

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**VYUŽITÍ PLYOMETRIE V REHABILITACI KOLENNÍHO KLOUBU
PO REKONSTRUKCI ACL**

Bakalářská práce

Autor: Ivan Jirák

Studijní program: Fyzioterapie

Vedoucí práce: Mgr. Amr Zaatar Ph.D.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Ivan Jirák

Název práce: Využití plyometrie v rehabilitaci kolenního kloubu po rekonstrukci ACL

Vedoucí práce: Mgr. Amr Zaatar Ph.D.

Pracoviště: Katedra fyzioterapie

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Poranění předního zkříženého vazů je jeden z nejčastějších sportovních úrazů, po kterém je častokrát indikován operační zákrok za účelem obnovení stability a funkčnosti. Tato bakalářská práce je zaměřena na využití plyometrie v post-rehabilitačním stadiu po rekonstrukci ACL. V teoretické části jsou shrnuty poznatky z anatomie a kineziologie předního zkříženého vazů, dále je popsán plyometrický režim, cyklus zkrácení a protažení s konceptem plyometrického pohybu. Dále je popsán postup zařazení plyometrie do rehabilitace, kde jsem se zaměřil na intenzitu cvičení a faktory, které intenzitu ovlivňují a následně jsem popsal postup u vytvoření plyometrického programu, který je doplněný o fotografie cviků v dané fázi. Praktická část zahrnuje kazuistiku pacienta 15 týdnů po operaci ACL, na kterého byl aplikován plyometrický program.

Klíčová slova:

plyometrie, ACL, rehabilitace, kolenní kloub, stabilita, fyzioterapie

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Ivan Jirák
Title: Utilization of plyometrics in knee joint rehabilitation after ACL reconstruction

Supervisor: Mgr. Amr Zaatar Ph.D.
Department: Department of Physiotherapy
Year: 2024

Abstract:

An anterior cruciate ligament injury is one of the most common sports injuries, after which surgery is often indicated to restore stability and functionality. This bachelor's thesis focuses on the use of plyometrics in the post-rehabilitation phase after ACL reconstruction. The theoretical part summarizes the knowledge of anatomy and kinesiology of the anterior cruciate ligament, and describes the plyometric mode, stretch-shortening cycle with the concept of plyometric movement. Next, the process of incorporating plyometrics into rehabilitation is described, where I focus on exercise intensity and factors that influence intensity, followed by a description of the process for developing a plyometric program, complete with photographs of exercises at that stage. The practical part includes a case report of a patient 15 weeks after ACL surgery to whom a plyometric program was applied.

Keywords:

plyometrics, ACL, rehabilitation, knee joint, stability, physiotherapy

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Amra Zaatara Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2024

.....

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce, Mgr. Amrovi Zaatarovi Ph.D., za cenné rady při tvorbě této práce. Také bych chtěl poděkovat svému kamarádovi za ochotu při focení jednotlivých cviků a kamarádce za pomoc při úpravě českého jazyka.

OBSAH

Obsah	7
1 Úvod	9
2 Cíl práce	10
3 ANATOMIE.....	11
3.1 Kosterní soustava.....	11
3.2 Svaly kolenního kloubu	12
3.3 Anatomie ACL	12
3.3.1 Biomechanika ACL	14
3.3.2 Proprioceptivní funkce ACL	15
3.4 Mechanismus zranění ACL.....	16
3.5 Operace ACL	18
3.5.1 Autografy.....	18
3.5.2 Allografy	19
4 Plyometrie	20
4.1 Původ slova.....	20
4.2 Historie	20
4.3 Cyklus zkrácení-protažení.....	21
4.3.1 Napínací reflex.....	21
4.3.2 Potenciace	21
4.3.3 Prodloužení šlachy.....	22
4.3.4 Preaktivace	22
4.4 Koncept plyometrického pohybu	22
4.4.1 Excentrická fáze.....	22
4.4.2 Fáze amortizace.....	23
4.4.3 Koncentrická fáze	23
5 Postup zařazení plyometrie do rehabilitace.....	24
5.1 Intenzita plyometrie	24
5.2 Ovlivnění intenzity plyometrie	25
5.2.1 Typ plyometrického cvičení.....	25

5.2.2	Síla dolní končetiny.....	26
5.2.3	Povrch.....	27
5.2.4	GCT – doba kontaktu s podložkou.....	27
5.3	Vytvoření programu.....	27
5.3.1	Fáze první.....	28
5.3.1.1	Bilaterální cviky.....	29
5.3.1.2	Cviky bilaterální offset.....	29
5.3.1.3	Unilaterální cviky.....	30
5.3.2	Fáze druhá.....	30
5.3.2.1	Bilaterální cviky.....	31
5.3.2.2	Cviky bilaterální offset.....	32
5.3.2.3	Unilaterální cviky.....	33
5.3.3	Fáze třetí.....	33
5.3.3.1	Bilaterální cviky.....	34
5.3.3.2	Unilaterální cviky.....	34
5.3.4	Fáze čtvrtá.....	37
5.3.4.1	Bilaterální cviky.....	38
5.3.4.2	Unilaterální cviky.....	38
5.4	Porovnání s ostatními metodami/formami tréninku.....	40
6	Kazuistika.....	42
7	Diskuse.....	45
8	Závěr.....	48
9	Souhrn.....	49
10	Summary.....	50
11	Referenční seznam.....	51

1 ÚVOD

Poranění předního zkříženého vazů (ACL) je jednou z nejčastějších zranění ve sportu, která může sportovce dlouhodobě vysadit z tréninkového a zápasového tempa. Podle některých studií se v Spojených státech Amerických objeví každoročně více jak čtvrt milionu poranění ACL a průměrné roční náklady na léčbu jsou okolo dvou miliard dolarů (Al Attar et al., 2022; Silvers & Mandelbaum, 2011).

Pro opětovné obnovení stability, funkčnosti kloubu a bezpečného návratu ke sportu je často nutný chirurgický zákrok. Následná standardní rehabilitace je klíčová. Jednou z důležitých post-rehabilitačních metod je plyometrie, která je podstatnou součástí neuromuskulární a pohybové re-edukace po rekonstrukci ACL.

Rozhodl jsem se zabývat touto problematikou v rámci mé bakalářské práce na základě pozorování nedostatečného zastoupení plyometrického tréninku v existujících rehabilitačních protokolech. Při procházení různých rehabilitačních standardů, které zahrnují plyometrii, jsem si také uvědomil, že nedostatečně popisují postupy týkající se tohoto typu post-rehabilitační metody.

Tato bakalářská práce se proto zaměřuje na analýzu a zhodnocení využití plyometrického tréninku jako součásti rehabilitačního procesu po operaci ACL.

2 CÍL PRÁCE

Mým cílem je popsat plyometrický program pro rehabilitaci po rekonstrukci předního zkříženého vazů. Tento program by měl optimalizovat proces rehabilitace a zajistit co nejrychlejší a nejúspěšnější návrat pacientů zpět do plnohodnotného sportovního prostředí.

Důraz bude kladen na přesnou specifikaci jednotlivých fází plyometrického tréninku, volbu vhodných cviků a progresu tréninkových zátěží v souladu s postupným zlepšováním kondice a funkčního stavu pacientů.

3 ANATOMIE

Tato kapitola je věnovaná pouze anatomii kolenního kloubu. Samostatně je následně rozebrána anatomie ACL a její proprioceptivní funkce. Tato anatomie je velmi složitá a nezbytná pro ohyb a rotaci, ale zároveň zajištění plné stability a kontrole v různorodých podmínkách zátěže.

3.1 Kosterní soustava

Kolenní kloub je kloub složený. Skládá se ze dvou částí: femorotibiálního a patellofemorálního kloubu. Kostní struktura femuru, tibie a pately přispívá k celkové stabilitě kolenního kloubu, spolu s pevností a dynamikou vazů, kloubního pouzdra a svalových struktur, které jej překrývají. Architektonika kostí určuje pohyb do flexe, extenze a v malém rozsahu do rotace.

Femorotibiální kloub je největší kloub v celém těle. Condyli femoris se označují za kloubní hlavice, které dopadají na kloubní jamky facies articularis superior. Kontakt mezi nimi je v horizontální rovině, ale na rozdíl od tibie, která míří kolmo k zemi, tělo femuru je od vertikály lehce odkloněno ve fyziologickém abdukčním úhlu v rozmezí 170-175°. Condyli femoris díky své velikosti a zakřivení zcela neodpovídají kloubním jamkám, proto jsou mezi kostmi vmezeřeny dvě menisky, které fungují jako vztyčné plochy pro většinu kloubu (Čihák & Grim, 2019).

