrocnemius, které leží na bérce (Dylevský; 2009).

3.1.2 Biomechanika kolenního kloubu

Za hlavní pohyby v kolenním kloubu lze považovat flexi a extenzi. Extenze je základním postavením pro kloub a v této poloze je kloub uzamčen, což znamená, že holenní kost s menisky a stehenní kostí jsou zcela u sebe a vazivové útvary nacházející se na zadní straně kloubu a kolaterální vazy jsou napjaty. Maximální rozsah flexe je přibližně 130-160 stupňů. Aktivní pohyb lze však vykonat pouze do 140 stupňů. Nad 140 stupňů už pouze pasivně. Se stoupající flexí se česka pohybuje distálním směrem a při návratu do extenze se pohybuje proximálním směrem. V kloubu kromě základních pohybů do flexe a extenze probíhají taky v určitých fázích pohybu, a to hlavně s rostoucí flexí i rotace, které jsou v rozmezí 45–90 stupňů flexe největší. Významně pak může rotace ovlivnit i to, jak moc je kloub zatížen. Pohyb z extenze do flexe probíhá ve třech fázích. První fází je počáteční rotace, kdy dochází k první pěti stupňové flexi spojené s rotací holenní kosti dovnitř. V této fázi se zkřížené vazy a vnitřní postranní vaz uvolní a tím dojde k odemčení

kolene. Zevní kondyl femuru se otáčí a vnitřní se posouvá. Druhou fází je valivý pohyb, při němž dochází k flexi. Kondyly stehenní kosti se valí po plochách holenní kosti a obou meniscích. Třetí fází je závěrečný posuvný pohyb, zde se dokončuje flexe v meniskotibiálním spojení. Kontakt mezi stehenní a holenní kostí se zmenšuje. Dochází ke klouzavému pohybu, kdy se kondyly stehenní kosti a menisky posouvají po holenní kosti směrem dozadu. Změna polohy zevního menisku je výraznější než u vnitřního. Jeho posun po holenní kosti je zhruba 12 mm, kdežto u vnitřního pouze 6 mm. Pokud pohyb probíhá z extenze do flexe, jde celý tento děj opačně. První fází je posuvný pohyb směrem dopředu. Na to navazuje druhá fáze, tedy pohyb valivý, a součástí třetí fáze je pohyb zevně rotační a opětovné uzamknutí kolene. Počátečním a závěrečným rotacím se říká sdružené rotace. Jakékoliv ostatní samostatné rotace jsou možné jen za současné flexe a dějí se v meniskotibiálním skloubení při posouvání menisků. Ve flexi je opět stabilizace kolene zajištěna zkříženými vazy podobně jako při extenzi. Ze základní pozice je možné ještě provést malou hyperextenzi do 5 stupňů. V některých případech u kloubů s větší volností může docházet k hyperextenzi kolenního kloubu větší než 5 stupňů, ovšem hyperextenzi nad 15 stupňů obvykle nepřesáhne (Dylevský 2009; Čihák 2011; Hudák 2017).

To, jakým způsobem jsou organizovány vazy v kolenním kloubu, hraje důležitou roli u rotačních dějů. Interkondylická eminence tibie se částečně podílí na určení středu rotace, ale jinak tvar kloubních ploch nemá výrazný vliv na rozsah rotace. Důležitý je průběh zkřížených vazů. Samotná zevní rotace má rozpětí 30 až 40 stupňů a vnitřní 10 stupňů (Kolář 2020).

3.1.3 Funkce předního zkříženého vazy v kolenním kloubu

Z umístění LCA vychází jeho funkce. Přední zkřížený vaz má v kolenu významnou stabilizační funkci. Omezuje přední translaci tibie, při které se tibie v kolenním kloubu posouvá dopředu. Omezuje vnitřní rotaci kolenního kloubu v průběhu extenze, a to v rozsahu 0 až 30 stupňů. Zabraňuje tomu, aby koleno bylo v hyperextenčním postavení. Spolu se zadním zkříženým vazem a postranními vazy omezuje torzní pohyby. Další jeho významnou funkcí je propiocepce. Z celé hmotnosti LCA totiž připadá 1-2 % proprioceptorům. Z čehož vyplývá, že LCA má

významnou funkci při kontrole kolenního kloubu. Obsahem předního zkříženého vazy jsou čtyři druhy mechanoreceptorů, které zahrnují Ruffiniho a Vater-Paciniho tělíška, Golgiho šlachová tělíška a volná nervová zakončení. Tyto mechanoreceptory hrají svou roli v propriocepci a dynamické nervosvalové stabilitě kolenního kloubu. Pokud dojde k ruptuře LCA, počet mechanoreceptorů se od chvíle ruptury do chvíle operace snižuje (Dylevský 2009; Gross 2013; Noyes 2018; Honová 2020).

LCA má schopnost ovíjet se okolo zadního zkříženého vazy, pokud dochází k vnitřní rotaci tibie proti femuru. Tato schopnost mu umožňuje zabránit přílišné vnitřní rotaci v bérce. Přední zkřížený vaz dokáže být velmi odolný v zátěži v průběhu tahu, ovšem protažení vazy při zátěži nesmí být velké. Je to z důvodu toho, že obsahuje méně elastických vláken než kolagenních. Díky tomu má dobrou stabilizační funkci, protože kolenní kloub sám o sobě je velmi nestabilní (Gross 2013).

3.2 Problematika a mechanismy zranění předního zkříženého vazy

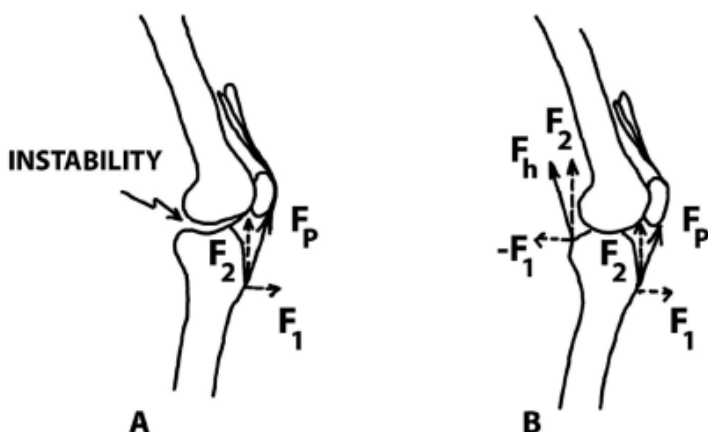
Sporty jako volejbal, basketbal, fotbal, hokej a sporty s vysokou pohybovou energií jsou nejčastější příčinou poranění předního zkříženého vazy u sportovců. Většinu úrazů utrpí sportovci mladší 25 let. Poranění může vznikat dvěma mechanismy. Přímým mechanismem, což znamená, že došlo k přímému kontaktu s předmětem, který způsobil poranění, anebo nepřímým mechanismem, který je u ruptury LCA častější a při kterém došlo k poranění například násilným pohybem. Pohyby, které jsou pro LCA nebezpečné a můžou ho poranit, jsou násilné hyperextenze, abdukce, rotační pohyby a případy, kdy je síla m. quadriceps femoris v porovnání s hamstringy vyšší, takže pohyby, kdy hamstringy nejsou schopny plně stabilizovat kvadriceps a jeho tah, způsobují zranění. Při okamžitém zastavení nebo zpomalení může dojít k silnému zapojení m. quadriceps femoris při snaze udržet rovnováhu, při tomto pohybu dochází k přední translaci tibie. Nejčastěji když se sportovec otáčí, padá z výskoku, zrychluje nebo zpomaluje. Největší incidence je u žen mezi 14 až 18 lety a u mužů mezi 19 až 25 lety (Pauček 2014; Jandová 2017; Noyes 2018; Honová 2020).

Často dochází ke kombinovanému poranění, což znamená, že je postižen nejen přední zkřížený vaz, ale i ostatní vazy či menisky. Velmi známá je „nešťastná triáda“, kdy dochází ke kombinaci zranění mediálního menisku, předního zkříženého vazů a mediálního kolaterálního vazů. K nešťastné triádě dojde v případě násilné zevní rotace a valgóznímu kolennímu kloubu. Mezi další kombinované poškození patří „nešťastná pentáda“. Při nešťastné pentádě dojde k poranění laterálního a mediálního menisku, laterálního kolaterálního vazů a zkřížených vazů kolenního kloubu z důvodu násilné addukce, kdy se koleno nachází v extendovaném postavení (Pauček 2014; Kolář 2020).

Mechanismy poranění jsou ovlivněny anatomii, biomechanikou, genetikou a taky hormonálními a neuromuskulárními faktory. Mezi vnější rizikové faktory poranění patří například typ obuvi a sportu. U žen dochází ke zranění častěji než u mužů. LCA u žen má totiž menší délku, objem i plochu průřezu ve srovnání s muži. Ženy mají menší tuhost, nižší toleranci k deformaci a nižší pevnost, což hraje roli v míře zranění. Bylo také zjištěno, že pohlavní hormony mohou mít vliv na výskyt zranění (Peterson 2017; Noyes 2018).

Během zátěže je stabilita kolenního kloubu mimo jiné ovlivněna tvarem a strukturou kostí, svalů a vazů. Všechny tyto struktury slouží k ochraně proti zvýšeným interním a externím silám a vnějším addukčním momentům. Když je jedinec vyveden z rovnováhy, ztratí kontrolu, mění svou nervosvalovou mechaniku a vzniká poranění. Stabilita kolenního kloubu je velmi důležitá a u pacientů po plastice LCA bývá narušená. Důležitým aspektem stability po plastice je to, zda štěp, který je odebrán, je z hamstringů nebo se jedná o patelární štěp. Štěp odebraný z hamstringů později oslabuje flexory kolenního kloubu, to znamená samotné hamstringy. To stejné platí i u štěpu patelárního, akorát jsou oslabovány extenzory kolenního kloubu. Proto po odběru štěpu dochází k značné nerovnováze mezi těmito svaly a tím ke zhoršení stability, proto je velmi důležitá včasná rehabilitace. Mm. gastrocnemii jsou schopny zabránit přední tibiální translaci a tím předcházet zranění LCA, ale aby k tomu došlo, musí se zvýšit svalová kontrakce. V případě, že dojde k zvýšení svalové kontrakce, následuje větší komprese kolenního kloubu a tím pádem bránění translaci. V případě normální svalové síly hamstringů se tlakové síly

působící na kloub rozkládají rovnoměrně tibii a femuru. Na obrázku (1) lze vidět, že v případě, kdy dojde ke snížení síly hamstringů, tlakové síly se nerozloží a působí v jednom místě, ve kterém se pak nachází i otáčivý moment působení (Noyes 2018; Ragulová 2020).



Obrázek 1 – Zobrazení nestabilního a stabilního kolenního kloubu (Ragulová 2020)
Instability – nestabilita

Je důležité si uvědomit i to, že vazby mezi svaly a klouby jsou složité a mohou se lišit v závislosti na pozici a pohybu kolene. V maximální extenzi kolenního kloubu lze říct o m. gastrocnemius, že je antagonistou LCA. Hamstringy zamezují přední subluxaci, hyperextenzi kolenního kloubu a zevní rotaci tibie (Noyes 2018).

Někteří sportovci jako například krasobruslaři a tanečníci jsou méně náchylní k poranění LCA, a to z toho důvodu, že mají výbornou kontrolu trupu, což je důsledkem jejich tréninku zaměřeného na posilování trupu, rovnováhy a obratnosti (Peterson 2017).

U některých se v průběhu poranění objevuje takzvaný „pop“ fenomén, který je možné slyšet. Subjektivně postižený pocítí lupnutí, prasknutí a ztrátu stability v kolenním kloubu. Uvnitř kloubu dochází ke krvácení a během šesti až dvaceti čtyř hodin dojde k tvorbě výpotku (hemartros) u 75 % jedinců. V některých případech se použije aspirace kloubu, při které se odsaje tekutina. Pokud je v tekutině krev, jde o zranění LCA. Objevuje se otok, který je druhý den nejvýraznější a postižený pocítuje bolest. Mimo jiné se může objevit zatuhnutí kloubu a nemožnost takový

kloub extendovat. Vzniká spasmus, a proto je ze začátku negativní přední zásuvkový test (Dungl 2014; Pauček 2014; Peterson 2017).

Podle závažnosti lze poranění vazů klasifikovat třemi stupni. Distenze, parciální ruptura, úplná (totální) ruptura.

- A) Distenze je prvním stupněm, kdy celistvost vazů zůstává nezměněná. Je možné najít pouze mikroskopické změny. Příznakem je bolest.
- B) Parciální ruptura je druhým stupněm, kdy je vaz natržen pouze z části. Léze je v anteromediální nebo posterolaterální části. Příznakem je rozšíření kloubní štěrby a bolest.
- C) Úplná (totální) ruptura je třetí stupeň, kdy je vaz zcela přetržen (Dungl 2014; Holeka 2016).

I přes to, že rekonstrukce LCA byla úspěšná, je jedinec na delší dobu vyřazen ze sportovních aktivit, zvyšuje se riziko rychlejšího rozvoje osteoartrózy, protože se neobnovuje kinematika kolene a v biomechanice se vytváří dlouhodobé změny. Po návratu k vysoce intenzivním aktivitám a rizikovým činnostem u 15–30 % jedinců dojde k poranění štěpu nebo druhého kolene, a to nejčastěji do dvou let po plastice předního zkříženého vazů. Vyšší riziko poškození LCA vzniká na druhé dolní končetině. Toto riziko má větší pravděpodobnost než to, že dojde k poškození štěpu. Důvodem poranění pravděpodobně může být změna biomechaniky a neuromuskulární funkce kolenního kloubu, velké rozdíly v síle končetin při návratu k pohybu a také neuspokojující rehabilitaci. U konzervativního řešení je riziko kontralaterálního poškození pouze 1 %, ale u tohoto způsobu se nedoporučují intenzivní a rizikové aktivity (Murray 2013; Noyes 2018; Ragulová 2020).

Jak již bylo zmíněno LCA je důležitý pro propriorepci a pokud dojde ke ztrátě signalizace, může nastat takzvaná kloubní slepota (Honová 2020).

To, zda se vybere léčba konzervativní nebo operační, závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich je to, zda se jedná o aktivního sportovce, jestli je poraněn pouze některý z vazů, anebo je zranění kombinované. Následně to, zda je jedinec dostatečně motivován a chápe význam dodržování rehabilitace. Dalším z faktorů je

typ neuromuskulární regulace. Ten se pozná následně po proběhlé akutní fázi. (Honová 2015; Honová 2020)

Existují dva typy:

- A) Copers (PVZ–indipendentní);
- B) noncopers (PVZ–dependentní).

Pacienti copers mají při zatížení postačující stabilitu a nemají limitované funkce kloubu. Pokud tito pacienti nehodlají vykonávat na vysoké úrovni sport, vzniká u nich možnost konzervativní terapie. Kdežto noncopers pacienti subjektivně při zátěžových aktivitách pociťují nejistotu, a to z podklesnutí kolene, a proto je pro ně nutná operační léčba, aby nedocházelo k poškozování měkkých struktur (Honová 2015; Honová 2020).

Nestabilita kolenního kloubu

Nestabilita kolenního kloubu nastává v případě, kdy dojde k poškození stabilizátorů. Existují dva druhy nestabilit kolenního kloubu, a to akutní a chronická nestabilita (Dungl 2014).

Akutní nestabilita je náhlé poškození jednoho nebo více vazů v kolenním kloubu, která se vyskytuje po náhlém zranění. Podle toho, jakým způsobem akutní nestability vznikají, je můžeme dělit na nestability s primární lézí kapsulárních stabilizátorů a izolované léze zkříženého vazů. Nestability s primární lézí kapsulárních stabilizátorů můžeme dále dělit na mediální, laterální a hyperextenzní. Nejvíce se vyskytují mediální nestability, jejichž mechanismus vzniku je násilně abdukčně-zevně rotační a dochází k poranění vnitřního postranního vazů, menisků a pouzdra, při větším násilí se mohou poranit i zkřížené vazy. Mechanismus vzniku laterálních nestabilit je addukčně-rotační a jejich výskyt je menší. V tomto případě je nejčastěji poraněn zevní postranní vaz a dále pak menisky a pouzdro. Vážné poranění je hyperextenzní nestabilita, jejíž mechanismus vzniku je násilně hyperextenční a jsou poraněny zkřížené vazy a zadní pouzdro. Tento druh

nestability se ovšem není tak častý. Izolované léze mohou být buď předního nebo zadního zkříženého vazů (Dungl 2014).

Může nastat situace, kdy po poranění nejsou správně vazy zhojeny nebo dostatečně zotaveny. V takovou chvíli vznikají chronické nestability kolenního kloubu. Mohou se projevovat „giving way“ fenoménem, kdy dochází k podklesnutí kolene. Z toho mohou následně vznikat degenerativní změny v kloubu. V případě vzniku chronické nestability se používá ortéza a musí probíhat rehabilitace (Dungl 2014).

Gross ve své knize zmiňuje, že velmi pravděpodobný vznik přední subluxace tibie nastává při výskoku. Zejména pokud se provádí při nesprávném technickém provedení, při přetížení nebo únavě, jelikož v letové fázi skoku je kloub v extendovaném stavu a dochází k přední subluxaci tibie. Při doskoku se koleno flektuje (Gross 2013).

„Uvnitř kolene přitom vzniká pocit proklouznutí kostí, protože tibie a zadní roh menisků (zvláště laterálního menisku) se vracejí do fyziologického postavení vzhledem k femuru a výsledkem kontaktu se zemí je náhlá redukce přední subluxace“ (Gross 2013, s. 437-438).

Dochází k „giving away“ fenoménu. Což znamená, že přední subluxace tibie má za následek podklesnutí kolene. Pokud se takový proces neustále opakuje, je pouze otázkou času, kdy dojde k natržení (Gross 2013).

3.3 Operační léčba

Existují dva způsoby, jak řešit poranění předního zkříženého vazů. Prvním z nich je léčba konzervativní, ale při této léčbě člověk riskuje předčasný nástup osteoartrózy a dalších problémů. Druhým způsobem je operační léčba. Během rozhodování, zda je pro pacienta operace nezbytná, je nutné zvážit vícero faktorů. Je třeba zjistit, zda se chce pacient vrátit k vysoce náročným aktivitám, jaká je jeho motivace, očekávání a jaký má styl života. Pokud však pocítuje nestabilitu, a to i objektivně, je rekonstrukce doporučena. V dnešní době se rekonstrukce

LCA stala běžným zákrokem. Z tohoto důvodu se operační léčba i následná fyzioterapie neustále zlepšují, což vede k tomu, že se rekonvalescence zrychluje. Ke zdokonalení dochází na základě velkého výskytu tohoto úrazu v populaci. Na 100 000 obyvatel připadá přibližně 60 úrazů ročně. Úkolem operačního řešení je navrátit kloubní stabilitu a zamezit předčasnému vzniku osteoartrózy a dalším patologickým jevům. Způsobů operačního řešení je více. Nejčastěji se u operačního řešení používá autotransplantát. Vhodný je autogenní štěp odebraný z ligamentum patellae nebo štěp odebraný z jedné ze šlach m. semitendinosus nebo m. gracilis. Autogenní štěp znamená, že je odebrán z téhož jedince. V případě, kdy musí jedinec podstoupit reoperaci, se nejčastěji používá cizí tkáň tzv. aloštěp, který pochází od zemřelého dárce. Aloštěp však není ideální. Je příliš tuhý. Běžně se operace neprovádějí hned po zranění, ale zhruba za 2-8 týdnů, protože je potřeba, aby ustoupil otok a bolest (Pauček 2014; Jandová 2017; Peterson 2017; Honová 2020).

Ve většině případů jako první přichází na řadu artroskopie, pomocí které proběhne diagnostika, a v případě poškození se odebere štěp (Honová 2015).

Štěp z ligamentum patellae se jinak taky nazývá BTB a štěpy ze šlach m. semitendinosus a m. gracilis ST/G. Pro aktivní sportovce a mladé lidi se používá štěp BTB, protože je odolnější. Artroskopické operace se provádějí z důvodu toho, že jsou daleko šetrnější a umožňují rychlejší pooperační regeneraci (Dungl 2014; Pauček 2014).

V dnešní době se polemizuje, zda je lepší používat jednosvazkovou (single-bundle) techniku, která se používá nejčastěji nebo dvousvazkovou (double-bundle) techniku. Bylo zjištěno, že jednosvazková technika nezabrání pozdějšímu rozvoji osteoartrózy. Při dvousvazkové technice se k obnovení biomechanických funkcí používají dva pruhu. Dle biomechanických studií je tato technika je přesnější, je schopna zajistit rotační stabilitu, zlepšit kinematiku kolenního kloubu a oddálit vznik osteoartrózy. V praxi je provedení dvousvazkové techniky složitější a je spojena s více riziky, proto se doposud používá jednosvazková technika a neexistují dlouhodobé výsledky (Peterson 2017).

Operační techniky mají i své nevýhody a možné komplikace. Může dojít například k nemožnosti obnovení plného rozsahu pohybu, k tomu, že se štěp neujal a nefunguje správně, k opětovné ruptuře a ke vzniku infekce, která je ale zaznamenána pouze u 0,5 % pacientů (Dungl 2014).

K zásadním faktorům ovlivňujícím vznik opětovné ruptury je návrat ke sportům s vysokou zátěží a věk jedince. Čím je jedinec mladší, tím je pravděpodobnost zranění vyšší. Mezi ostatní faktory patří například nízká pevnost štěpu, nedostatečná fixace a napnutí štěpu při operaci nebo nedostatečná rehabilitace (Noyes 2017).

3.4 Možnosti rehabilitace po zranění a plastice předního zkříženého vazy a prevence

Možnosti rehabilitace

V dnešní době existuje celá řada postupů pro prevenci zranění LCA a rehabilitaci už po proběhlém zranění a plastice LCA. Pooperační rehabilitace hraje nedílnou součást v návratu sportovce do optimální úrovně. Ve společnosti pak panuje velké množství názorů pro ideální postup rehabilitace (Ragulová 2020).

Je důležité si uvědomit, že se v mnohých případech nejedná pouze o izolované přetržení LCA, ale o kombinovanou formu. To znamená, že kromě přetrženého LCA se vyskytují i problémy s menisky a ostatními vazy. Dle některých výzkumů v New Yorku bylo zjištěno, že 2/3 pacientů mají souběžně i další poranění, což ovlivňuje následnou rehabilitaci (Murray 2013).

Pro správnou fyzioterapii je třeba znát, jakým způsobem probíhá hojení po plastice LCA. Během operace je jedinci s poraněním transplantován autogenní štěp, který je avaskulární, což znamená, že nemá žádné cévy. Po operaci dochází k postupné obnově krevního zásobení. Během čtyř až šesti týdnů probíhá obalování nové tkáně synoviální tkání. Lze říct, že je štěp v ischemické nekróze. Cévy měkkých tkání v oblasti kolena prorůstají do nové tkáně. Následně dochází k remodelaci

štěpu. Tento typ hojení trvá zhruba 30 týdnů, během kterých dojde taky k morfoložickým a biomechanickým změnám (Pauček 2014; Kolář 2020).

Vaz po plastice prodělavá tři fáze:

„První fáze je tzv. časné hojení, které trvá přibližně do čtvrtého pooperačního týdne. Druhá fáze je proliferace trvající přibližně do 12. týdne a třetí fáze je fáze ligamentizace, která trvá řádově roky“ (Honová 2020, s. 145).

Některé studie ovšem prokázaly, že transplantovaný štěp nikdy nedosáhne takové síly jako neporušený zdravý vaz. Při správně postupném zvyšování zátěže je dokázáno, že vaz, který je zatížen dříve, je silnější než ten, který byl imobilizován po delší dobu (Kolář 2020).

Fáze	Časové rozmezí	Běžně používané označení
0	úraz - operace	předoperační fáze
I	den OP - 2. týden	časná pooperační fáze
II	3. - 6. týden	pooperační fáze
III	7. - 12. týden	pozdní pooperační fáze
IV	4. měsíc - 6. měsíc	rekonvalescentní fáze

Obrázek 2 – Dělení jednotlivých rehabilitačních fází (Honová 2015)

Rehabilitace po plastice LCA má 5 fází, které jsou časově rozděleny.

A) Fáze 0 (předoperační)

Je spojena se samotným vznikem úrazu. V této fázi si pacienta lze připravit na výkon a tím značně usnadnit následnou pooperační fázi. K operaci pacienta totiž nedochází ihned po zranění, prvně musí dojít k redukci otoku a vstřebání výpotku. Začít by se mělo s léčbou otoku, a to aplikací chladu a kompresí. Důležité v této fázi je také udržení a zvětšení pohyblivosti kloubu, koordinace a propiocepce. V předoperační fázi lze také otestovat, zda je operace opravdu nezbytná (Peterson 2017; Honová 2020; Kolář 2020).

B) Fáze 1 (0.-2. týden)

Tato fáze patří mezi nejdůležitější a začíná ihned po operaci. Snahou je minimalizace bolesti, otoku a dosažení plné extenze. V první řadě je třeba ochránit štěp. Je zapotřebí se starat o jizvu, pracovat s ní a naučit pacienta autoterapie. Operovaná končetina je polohována ve zvýšené poloze. Je zahájena cévní gymnastika a míčkování. Pacient se následně učí chůzi s berlemi. V této době je vhodné použití také fyzikální terapie. Za potření je provádět izometrii extenzorů kolenního kloubu. Během těchto dvou týdnů je prvních pár dní pacient léčen v nemocnici a následně přechází do domácí péče a na rehabilitaci dochází. Fyzioterapeutem je instruován o cvičení v domácím prostředí. Snahou je zvětšovat rozsah pohybu kloubu. Na konci této fáze by měl být schopen dosáhnout flexe 90 stupňů. V tomto období se používá ortéza pro zlepšení stability (Pauček 2014; Honová 2020; Kolář 2020).

C) Fáze 2 (3.-6. týden)

Je důležité zmínit, že to, jakým tempem rehabilitace postupuje, závisí na subjektivním pocitu pacienta, a cvičení je tomu třeba přizpůsobit. Je také třeba hlídat, zda nedochází k otékání kolenního kloubu, bolesti a případně zčervenání nebo lokální hypertermii. V této fázi je neustálá snaha o zvětšování rozsahu pohybu. Zahajuje se postupné zatěžování při stabilizačních cvičeních a provádí se lehká propriocepční cvičení pro zlepšení stability a koordinace. Při propriocepčním cvičení se začíná v leže a používají se různé druhy podložek. Následně lze přejít na stimulační nebalanční podložky (viz. obrázek 3), a pokud to pacient zvládá a je připraven, tak se přechází na balanční podložky (BOSU, posturomed). V této fázi se může začlenit použití rotopedu. Je důležité kontrolovat pacienta, aby nedocházelo k zafixování špatné stabilizace (Honová 2020; Kolář 2020).



Obrázek 3 – Příklad cvičení na podložce AIREX (Honová 2020)

D) Fáze 3 (7.-12. týden)

Rozsah pohybu při flexi by v této fázi měl být minimálně 120 stupňů. Dochází mimo jiné k vaskularizaci štěpu. Z tohoto důvodu je třeba, aby se zátěž zvyšovala. Dbá se na správný stereotyp chůze a návrat svalové síly. V pozdější době této fáze se do rehabilitace může zahrnout běh, který ale nesmí být příliš rychlý. Do rehabilitace se začleňují výpady a cviky na vnitřní vastus (Honová 2020; Ragulová 2020).

E) Fáze 4 (do konce 6. měsíce)

Tato fáze je poslední a nazývá se rekonvalescenční. V této fázi se může zahrnout plyometrický trénink a silová cvičení. Cílem plyometrického cvičení je zvýšit sílu, výbušnost a koordinaci pohybu. Skládá se z výpadů, dřepů, skoků a podobně. Jde o střídání excentrické a koncentrické fáze pohybu. Ortézu je vhodné nosit při kontaktní aktivitě jeden rok. Cvičení začíná být zaměřeno na specifické potřeby daného sportu (Honová 2015; Honová 2020).

Ovšem v každé fázi je nezbytné přistupovat ke každému pacientovi individuálně a vybrat správné tempo terapie. S každou návštěvou je vhodné hodnotit pacientův stav a následně podle toho zadávat cviky. Fyzioterapeut by měl dbát na doporučení operátora (Ragulová 2020).

Jak již bylo řečeno i s návratem do vrcholového sportu je to zcela individuální. Některé zdroje uvádí, že ke sportu se pacient může nejdříve navrátit po šesti

měsících, ale pro to, aby tomu tak opravdu mohlo být, musí splňovat určitá kritéria, mezi která patří plný rozsah pohybu a dostatečná svalová síla m. quadriceps femoris na operované končetině. Tato síla musí být alespoň na 80 % oproti zdravé končetině. Dále se nesmí vyskytovat otok. Ovšem některá studia tohle tvrzení o šesti měsících vyvrací. Například Ragulová zmiňuje, že Herbst ve své studii uvádí, že ani po osmi měsících většina jeho probandů nesplňovala kritéria pro návrat k vrcholovému sportu, a to přesněji pouze jeden z 69 splňoval podmínky. Acevedo tvrdí, že k vrcholovému sportu se vrátí do 1 roku méně než 50 % pacientů. (Acevedo 2014; Ragulová 2020).