Menisky jsou vazivové chrupavky, které svým tvarem odpovídají povrchu jamek na tibii. Je však mezi nimi pár rozdílů. Oba menisky se upínají v area intercondylaris anterior et posterior, avšak mediální meniskus je také upevněn svým zevním okrajem ke ligamentum collaterale mediale. (Čihák & Grim, 2019) Díky tomuto upevnění nám připomíná písmeno C, laterální připomíná písmeno O. Laterální meniskus je také připojen k musculus popliteus a je při kontrakci tohoto svalu upravován jeho tvar a poloha. Mediální meniskus je připojen k úponu musculus semimembranosus, který také svou kontrakcí ovlivňuje jeho tvar a polohu (Čihák & Grim, 2019).

Femoropatelní kloub představuje spojení mezi femurem a patelou, která se nachází na ventrální straně femorotibiálního kloubu. Patela, největší sesamoidní kost v lidském těle, má na svém zadním povrchu kloubní jamky nazývané facies articularis patellae, přičemž laterální část kosti má větší plochu. Tato kost je obklopena tlustou vrstvou chrupavky. Patela je spojena svalovým komplexem musculus quadriceps femoris v horní části a ligamentum patellae v dolní části. Mezi svalovým komplexem a ligamentem existuje Q-úhel, který představuje úhel mezi musculus quadriceps femoris a ligamentum patellae. U mužů by tento úhel neměl překročit 10°, zatímco u žen by měl zůstat pod 15° (Čihák & Grim, 2019).

3.2 Svaly kolenního kloubu

Seznam hlavních, pomocných a stabilizačních svalů, které se podílejí na různých pohybech v kolenním kloubu (Čihák & Grim, 2019):

Extenze:

- Sval hlavní – musculus quadriceps femoris
- Svaly pomocné – musculus tensor fasciae latae a musculus gluteus maximus díky svému tahu za tractus iliotibialis
- Svaly stabilizační – svaly stabilizující kyčelní kloub (m. quadratus lumborum, m. erector spinae, svaly břišní, ...)

Flexe:

- Svaly hlavní – m. biceps femoris, m. semitendinosus, m. semimembranosus
- Svaly pomocné – m. gracilis, m. popliteus, m. gastrocnemius, m. sartorius
- Svaly stabilizační – flexory kyčelního kloubu

Zevní rotace (ve flexi):

- Svaly hlavní – m. biceps femoris, m. tensor fasciae latae

Vnitřní rotace (ve flexi)

- Svaly hlavní – m. semitendinosus, m. semimembranosus
- Svaly pomocné - m. sartorius, m. popliteus, m. gracilis

3.3 Anatomie ACL

Ligamentum cruciatum anterius (dále ACL) je jeden z nitrokloubních vazů v kolenním kloubu, který spojuje femur s tibií. ACL začíná na vnitřní ploše laterálního kondylu femuru a jde do area intercondylaris anterior. Společně s ligamentum cruciatum posterius zajišťují pevnost kolenního kloubu a omezují vnitřní rotaci v koleni tím, že se na sebe navíjejí (Čihák & Grim, 2019).

ACL vzniká přibližně v šestém a půl týdni těhotenství jako kondenzace mezodermu, což je dlouho před vytvořením kloubní dutiny. Je obklopen záhybem synovie a vychází nám ze zadní části kapsuly kolenního kloubu (Duthon et al., 2006), což nám říká, že i když je ACL vaz nitrokloubní, tak celou svou délkou zůstává mimo synovii.

Vaz je převážně zásobován krví z arteria media genus a částečně i z arteria inferior medialis genus a arteria inferior lateralis genus. Tyto cévy se v oblasti vazů větví, vytvářejí příčný pletenec, pronikají do vazů a dále se propojují s endoligamentózní cévní sítí. (Toy et al., 1995)

Inervaci nervu zajišťuje nervus tibialis. Tato nervová vlákna pronikají do kloubního pouzdra zezadu a putují spolu s periligamentózními cévami, které obklopují vaz. Menší nervová vlákna a nervová zakončení byla také zjištěna v samotné struktuře vazů. V ACL byly nalezeny tři typy mechanoreceptorů a malé množství volných nervových zakončení (Goldblatt & Richmond, 2003). Toto malé množství může vysvětlit proč při samostatném zranění ACL necítíme výraznou počáteční bolest. Mechanoreceptory, které byly nalezeny, jsou dva Ruffiniho typu, které se pomalu adaptují a slouží k vnímání rychlosti i akcelerace, a jedno rychle adaptující se Paciniho tělíčko signalizující pohyb (Goldblatt & Richmond, 2003).

Dle Girgis et al. (1975) bylo ACL funkčně rozdělené na dvě části, anteriomedální (AMB) a posterolaterální (PLB). Zatímco jiní autoři dělili ACL na tři části, tak rozdělení na dvě části bylo obecně přijato jako nejlepší příklad k porozumění funkce ACL a budu jej využívat při popisu anatomie ACL v rámci této bakalářské práce. Svazky AMB (anteromedální) začínají v nejvíce anteriorním a proximálním bodě připojením k femuru a zakončují se v anteromedálním bodě připojením k tibi. Naopak svazky PLB z posterodistální části začínají připojením k femuru a upínají se v posterolaterálním bodě připojením k tibi. Třetí část se nazývá intermediální, jak z názvu napovídá nachází se mezi AMB a PLB, je velikostně podstatně menší, než předchozí dvě části a biomechanicky odpovídá anteriomedální části (Kapandji, 2019; Prodromos et al., 2008). Anteromedální a posterolaterální svazky nedrží izometrii při natažení nebo ohybu kolene, ale jejich délka a natažení se mění během pasivního pohybu (Obrázek 1). PLB obsahuje větší počet těchto svazků ve srovnání s AMB. Ze sagitálního pohledu vidíme, že při plné extenzi v kolenním kloubu probíhají svazky vazů relativně vedle sebe. Při následném ohybu kolene dojde k malé laterální rotaci celého ACL a AMB se začínají otáčet kolem zbytku vazů. Svazky AMB se prodlužují a zvyšují napětí při pokrčení kolene, zatímco svazky PLB se zkracují a uvolňují. Naopak PLB vlákna se uvolní při extenzi, což způsobuje že pouze AMB vlákna zabraňují anteriorní translaci tibie. Oba svazky již nebudou vedle sebe, protože AMB se začíná při pohybu do flexe otáčet kolem zbytku vazů. Při ohybu kolena nad 90° AMB nadále prodlužuje, a naopak, PLB začíná překvapivě napínat při dosahování plného ohybu. (Duthon et al., 2006)

Obrázek 1

Rozdělení lig. Cruciate anterior, na anteriomediální a posterolaterální a jejich změna tvaru a délky ve flexi a extenzi kolene



Poznámka. AMB = anteriomediální, PLB = posterolaterální; (Lord et al., 2015)

Vnitřní rotace prodlužuje ACL o něco víc než zevní rotace, a to zejména v 30 stupních flexe v kolenním kloubu. Točivé momenty tibie o malé točivé síle (např. 1Nm) nevytváří výrazné prodloužení ACL. Proti otáčení působí kombinace geometrie menisku a skloněné kolaterální vazy. (Duthon et al., 2006)

3.3.1 Biomechanika ACL

ACL představuje klíčový prvek pro kontrolovanou, plynulou a stabilní flexi a rotaci normálního kolene. Je hlavní brzdou pro přední posun tibie vůči femuru a sekundárně omezuje vnitřní rotaci, kolena do varozity nebo valgozity a hyperextenzi. Zadní posun však ACL nebrání. Po poranění ACL dochází k významnému zvýšení nestability v anteriorní části kolene. Největší

anteriorní translace po izolovaném poranění ACL nastává při úhlech mezi 15° a 45° (Goldblatt & Richmond, 2003). Při klinickém vyšetření je nejlepší pozice pro test anteroiorní nestability, při 30° flexi takzvaný Lachmanův test.

3.3.2 Proprioceptivní funkce ACL

Propriocepce zahrnuje schopnost vnímat polohu a pohyb těla ve prostoru bez vizuálního vstupu. ACL je jedním z hlavních ligament v kolenním kloubu a má důležitou úlohu v poskytování proprioceptivní informace o polohování kloubu a o pohybu femuru vůči tibii. Navzdory technologickým pokrokům zůstávají funkční výsledky stability a vnímání kloubu po rekonstrukci proměnlivé. Prokázalo se, že při zachování zbytků vazy při rekonstrukci ACL dochází k lepším funkčním výsledkům a lepší obnovy propriocepce. (Dhillon et al., 2011) Proprioceptivní funkci v koleni nezajišťuje pouze ACL, ale i okolní vazy, svaly a kloubní pouzdro.