Pokud sport obsahuje specifické sportovní pohyby, je nutné zařadit do tréninku vhodný nácvik specifických pohybů, aby se zlepšila pohybová koordinace. Například úkoly s rychlou změnou směru. Proto, aby nedocházelo k opětovným zraněním LCA, musí se omezovat pohyby zvyšující vnější momenty v kolenní. Takovými rizikovými pohyby jsou například pohyby s abnormální kinematikou kyčle a úhly valgózního kolene (Buckthrope 2019).

Prevence zranění

Zájem o primární prevenci postupně roste. Správná prevence totiž snižuje riziko zranění LCA nejméně o 50 %, proto by se měla provozovat u všech sportovců. Ve většině preventivních programů je třeba se zaměřit na neuromuskulární a biomechanické deficity. Preventivní programy by se měly mimo jiné skládat z cvičení soustředící se na neuromuskulární a proprioceptivní prevenci. Měly by zahrnovat kombinaci posilování, strečinku, aerobní kondice, plyometrie a balanční cvičení. Nedílnou součástí by mělo být poučení ohledně mechaniky těla a správného způsobu provedení, například přistání z výskoku, u kterého by se měla trénovat technika. Přistání by mělo být měkké a na přední část chodidla s flexí trupu, kyčlí a kolen. U kolen by nemělo dojít k valgozitě (viz obrázek 4), naopak by měly mít kyčelní klouby při přistání mírný úhel zevně a neutrální polohu kolenního kloubu, zatížení by mělo být přes chodidlo. Při chybné poloze lze vidět addukci kyčelních kloubů. Přistávat z výskoku by se mělo vždy na obě nohy. Posilovat by se měly hamstringy jako agonisté LCA. Síla mm. gluteii je také klíčová, a to pro snížení rotace

femuru a zabránění valgozity kolen. Trénink propriocepce může začínat na pevné podložce a následně přecházet na nestabilní plochy až s pozdějším přidáním perturbací. Plyometrický trénink může řešit rozdíly v síle nohou a dominanci. Kromě těchto vnitřních faktorů by měli být jedinci seznámeni také s vnějšími faktory vzniku. Je důležité, aby preventivní programy byly udržovány po celou sezónu sportovce a měly by začít již v době před zahájením aktivity. Ani v případě, kdy ke zranění už došlo, se nesmí zapomínat na strategie pro snížení sekundárního vzniku poranění. Zvláště u mladých aktivních jedinců. Pro úspěšný preventivní plán je třeba, aby spolupracovali trenéři a rodiče s fyzioterapeuty a lékaři (Acevedo 2014; Peterson 2017; Paulson 2018).



Obrázek 4 – Abnormální technika přistání z výskoku (Acevedo 2014)

3.5 Biomechanická analýza pohybu

Základem života člověka je jeho pohyb. Síly jsou příčinami takového pohybu. Kinetická analýza se zabývá účinky sil, které mohou být deformační pohybové nebo bezprostřední. Mimo jiné mohou být i dlouhodobé a fyziologické. Je potvrzeno, že síly působící v rámci pohybové aktivity na lidské tělo ovlivňují mechanické vlastnosti kostí, a to v pozitivním slova smyslu. Pohyb člověka lze popsat v dnešní době díky biomechanickým měřicím přístrojům (Jandačka 2011).

V biomechanice lidského pohybu se využívají senzory (setrvačné). Mezi takové senzory patří magnetometry, gyroskopy, lineární snímače rychlosti a polohy, akcelerometry, elektromagnetické senzory, optické systémy a silové plošiny. Silové plošiny jsou velmi užitečným nástrojem pro měření kinetických veličin. Plošiny jsou

uloženy na podlaže a měří reakční sílu podložky. Takto naměřená reakční síla se posléze používá k analýze pohybu (Jandačka 2011).

Analýza pohybu se snaží o získání kvalitativních a kvantitativních informací o mechanice pohybového systému v průběhu nějakého daného pohybu. Díky pohybovým modelům je možné určit síly a produkci nebo absorpci jednotlivých interních struktur. Díky metodě inverzní dynamiky lze získat síly, momenty sil a mechanické výkony, které lze vypočítat z měření kinematiky lidského pohybu, setrvačných vlastností segmentů lidského těla a vnějších sil, a to pomocí pohybových rovnic. Metoda inverzní dynamiky spojuje popis (kinematiku) a příčiny (kinetiku) lidského pohybu. Získané veličiny se následně použijí pro tvorbu pohybového modelu lidského těla, který je virtuální. Síly, které působí na lidské tělo z vnějšího prostředí, jsou většinou výrazně nižší než vnitřní síly (Jandačka 2011).

K analýze pohybu používáme dvě hlavní metody:

- A) Kinematická analýza;
- B) Kinetická analýza (Kolář 2020).

3.5.1 Kinematická analýza

Kinematika se zabývá popisem pohybu těles bez ohledu na příčiny, které ho způsobují. Pro biomechaniku lidského pohybu je kinematická analýza nezbytná a velice zásadní metoda. Lze ji například používat ke zjišťování patologických mechanismů různých pohybů (Jandačka 2011; Zahradník 2020).

Jedním z nejpoužívanějších způsobů provedení kinematické analýzy lidského pohybu je použití reflexních značek (markerů) na význačné body na těle. Ty jsou při kinematické analýze lidského pohybu připevněny na těle. Případné nepřesnosti v důsledku pohybu měkkých tkání řeší klaster, na kterém jsou většinou připevněny čtyři markery. Markery mají tvar koule či polokoule a lepí se na kůži kostních výběžků, které jsou přesně dané a jsou v blízkosti hlavních kloubů lidského těla. Markery jsou následně snímány pomocí systému kamer. Existují dva druhy markerů a jeden bezmarkrový systém:

- A) Pasivní markery – kamery vysílají infračervené záření, které pasivní markery odrážejí, tento pasivní systém umožňuje volnost pohybu jedince a je schopen snímat mnoho markerů najednou, a to vysokou vzorkovací frekvencí;
- B) Aktivní markery – jsou schopny samostatně vysílat záření, výhodou takových markerů je vyšší frekvence a přesnost dat;
- C) Bezmarkové systémy – využívají různé snímací technologie k získání informací o pohybu. Jsou schopny automaticky sledovat tvar a pohyb těla bez potřeby umístění markerů (Jandačka 2011; Kolář 2020; Crenna 2021).

Infračervené záření, které vychází z markerů, snímá kamerový systém. Tento způsob je v dnešní době nejužívanější a nazývá se optoelektronická stereofotogrammetrie. Kamery jsou umístěny v prostoru a jejich počet je nejčastěji mezi 6 až 12. Rozmístění kamer musí být takové, aby byl každý marker při pohybu snímán alespoň dvěma kamerami. Pomocí kamer jsou následně markery zobrazeny v trojrozměrném prostoru (Jandačka 2011; Zahradník 2020).

Význačné body se používají pro tvorbu modelu těla. Význačné body lze definovat jako anatomicky definovaný bod na lidském těle. Tyto body definují rozměry jednotlivých segmentů a určují polohu a orientaci segmentů lidského těla v prostoru. Význačné body mohou být trojího typu: kalibrační, polohové a kalibračně-polohové (Jandačka 2011).

Pomocí kartézské soustavy souřadnic lze popsat polohy markerů v prostoru. Musí se stanovit osy pro jednotlivé směry pohybů. Například X pro mediolaterální směr, Y pro anterioposteriorní směr a Z pro směr vertikální. V první řadě je třeba určit globální souřadný systém (GCS) a lokální souřadný systém (LCS). GCS zajišťuje popis prostoru, ve kterém se daný pohyb odehrává. LCS se používá k určení polohy a orientace částí těla v průběhu pohybu (Jandačka 2011).

„Proces kinematické analýzy obsahuje následující fáze:

- *Kalibrace kamer a prostoru*
- *Sběr a digitalizace dat*
- *Výpočet polohy bodů v prostoru*

- *Identifikace markerů*
- *Tvorba biomechanického modelu a virtuálních markerů*
- *Interpretace dat“ (Zahradník 2020, s. 61).*

3.5.2 Kinetická analýza

Kinetika se zaměřuje na studium sil a interakcí, které pohyb těles způsobují. Je důležité vědět, že biomechanika pohybu není zaměřena prostřednictvím kinematiky pouze na popis, ale také na příčiny pohybu, a tyto příčiny jsou získávány prostřednictvím kinetiky. Spojením kinetické a kinematické analýzy je možné měřit výstupní mechanický výkon lidského kloubu, který ovšem tento výkon nevytváří, ale pouze přenáší. Výstupní mechanický výkon je možné určit v případě, kdy jsou známy parametry momentu síly a úhlové rychlosti kloubu. Cílem kinetické analýzy lidského pohybu je určit síly, které na tělo působí, a jak tyto síly ovlivňují pohyb (Jandačka 2011).

Pro kinetickou analýzu je zapotřebí znát: *„hmotnosti segmentů, délky segmentů, polohu těžiště jednotlivých segmentů a momenty setrvačnosti segmentů vzhledem k hlavním osám rotace“ (Jandačka 2011, s. 42).*

Vhodná je kombinace kinetických a kinematických metod měření. Silové plošiny samy o sobě mají omezenou možnost poskytnutí informací, proto je třeba je kombinovat s měřením kinematiky pohybu. Je vhodné je kombinovat s optoelektronickou stereofotogrammetrií, s měřením rychlosti pohybu a zátěže. Tyto informace jsou následně zpracovávány Visual3D či OpenSim, které vytváří kosterní či svalově-kosterní modely (Jandačka 2011).

3.5.3 Možnosti využití biomechanické analýzy v rehabilitační praxi při zranění LCA

Biomechanická analýza může být velice užitečným nástrojem pro rehabilitaci po zranění LCA. Může pomoci určit nejlepší přístup k léčbě pacientů. Umožňuje posouzení pohybu postiženého kolenního kloubu. To umožňuje stanovit pohyby, které jsou pro pacienta nejúčinnější a vytvořit plán rehabilitace. Díky biomechanice můžeme taky sledovat a monitorovat pokroky během rehabilitace a vyhodnotit její

účinnost. Mezi další možnosti využití biomechanické analýzy může být prevence budoucích zranění. Analýza může pomoci fyzioterapeutovi vytvořit plán prevence zranění a zároveň díky získaných informací může vést ke zvyšování výkonnosti pacienta (Jandačka 2011).

4 METODIKA

V této části bakalářské práce jsou popsány základní fyzioterapeutická vyšetření, která byla použita ve speciální části. Dále tato část popisuje metody sběru dat, protokol měření a metody analýzy dat pro biomechanickou analýzu. Měření probíhala v Centru diagnostiky lidského pohybu na Ostravské univerzitě.

4.1 Popis výzkumného souboru

V této bakalářské práci bylo naměřeno 6 probandů. Z toho 2 ženy a 4 muži. To, zda se jedná o muže nebo ženy, nebylo předmětem zkoumání. Ženy byly ve věkovém rozmezí od 22 do 23 let. Muži byli ve věku od 22 do 24. Probandi byli nejdříve vyšetřeni klinicky a následně pomocí biomechanické analýzy pohybu.

4.2 Kineziologický rozbor

Kineziologický rozbor slouží k diagnostice ve fyzioterapii. Každá metoda či koncept je kineziologickému rozboru podřízen (Poděbradská 2018).

V této bakalářské práci kineziologický rozbor zahrnuje sběr anamnézy, aspekci, palpaci a fyzikální vyšetření zaměřené na specifické potíže probandů. Na základě těchto dat a dat z biomechanické analýzy byl stanoven rehabilitační plán proto, aby se předešlo opakovaným zraněním.

4.2.1 Anamnéza

Anamnéza se skládá z řady otázek, které klade vyšetřující pacientovi. Díky těmto otázkám získá vyšetřující potřebné informace a úplný obraz o pacientovi. Anamnéza musí být odebrána do detailu ve všech směrech. V první řadě je zapotřebí od pacienta zjistit jeho nynější obtíže a od tohoto následně odvíjet celý způsob odběru anamnézy. Zjišťuje se například při jaké činnosti došlo ke vzniku obtíží, jaký je jejich průběh a bolest. Anamnéza je zaměřena především na odběr nynějšího onemocnění, osobní anamnézy (OA), rodinné anamnézy (RA), pracovní anamnézy (PA), farmakologické anamnézy (FA), alergologické anamnézy (AA), sociální anamnézy (SA) a sportovní anamnézy (SpA) (Poděbradská 2018; Kolář 2020).

Specificky u pacientů po ruptuře a plastice LCA je mimo jiné důležité zjistit, jak dlouho měl pacient končetinu fixovanou, zda má nyní nějaké potíže (např. pocity nestability) a jak probíhala jeho rehabilitace (Kolář 2020).

4.2.2 Aspekce

Jedná se o vyšetření pomocí zraku. Vyšetřující pacienta pozoruje již při příchodu. Jeho spontánní pohybové stereotypy, jako je držení těla, sed, chůze a další. Aspekce cílená přichází na řadu následně. Pacient během ní, pokud možno, stojí bez opěrných pomůcek. Provádí se aspekce ve stoji ze všech stran (zezadu, zepředu, z boku), poté taky aspekce chůze a stoje na jedné dolní končetině. Poznatky vyšetřujícího jsou zapisovány (Poděbradská 2018).

4.2.3 Palpační vyšetření

Palpace je subjektivní vjem vyšetřujícího, který se vyšetřuje pohmatem. Palpovat by se mělo jemně. Podle toho, jaký tlak vyšetřující klade a jakým směrem tlakem působí, by mělo vždy odpovídat hloubce a lokalitě dané struktury. Pacient musí být uvolněný a vyšetřující musí respektovat palpační citlivost. U kolenního kloubu je třeba zjistit, zda nejsou přítomné otoky, náplně kloubu či barevné změny a změny teploty. Jaká je posunlivost vrstev v oblasti kolenního kloubu, jizvy, pohyblivost pately a bolestivost. Kolář zmiňuje, že pokud se mediální část hamstringů nachází v hypertonu, může to ukazovat na lézi LCA (Gross 2008; Kolář 2020).

4.2.4 Goniometrie

Goniometrie se ve fyzioterapii používá k měření rozsahu pohybu v kloubu. Měření probíhá v přesně daných polohách a k měření se používají goniometry. Základní polohu v kloubech značíme nulou a od nich pak určujeme jednotlivé stupně. Pomocí goniometrie lze měřit pasivní i aktivní rozsah v kloubu (Haladová 2011).

4.2.5 Antropometrie

Antropometrie se zabývá měřením rozměrů lidského těla. Antropometrie je oproti palpaci zcela objektivní vjem. Měří se například délkové a obvodové míry.

Díky délkovým mírám lze přesně určit rozdíl v končetinách. Při měření obvodu lze zjistit rozdíl mezi operovanou a neoperovanou končetinou (Haladová 2011).

4.2.6 Svalový test dle Jandy

Měřit svalovou sílu lze několika způsoby. V praxi se používá měření svalové síly podle svalového testu dle Jandy. V zahraničí se spíše používá testování podle Kendalla et al. Svalový test dle Jandy určuje svalovou sílu svalových skupin, či jednotlivých svalů. Kromě svalové síly sledujeme i kvalitu provedení pohybu. Vyšetření svalové síly je aktivní záležitostí a také dosti subjektivním hodnocením. Během vyšetřování se musí dodržovat stanovený postup a zásady měření. U svalového testu dle Jandy rozlišujeme pět základních stupňů (Janda 2004; Kolář 2020).

- A) 0. stupeň (nula) – tento stupeň se stanoví v případě, že u vyšetřovaného vyšetřující nesleduje žádné známky kontrakce svalu.
- B) 1. stupeň (záškub) – v případě, že dochází k záškubu svalu, ale nedojde k pohybu segmentu. Svalová síla je neovlivněna zhruba z 10 %.
- C) 2. stupeň (velmi slabý) – sval tohoto stupně dokáže provést pohyb, ale nepřekoná gravitaci. Svalová síla je zhruba z 25 % zachovaná.
- D) 3. stupeň (slabý) – sval zvládne provést celý pohyb proti gravitaci. Ovšem nedokáže pohyb provádět proti odporu kladenému vyšetřujícím. Svalová síla je zachovaná z 50 %.
- E) 4. stupeň (dobrý) – svalová síla je dostatečně silná, aby při pohybu překonala středně silný odpor, který je kladen vyšetřujícím. Svalová síla je ze 75 % zachovaná.
- F) 5. stupeň (normální) – svalová síla je normální. Vyšetřovaný zvládne pohyb proti značnému odporu. Svalová síla odpovídá 100 % (Janda 2004; Kolář 2020).

4.2.7 Dynamické rozvíjení páteře

Při těchto testech vyšetřující sleduje rozvíjení páteře v jednotlivých segmentech či celé páteři. Měření probíhá za použití krejčovského metru. Test určující

pohyblivost bederní páteře se nazývá Schoberova vzdálenost. Při měření Schoberovy vzdálenosti přiložíme krejčovský metr k trnu L5 a odtud naměříme 10 cm kraniálně u dospělých a u dětí 5 cm. Když se pacient předklání, měla by se vzdálenost mezi těmito dvěma body zvětšit u dospělých zhruba na 14 cm a u dětí na 7,5 cm. Dalším testem je Stiborova vzdálenost. Ta nám ukazuje rozvíjení hrudní a bederní páteře. Měří se od trnu L5 po trn C7. Během anteflexe by se měla vzdálenost mezi těmito dvěma body zvětšit o 7-10 cm. Díky Čepojově vzdálenosti lze zjistit pohyblivost během předklonu v oblasti krční páteře. Od C7 vyšetřující naměří vzdálenost 8 cm kraniálně a tato vzdálenost by se během pohybu do flexe měla zvětšit minimálně o 3 cm. Ottova inklináční a reklinační vzdálenost zjišťuje pohyblivost hrudní páteře během záklonu a předklonu. Měření začíná od C7, odkud se naměří 30 cm kaudálně. Při předklonu by se měla vzdálenost mezi těmito body zvětšit o 3,5 cm, při záklonu o 2,5 cm. Lateroflexe vyšetřovaný provádí úklony a Tomayerova zkouška má za úkol zhodnotit rozvíjení celé páteře. Během anteflexe se měří vzdálenost mezi daktylionem a zemí. Forestierova fleche je další možností vyšetření, která ovšem v této práci není použita (Haladová 2011).

4.2.8 Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy

„Pod pojmem svalové zkrácení rozumíme stav, kdy dojde z nejrůznějších příčin ke klidovému zkrácení“ (Janda 2004, s. 279).

Vyšetření zkrácených svalů má opět přesně daný postup obdobně jako u vyšetření svalové síly. Vyšetření probíhá pasivně a v této práci byly využity testy na zkrácené flexory kyčelního kloubu, flexory kolenního kloubu, m. triceps surae a adduktory kyčelního kloubu. U každého testu se hodnotí 3 stupně. 0 (nejde o zkrácení), 1 (malé zkrácení), 2 (velké zkrácení) (Janda 2004).

4.2.9 Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu

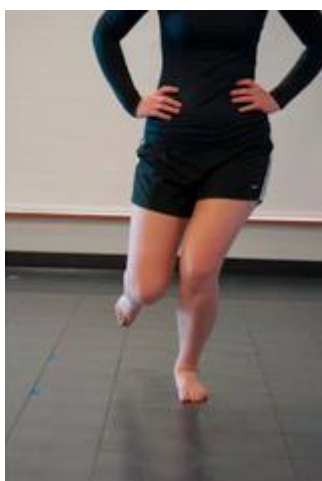
A) Stoj na jedné dolní končetině

Jedná se o funkční test stability dolní končetiny. Pacient stojí na jedné dolní končetině a druhou má pokrčenou před tělem. Tuto pozici drží po dobu 30 sekund.

Terapeut sleduje postavení dolní končetiny, titubace a schopnost udržet stabilitu (Herzánová 2015).

B) Test dřepu na jedné dolní končetině

Při tomto testu se pacient postaví na jednu dolní končetinu a druhou má ohnutou v 90 stupních v kolenním kloubu. Ruce si dá na boky. Následně provede dřep na stojné dolní končetině do 30 stupňů flexe v kolenním kloubu a poté se vrátí do výchozí pozice. Vyšetřující sleduje abnormální reakce, jako je dynamická valgozita kolene, mávání rukama, Trendelenburgovo znamení. Pozitivní výsledek může naznačovat sníženou sílu trupu, slabost abduktorů kyčelních kloubů a špatnou mechaniku dolních končetin (Ugalde 2014).



Obrázek 5 – Pozitivní test dřepu na jedné dolní končetině (Ugalde 2014)

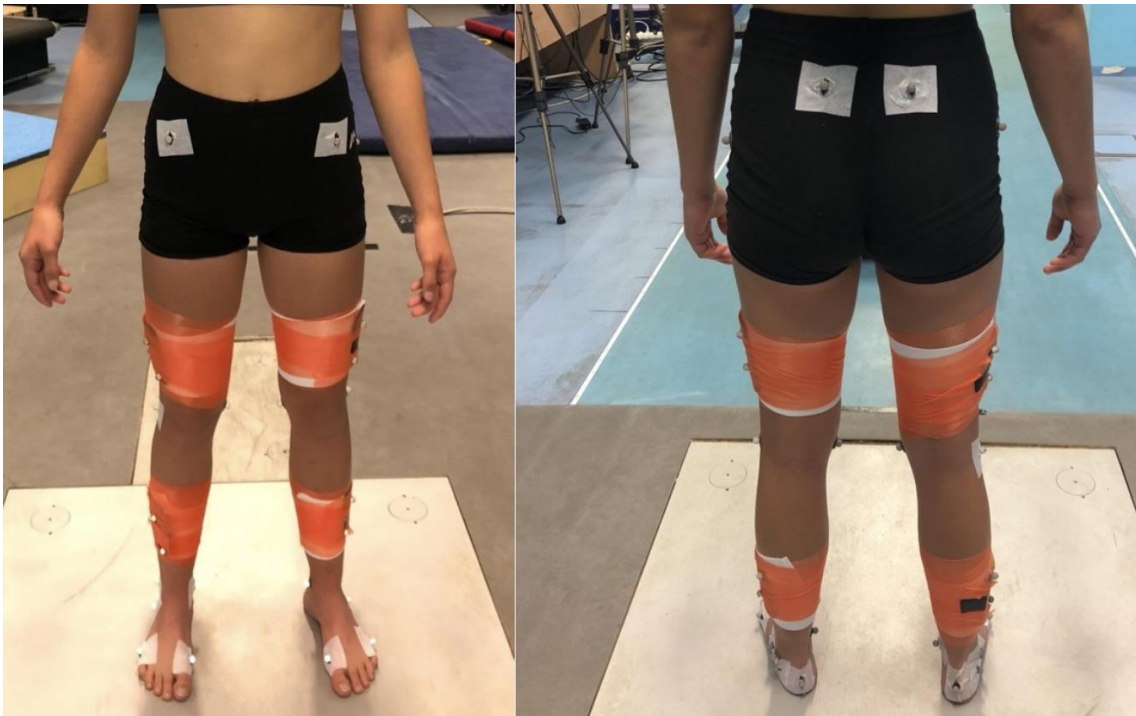
4.3 Protokol měření

Před samotným měřením proběhl s každým z probandů kineziologický rozbor, který je popsán výše. Každý z probandů pak provedl sérii pokusů vybraných pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině. U vyšetřovaného pohybového úkolu chůze bylo provedeno 5 platných pokusů krokového cyklu probanda. Jako platný pokus byl považován ten, kdy proband došlápl celým chodidlem na silovou plošinu. Všechny pokusy byly prováděny v přirozené rychlosti probanda. Mezi jednotlivými pokusy nebyly rozdíly v rychlosti vyšší než 5 %. U vyšetřovaného pohybu dřepu bylo provedeno vždy deset pokusů dřepů opakovaně. Proband stál na dvou silových plošinách tak, aby bylo možno analyzovat

každou dolní končetinu zvlášť. U pohybového úkolu stoj na jedné noze, provedl každý proband jeden pokus výdrže po dobu 30 sekund na postižené a zdravé dolní končetině. Jako platný pokus byl brát ten, kdy proband volnou dolní končetinu udržel ve flexi v kolenním kloubu a nedotkl se země (silové plošiny).

4.4 Metody sběru dat

Biomechanická měření proběhla v biomechanické laboratoři Centra diagnostiky lidského pohybu Ostravské univerzity. Kinetická data byla měřena pomocí dvou silových plošin (Kistler) s frekvencí 1200 Hz. Silové plošiny byly synchronizovány se systémem optoelektronické stereofotogrammetrie, který se sestával z dvanácti infračervených kamer (Qualisys) s frekvencí 240 Hz. Globální koordinační systém byl orientován tak, že osa X byla orientována mediolaterálně, osa Y anteroposteriorně a osa Z vertikálně. Na každého z probandů byly před samotným měřením umístěny na významné anatomické body reflexní značky (viz obrázek 6) podle doporučení společnosti C-motion (C-motion, Rockville, MD, USA). Pomocí polohy těchto značek byly získány hrubá data, se kterými se dále pracovalo v rámci následné analýzy.



Obrázek 6 – Rozmístění reflexních značek v oblasti pánve a dolních končetin (zdroj vlastní) foceno v Centru diagnostiky lidského pohybu

4.5 Metody analýzy dat

Získaná biomechanická data byla dále zpracována v programu Visual3D (C-motion, Rockville, MD, USA). U pohybového úkolu chůze byl rozsah sledovaného pohybu sledován v okamžiku kontaktu dolní končetiny se silovou plošinou a končil opuštěním dolní končetiny ze silové plošiny. Takto byl analyzován krokový cyklus pro postiženou a zdravou dolní končetinu. Vyšetřované biomechanické parametry zahrnují externí vertikální reakční síly podložky (VGRF) a rozsah pohybu v kolenním kloubu v sagitální rovině. Pro pohybový úkol dřepu byly sledovány maximum flexe a extenze v kolenním kloubu, a rozsah pohybu v kolenním kloubu v průběhu pohybu. U pohybového úkolu stoje na jedné noze byly sledovány rozsahy posunutí (pohybu) středu tlaku na podložce (COP) v mediolaterálním a anterioposteriorním směru.

Pro každou vyšetřovanou proměnnou byl vyjádřen průměr a směrodatná odchylka. Rozdíly mezi průměry byly určeny pomocí koeficientu velikosti vlivu (ES-effect size) vyjádřené Cohenovým koeficientem (Cohen 1988). Efekt velikosti vlivu byl kvantifikován jako 0,8 vysoký (Cohen 1988).

Věcná významnost byla poté definována pro $ES > 0,8$. Pro kvantifikaci symetrie mezi pravou a levou dolní končetinou byl použit index symetrie (SI) (Robinson 1987).

5 SPECIÁLNÍ ČÁST

Tato kapitola se bude věnovat pacientům po plastice předního zkříženého vazů. Budou zde podrobně popsány kineziologické rozbory. Ovšem jednotlivá biomechanická měření a krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán pro prevenci opětovného zranění každého probanda se budou nacházet až v kapitole výsledky.

5.1 Proband 1

Vyšetření proběhlo 11.11. 2022

Vstupní data

Pohlaví: žena

Věk: 23

Váha: 67 kg

Výška: 178 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: V říjnu roku 2021 se pacientka během volejbalového zápasu střetla se spoluhráčkou v průběhu výskoku, následkem čehož došlo k pádu. Ihned cítila nestabilitu kolenního kloubu na LDK. Po diagnostice a zjištění totální ruptury LCA bylo indikováno operační řešení LDK. Operována 3.12. 2021 artroskopicky autogenním štěpem BTB. Pacientka bez operačních komplikací. Rehabilitaci absolvovala. Návrat k původnímu sportu stále neproběhl. Nyní popisuje bolest po delší chůzi či náročnějším cvičení.

OA: BDN, 2016 distorze vazů kotníku

RA: Bez souvislosti s nynějším onemocněním

FA: antikoncepce, léky sezónně na alergii

AA: prokázaná alergie na pyl, kočky

PA: učitelka na střední škole, studentka učitelství tělovýchovy

SA: bydlí v bytě s přítelem

SpA: Aktivní sportovkyně, chtěla by opět začít hrát volejbal, ale její stav jí to ještě neumožňuje. Nyní ve volném čase pravidelně plave, cvičí pilates, jógu a na bosu.

Abúzus: neguje

Aspekce stoje

Pohled zezadu: širší báze je v normě, valgózní postavení pat, výraznější kontura svalů lýtky a stehna na LDK, popliteální rýhy symetrické, gluteální rýhy jsou asymetrické na LDK výš, ochablé gluteální svalstvo, hypertonus paravertebrálních svalů v Th/L přechodu bilaterálně, postavení lopatek je asymetrické, elevace pravého ramenního pletence

Pohled z boku: protrakce ramen, předsunutá držení hlavy, flekční držení těla

Pohled zepředu: kladívkové prsty, kontura lýtek je asymetrická, je patrný otok na LDK v oblasti KOK, kontury stehna asymetrické, m. quadriceps femoris na PDK výrazně svalnatější, oslabení gluteus medius, thorakobrachiální trojúhelník na PHK výrazně menší, elevace pravého ramenního pletence

Modifikace stoje: bez patologického nálezu

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, PDK se vytáčí zevně, odvíjení chodidla od podložky se zdá být v normě

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, otok přítomen v oblasti kolenního kloubu, lehká hypomobilita pately, jizva pohyblivá ve všech směrech, zahojená, proband udává občasnou bolestivost jizvy

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 1 – Dynamické rozvíjení páteře, proband 1 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	12 cm
Stiborova vzdálenost	7 cm
Čepojova vzdálenost	2 cm
Ottova inklinální vzdálenost	3,5 cm
Ottova reklinální vzdálenost	2 cm
Tomayerova zkouška	5 cm
Úkolny (lateroflexe)	vpravo omezená

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 2 – Antropometrie, proband 1 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	47,5 cm	42 cm
Přes patelu	34,5 cm	35,5 cm
Přes tuberositas tibie	31,5 cm	32 cm
Lýtko	34 cm	31,5 cm
Přes kotníky	24 cm	24 cm
Přes nárt a patu	31 cm	32 cm
Přes hlavičky metatarsů	21 cm	21 cm

5.2 Proband 2

Vyšetření proběhlo: 11.11. 2022

Vstupní data

Pohlaví: muž

Věk: 24

Váha: 92 kg

Výška: 193 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: V prosinci 2021 během basketbalového tréninku pacient při výskoku na koš špatně dopadl na PDK, následkem čehož upadl. Ihned pocítoval střelejší bolest a nestabilitu KOK. Další den navštívil doktora. Po diagnostice byla zjištěna totální ruptura LCA na PDK a indikováno operační řešení. Operován na konci ledna 2022 BTB štěpem. Následně indikace k rehabilitaci. Návrat k aktivnímu sportu po 7 měsících. Nyní pacient popisuje ztuhlost P KOK po námaze. Minulý týden opět punkce kloubu z důvodu niktrokloubního výpotku.