Byla vytvořena studie, která porovnávala rozdíl obnovení propriocepce po rekonstrukci ACL při použití štěpu z hamstringů a při použití Ligament Advanced Reinforcement System (LARS). Do studie bylo zapojeno 105 probandů po zranění ACL. Pozitivní kritéria pro účast ve studii bylo jednostranné zranění ACL a možné poranění menisku, které nevyžaduje operaci. Negativní bylo poškození menisku vyžadující operační zákrok, zranění druhého kolene, poranění kloubní chrupavky, viditelné degenerativní změny na rentgenu a chronické onemocnění ovlivňující propriocepci. Ze sto pěti probandů bylo vybráno 40, kteří odpovídali kritériím, 9 žen a 31 mužů. (Xu et al., 2022)

Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin po 20. U první skupiny se použil LARS a u druhé štěp z hamstringu. Pro porovnání se využil knee joint position test (JPS) při pasivně-pasivním pohybu v úhlu ohybu 45 ° a 75 °. Zdravý kontralaterální kolenní kloub byl využitý jako kontrola k výpočtu chyby testu. (Xu et al., 2022)

Studie zjistila, že chyba ve vnímání polohy kloubu, oproti zdravé noze, byla signifikantně vyšší u obou skupin při testování po třech měsících od operace než po dvanácti měsících. Nicméně žádný signifikantní rozdíl mezi těmito skupinkami nebyl. Probandi, kteří dostali štěp do roku po zranění měli také menší odchylku při testování než probandi, kteří šli na operaci po více než jednom roku, při testování po třech měsících. (Xu et al., 2022)

Vychází nám z toho, že neexistují signifikantní rozdíly na obnovení propriocepce v koleni při použití těchto dvou technik. (Xu et al., 2022)

3.4 Mechanismus zranění ACL

Poranění vazivového aparátu v koleni vznikají buď přímým nebo nepřímým mechanismem, nejčastěji při sportu. Dle klasifikace Hastingse z roku 1979 se akutní nestability rozdělují dle mechanismu na nestability s primární lézí kapsulárních stabilizátorů a izolované léze zkřížených vazů. Poranění předního zkříženého vazů je 10x častější než poranění zadního zkříženého vazů (Dungl, 2014).

Typ poranění vazů se rozděluje do tří skupin (Dungl, 2014):

- Natažení: objevuje se mikroskopické poškození vazů, kontinuita vazů je zachována, klinicky se projevuje bolestí v průběhu vazů
- Částečné přetržení vazů: kontinuita není úplně porušena, avšak vaz je prodloužen a pevnost je snížena, bolest se projevuje zvětšením kloubní štěrbiny nebo posunem proximální části tibie vůči femuru s pevným dorazem na konci pohybu
- Totální ruptura: kontinuita vazů je porušena, nalézáme abnormální zvětšení posunu proximální části tibie s postupně se zvyšujícím odporem, pevný doraz na konci pohybu chybí

Známkou poranění ACL je otok s rychlým nástupem společně s bolestí (75 %), až 30 % pacientů udává, že slyšeli prasknutí (tzv. „pop“ fenomén). K ruptuře přímým mechanismem dochází násilnou abdukcí a zevní rotací bérce (lyžování, kontakt s protihráčem ve fotbale) (Dungl, 2014). Častěji dochází k poranění ACL nepřímým mechanismem, a to až ze 75 % (Boden et al., 2010). Často je při poškození ACL poškozený také ligamentum collaterale mediale a mediální meniskus, této kombinaci říkáme „unhappy trias“.

Na nepřímý mechanismus poranění ACL byla provedena systematická review, která se zaměřila na kostní podlitiny viditelné na magnetické rezonanci. Účelem této studie bylo zjistit pohyby tibie vůči femuru během poranění nepřímým mechanismem na základě prozkoumání studií hodnotící podlitiny kostí. Autoři měli tři hypotézy. Předpoklad, že dochází k významné anteriorní translaci tibie vůči femuru. Druhý byl, že dochází k postavení kolene do valgozity během pohybu, který nastává při poranění, a poslední hypotéza říkala, že pohyb kolene do maximální valgozity nastává až po samotném poranění (Zhang et al., 2019).

Nejvíce podlitin se našlo na tibii v posterioerní části (87 % v laterálním sektoru a 86 % v mediálním sektoru) a na femuru v anteriorní a centrální části (94 % v laterálním a 86 % v mediálním sektoru). Tyto výsledky nám indikují, že v nejvíce případech došlo k anteriorní translaci tibie s malou flexí v kolenním kloubu při dopadu na patu nebo celou plošku. Jak ukázaly výsledky, bylo objeveno více podlitin na laterální sektoru jak na femuru, tak tibii v kontrastu

s mediálním sektorem. Díky těmto podlitinám, které způsobil nejspíše závažnější kontakt laterálního kondylu s postero-laterální částí tibie se potvrdilo, že při poranění muselo být koleno ve valgotickém postavení. Při vytvoření podlitin je koleno v průměru ve 5° valgozitě. Podlitiny na centrální a anteriorní části femuru také potvrzují třetí hypotézu, že do maximální valgozity padá koleno až po poranění ACL (Zhang et al., 2019).

Anteriorní translace je autory považována za primární mechanismus poranění, uvažuje se také, že možná hyperextenze v kolenním kloubu může také způsobit přetržení ACL při bezkontaktním mechanismu (Zhang et al., 2019).

Někteří autoři udávají také jako jeden z možných mechanismů poranění ACL příliš velká síla m. quadriceps femoris a to tak, že při zvedání se z podřepu maximální silou tohoto svalu dojde k ventrálnímu posunu proximální tibie a díky tomu přetržení ACL (Chaloupka, 2001). Tato možnost byla vyvrácena studií, kde se pomocí testovací servohydraulického stroje aplikovala na šlachy m. quadriceps femoris 4500 N v jedné vteřině, kdy kolenní kloub byl ve 20° flexi. Studie byla prováděna na lidských ostatcích. Při tomto izolovaném zatížení kolenního kloubu došlo pouze k 6 z 11 ruptur ACL (DeMorat et al., 2004). Vzhledem k tomu, že studie nebyla prováděna in vivo, nebylo možné aktivně zapojit flexory kolenního kloubu v reakci na rychlé zapojení extenzorů.

Přetrvávající vysoký psychický nátlak může představovat faktor, který zvyšuje riziko zranění ACL. Psychický stres a emocionální nepohoda mohou ovlivnit celkovou fyzickou pohodu jednotlivce a jeho schopnost reagovat na okolní podněty. Tento stav napětí a rozptýlu pozornosti může ovlivnit koordinaci, rovnováhu a reakční časy během fyzických aktivit, což zvyšuje pravděpodobnost neočekávaných pohybů nebo nesprávného postavení těla. Takové okamžiky mohou zvýšit náchylnost k poranění ACL, zejména při sportovních aktivitách, kde jsou náhlé pohyby a změny směru běžné. Potvrzuje to studie, která byla provedena při sledování hráčů nejvyšší ligy amerického fotbalu ve Spojených státech amerických (NFL), kteří mezi sezonami 2015-2019 hráli minimálně jeden zápas. Nejvíce zranění nastalo u hráčů NFL, kteří byli nováčci, nebo u těch kteří měli za sebou maximálně dvě sezony v nejvyšší lize amerického fotbalu (Palmieri-Smith et al., 2021).

Velmi významný vliv na ruptury ACL má také genetická složka. Studie Magnusson et al. (2021) popisuje dědičnost poškození ACL až z 69 %. Tyto hodnoty vychází ze sledování přes 88 000 dvojčat během 30 let. Výskyt poranění ACL v rodinné anamnéze zvyšuje riziko ruptury u jedince o více než 50 %.

3.5 Operace ACL

Chirurgický zákrok je po ruptuře ACL často nezbytný pro obnovu stability, ochrany kloubní chrupavky a pro obnovení funkčnosti kolenního kloubu po traumatu. Operace se provádějí artroskopickými technikami, které jsou šetrnější a umožňují vhodné umístění pevných štěpů v kostních tunelech. K rekonstrukci můžeme použít různé typy štěpů (autografy, allografy)(Dungl, 2014).

Existuje studie, která se zaměřila na pozorování průběhu hojení ACL bez operačního zákroku, kdy pacienti podstoupili tzv. cross bracing protocol (CBP). Do studie se zapojilo osmdesát probandů s rupturou ACL, kteří podstoupili imobilizaci v 90° flexi kolenního kloubu na čtyři týdny a následné zvyšování rozsahu pohybu se standartním rehabilitačním programem pod dohledem fyzioterapeuta. Ortéza byla sundána po 12 týdnech. Probandi podstupovali pravidelné kontroly na magnetické rezonanci (po třech a po šesti měsících), přičemž výsledky byly hodnoceny radiology pomocí OsteoArthritis Score. Průběh byl sledován na základě dotazníků Lysholm Knee Scale a ACL quality of life. Po třech měsících byl proveden Lachmanův test a po šesti měsících Pivot shift test. Výsledky ukazují, že již po třech měsících měli v 90 % případů navrácenou kontinuitu poraněného ACL. Na dlouhodobější pozorování průběhu hojení je potřeba více výzkumů (Filbay et al., 2023).