OA: BDN

RA: bez souvislosti s nynějším onemocněním

FA: neguje

AA: neguje

PA: student vysoké školy, profesionální basketbalista

SA: bydlí v rodinném domě

SpA: 3x týdně tréninky basketbalu, ve volném čase se věnuje plavání a posilování

Abúzus: neguje

Aspekce stoje:

Pohled zezadu: šíře báze je v normě, valgózní postavení L paty, šavlovité bérce, asymetrická kontura svalů lýtek a stehen, popliteální rýhy symetrické, gluteální rýhy jsou asymetrické na PDK výš, dominance paravertebrálních svalů Th/L přechodu, scapula alata, elevace L ramenního pletence

Pohled zboku: genua recurvata, zvýšená anteverze pánve, protrakce ramen, předsun hlavy

Pohled zepředu: šavlovité bérce, kontura lýtek nesymetrická, laterální deviace P pately, PDK rotovaná dovnitř, m. quadriceps na LDK mírně svalnatější, prsní bradavky ve stejné výšce, protrakce ramen, elevace L ramenního pletence

Modifikace stoje: bez patologického nálezu

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, LDK vytáčí zevně, odvíjení chodidla od podložky se zdá být v normě

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, bez otoku v oblasti kolenního kloubu, patela pohyblivá, jizva pohyblivá ve všech směrech, zahojená, jizva bez bolesti

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 3 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 2 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	13 cm
Stiborova vzdálenost	8 cm
Čepojova vzdálenost	2,5 cm
Ottova inklinální vzdálenost	3 cm
Ottova reklinální vzdálenost	1,5 cm
Tomayerova zkouška	4 cm
Úkolny (lateroflexe)	symetrické

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 4 – Antropometrie, proband 2 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	47 cm	50 cm
Přes patelu	38,5 cm	39 cm
Přes tuberositas tibie	35 cm	36 cm
Lýtko	40 cm	42 cm
Přes kotníky	28 cm	29 cm
Přes nárt a patu	24 cm	24 cm
Přes hlavičky metatarsů	24 cm	24 cm

5.3 Proband 3

Vyšetření proběhlo 11.11. 2022

Vstupní data

Pohlaví: muž

Věk: 23

Váha: 102 kg

Výška: 193 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: Pacient se v únoru 2022 v rámci basketbalového zápasu zranil při náhlém zpomalení. V daném období se nacházel ve vysoké fyzické zátěži z důvodu probíhající sezóny. Ihned pocítil střelejší bolest LDK a podklesnutí KOK. Následně byla zjištěna totální ruptura LCA. Operace proběhla v březnu 2022 BTB štěpem. Následovala rehabilitace. Nyní je po zátěži přítomna omezená hybnost KOK.

OA: BDN

RA: bez souvislosti s nynějším onemocněním

FA: neguje

AA: pyl

PA: student vysoké školy, profesionální basketbalista

SA: bydlí v rodinném domě

SpA: stále se nevrátil na původní úroveň, ve svém volném čase posiluje a omezeně trénuje basketbal

Aspekce stoje:

Pohled zezadu: šíře báze je v normě, plochonoží obou DKK, valgózní postavení pat, kontura svalů lýtek a stehen symetrická, popliteální rýha PDK výš, gluteální rýhy jsou symetrické, dominance paravertebrálních svalů, postavení lopatek asymetrické, L lopatka výš, elevace levého ramenního pletence

Pohled z boku: **zvýšená** anteverze pánve, **zvýšená** bederní lordóza, protrakce ramen

Pohled zepředu: plochonoží obou DKK, kladívkové prsty, kontura lýtek symetrická, laterální deviace patel, kontura stehen symetrická, thorakobrachiální trojúhelníky v normě, prsní bradavky ve stejné výšce, L clavicula výš, elevace levého ramenního pletence

Modifikace stoje: bez patologického nálezu

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, při chůzi padá valgózními hlezenními klouby dovnitř, odvíjení chodidla od podložky je více po zevní hraně

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, bez otoku v oblasti kolenního kloubu, patela pohyblivá, jizva pohyblivá, zahojená, jizva bez bolesti

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 5 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 3 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	13,5 cm
Stiborova vzdálenost	8 cm
Čepojova vzdálenost	3 cm
Ottova inklinální vzdálenost	3 cm
Ottova reklinální vzdálenost	2 cm
Tomayerova zkouška	3 cm
Úkolny (lateroflexe)	symetrické

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 6 – Antropometrie, proband 3 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	52 cm	55,5 cm
Přes patelu	42 cm	42 cm
Přes tuberositas tibiae	39 cm	37,5 cm
Lýtko	38,5 cm	38 cm
Přes kotníky	28 cm	28 cm
Přes nárt a patu	35 cm	36 cm
Přes hlavičky metatarsů	24 cm	23 cm

5.4 Proband 4

Vyšetření proběhlo 06.02. 2023

Vstupní data

Pohlaví: muž

Věk: 22

Váha: 84 kg

Výška: 174 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: Pacient utrpěl zranění v červenci 2022 během zápasu ve volejbale. Při dopadu z výskoku došlo k pádu. Pacient cítil nestabilitu KOK LDK a vystřelující bolest. Následně byla zjištěna totální ruptura LCA na LDK. Indikován k operačnímu řešení. Operace proběhla v září 2022 BTB štěpem. Následně proběhla rehabilitace. V současnosti přítomna bolest KOK při delší chůzi a při chůzi na nerovném povrchu. Nemožnost aktivního sportování.

OA: BDN

RA: v rodině migrény, otec DM II. typu

FA: léky na alergii

AA: pyl

PA: student vysoké školy

SA: bydlí v bytě s rodiči

SpA: nyní pouze rekreačně hraje florbal, fotbal, hokej a tenis, bývalý profesionální fotbalista

Abúzus: neguje

Aspekce stoje

Pohled zezadu: šíře báze je v normě, plochonoží obou DKK, chodidlo LDK rotováno zevně, kontury stehen a lýtek symetrické, gluteální rýhy jsou asymetrické na LDK výš, ochablé gluteální svalstvo, postavení lopatek je asymetrické, L lopatka výš, elevace levého ramenního pletence

Pohled z boku: protrakce ramen, předsunutá držení hlavy

Pohled zepředu: chodidla vytočená zevně, plochonoží DKK, kontura lýtek je symetrická, laterální deviace patel, kontury stehen symetrické, hypotrofický m. quadriceps femoris na LDK, oslabení gluteus medius, sešikmení pánve, thorakobrachiální trojúhelník větší na PHK

Modifikace stoje: bez patologického nálezu

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, chodidla se vytáčejí zevně, odvíjení chodidla od podložky se zdá být po zevní straně

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, bez otoku, jizva pohyblivá ve všech směrech, zahojená, bez bolesti, patela je pohyblivá do všech směrů

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 7 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 4 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	13 cm
Stiborova vzdálenost	5 cm
Čepojova vzdálenost	2 cm
Ottova inklinální vzdálenost	3 cm
Ottova reklinační vzdálenost	5 cm
Tomayerova zkouška	4 cm
Úkolny (lateroflexe)	symetrické

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 8 – Antropometrie, proband 4 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	52 cm	52 cm
Přes patelu	37 cm	39 cm
Přes tuberositas tibie	35 cm	35 cm
Lýtko	41 cm	40 cm
Přes kotníky	27 cm	27 cm
Přes nárt a patu	32,5 cm	32,5 cm
Přes hlavičky metatarsů	23 cm	23 cm

5.5 Proband 5

Vyšetření proběhlo 09.02. 2023

Vstupní data

Pohlaví: muž

Věk: 23

Váha: 70 kg

Výška: 185 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: Na konci září 2021 během basketbalového zápasu se pacient zranil při kontaktu s protihráčem. Došlo k podklesnutí L KOK a bolesti. K otoku KOK ihned nedošlo. Nebyla zjištěna ruptura, proto 5 týdnů fixační ortéza. Následně začal opět zatěžovat KOK, ale byla přítomna bolest. Při tréninku v květnu 2022 došlo k totální ruptuře LCA na LDK. Operace proběhla 24.6. 2022 BTB štěpem. Následně byla absolvovaná rehabilitace. Nyní po aktivitě omezená hybnost a bolest KOK.

OA: BDN

RA: bez souvislosti

FA: neguje

AA: neguje

PA: student na vysoké škole

SA: bydlí s rodiči

SpA: bývalý profesionální florbalista, rekreačně hraje basketbal, volejbal, plave

Abúzus: neguje

Aspekce stoje:

Pohled zezadu: šíře báze je v normě, valgozita kotníků, kontury stehen lehce asymetrické, valgozita kolenních kloubů, gluteální rýhy symetrické, ochablé gluteální svalstvo, postavení lopatek je asymetrické, pravá lopatka výš, elevace pravého ramenního pletence

Pohled z boku: protrakce ramen, předsunutě držení hlavy

Pohled zepředu: valgozita kotníků, kontura lýtek je symetrická, laterální deviace patel, valgozita kolenních kloubů, m. quadriceps femoris LDK lehká hypotrofie

Modifikace stoje: stojí více na zevní hraně chodidla

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, chodidlo na LDK se vtáčí dovnitř

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, lehký otok, jizva pohyblivá ve všech směrech, zahojená, bez bolesti, patela pohyblivá do všech směrů

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 9 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 5 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	14 cm
Stiborova vzdálenost	7 cm
Čepojova vzdálenost	2 cm
Ottova inklinální vzdálenost	2,5 cm
Ottova reklinální vzdálenost	1,5 cm
Tomayerova zkouška	5 cm
Úkolny (lateroflexe)	symetrické

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 10 – Antropometrie, proband 5 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	44 cm	42 cm
Přes patelu	34 cm	35 cm
Přes tuberositas tibiae	33 cm	33 cm
Lýtko	25 cm	34 cm
Přes kotníky	26 cm	24 cm
Přes nárt a patu	32 cm	32 cm
Přes hlavičky metatarsů	23 cm	23 cm

5.6 Proband 6

Vyšetření proběhlo 09.02. 2023

Vstupní data

Pohlaví: žena

Věk: 22

Váha: 57 kg

Výška: 169 cm

Kineziologický rozbor

Anamnéza

NO: Dne 27.3. 2022 došlo u pacientky ke zranění kolenního kloubu v důsledku náhlého zpomalení z běhu při florbalovém zápase. Došlo k hyperextenzi kolenního kloubu. V té době byla pacientka vystavena velkému psychickému a fyzickému nátlaku spojenému s průběhem sezóny.

Po vyšetření byla diagnostikována totální ruptura LCA na PDK. Dne 13.5. 2022 byla pacientka podrobena artroskopii, během které byl pro totální rupturu odstraněn LCA na PDK. Následně se dne 28.6. 2022 přistoupilo k artroskopii, při které proběhla rekonstrukce BTB štěpem. Pacientka absolvovala rehabilitaci. Po třech týdnech začala jezdit na kole. Návrat ke profesionálnímu sportu po 7 měsících. Nyní nevykazuje přítomnost bolesti.

OA: BDN, hypotyreóza

RA: bez souvislosti s nynějším onemocněním

FA: Euthyrox 50

AA: ATB

PA: studentka

SA: bydlí s rodiči v panelovém domě

SpA: sport pravidelně, profesionálně hraje florbal

Aspekce stoje

Pohled zezadu: šíře báze je v normě, chodidla jsou rotovaná zevně, kontury stehenních a lýtkových svalů jsou symetrické, hyperextenze KOK, popliteální rýhy symetrické, gluteální rýhy jsou symetrické, ochablé gluteální svalstvo, dominance paravertebrálních svalů Th-L přechodu, insuficience mezilopatkového svalstva, P lopatka a rameno níž

Pohled z boku: hyperextenze KOK, zvýšená anteverze pánve, hyperlordóza bederní páteře, protrakce ramen

Pohled zepředu: chodidla jsou rotovaná zevně, pately symetrické, protrakce ramen, elevace L ramenního pletence

Modifikace stoje: bez patologického nálezu

Vyšetření chůze: chůze je stabilní, rytmus chůze je pravidelný, délka kroku je symetrická, chodidla vytáčí zevně, odvíjení chodidla od podložky se zdá být více po zevní straně

Palpace: při palpaci nebyla zjištěna změna teploty v oblasti kolenního kloubu, otok není přítomen, jizva je pohyblivá ve všech směrech, zahojená, proband neudává bolest, patela pohyblivá ve všech směrech

Dynamické rozvíjení páteře:

Tabulka 11 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 6 (zdroj vlastní)

Schoberova vzdálenost	15 cm
Stiborova vzdálenost	8 cm
Čepojova vzdálenost	1 cm
Ottova inklinální vzdálenost	3 cm
Ottova reklinální vzdálenost	2 cm
Tomayerova zkouška	Dotkne se podlahy
Úkolny (lateroflexe)	Pravou dosáhne dál

Antropometrie (obvodové míry):

Tabulka 12 – Antropometrie, proband 6 (zdroj vlastní)

Obvodové míry	Pravá DK	Levá DK
15 cm nad patelou	42,5 cm	42,5 cm
Přes patelu	33 cm	32,5 cm
Přes tuberositas tibie	31 cm	31 cm
Lýtko	33 cm	33 cm
Přes kotníky	23 cm	23 cm
Přes nárt a patu	30 cm	30 cm
Přes hlavičky metatarsů	22 cm	22 cm

6 VÝSLEDKY

Výsledková část uvádí nejdůležitější zjištění, která vycházejí z kineziologického rozboru, vybraných diagnostických testů svalové síly, goniometrie, stability kolenního kloubu, vyšetření svalového zkrácení, a základních biomechanických měření sledovaných pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedno noze. Tyto výsledky jsou prezentovány pro každého z probandů a dále jsou na jejich základě navrženy základní body pro krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán.

6.1 Proband 1

6.1.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 13 – Goniometrie, proband 1 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	0 – 0 – 140	0 – 0 – 135
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	15 – 0 – 130	15 – 0 – 125
F	40 – 0 – 25	40 – 0 – 20
R	45 – 0 – 40	45 – 0 – 35

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 14 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 1 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	0
flexory kyčelního kloubu	1	1
flexory kolenního kloubu	1	2
adduktory kyčelního kloubu	1	1

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 15 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 1 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	4	3
Extenze	5	4
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	5	3
Abdukce	4+	4+
Addukce	4	4
Vnitřní rotace	5	5
Zevní rotace	5	5

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – neudává bolest, na LDK titubace, má lehký problém udržet rovnováhu na LDK, aktivita prstců, proband splnil hranici 30 sekund
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – při stoji na PDK i LDK jde kolenní kloub do valgozity, neudává bolest

6.1.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru \pm směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině u probanda 1.

Tabulka 16 – Parametry biomechanické analýzy, proband 1 (zdroj vlastní)

M – průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *ES (Effect size)* – věcná významnost, *SI* – index symetrie, *VGRF* – vertikální reakční síla podložky, *N* – Newton, ° – stupeň, *mm* – milimetr, *COP (Center of Pressure)* – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	745,5	22,6	762,9	13,4	-0,8	-2,3
Druhé maximum VGRF (N)	748,3	22,8	760,8	13,7	-0,6	-1,7
Rozsah pohybu (°)	69,4	2,7	54,7	1,1	5,5	23,8
Dřep						
Maximum Flexe (°)	72,3	2,1	71,8	3,1	0,3	0,8
Maximum Extenze (°)	4,1	0,4	6,0	1,5	-5,2	-36,8
Rozsah pohybu (°)	68,2	1,9	65,8	3,4	1,3	3,6
Stoj na jedné noze						
Rozsah COP Anterio–Posterior (mm)	52,1	1,2	51,3	0,6	0,7	1,5
Rozsah COP Medio–Lateral (mm)	44,2	0,6	35,2	0,5	15,0	22,7

Biomechanická analýza chůze poukázala, že proband zatěžuje postiženou dolní končetinu méně než zdravou v obou maximech VGRF. Nicméně tyto rozdíly mají střední věcnou významnost. Rovněž hodnoty indexu symetrie naznačují symetrickou chůzi s ohledem na působící externí reakční sílu. Dále z výsledků vyplývá, že rozsah pohybu v kolenním kloubu při krokovém cyklu je vyšší u postižené dolní končetiny, což se projevuje na zvýšené asymetrii v kolenním kloubu v sagitální rovině k průběhu chůze. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšené asymetrii. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly a zvýšená asymetrie u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší hodnoty posunutí COP v mediolaterálním směru.

6.1.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení stability kolenních kloubů
- Zlepšení posturální stability
- Protážení zkrácených svalů

- Zlepšení mobility pately
- Ovlivnění otoku na LDK

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Ovlivnění bolesti LDK po sportu
- Korekce chybných pohybových stereotypů
- Návrat ke sportovní zátěži jako před úrazem

6.2 Proband 2

6.2.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 17 – Goniometrie, proband 2 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	0 – 0 – 130	0 – 0 – 135
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	10 – 0 – 120	15 – 0 – 130
F	40 – 0 – 25	40 – 0 – 25
R	40 – 0 – 30	45 – 0 – 30

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 18 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 2 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	0
flexory kyčelního kloubu	1	1
flexory kolenního kloubu	1	1
adduktory kyčelního kloubu	0	0

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 19 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 2 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	5	5
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	4	5
Extenze	5	5
Abdukce	4+	5
Addukce	5	5
Vnitřní rotace	5	5
Zevní rotace	5	5

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – neudává bolest, kolenní klouby se na obou DKK lehce vychylovaly do stran, udává potíže s udržení stability na PDK, proband vydržel po dobu 30 sekund
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – bez patologického nálezu

6.2.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru \pm směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině probanda 2.

Tabulka 20 – Parametry biomechanické analýzy, proband 2 (zdroj vlastní)

M – průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *ES (Effect size)* – věcná významnost, *SI* – index symetrie, *VGRF* – vertikální reakční síla podložky, *N* – Newton, ° – stupeň, *mm* – milimetr, *COP (Center of Pressure)* – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	870,0	114,4	1032,3	4,0	-1,4	-17,1
Druhé maximum VGRF (N)	843,4	98,6	1018,4	7,4	-1,8	-18,8
Rozsah pohybu (°)	65,5	0,5	62,3	0,6	6,6	5,0
Dřep						
Maximum Flexe (°)	94,9	2,2	94,1	1,5	0,4	0,8
Maximum Extenze (°)	6,6	1,9	3,3	1,9	1,8	66,9
Rozsah pohybu (°)	88,3	3,8	90,8	2,8	-0,7	-2,8
Stoj						
Rozsah COP Anterio–Posterior (mm)	45,2	0,8	40,2	0,8	6,3	11,7
Rozsah COPMedio–Lateral (mm)	48,3	0,7	40,3	0,5	11,4	18,1

Biomechanická analýza chůze poukázala, že proband zatěžuje postiženou dolní končetinu méně než zdravou v obou maximech VGRF. Byly zjištěny vysoké rozdíly v obou maximech VGRF a zvýšené indexy symetrie v obou maximech VGRF. Dále z výsledků vyplývá, že rozsah pohybu v kolenním kloubu při krokovém cyklu je vyšší u postižené dolní končetiny. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšená asymetrie. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly a zvýšená asymetrie u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze v anterioposteriorním i mediolaterálním směru, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší hodnoty posunutí COP v obou směrech nezbytných pro udržení stability.

6.2.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení stability kolenních kloubů
- Zlepšení posturální stability
- Zlepšení postavení lopatek

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Korekce chybných pohybových stereotypů
- Ovlivnění ztuhlosti pravého KOK po námaze
- Fixace správných hybných stereotypů

6.3 Proband 3

6.3.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 21 – Goniometrie, proband 3 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	0 – 0 – 125	0 – 0 – 120
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	10 – 0 – 120	10 – 0 – 115
F	45 – 0 – 25	45 – 0 – 20
R	45 – 0 – 45	45 – 0 – 45

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 22 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 3 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	0
flexory kyčelního kloubu	1	1
flexory kolenního kloubu	2	2
adduktory kyčelního kloubu	0	1

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 23 – Vyšetření svalové síly proband 3 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	5	5
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	5	5
Abdukce	5	4
Addukce	4+	4
Vnitřní rotace	5	4
Zevní rotace	5	4

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – neudává bolest, kolenní klouby se vychylují do stran na obou DKK, hranici 30 sekund splnil
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – při stožení na PDK i LDK jdou kolenní klouby do valgozity, totéž kotníky

6.3.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru \pm směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stožení na jedné dolní končetině probanda 3.

Tabulka 24 – Parametry biomechanické analýzy, proband 3 (zdroj vlastní)

M – průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *ES (Effect size)* – věcná významnost, *SI* – index symetrie, *VGRF* – vertikální reakční síla podložky, *N* – Newton, ° – stupeň, *mm* – milimetr, *COP (Center of Pressure)* – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	1052,3	3,4	1173,7	4,3	-35,9	-10,9
Druhé maximum VGRF (N)	1023,4	7,7	1176,2	7,1	-19,8	-13,9
Rozsah pohybu (°)	68,5	0,7	63,3	0,6	7,6	7,9
Dřep						
Maximum Flexe (°)	84,9	2,3	84,1	1,4	0,3	0,9
Maximum Extenze (°)	4,6	1,9	2,3	1,9	1,2	67,1
Rozsah pohybu (°)	80,3	0,4	81,8	-0,5	-3,6	-1,9
Stoj						
Rozsah COP Anterio–Posterior (mm)	39,4	0,8	35,4	0,9	5,0	10,7
Rozsah COP Medio–Lateral (mm)	54,3	0,6	41,3	0,6	21,7	27,2

Podobně jako u přechozího probanda biomechanická analýza chůze poukázala, že proband 3 zatěžuje postiženou dolní končetinu méně než zdravou v obou maximech VGRF. Byly zjištěny vysoké rozdíly v obou maximech VGRF a zvýšené indexy symetrie. Rovněž rozsah pohybu v kolenním kloubu při krokovém cyklu je vyšší u postižené dolní končetiny. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšené asymetrii. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly a zvýšená asymetrie u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze v anterioposteriorním i mediolaterálním směru, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší hodnoty posunutí COP v obou směrech, které jsou nezbytné pro udržení stability.

6.3.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení stability kolenních kloubů
- Zlepšení posturální stability
- Protahování zkrácených svalů DKK
- Ovlivnění plochonoží DKK

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Ovlivnění omezené hybnosti LDK po námaze
- Korekce chybných pohybových stereotypů
- Fixace správných hybných stereotypů chůze
- Návrat ke sportovní aktivitě jako před úrazem

6.4 Proband 4

6.4.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 25 – Goniometrie, proband 4 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	5 - 0 - 120	5 - 0 - 120
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	15 - 0 - 125	15 - 0 - 120
F	40 - 0 - 25	40 - 0 - 25
R	40 - 0 - 35	40 - 0 - 35

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 26 – Vyšetření zkrácených svalů, proband 4 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	1
flexory kyčelního kloubu	0	1
flexory kolenního kloubu	0	0
adduktory kyčelního kloubu	1	2

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 27 – Vyšetření svalové síly, proband 4 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	4	4
Extenze	4	3+
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	4
Extenze	5	4+
Abdukce	4	4
Addukce	5	4+
Vnitřní rotace	5	5
Zevní rotace	5	5

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – udává nepříjemné pnutí v oblasti KOK při stoji na LDK, na LDK titubace, má problém lehký udržet rovnováhu na LDK, splnil 30 sekund
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – udává nepříjemné pnutí, kolenní klouby jdou lehce do valgozity, má problém udržet rovnováhu na LDK

6.4.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru \pm směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině probanda 4.

Tabulka 28 – Parametry biomechanické analýzy, proband 4 (zdroj vlastní)

M – průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *ES (Effect size)* – věcná významnost, *SI* – index symetrie, *VGRF* – vertikální reakční síla podložky, *N* – Newton, ° – stupeň, *mm* – milimetr, *COP (Center of Pressure)* – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	768,2	89,8	802,0	18,7	-0,4	-4,3
Druhé maximum VGRF (N)	764,3	87,3	801,5	18,8	-0,4	-4,8
Rozsah pohybu (°)	70,4	9,7	66,9	17,1	0,4	5,2
Dřep						
Maximum Flexe (°)	84,9	1,1	84,8	1,8	0,1	0,1
Maximum Extenze (°)	1,8	0,4	2,9	0,8	-3,0	-45,8
Rozsah pohybu (°)	84,1	1,3	80,4	1,8	2,8	4,5
Stoj						
Rozsah COP Anterio-Posterior (mm)	47,3	1,1	44,1	0,6	2,9	7,0
Rozsah COPMedio-Lateral (mm)	49,3	0,5	47,2	0,6	4,2	4,4

Biomechanická analýza chůze poukázala, že proband zatěžuje postiženou dolní končetinu méně než zdravou v obou maximech VGRF, nicméně tyto rozdíly mají střední věcnou významnost. Rovněž hodnoty indexu symetrie naznačují symetrickou chůzi s ohledem na působící externí reakční sílu. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšené asymetrii. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší hodnoty posunutí COP v antrioposteriorním i mediolaterálním směru.

6.4.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení posturální stability
- Zlepšení stability kolenního kloubu
- Ovlivnění plochonoží obou DKK

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Ovlivnění bolesti LDK při chůzi
- Korekce chybných pohybových stereotypů a vadného držení těla
- Návrat ke sportovní zátěži jako před úrazem

6.5 Proband 5

6.5.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 29 – Goniometrie, proband 5 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	0 – 0 – 135	0 – 0 – 135
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	10 – 0 – 125	10 – 0 – 120
F	45 – 0 – 30	45 – 0 – 25
R	45 – 0 – 40	45 – 0 – 40

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 30 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	0
flexory kyčelního kloubu	0	0
flexory kolenního kloubu	1	1
adduktory kyčelního kloubu	1	1

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 31 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	4	4 +
Extenze	5	4 +
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	5	5
Abdukce	5	5
Addukce	5	5
Vnitřní rotace	5	4+
Zevní rotace	4+	4

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – udává nepříjemné pnutí LDK při stoji na LDK, neudává pocit nestability, na obou dolních končetinách vydrží 30 sekund
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – udává tlak a bolest na vnitřní straně L KOK při stoji na LDK, při stoji na LDK jde kolenní kloub výrazně do valgozity, na PDK mírně také

6.5.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru \pm směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině probanda 5.

Tabulka 32 – Parametry biomechanické analýzy, proband 5 (zdroj vlastní)

M – průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *ES (Effect size)* – věcná významnost, *SI* – index symetrie, *VGRF* – vertikální reakční síla podložky, *N* – Newton, ° – stupeň, *mm* – milimetr, *COP (Center of Pressure)* – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	707,6	5,0	759,7	22,1	-10,5	-7,1
Druhé maximum VGRF (N)	708,2	4,4	764,3	21,4	-12,7	-7,6
Rozsah pohybu (°)	69,5	1,5	61,3	0,9	5,5	12,5
Dřep						
Maximum Flexe (°)	95,1	2,3	93,7	2,3	0,6	1,5
Maximum Extenze (°)	1,7	0,5	0,9	0,3	1,6	63,6
Rozsah pohybu (°)	93,4	2,7	92,8	2,2	0,2	0,6
Stoj						
Rozsah COP Anterio-Posterior (mm)	42,2	0,8	39,2	0,8	3,8	7,4
Rozsah COP Medio-Lateral (mm)	55,4	0,4	40,4	0,7	37,5	31,3

Biomechanická analýza chůze poukázala, že proband zatěžuje postiženou dolní končetinu méně než zdravou v obou maximech VGRF. Dále z výsledků vyplývá, že rozsah pohybu v kolenním kloubu při krokovém cyklu je vyšší u postižené dolní končetiny. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšené asymetrii. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly a zvýšená asymetrie u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze v mediolaterálním směru.