3.5.1 Autografy

Jedná se o techniku, kdy dojde k odebrání patelárního ligamenta s kostěnými bločky (BTB štěp) nebo část šlachy ze svalů m. semitendinosus a m. gracilis (ST-G štěp) u pacienta, následně se tento štěp upevní na místo poškozeného ACL. Další možnosti rehabilitace určuje pevnost fixace daného štěpu. U štěpu s kostními bločky trvá vhojení 4 až 6 týdnů a u šlachovitého štěpu trvá vhojení 8 až 12 týdnů (Dungl, 2014).

Štěp BTB je vhodný pro sportující populaci nebo pro pacienty s vysokými nároky. Nejčastější komplikací bývá bolest v místě odběru štěpu (bolest při kleku, patelární bolest). Tyto problémy mají menší výskyt u použití ST-G štěpu, další výhodou použití ST-G štěpu je menší incize operačního zákroku. Objevují problémy s pevnou fixací štěpu, které často vyžadují použití příčného šroubu. Další nevýhoda je větší vzdálenost fixace štěpu od kostního tunelu, což může v nejhorších případech vést k abrazi štěpu a dilataci kostního tunelu(Dungl, 2014).

3.5.2 Allografy

K využití allografu dochází nejčastěji při reoperacích (Dunl, 2014), kdy se může využít přední zkřížený vaz ze zemřelého či zvířete anebo syntetické ligamenta (LARS).

4 PLYOMETRIE

Plyometrie neboli plyometrický trénink byl zprvu vytvořen k podpoření sportovní výkonnosti. V posledních letech se také využívá v rehabilitaci nebo jako prevence zranění u sportovců jako jedna složek k přípravě na návrat do sportovní aktivity. Již dnes existuje velké množství různých plyometrických cviků zvyšující sílu a stabilitu končetin. Tyto cviky následně mohou vytvořit základ pro pacienta pro jeho zdokonalování dovedností svého sportu (Hansen & Kennelly, 2019).

„Jako plyometrický režim pohybu se označuje cyklicky koordinovaná alternující souhra koncentrických a excentrických stahů antagonistických svalových skupin (zpravidla větších celků, například celých končetin), kde se navíc kromě této aktivity svalové účastní i pasivní elastické vlastnosti měkkých tkání, kterých je využito pro ekonomizaci pohybu (příkladem je souhra flexorů a extenzorů na dolních končetinách při poskocích, kdy dopady jsou odpruženy excentrickou brzdou prací extenzorů při současném pasivním protažení jejich vazivových struktur, což představuje akumulaci energie pro usnadnění následujícího výskoku aktivním koncentrickým stahem těchto svalů – to vše za stabilizující ko-kontrakce flexorových skupin).“ (Dvořák, 2003, p. 43)

Základním kamenem plyometrie je cyklus zkrácení-protahování svalů, který dokáže akumulovat při excentrické fázi energii, která je následně využita při koncentrické fázi cviku. Není vždy nezbytné omezovat se na dolní končetiny, plyometrický režim může být využíván i pro horní končetiny, jak potvrzuje Deng et al., 2023, i další autoři, ve svojí studii o kombinaci plyometrie využitě na horní i dolní končetiny.

4.1 Původ slova

Původ slova plyometrie je spojení řeckých slov *plio* = více; *plythein* = navýšit, přibývat, zvýšit; *metric* = měřit, měřítko. Celkový význam by mohl být chápán jako „mnoho měření“, což odráží metodu tréninku, kde dochází k opakovanému provádění cvičení nebo pohybů. Název plyometrie byl poprvé použitý v roce 1975 americkým běžcem Fredem Wiltem.

4.2 Historie

První dokumentace o plyometrii se napsala v 60. letech 20. století v Rusku i když plyometrické cviky se objevovali již staletí před prvním zkoumáním v disciplínách, které fungují na cyklu zkrácení-protahování nebo ve sportech zahrnující sprint a výskoky. První studie zkoumající různé plyometrické metody napsal ruský vědec Jurij Verchošanskij, dal by se tím pádem

považovat za otce plyometrie. Vytvořil tzv. *šokovou metodu*, kterou zahrnuje dopad z výšky a následný výbušný pohyb sportovce do různých směrů nebo výskok zpět. Verchošanskij popisuje zlepšení výšky výskoku (Hansen & Kennelly, 2019).

Tato metoda byla představená v západních zemích v 70. letech 20. století, bylo napsáno o ní spousta knih a studií a v současnosti se jedná o metodu, kterou uznává velké množství odborníků ve sportovní medicíně.

4.3 Cyklus zkrácení-protahení

Cyklus zkrácení-protahení, ang. Stretch-shortening cycle (SSC), se skládá ze 4 prvků, a to z napínacího reflexu, „potenciace“, pružností šlachy a pre-aktivací (Fukutani et al., 2023). Na mechanismu a souhře těchto prvků funguje plyometrický režim.

4.3.1 Napínací reflex

Jedná se o monosynaptický reflex, který nám chrání svaly proti přetržení z důvodu protažení a také se účastní na udržení svalového napětí. Nejznámější příklad napínacího reflexu je testování reflexu na patelární šlaše. Dochází k poklepu na patelární šlachu, což způsobí protažení svalových jednotek a šlachových tělísek, vytváří se akční potenciál a senzitivní nerv typu Ia přenáší tento signál do míchy, kde se přepojuje na motorický nerv, který vede zpět do svalu, aby ho kontrahoval. Tento mechanismus chrání svaly při pasivním protažení svalu, při velkém svalovém napětí ve svalu nebo při protažení kosterního svalu s neporušenou inervací.

Antagonistické svaly relaxují při napínacím reflexu díky mechanismu reciproční inhibice svalů. U napínacího reflexu dochází ke stejné úměrné reakci (rychlý podnět vyvolá rychlou odpověď). Na úrovni míchy se také akční potenciál přepojuje do senzitivních nervů vedoucích do centrální nervové soustavy.

4.3.2 Potenciace

Potenciace nebo také post-aktivační potenciace je jev, který můžeme charakterizovat jako okamžité a dočasné zvýšení síly stahu svalu v reakci na jeho předchozí úmyslnou aktivaci. (Župková, 2020) Tato forma tréninku se využívá u plyometrie i dalších explozivních forem tréninku, kde se využívá cyklus zkrácení-protahení.

4.3.3 Prodloužení šlachy

Prodloužení šlachy ovlivňuje změnu délky svalu, což následně reguluje schopnost svalu generovat sílu. Například při prodloužení šlachy během excentrické fáze a jejím následném zkrácení v koncentrické fázi může sval pracovat téměř izometricky, což posiluje jeho schopnost generovat sílu díky vztahu mezi silou a rychlostí (Fukutani et al., 2015).

4.3.4 Preaktivace

Preaktivací svalu se myslí jeho zapojení jiným způsobem před koncentrickou aktivitou svalu. Například při zkoumání vlivu preaktivace. Fukutani a jeho tým použili izometrickou kontrakci před koncentrickou a porovnávali se skupinou, kteří neprováděli izometrickou kontrakci (Fukutani et al., 2015).

Ve studii *Fukutani et al.*, v roce 2015, zkoumali faktory, které se zapojují v SSC in vivo. V této studii potvrdili, že největší vliv na SSC měla právě preaktivace a menší vliv měla potenciace. Vliv prodloužení šlachy byl zkoumán stejnými autory v roce 2023, studie byla provedena na *m. soleus* u laboratorních krys a zjistilo se, že prodloužení šlachy má velmi zanedbatelný vliv. Avšak studie probíhala za laboratorních podmínek a izolaci *m. soleus* a Achillovy šlachy, ne v komplexním pohybu (např. sprint, výskok na bednu). Nepotvrdil se výskyt napínacího reflexu, jelikož při studiích nebyla využita volní kontrakce svalu, ale kontrakce byla provedena elektrostimulací (Fukutani et al., 2023) (Fukutani et al., 2015).

4.4 Koncept plyometrického pohybu

V této metodě se využívá, jak jsem již psal výše, systém zkrácení protažení. Pohyb se dá díky této formě rozdělit do tří fází, excentrické, „coupling phase“ a fáze koncentrické (Chmielewski et al., 2006).

4.4.1 Excentrická fáze

Excentrická fáze nebo také „loading phase“ je fáze, kdy dochází k protažení hlavních svalů a šlach důsledkem formy kinetické energie, která přichází z předchozí akce, například skok z bedny na zem, nebo vnějšího zdroje, například hozený medicinbal, aplikované na kloub, respektive končetinu. Protahováním svalů dojde k aktivaci SSC, který později v koncentrické fázi pomůže ke zvýšení síly ve srovnání s pohybem bez protažení. Tato část se proto nazývá „fáze zatížení“, která nastává při negativní fázi práce svalů (Chmielewski et al., 2006).

4.4.2 Fáze amortizace

„Amortization phase“, jiní autoři používají označení „coupling phase“, je popisována fáze od ukončení excentrické fáze do začátku koncentrické akce svalu. Tato etapa je klíčová pro provedení plyometrického cvičení, protože čím rychleji proběhne fáze, tím účinnější a silnější je celý pohyb plyometrického cvičení. Kratší amortizační fáze umožňuje efektivní využití uložené energie při přechodu. Naopak, pokud je fáze amortizace zdlouhavá, uložená energie se ztrácí ve formě tepla (G. J. Davies & Matheson, 2001), SSC není aktivován a výsledná pozitivní práce koncentrické kontrakce není tak účinná. Jedním z hlavních cílů plyometrického tréninku je minimalizovat dobu této fáze (G. Davies et al., 2015).

Podle Chmielewkiho a jeho týmu (2006) se optimální doba této fáze pohybuje kolem 250 ms, zatímco průměrná doba fáze amortizace před následujícím pohybem koncentrické kontrakce byla vypočtena jako 230 ms. Proto cvičení s výraznější pauzou mezi excentrickou a koncentrickou fází mohou mít požadované účinky na zesílení kloubu, ale neklasifikujeme je jako plyometrii.

4.4.3 Koncentrická fáze

Tato fáze se objevuje po skončení amortizační fáze. Koncentrická fáze představuje závěrečnou fázi plyometrické aktivity, protože právě v této části dochází k využití mechanismů, které byly vyvolány během fáze zatížení, což přispívá ke zvýšené efektivitě produkce síly.

Fáze pro kloub jedné dolní končetiny začíná, když křivka úhlu kloubu změní směr a končí, když reakční síla k zemi dosáhne nuly, nebo když se svalová jednotka začne zkracovat a končí při odrazu. Naopak u dvou dolních končetin fáze začíná při stoupajícím pohybu těžiště jedince a končí při ztrátě kontaktu s podložkou (Chmielewski et al., 2006).

5 POSTUP ZAŘAZENÍ PLYOMETRIE DO REHABILITACE

Po provedení rekonstrukce ACL sportovec dochází ke změnám v pohyblivosti kloubu, chůzi a vzorcích pohybu, neuromuskulární funkci a celkové fyzické kondici pacienta. Plyometrie je jeden z hlavních komponentů, který se může využít na zlepšení neuromuskulární funkce a kondici pacienta (Buckthorpe & Della Villa, 2021). V pozdější fázi rehabilitace vede ke zvýšení explozivní síly pro lepší návrat do tréninkového cyklu a prevenci opětovného zranění. Při zařazení plyometrického programu do rehabilitačního cyklu u pacienta je důležité přizpůsobit plyometrické úkoly funkčnímu stavu kolenního kloubu, proto by tento program měla vytvářet osoba, která se orientuje ve fyziologii hojení tkání a pohybovém tréninku (sportovní doktor, rehabilitační doktor, fyzioterapeut, ...).

5.1 Intenzita plyometrie

Plyometrická aktivita závisí na reakční síle země (GRF – síla, kterou působí země na těleso, které je s ní v kontaktu), které jsou v rozmezí od 1,5 – 7krát hmotnosti těla pacienta (Buckthorpe & Della Villa, 2021). Plyometrická aktivita o příliš velké intenzitě prováděná v brzké fázi rehabilitace by tak mohla způsobit nepříznivou reakci u nepřipraveného pacienta po zranění. Je také důležité zvážit intenzitu na základě vnějších a vnitřních sil působících na kolenní kloub. Vnější síly jsou výsledné síly rovnocenných a opačných sil působících na tělo, např. Newtonovy zákony a vnitřní síly jsou závislé na zatížení kloubů a způsob jakým budou v těle distribuovány. Zátěž vyvolaná na tělo je přijímána díky neuromuskulárnímu systému a pasivně absorbována vazy, šlachami a klouby během pohybu. Musí se aktivně vytvářet momenty extenze (plantární flexe) v kyčlích, kolenou a kotnících pomocí různých kontrakcí svalů – excentrických, izometrických a koncentrických. Tím se řídí pohyb kloubů, absorpce kinetické energie při dopadu a vytváření síly a výkonu pro balistický pohyb těla během plyometrických cvičení. Neschopnost přijímat zátěž z důvodu nedostatku síly znamená větší závislost na vazech, šlachách a kloubech pro pasivní absorpci síly (Buckthorpe & Della Villa, 2021). Proto je důležité chápat specifické nároky před provedením plyometrického pohybu (síla dolní končetiny v uzavřených řetězcích, síla extenzorů kolenního kloubu, kvalita pohybu pacienta) a při provádění porozumět, jak sportovec reaguje na jednotlivé plyometrické aktivity.

5.2 Ovlivnění intenzity plyometrie

Intenzitu vnějších sil můžeme ovlivnit typem plyometrického cvičení, schopností přijímat a vytvářet odpovídající sílu, typem povrchu a časem stráveným v kontaktu s podložkou (GCT – ground contact time) (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

5.2.1 Typ plyometrického cvičení

Cvičení lze rozlišovat podle postavení a polohy těla při odrazu a dopadu. Toto rozdělení je důležité, protože umožňuje diferenciaci mezi unilaterálními a bilaterálními variantami (Tabulka 1) plyometrických úkolů, což má význam při zatížení končetiny během zpomalování těžiště. Tím pádem intenzita úsilí, výška dopadu nebo horizontální rychlost jsou hlavními faktory ovlivňující maximální zatížení dolní končetiny při plyometrických cvičeních.

Tabulka 1

4 typy plyometrických úkolů, klasifikováno podle pozice přistání/odrazu s jednotlivými příklady cviků

Typ plyometrické aktivity	Popis	Příklady
Unilaterální	Zahrnuje excentrické přijmutí zátěže a následné koncentrické vytvoření síly na jedné dolní končetině	SL SJ, SL CMJ, SL drop jump, skoky do stran, skoky s rotací; Bounding (se střídáním nohou, s výskoky do výšky)
Bilaterální (symetrické)	Obě končetiny přijímají a vytvářejí sílu v symetrickém postavení	BL SJ, BL CMJ, BL drop jump, tuck jumps
Bilaterální (asymetrické)	Obě dolní končetiny mají asymetrické postavení vůči sobě při výskoku nebo dopadu. Na každou končetinu je proto požadavek různý	Split jumps, se stejnou pozicí při dopadu
Bilaterální (s časovým posunem)	Obvykle zahrnuje dopad na jednu končetinu a následný odraz na druhé. Ve cvičení není charakteristický pohyb SSC na jedné dolní končetině	Alternating box split jumps

Poznámka. SL – single leg; SJ – squat jump; CMJ – countermovement jump; BL – bilateral; (Buckthorpe & Della Villa, 2021)

5.2.2 Síla dolní končetiny

Absorpce energie dolní končetiny v sagitální rovině souvisí s nižší GRF a větším pohybem flexe kolene při dopadu. Zároveň čím menší je celková síla dolní končetiny, tím větší je nápor na pasivní složku (vazy, šlachy a klouby).

5.2.3 Povrch

Při dopadu se různě tvrdý povrch deformuje, což může zmenšit celkové zatížení kloubu. Zatížení kloubů je tedy ovlivněno tvrdostí povrchu. Můžeme využít vodního prostředí, písek, trampolínu, tvrdý povrch a další.

Plyometrický trénink lze provádět i ve vodním prostředí. Jelikož provádění plyometrie ve vodním prostředí snižuje nárazy a tlak na klouby ve srovnání s plyometrií na souši. Tento způsob je proto šetrnější a vhodnější pro jedince po zranění. Intenzitu ovlivňuje hlavně hloubka vody, velikost odchylky těžiště od neutrální pozice, výška a váha pacienta a typ plyometrického cvičení (Tabulka 1). Tímto způsobem se může dosáhnout celkového posílení, zlepšení koordinace a také může fungovat jako příprava na plyometrický trénink na souši. Toto potvrzuje studie z roku 2011, kde Donoghue a jeho tým potvrdil, že při plyometrii ve vodním prostředí se sníží vnější síly až na 62 % ve srovnání s plyometrií na souši (Donoghue et al., 2011).

5.2.4 GCT – doba kontaktu s podložkou

Doba kontaktu s podložkou ovlivňuje rychlost vývoje síly (RFD) a rychlost vývoje výkonu. GCT i RFD jsou ovlivněné hlavně výběrem typu plyometrického cvičení, ale také hlasovým pokynem při cvičení („Po dopadu vteřinu vydrž v pozici!“ nebo „Po dopadu vyskoč co nejrychleji to půjde!“). Výdrž se využívá při první fázi plyometrie, pro získání stability kloubu. Pro zlepšení explozivní síly, v pozdní fázi rehabilitace, při pohybu do různých směrů využijeme delší časový úsek 250–500 ms. Při lineární plyometrii pro zlepšení maximálních běžeckých rychlostí využíváme GCT <200 ms.