6.5.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení stability kolene
- Zlepšení posturální stability
- Protahování zkrácených svalů

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Ovlivnění omezené hybnosti a bolestivosti levého kolenního kloubu

- Korekce chybných pohybových stereotypů a vadného držení těla
- Návrat ke sportovní zátěži jako před úrazem

6.6 Proband 6

6.6.1 Výběr z kineziologického rozboru

Goniometrie:

Tabulka 33 – Goniometrie, proband 6 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	0 – 0 – 135	0 – 0 – 135
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
S	10 – 0 – 110	20 – 0 – 130
F	45 – 0 – 25	50 – 0 – 30
R	45 – 0 – 30	45 – 0 – 40

Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy:

Tabulka 34 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)

Svaly	Pravá DK	Levá DK
m. triceps surae	0	0
flexory kyčelního kloubu	0	0
flexory kolenního kloubu	1	1
adduktory kyčelního kloubu	0	0

Vyšetření svalové síly dle Jandy:

Tabulka 35 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)

Kolenní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	4+	5
Extenze	5	5
Kyčelní kloub	Pravá DK	Levá DK
Flexe	5	5
Extenze	4+	4+
Abdukce	5	5
Addukce	4	5
Vnitřní rotace	4+	5
Zevní rotace	5	5

Testovací cviky na stabilitu kolenního kloubu:

- 1. Stoj na jedné dolní končetině** – neudává bolest, nemá problém udržet rovnováhu, splní hranici 30 sekund, nemá subjektivní potíže udržet stabilitu
- 2. Test dřepu na jedné dolní končetině** – bez patologického nálezu

6.6.2 Biomechanická analýza

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru ± směrodatná odchylka, hodnoty věcné významnosti a indexu symetrie pro vyšetřované biomechanické parametry pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině probanda 6.

Tabulka 36 – Parametry biomechanické analýzy, proband 6 (zdroj vlastní)

M – průměr, SD – směrodatná odchylka, ES (Effect size) – věcná významnost, SI – index symetrie, VGRF – vertikální reakční síla podložky, N – Newton, ° – stupeň, mm – milimetr, COP (Center of Pressure) – centrum tlaku

	Postižená		Zdravá		ES	SI
	M	SD	M	SD		
Chůze						
První maximum VGRF (N)	632,6	5,9	626,6	2,9	1,0	0,9
Druhé maximum VGRF (N)	629,8	7,2	629,1	8,3	0,1	0,1
Rozsah pohybu (°)	67,4	2,4	56,7	1,8	4,5	17,4
Dřep						
Maximum Flexe (°)	72,9	1,1	71,5	3,3	1,3	2,0
Maximum Extenze (°)	4,2	0,7	6,1	1,5	-2,6	-36,9
Rozsah pohybu (°)	69,0	1,6	65,4	1,8	2,2	5,3
Stoj						
Rozsah COP Anterio-Posterior (mm)	61,1	0,9	61,5	0,8	-0,4	-0,7
Rozsah COP Medio-Lateral (mm)	44,3	0,9	36,3	0,8	8,9	19,9

U biomechanické analýzy byly zjištěny vysoké rozdíly a vyšší asymetrie v rozsahu pohybu v kolenním kloubu při krokovém cyklu. U pohybového úkolu dřepu byl zjištěn věcně významný rozdíl v maximu extenze v kolenním kloubu a zvýšené asymetrii. Dále byly zjištěny věcně významné rozdíly a zvýšená asymetrie u rozsahu posunutí COP v průběhu stoje na jedné noze v mediolaterálním směru, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší hodnoty posunutí COP.

6.6.3 Krátkodobý a dlouhodobý rehabilitační plán

Krátkodobý rehabilitační plán

- Zlepšení stability kolenního kloubu
- Aktivace a posílení dynamických stabilizátorů kolene
- Zlepšení posturální stability
- Posílení mezilopatkového svalstva

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Korekce správného držení těla a stereotypu chůze
- Korekce při sportovní aktivitě

7 DISKUZE

V této kapitole jsou shrnuty výsledky, které práce přinesla. Následně je práce porovnávána s dalšími studiiemi v oblasti rekonstrukce a biomechaniky předního zkříženého vazy z českých i zahraničních zdrojů.

LCA je nejčastěji léčeným kolenním vazem. Jeho ruptura postihuje obzvláště mladé aktivní jedince v průběhu pohybové aktivity. Léčba prošla za poslední desetiletí významným vývojem. Mezi přijatelné možnosti léčby patří jak operační, tak i konzervativní řešení. Nejčastějším způsobem léčby je však rekonstrukce vazy. V dnešní době je rekonstrukce již běžným zákrokem, který poskytuje uspokojivé výsledky. Ve velké většině případů se provádí u mladých aktivních jedinců, kteří se chtějí vracet ke sportování, a to zejména ke sportům zahrnujícím náhlé změny směru a četné doskoky. Jsou známé důkazy o tom, že rekonstrukce LCA snižuje přední translaci tibie a pivotní posun a zároveň zabraňuje rychlejšímu rozvoji osteoartrózy.

Volker zmiňuje, že nedávné studie ukázaly při poranění LCA významně vyšší následnou míru poranění menisků ve skupině konzervativně řešených pacientů a vznik artrotických změn byl pozorován u 82,4 % kolenních kloubů při 20letém sledování. (Volker 2021).

Bohužel tato zranění mají obvykle poměrně vysokou míru opětovného přetržení rekonstruovaného vazy a kontralaterálního vazy. (Lawra 2021). Výzkumným souborem této bakalářské práce byli mladí sportovci, kteří se aktivně věnovali sportům obsahujícím ve vysoké míře pohyby, které byly identifikovány jako rizikové pro rupturu LCA jako jsou doskoky, rychlé změny směru a pohyby vyžadující rychlé zastavení pohybu. Těmito sporty jsou basketbal, volejbal, fotbal a florbal a všechna zranění LCA se vyšetřovaným probandům stala při účasti na těchto aktivitách.

Proto bylo cílem této bakalářské práce zjistit, zda existují změny v mechanice a biomechanickém zatížení kolenního kloubu po rekonstrukci LCA během chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině v porovnání se zdravou končetinou.

Předchozí studie z roku 2022 tvrdí, že se u pacientů s rekonstrukcí LCA v průběhu let čím dál více zkracoval čas návratu ke sportu. Ovšem podle nejnovějších poznatků se pozdržení návratu ke sportu vyplácí a v souladu s vyžráváním štěpu se snižuje riziko opětovného zranění štěpu. Z tohoto důvodu některé studie nedoporučují návrat ke sportu dříve než 9 až 12 měsíců po operaci, který je navíc možný pouze ve chvíli, kdy se obnoví všechny fyzické a výkonnostní deficity (Brinlee 2022).

U většiny probandů v této bakalářské práci byl návrat ke sportu uskutečněn dříve, než tato studie doporučuje. Konkrétně ze získané anamnézy je patrné, že se probandi vraceli k pravidelné sportovní aktivitě po cca 8 měsících po zranění. Tento fakt se proto mohl také negativně promítnout na zjištěných výsledcích biomechanické analýzy.

Výsledky této bakalářské práce ukázaly, že u všech probandů docházelo u chůze ke snížení u prvního a druhého maxima VGRF, kdy postižená dolní končetina byla méně zatěžována. To může být způsobeno tím, že tito probandi mají i po delší době po rekonstrukci LCA narušený základní pohybový stereotyp chůze, který se poté projevuje při základní lokomoci a může tak ovlivnit každodenní činnosti. Zajímavým zjištěním je zvýšený rozsah pohybu v kolenním kloubu v sagitální rovině, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny vyšší rozsahy pohybu v průběhu krokového cyklu. Domníváme se, že to může být způsobeno zvýšenou laxitou v kolenním kloubu a z tohoto důvodu byla u probandů navržena intervence zaměřená na dynamickou stabilitu kolenního kloubu. Ta by se měla zaměřit také na frontální rovinu, která ovšem nebyla v této práci vyšetřována, ale je dalším důležitým faktorem, a to zejména u pohybových úkolů jako je doskok nebo běh s rychlou změnou směru, jak ukazují předchozí studie.

Studie provedená v roce 2021 Lawrou et al. zjistila, že špatná stabilita trupu, přistání z výskoku s úderem na patu, slabá síla abdukce kyčle a zvýšená valgozita kolene mohou přispívat ke zvýšenému riziku zranění LCA u mladých sportovců (Lawra 2021). Dalším důležitým faktorem zranění LCA je pohlaví a věk, kdy bylo zjištěno, že ženy ve věku do 24 let jsou ve vysokém riziku poranění LCA (Renson 2008).

Výrok související s pohlavím není možné v této práci potvrdit, ale dle získaných dat tvrzení o souvislosti věku s rizikem poškození LCA se potvrdil, protože nejstarší z probandů má 24 let.

Lawra et al. zmiňuje, že ženy, které se věnují gymnastice, fotbalu nebo basketbalu jsou vystaveny nejvyššímu riziku vzniku bezkontaktního zranění LCA. Také zmiňuje, že nejpravděpodobnějším rizikovým faktorem zranění je dynamická valgozita kolene, která působí na LCA významnými tahovými silami zejména při dopadu. Tato valgozita může být způsobena mnoha faktory, mezi něž patří například slabá síla abduktorů kyčelního kloubu, špatná kontrola svalstva kyčelního kloubu, zvýšená antevertze femuru, mediální torze tibie a širší pánev. Ženy obvykle nemají v abduktorech kyčelního kloubu takovou sílu jako muži a mají širší kyčle, čímž jsou vystaveny dynamickým valgózním momentům kolene (Lawra 2021). V našem souboru byl mechanismus dynamické valgozity kolenního kloubu příčinou třech zranění LCA, a to u hráčů volejbalu a basketbalisty při doskocích. U ostatních sportovců se jednalo o pohyby s rychlou změnou směru nebo zastavením pohybu.

Dále se v oblasti poranění LCA uvádí, že i u pacientů po úspěšné plastice LCA mohou být přítomny obtíže jako omezení hybnosti, femoropatelní bolesti, laxita kloubu s ventrální tibiální nestabilitou, nitrokloubní výpotek a zbytnělá jizva (Pauček 2014). V této bakalářské práci měla většina probandů problémy alespoň s jednou z výše uvedených obtíží. Tři probandi neustále pociťují bolest po aktivitě, někteří k tomu pociťují i omezenou hybnost v KOK. Jeden popisuje pouze ztuhlost po aktivitě a u jednoho se objevuje kromě omezené hybnosti i nitrokloubní výpotek.

Překvapivě z výsledků biomechanické analýzy v této bakalářské práci vyplývá, že u pohybového úkolu dřepu není snížen rozsah pohybu a maximum flexe v kolenním kloubu, ale probandi mají nižší extenzi v kolenním kloubu na konci pohybového úkolu. To může být způsobeno nižší svalovou silou quadriceps femoris a zkrácením hamstringů na postižené dolní končetině, kdy funkci v konečné fázi pohybu přebírají svalové skupiny zdravé dolní končetiny. To je v souladu se studií provedenou v Oslu roku 2017, která zkoumala 414 hráčů házené a 444 hráčů fotbalu z nichž 80 bylo 1-6 let po zranění a plastice LCA a vrátili se k vrcholovému sportu. Tato studie zjistila, že

končetiny s předchozím zraněním LCA mají nižší sílu m. quadriceps femoris a hamstringů ve srovnání s nepoškozenou kontralaterální stranou. Mimo to kolenní kloub po plastice LCA vykazoval větší kloubní laxitu než kontralaterální kolenní kloub. Ovšem hráči, kteří podstoupili plastiku LCA a úspěšně se vrátili k vrcholovému sportu, měli srovnatelné míry síly a rovnováhu jako jejich nezranění spoluhráči (Myklebust 2017).

V některých případech poranění a rekonstrukce LCA nedojde k obnovení biomechaniky kolenního kloubu a mimo jiné dojde ke značné svalové nerovnováze, která u některých přetrvává i po dobu pěti let (Noyes 2017).

Důležitou částí a zjištěním této bakalářské práce je role stability v rámci pohybového úkolu stoje na postižené a zdravé dolní končetině. Kineziologický rozbor poukázal na fakt, že většina probandů má problém s udržení rovnováhy na postižené dolní končetině. Tento diagnostický závěr se projevil také u biomechanické analýzy stoje na jedné noze. U všech probandů se ukázal vyšší rozsah posunutí COP a to zejména v mediolaterálním směru, a u některých také ve směru anterioposteriorním. Nicméně není jasné, jak jednotliví probandi řeší udržení rovnováhy z pohledu zapojení ostatních kloubů. Základním úkolem pro udržení rovnováhy je zajištění stability těžiště těla v prostoru. Z předchozích výzkumů je známo, že za základní strategie udržení rovnováhy jsou považovány strategie stability v kotníku, v kolenním kloubu a v kyčelním kloubu. Je tedy možné, že u postižené dolní končetiny dochází k jiné strategii udržení rovnováhy a tím změně organizace jednotlivých segmentů v rámci pohybového úkolu (Kewin 2001).

Z výsledků této práce tedy vyplývá, že všichni probandi by se měli zaměřit na zlepšení statické a dynamické rovnováhy jako základního pohybového úkolu, který ovlivňuje nejen sportovní, ale také každodenní činnosti člověka.

Výsledky této bakalářské práce v porovnání s výsledky podobných studií v této oblasti mohou poskytnout cenné informace o tom, jak se změny v základních biomechanických parametrech u pacientů po rekonstrukci předního zkříženého vazy v různých situacích liší, a jak se tyto změny mohou promítat do různých typů pohybu a ovlivňovat tak sportovní a každodenní aktivity.

V rámci této práce je nutné vymezit základní limitace, které mohly ovlivnit průběh.

Jednou z limitací, je počet probandů, kteří se účastnili této práce. Z tohoto pohledu má tato práce omezenou externí validitu a její výsledky není možné zobecňovat na širší populaci sportovců. Nicméně, silnou stránkou je, že jsme byli schopni poukázat na inter a intra-individuální rozdíly ve vyšetřovaných proměnných a nastavit tak individuální intervence podle aktuálního stavu.

Další limitace jsou spojeny s metodami kineziologického rozboru a biomechanické analýzy. U kineziologického rozboru se jedná zejména o subjektivní hodnocení zdravotního stavu pacienta, což je běžnou limitací takto zaměřených výzkumů.

Nicméně, většina závěrů, které vyšly z kineziologického rozboru byly v souladu s výsledky a závěry biomechanické analýzy vyšetřovaných pohybů. Typickou limitací biomechanické analýzy je problematika umístování reflexních značek na anatomické body na těle probandů. Zde může dojít ke špatnému umístění značky nebo jejímu posunu při pohybu měkkých tkání. Tuto limitaci jsme se snažili minimalizovat tím, že body na tělo umisťoval zkušený laborant, žádný z pohybů nebyl prováděn velkou rychlostí a značky a klastry byly na těle proti pohybu zajištěny tejpem, který zabraňuje jejich posunutí.

Dále byly vyšetřovány pouze základní biomechanické parametry v rámci pohybových úkolů. Pro detailnější rozbor a pohled je v dalším výzkumu vhodné se podívat na kinematiku a kinetiku ve frontální rovině kolenního kloubu a na svalovou aktivitu pomocí EMG. Vyšší rozsah souboru by dále umožnil použití sofistikovanějších metod statistické analýzy, a tím detailnější pohled na vztahy mezi jednotlivými proměnnými.