Chmielewski a jeho tým se porovnávali efekt plyometrie o intenzitě nižší oproti vyšší. Žádné signifikantní rozdíly mezi skupinami nebyly zaznamenány. V obou skupinách byly hlášeny pozitivní změny ve funkci kolena, omezeních pohyblivosti kolena a psychosociálním stavu u obou skupin, což by podporovalo návrat k účasti ve sportu (Chmielewski et al., 2016).

5.3 Vytvoření programu

Při vytváření efektivního plyometrického programu je důležité, aby byl sladěn s funkčním přístupem rehabilitačního programu. Tyto přístup zahrnuje obnovení faktorů specifických pro koleno, neuromuskulární funkce mnoha svalových skupin a typů funkce (např. maximální izolovaná a funkční síla, kvalita pohybu, ...). Dohromady s ostatními prvky rehabilitace by se měl vytvořit individuální program pro pacienta na základě jeho cílů.

Buckthorpe a Della Villa rozdělují svůj program na 4 fáze. V těchto fázích jsou zahrnované plyometrické aktivity a s nimi spojená intenzita a složitost, požadovaná kvalita pohybu a síla k provedení těchto úkolů a monitoring, zejména denní monitorování (např. bolest a otok), ale také monitorování jako součást kritérií založeného na funkční obnově ACL. Postupná progresse zahrnuje změny prostředí, ve kterém se plyometrie provádí (začíná se na měkkých površích nebo ve vodě a postupně se přechází na tvrdší povrchy), postupný přechod z bilaterálních aktivit na unilaterální, skoky v sagitální rovině a skoky do různých směrů/rotací a snižování GCT. Ve smyslu progresse mezi jednotlivými fázemi je zásadní, že sportovec dokáže kvalitně provést pohyb, nemá žádnou nebo minimální bolest (NŠB – 2/10) a neobjevuje se žádný nebo minimální otok kloubu (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

5.3.1 Fáze první

Plyometrické cvičení začínáme provádět po rehabilitačním protokolu, v období, kdy dochází ke zesílení svalů končetiny, reedukaci pohybu při chůzi a celkovém silovém tréninku sportovce.

Vstupní kritéria do této fáze jsou:

- NŠB 0-1/10 bolesti v klidu, NŠB <2/10 v každodenních aktivitách
- Plná extenze v kolenním kloubu
- 120 ° flexe v kolenním kloubu
- Dobře provedený bilaterální dřep s menší než 20 % asymetrií při zatížení
- Izometrická síla kolene do extenze na 70 % zdravé končetiny (podle hodnocení LSI)

V této fázi se využívá plyometrie o nižší intenzitě (Obrázek 3, Obrázek 4), GCT se pohybuje mezi 1–2 vteřinami a GRF je menší než dvojnásobek hmotnosti pacienta na jednu končetinu. Zvýšení těžiště v těle nad neutrální pozici je minimální. Využívá se pouze zátěž na obě končetiny (Obrázek 2). Hlavním cílem této fáze je reedukace s důrazem na zlepšení chůze na běžecím trenážeru.

Jelikož tuto fázi zahajujeme cca po 8.-10. týdnu po operaci, tak se může u sportovce projevit nedostatečná síla extenzorů kolene, kterou může kompenzovat například dopady na nezraněnou dolní končetinu při bilaterálních úkolech.

V této fázi plyometrii využíváme ke zlepšení motorického učení než k samotnému zesílení končetiny. Můžeme také v této fázi využít plyometrii ve vodním prostředí. Zajímáme se o optimální techniku během pohybu, který pro sportovce může být podpořen například bio-feedbackem (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

V této fázi je doporučeno provést maximálně 50 opakování cvičení za jednu tréninkovou jednotku o nízké intenzitě. Například, můžete provést 2 série po 10. opakováních Submax box jumps, 2 série po 5. opakováních setup jumps a 5. opakováních po každé noze lunge pushback, což dohromady představuje 50 opakování. (Buckthorpe & Della Villa, 2021)

5.3.1.1 Bilaterální cviky

Obrázek 2

Submax BL box jump

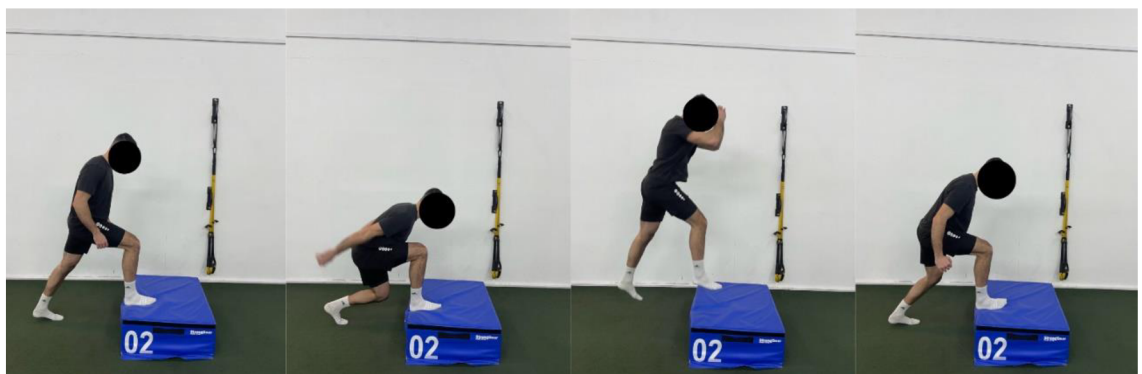


Poznámka. Jedinec z mírného podřepu vyskočí na bednu (30 cm), snažíme se o jemný dopad s ideálním postavením končetin při dopadu. Snažíme se o koncentrické vyvinutí síly a následné excentrické zbrzdění těla, kdy je pro nás hlavní kvalitní dopad.

5.3.1.2 Cviky bilaterální offset

Obrázek 3

Step up jumps

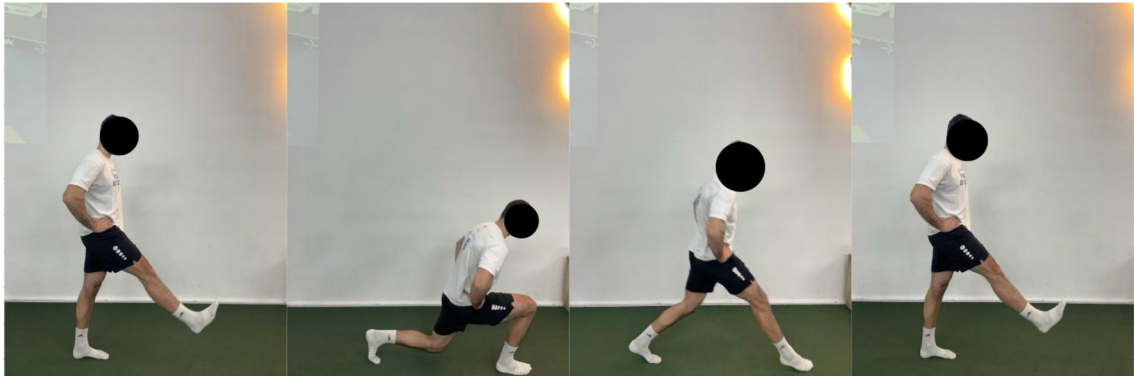


Poznámka. Jedinec má jednu nohu vyvýšenou a jednu na zemi za sebou. Dochází k náklonu a následnému výskoku, zaměřujeme se na dopad, koordinaci těla a symetrii končetin při dopadu. Jedinec může při výskoku střídat nohy, což je označováno za těžší variantu

5.3.1.3 Unilaterální cviky

Obrázek 4

Lunge pushback



Poznámka. Jednu nohu předkopne jedinec před sebe a dopadne na ni do pozice výpadu a následně se z ní odrazí zpět do vzpřímené pozice (lehčí varianta je bez zpětného odrazu). V tomto cviku se snažíme o co nejkvalitnější provedení dopadové fáze a koordinaci těla.

5.3.2 Fáze druhá

Vstupní kritéria do této fáze jsou:

- Schopnost běhu na běhacím trenažéru po dobu 10 minut při rychlosti 8 km/h
- Schopnost dobře provést bilaterální dopad
- Dobře provedený dřep na jedné končetině
- Síla v CKC > 1,25krát tělesné hmotnosti (8RM) nebo 1,5krát tělesné hmotnosti (1RM)
- Isokinetická síla extenzorů i flexorů na 80 % zdravé končetiny (podle hodnocení LSI)

V této fázi se snažíme o co nejlepší zesílení excentrické síly dolních končetin bilaterálně (Obrázek 5, Obrázek 6, Obrázek 7), aby se zautomatizoval motorický vzorec pro budoucí cviky a návrat ke sportu.

Hlavním cílem této fáze je zvládnout kvalitně provedený dopad na obě končetiny z výšky 30 cm, zvýšení bilaterální síly a zvýšení excentrické síly jedné dolní končetiny (Obrázek 8, Obrázek 9) (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

V následující fázi je doporučeno provést maximálně 100 opakování cvičení za tréninkovou jednotku o střední intenzitě (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

5.3.2.1 Bilaterální cviky

Obrázek 5

Max BL SJ/CMJ



Poznámka. Jedinec se snaží z podřepu vyskočit do maximální výšky, dochází k dopadu z vyšší výšky a tím pádem dochází k zvětšení sil, které na koleno působí při dopadu. Dopadnout se snažíme kontrolovaně na obě dolní končetiny.

Obrázek 6

Max broad jump



Poznámka. Jedinec se snaží o maximální skok do dálky, který dokáže poté ustát. Při dopadu se snažíme o co nejlepší koordinaci těla. Jedná se o alternativu max BJ SJ do ventrálního pohybu.

Obrázek 7

Drop jump



Poznámka. Při cviku stojíme na bedně o výšce 30 cm, nakročíme jednou nohou „do prázdna“, dopadneme na obě nohy a následně z podřepu vyskočíme do maximální výšky. Díky tomuto způsobu zapojíme z velké části SCC a zvýšíme síly působící na kolenní kloub při dopadu.

5.3.2.2 Cviky bilaterální offset

Obrázek 8

Split squat jump



Poznámka. Jedinec se postaví do výpadu, následně provede výskok a snaží se o měkký koordinovaný dopad. Těžší varianta cviku pro koordinaci je, že při výskoku nohy vyměníme, takže noha, která byla vzadu bude vepředu a naopak.

5.3.2.3 Unilaterální cviky

Obrázek 9

Step&land



Poznámka. Jedinec stojí na obou dolních končetinách a následně skočí směrem dopředu nebo laterálně na jednu dolní končetinu a demonstruje kvalitní provedení dopadu a následné krátké výdrže v dopadové pozici. Můžeme počáteční pozici vyvýšit postavením na bednu s dopadem na zem pro těžší verzi cviku.

5.3.3 Fáze třetí

Vstupní kritéria do této fáze jsou:

- Dobře provedený bilaterální výskok do výšky
- Schopnost dobře provést unilaterální dopad
- $CKC > 1,5$ krát tělesné hmotnosti (8RM) nebo 2krát tělesné hmotnosti (1RM)

Ve třetí fázi se zabýváme spíše unilaterálním použitím plyometrie (Obrázek 12, Obrázek 13, Obrázek 14) a přecházíme postupně z lineárních úkolů do multiplanárních úkolů. Hlavním cílem pro třetí fázi je mít dostatečnou jistotu při vysokorychlostních změnách pohybu na poraněné dolní končetině, dostatečně zesílit excentrickou sílu na jedné dolní končetině a schopnost měnit směry skoků.

V této fázi unilaterální plyometrie je klíčová ke zlepšení unilaterální kontroly pohybu (Obrázek 11, Obrázek 15), zatímco bilaterální plyometrie (Obrázek 10) slouží ke zvýšení síly a výkonu sportovce. Důležitá součást této fáze je postupné snižování GCT k napodobení pohybu, který sportovec bude využívat ve sportu. GCT se tak bude pohybovat ke konci této fáze okolo

250 ms, tedy času, který Chmielewski klasifikuje jako „pravou plyometrii“ (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

V této fázi je doporučeno provést maximálně 150 opakování cvičení za tréninkovou jednotku o vysoké intenzitě (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

5.3.3.1 Bilaterální cviky

Obrázek 10

Tuck jump



Poznámka. Progrese z Max BL SJ, při výskoku přitáhneme kolena k hrudníku a díky tomu zvýšíme síly, které na koleno působí při dopadu. Variantou jsou také *rotational jumps*, což jsou skoky, při kterých se otáčíme o 90° nebo 180°, díky otáčení ztížíme dopad a koordinaci těla.

5.3.3.2 Unilaterální cviky

Obrázek 11

Step&land jump back

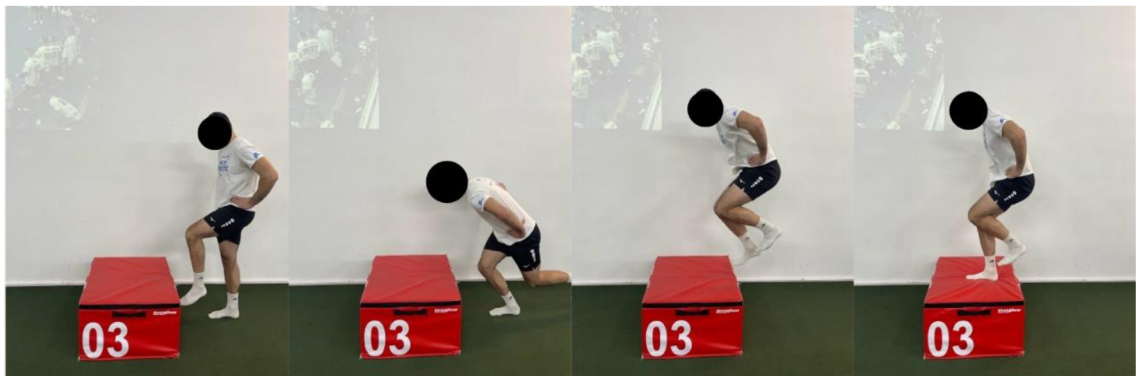


Poznámka. Jedinec stojí na jedné dolní končetině a odrazí se laterálně na druhou dolní končetinu, přičemž se snaží co nejrychleji odrazit zpět na původní dolní končetinu. Jedná

se o cvik zaměřený více do sportovního prostředí pro nácvik rychlých změn směru, ze začátku se ale soustředíme na důkladné provedení a koordinaci dopadu a stabilitu stoje po dopadu.

Obrázek 12

SL box jump



Poznámka. Jedinec z mírného podřepu na jedné noze vyskočí na bednu (30 cm), snaží se o jemný dopad s ideálním postavením končetin při dopadu. Cílem je koncentrické vyvinutí síly a následné excentrické zbrždění těla, kdy je pro nás hlavní kvalitní dopad.

Obrázek 13

SL jump to bilateral landing



Poznámka. Jedinec stojí na jedné noze, ze které se odrazí do vzduchu a následně dopadá na obě končetiny.

Obrázek 14

SL squat jump



Poznámka. Jedinec stojí na jedné noze a provede maximální výskok z jedné nohy a následný kontrolovaný dopad.

Obrázek 15

SL drop jump



Poznámka. Jedná se o spojení cviků step&land a SL squat jump, díky tomuto provedení se zvýší síla, která působí při dopadu na jednu dolní končetinu. Hlavní pokyn pro provedení cviku je „odrazit se co nejrychleji to jde“.

Obrázek 16

Single leg hops



Poznámka. Jedinec stojí na jedné dolní končetině a provádí malé poskoky s pokynem odrazit se co nejrychleji. Postupně můžeme zatěžovat jednu dolní končetinu provedením SL hops do ventrálního pohybu, nebo také laterálně.

5.3.4 Fáze čtvrtá

Vstupní kritéria do této fáze jsou:

- Isokinetická síla extenzorů i flexorů na 90 % zdravé končetiny (podle hodnocení LSI)
- CKC > 1,5krát tělesné hmotnosti (8RM) nebo 2krát tělesné hmotnosti (1RM)
- Dobrá kvalita pohybu při dopadech v různých plyometrických cvičích (UL dopad, BL UL drop jump, schopnost změnit směry na hřišti)

V konečné fázi je stěžejní maximalizovat unilaterální plyometrii pro zlepšení neuromuskulární výkonnosti (Obrázek 17, Obrázek 18, Obrázek 19). Je možné využít odporu proti plyometrii ve formě odporové gumy nebo zvýšení váhy sportovce pomocí medicinbalu (Obrázek 20), zátěžové vesty nebo jednoručních závaží (Obrázek 16).

Hlavním cílem je dosáhnout výborného reaktivního pohybu při úkolech typických pro sport za dobrých podmínek pro zlepšení návratu do tréninkového prostředí (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

V této fázi je doporučeno provést maximálně 200 opakování cvičení za tréninkovou jednotku o velmi vysoké intenzitě (Buckthorpe & Della Villa, 2021).

5.3.4.1 Bilaterální cviky

Obrázek 17

Weighted max BL SJ



Poznámka. Jedinec se snaží z podřepu vyskočit do maximální výšky se zátěží dle vlastního uvážení, dochází k dopadu z vyšší výšky a tím pádem dochází k zvětšení sil, které na koleno působí při dopadu.