8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala otázkou vlivu rekonstrukce předního zkříženého vazů na biomechanické faktory při různých typech pohybu. Mezi tyto pohyby patřila chůze, stoj na jedné dolní končetině a dřep. Pomocí biomechanické analýzy (optoelektronické stereofotogrammetrie) se zjišťovala a porovnávala data u zdravé a rekonstruované dolní končetiny u pohybově aktivních jedinců.

Obecně výsledky práce naznačují, že ruptura a následná rekonstrukce LCA ovlivňuje základní biomechanické parametry v průběhu vybraných pohybových úkolů chůze, dřepu a stoje na jedné dolní končetině.

Specificky u chůze výsledky práce poukázaly na intra-individuální rozdíly a asymetrii v obou maximech VFGR, kdy u postižené dolní končetiny byly zjištěny nižší hodnoty u tohoto parametru. Dále byly pozorovány věcně významné rozdíly a asymetrie mezi postiženou a zdravou dolní končetinou u rozsahu pohybu v kolenním kloubu v rámci krokového cyklu. U pohybového úkolu dřepu byly zřejmé věcně významné rozdíly a asymetrie při maximální extenzi kolenního kloubu. U stoje na jedné noze byly zjištěny věcně významné rozdíly zejména u rozsahu posunutí COP v mediolaterálním směru.

Výsledky práce tedy naznačují, že u vyšetřované skupiny mladých sportovců po rekonstrukci LCA dochází ke změnám v biomechanice chůze, stoje, dřepu a stoje na jedné dolní končetině. Tyto změny dále naznačují, že rekonstruovaný kloub je méně stabilní a zatížení není rovnoměrně rozloženo oproti zdravému kloubu.

Tyto výsledky by mohly poskytnout informace důležité pro prevenci sekundárního zranění a také slouží pro navržení vhodného rehabilitačního plánu pro návrat k původnímu tréninkovému zatížení a minimalizaci rizika opětovného zranění nebo přetrvávajících obtíží spojených s jednostranným zatížením zdravé končetiny. Výsledky této práce poukazují na užitečnost biomechanické analýzy pro posouzení změn v pohybovém aparátu a v kombinaci s kineziologickým rozbohem přispívá k lepšímu pochopení vlivu rekonstrukce LCA na biomechaniku kolenního kloubu a prevenci dalších zranění.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

° – stupeň

AA – alergická anamnéza

BDN – běžné dětské nemoci

BTB – bone-tendon-bone štěp

C7 – sedmý krční obratel

cm – centimetr

COP – (Center of Pressure), centrum tlaku

DK/DKK – dolní končetina/y

DM – diabetes mellitus

ES – věcná významnost

FA – farmakologická anamnéza

GCS – globální souřadný systém

HK/HKK – horní končetina/y

KOK – kolenní kloub

L – levá/vlevo

L5 – pátý bederní obratel

LCA – přední zkřížený vaz

LCS – lokální souřadný systém

LDK – levá dolní končetina

Lig. – ligamentum (vaz)

M – průměr

M./m. – musculus

mm – milimetr

Mm./mm. – musculi

N – newton

NO – nynější onemocnění

OA – osobní anamnéza

P – pravá/vpravo

PA –pracovní anamnéza

PDK – pravá dolní končetina

PHK – pravá dolní končetina

SA – sociální anamnéza

SD – směrodatná odchylka

SFRT – metoda zápisu kloubních rozsahů

SI – index symetrie

SpA – sportovní anamnéza

ST/G – semitendinosus + gracilis štěp

Th/L – přechod hrudní a bederní páteře

Tzv. – tak zvaný

VGRF – vertikální reakční síla

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ACEVEDO, Rafael J, Alexandra RIVERA-VEGA, Gerardo MIRANDA a William MICHEO. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Current Sports Medicine Reports*. 2014, **13**(3), 186-191. Dostupné z: doi:10.1249/JSR.0000000000000053
2. BRINLEE, Alexander W, Scott B. DICKENSON, Airelle HUNTER-GIORDANO a Lynn SNYDER-MACKLER. ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline. *Sports Health*. 2022, (14), 770-779. Dostupné z: doi:10.1177/19417381211056873
3. BUCKTHORPE, Matthew, Francesco DELLA VILLA, Stefano DELLA VILLA a Giulie Sergio ROI. On-field Rehabilitation Part 1: 4 Pillars of High-Quality On-field Rehabilitation Are Restoring Movement Quality, Physical Conditioning, Restoring Sport-Specific Skills, and Progressively Developing Chronic Training Load. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2019, **2019**(138188390), 565-569. ISSN 0190-6011. Dostupné z: doi:10.2519/jospt.2019.8954
4. COHEN, Jacob. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Routledge, 1988. ISBN 978-0805802832.
5. CRENNNA, Francesco, Giovanni ROSSI a Marta BERARDENGO. Filtering Biomechanical Signals in Movement Analysis. *Sensors (Basel)*. 2021, **21**(13), 4580. Dostupné z: doi:10.3390/s21134580
6. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.
7. DUNGL, Pavel. *Ortopedie*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4357-8.
8. DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3240-4.
9. GROSS, J. M, FETTO, F, SUPNICK E. R. Vyšetření pohybového aparátu. Vyd. 1. Překlad Martina Zemanová, Jan Vacek. Praha: Triton, 2005, 599 s. ISBN 80-725-4720-8
10. HALADOVÁ, Eva a Ludmila NECHVÁTALOVÁ. *Vyšetřovací metody hybného systému*. Vyd. 3., nezměn. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-516-7.
11. HERZÁNOVÁ, Eva. *Vliv plastiky LCA na stabilitu kolenního kloubu u hráček házené a možnost jejího ovlivnění v tréninku* [online]. Praha, 2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/71859/DPTX_2013_1_11510_0_414007_0_144556.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu
12. HOLEKA, Pavel, Zdeněk KOREČEK a Vladimír NINGER. Poúrazové nestability kolenního kloubu při parciálních rupturách předního zkříženého vazy. Konzervativní postup versus operační léčba. *Úrazová chirurgie*. 2016, **24**(2), 31-35. ISSN 1211-7080. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/urazova-chirurgie/2016-2/pourazove-nestability-kolenniho-kloubu-pri-parcialnich-rupturach-predniho-zkrizeneho-vazu-konzervativni-postup-versus-operacni-lecba-59295>

13. HONOVÁ, Kateřina a Filip HUDEČEK. Akcelerovaná terapie po operaci předního zkrříženého vazů technikou press-fit femorální fixace. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2020, **27**(3), 142-148. ISSN 1211-2658. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/rehabilitace-fyzikalni-lekarstvi/2020-3-18/akcelerovana-terapie-po-operaci-predniho-zkrizeneho-vazu-technikou-press-fit-femoralni-fixace-124075>
14. HONOVÁ, Kateřina a Pavel PROCHÁZKA. Plastika předního zkrříženého vazů metodou press-fit femorální fixace: specifika v rehabilitační léčbě. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2015, **22**(4), 190-196. ISSN 1211-2658. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/rehabilitace-fyzikalni-lekarstvi/2015-4/plastika-predniho-zkrizeneho-vazu-metodou-press-fit-femoralni-fixace-specifika-v-rehabilitacni-lecbe-56733>
15. HUDÁK, Radovan a David KACHLÍK. *Memorix anatomie*. 4. vydání. Ilustroval Jan BALKO, ilustroval Šárka ZAVÁZALOVÁ. Praha: Triton, 2017. ISBN 978-80-7553-420-0.
16. JANDA, V. Svalové funkční testy. Praha: Grada, 2004. ISBN 978-80-247-0722-8
17. JANDAČKA, Daniel. *Kinetická analýza lidského pohybu*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2011. ISBN 978-80-7464-103-9.
18. JANDOVÁ, Dobroslava, Miloslav KUBÍČEK a Irma VESELÁ. *Léčebná rehabilitace v ortopedii a revmatologii*. Bratislava: Raabe, [2017]. Rehabilitační a fyzikální terapie. ISBN 978-80-8140-388-0.
19. KERWIN, David a Grant TREWARTHA. Strategies for maintaining a handstand in the anterior-posterior direction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001, **33**(7), 1182-1188. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-200107000-00016
20. KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. 2. vyd. Praha: Galén, [2020]. ISBN 978-80-7492-500-9.
21. LAWRA, Joseph, Conrad SOY, Ross S CHAFETZ, Michael BONIELLO a Corinna FRANKLIN. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021, **18**(7), 3826. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph18073826
22. MURRAY, Martha M., Patrick VAVKEN a Braden C. FLEMING. *The ACL Handbook: knee biology, mechanics, and treatment*. New York: Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-0759-1.
23. MUSAHL, Volker, Ian D. ENGLER, Ehab M. NAZZAL a et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part II: evaluation, surgical technique, prevention, and rehabilitation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Springer, 2021, (30), 34-51. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00167-021-06825-z>
24. MYKLEBUST, G., R. BAHR, A. NILSTAD a K. STEFFEN. Knee function among elite handball and football players 1- 6 years after anterior cruciate ligament injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. John Wiley, 2017, **2017**(27), 545-553. ISSN 0905-7188. Dostupné z: doi:10.1111/sms.12842
25. NOYES, Frank R. a Sue BARBER-WESTIN. *ACL Injuries in the Female Athlete: Causes, Impacts, and Conditioning Programs*. 2nd ed. Germany: Springer, 2018. ISBN 978-3-662-56557-5.
26. PAUČEK, Boris, David SMĚKAL a Radomír HOLIBKA. Poranění předního zkrříženého vazů – diagnostika magnetickou rezonancí, operační, klinické a

- rehabilitační souvislosti. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2014, **21**(3), 103-112. ISSN 1211-2658. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/rehabilitace-fyzikalni-lekarstvi/2014-3/poraneni-predniho-zkrizeneho-vazu-diagnostika-magnetickou-rezonanci-operacni-klinicke-a-rehabilitacni-souvislosti-49932>
27. Paulson W, Slattengren AH. Effectiveness of ACL Injury Prevention Programs. *Am Fam Physician*. 2018 Feb 1;97(3):Online. PMID: 29431970.
28. PETERSON, Lars a Per RENSTRÖM. *Sports injuries: prevention, treatment and rehabilitation*. 4th ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-84184-705-4.
29. PODĚBRADSKÁ, Radana. *Komplexní kineziologický rozbor: Funkční poruchy pohybového systému*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0874-9.
30. RAGULOVÁ, Michaela, Dagmar PAVLŮ a David PÁNEK. Poranění LCA – příklady cvičení, vhodné k prevenci poranění LCA. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2020, **27**(3), 175-185. ISSN 1211-2658. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/rehabilitace-fyzikalni-lekarstvi/2020-3-18/poraneni-lca-priklady-cviceni-vhodne-k-prevenci-poraneni-lca-124080>
31. RENSTROM, Per a et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British journal of sports medicine* [online]. 2008, **42**(6), 394-412 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2008.048934
32. ROBINSON, R. O., Walter HERZOG a Benno M. NIGG. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. 1987, **10**(4), 172-176.
33. ZAHRADNÍK, Petr. *Kinematická analýza pohybového systému u osob s abnormálním postavením kyčelního kloubu* [online]. Praha, 2020 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/125022/150052629.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Disertační práce. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu.

11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Zobrazení nestabilního a stabilního kolenního kloubu (Ragulová 2020).....	18
Obrázek 2 – Dělení jednotlivých rehabilitačních fází (Honová 2015)	24
Obrázek 3 – Příklad cvičení na podložce AIREX (Honová 2020).....	26
Obrázek 4 – Abnormální technika přistání z výskoku (Acevedo 2014)	28
Obrázek 5 – Pozitivní test dřepu na jedné dolní končetině (Ugalde 2014).....	37
Obrázek 6 – Rozmístění reflexních značek v oblasti pánve a dolních končetin (zdroj vlastní)	38

12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 – Dynamické rozvíjení páteře, proband 1 (zdroj vlastní).....	42
Tabulka 2 – Antropometrie, proband 1 (zdroj vlastní)	42
Tabulka 3 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 2 (zdroj vlastní).....	44
Tabulka 4 – Antropometrie, proband 2 (zdroj vlastní).....	44
Tabulka 5 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 3 (zdroj vlastní).....	46
Tabulka 6 – Antropometrie, proband 3 (zdroj vlastní).....	46
Tabulka 7 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 4 (zdroj vlastní)	48
Tabulka 8 – Antropometrie, proband 4 (zdroj vlastní)	49
Tabulka 9 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 5 (zdroj vlastní)	51
Tabulka 10 – Antropometrie, proband 5 (zdroj vlastní)	51
Tabulka 11 – Dynamické rozvíjení páteře, probanda 6 (zdroj vlastní).....	53
Tabulka 12 – Antropometrie, proband 6 (zdroj vlastní)	53
Tabulka 13 – Goniometrie, proband 1 (zdroj vlastní)	54
Tabulka 14 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 1 (zdroj vlastní) ...	54
Tabulka 15 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 1 (zdroj vlastní)	55
Tabulka 16 – Parametry biomechanické analýzy, proband 1 (zdroj vlastní)	56
Tabulka 17 – Goniometrie, proband 2 (zdroj vlastní).....	57
Tabulka 18 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 2 (zdroj vlastní)....	57
Tabulka 19 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 2 (zdroj vlastní)	58
Tabulka 20 – Parametry biomechanické analýzy, proband 2 (zdroj vlastní)	59
Tabulka 21 – Goniometrie, proband 3 (zdroj vlastní).....	60
Tabulka 22 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 3 (zdroj vlastní) ...	60
Tabulka 23 – Vyšetření svalové síly proband 3 (zdroj vlastní)	61
Tabulka 24 – Parametry biomechanické analýzy, proband 3 (zdroj vlastní)	62
Tabulka 25 – Goniometrie, proband 4 (zdroj vlastní)	63
Tabulka 26 – Vyšetření zkrácených svalů, proband 4 (zdroj vlastní)	63
Tabulka 27 – Vyšetření svalové síly, proband 4 (zdroj vlastní)	64

Tabulka 28 – Parametry biomechanické analýzy, proband 4 (zdroj vlastní)	65
Tabulka 29 – Goniometrie, proband 5 (zdroj vlastní)	66
Tabulka 30 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní) ...	66
Tabulka 31 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)	67
Tabulka 32 – Parametry biomechanické analýzy, proband 5 (zdroj vlastní)	68
Tabulka 33 – Goniometrie, proband 6 (zdroj vlastní)	69
Tabulka 34 – Vyšetření zkrácených svalů dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní) ...	69
Tabulka 35 – Vyšetření svalové síly dle Jandy, proband 5 (zdroj vlastní)	69
Tabulka 36 – Parametry biomechanické analýzy, proband 6 (zdroj vlastní)	70