5.3.4.2 Unilaterální cviky

Obrázek 18

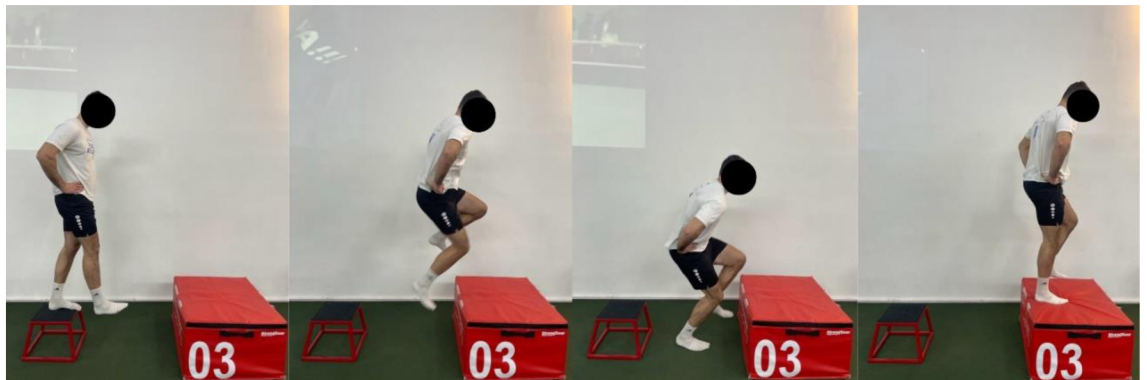
Hurdles single leg jump



Poznámka. Při SL squat jumps postupně zvyšujeme výšku a dálku odrazu, proto můžeme využít například překážky nebo jiné pomůcky.

Obrázek 19

SL drop jump



Poznámka. SL drop jump ze třetí fáze můžeme zvyšovat výšku obou platformem na výškok i dopad s pokynem k co nejrychlejšímu odrazu od země po dopadu.

Obrázek 20

SL lateral drop jump



Poznámka. Jedinec stojí na bedně, vykročí do strany, dopadne na jednu dolní končetinu a poté se co nejrychleji odrazí zpět na bednu. Jedinec dopadne na stejnou dolní končetinu, ze které se odrážel.

Obrázek 21

Step&land weighted jump back



Poznámka. Jedná se o stejný cvik jako v třetí fázi, ale můžeme to ztížit například držením medicinbalu nebo zátěžovou vestou.

5.4 Porovnání s ostatními metodami/formami tréninku

Výzkum nebo studie porovnávající výsledky fyzioterapeutických metod s plyometrií neexistuje, protože se jedná o post-rehabilitační metodu.

Byly však vytvořeny 2 studie, které zkoumaly účinnost plyometrického tréninku, tréninku zaměřeného na excentrickou fázi a jejich kombinace.

První studie, vydaná v roce 2021, sledovala 40 profesionálních sportovkyň po zranění ACL, všechny se zranily v podobnou dobu, prošly si všechny stejným rehabilitačním protokolem, který byl dlouhý 6 týdnů a poté byly rozděleny do 4 skupin (kontrolní skupina, skupina cvičící plyometrii, skupina cvičící excentrickou fázi a skupina co cvičí kombinaci předchozích dvou typů tréninku). Tato fáze rehabilitace probíhala 6 týdnů a před a po této fázi byly účastnice testovány Y-balance testem a vyplnily 2 dotazníky, Lysholm Knee Scale (LSK) a Return to Sport Index (RSI). Poté pro unilaterální připravenost (leg symmetry index – LSI) bylo provedeno 5 testů (skok do maximální délky s a bez dopomoci rukou, trojskok, skoky na jedné noze do vzdálenosti 6 metrů na čas a trojskok v šikmém směru) po 6. týdnech tréninku. Výsledky ukazují, že celkově při konečném testování na tom byla nejlépe skupina, která cvičení kombinovala, ale v porovnání mezi plyometrickou skupinou a skupinou, která cvičila excentrickou fázi můžeme vidět znatelné rozdíly ve výsledcích v testech Y-balance, RSI a také v LSI, kde plyometrická skupina je významně lepší (Kasmi et al., 2021).

Ve druhé studii vedené stejným týmem, vydaná v roce 2023, sledovali účinky různých metod tréninku na isokinetickou funkci svalu a psychologický stav 40 mužských profesionálních sportovců po zranění ACL. Opět byli účastníci studie rozděleni do 4 skupin (kontrolní skupina, skupina cvičící plyometrii, skupina cvičící excentrickou fázi a skupina co cvičí kombinaci

předchozích dvou typů tréninku) Z psychologické připravenosti byly využity dotazníky Tampa Scale of Kinesiophobia (TSK-CF), dotazník hodnotící poranění kolene a osteoartritidy (KOOS) a mezinárodní dotazník pro dokumentaci kolene z roku 2000 (IKDC) a pro výkon svalů flexorů a extenzorů v isokinetickém zapojení (maximální moment síly (PT), celkovou práci a poměr celkové práce) při různých úhlových rychlostech po operaci ACL. Všechny skupiny prošly čtrnácti týdenním tradičním rehabilitačním plánem po operaci ACL, poté vyplnily dotazníky a prošly testy, následoval 6týdenní tréninkový plán a opětovné přetestování a vyplnění dotazníků. Výsledky ukazují, že největší zlepšení v IKDC, TSK-CF a KOOS měla skupina s kombinovaným tréninkem. Plyometrická skupina měla i tak lepší výsledky, než skupina cvičí excentrickou fázi a výrazně lepší výsledek než kontrolní skupina v dotaznících IKDC a TSK-CF. Výsledky isokinetického testování svalů ukázaly, že skupina, která podstoupila kombinovaný trénink, dosáhla největšího zlepšení podle indexu LSI. Dále skupina, která cvičila excentrickou fázi, dosáhla nejlepších výsledků při izolovaném zapojení extenzorů, zatímco skupina, která prováděla plyometrické cvičení, dosáhla největšího zlepšení při izolovaném zapojení flexorů, opět podle indexu LSI (Kasmi et al., 2023).

6 KAZUISTIKA

muž žena věk: 22

HLAVNÍ LÉKAŘSKÁ DIAGNÓZA:

Operativní rekonstrukce ACL I. sin. BTB štěpem

KOMPLETNÍ ANAMNÉZA

OA: předchozí operace neguje

PrA: student sportovní vysoké školy

PoA: fotbal (záložník, občas na postu obránce), posilovna 2 - 3x týdně, plavání, kurzy a sportovně zaměřené semináře na vysoké škole

NYNĚJŠÍ ONEMOCNĚNÍ

Zranění proběhlo při fotbalovém utkání 7. května 2023 při sprintu a náhlé ostré změně směru. Pacient popisuje „pop“ fenomén, ostrou bolest v kolenním kloubu a následně rychle nastupující otok (údajně do několika minut). Převezen do KNTB ve Zlíně, kde po základním vyšetření byl odeslán domů bez diagnózy. Bolesti přetrvávaly hlavně v tréninku, proto se pacient objednal do Olomouce (19. června 2023) na ortopedii, kde byl pozitivně testovaný Lachmanův test a následně pacient byl poslán na MRI (8. srpna 2023). Na základě MRI byla diagnostikována totální ruptura LCA.

Operace: 23. listopadu 2023, artroskopická rekonstrukce LCA BTB I. sin.

Po operaci pacient udává vysokou bolest kolenního kloubu během prvního týdne (NŠB 7-10), pacient byl i tak motivovaný k rehabilitacím. Poté pacient nastoupil na rehabilitační kliniku ve Zlíně (nástup k rehabilitaci byl 5.1. 2024), kde podstoupil standartní rehabilitaci. Bylo dosaženo plné extenze a 100° FLX na poraněné dolní končetině. Postupně pod vedením fyzioterapeuta začal navštěvovat posilovnu, avšak aktivně se vrátit k fotbalu se stále bojí.

VYŠETŘENÍ

Posturálně-lokomoční („funkční“) stav: dřep (kok 90), schopný udělat podřepy na 1 dkk, chůze normální, ale po dlouhodobé chůzi se objevuje mírný otok a únava okolních svalů

Aspekce: standardně hojící se jizva, bez známek patologie, oblast v okolí pately je lehce oteklé

Palpace: pohyblivost pately lehce limitována laterálně, jizvu dokážeme protáhnout do všech směrů

Auskultace: při delším cvičení jde slyšet prasknutí v kolenním kloubu (při prasknutí pacient neudává bolest)

Další specifická vyšetření:

obvody:

lýtko – L (41 cm), P (41 cm)

přes patelu – L (39 cm), P (39 cm)

10 cm nad patelou – L (46 cm), P (51 cm)

ROM:

L–10-0-125; P–0-0-120

funkční vyšetření SS:

bilaterální dřep (mírná deviace pánve nad neoperovanou dolní končetinu), běh, o rychlosti 7 km/h, na běhacím trenažéru zvládá bez obtíží, vyšetření izometrické síly do extenze pomocí posilovacího stroje (v 60° FLX v KOK – 71 % LSI, v 90° FLX v KOK 75 % LSI)

ZÁVĚRY:

Pacient se standartně hojící se jizvou, 15 týdnů po operaci LCA BTB štěpem nyní s plnou extenzí a flexí 120°, mírně hypotrofické stehenní svalstvo na levé dolní končetině. Dokáže provést dřep do 90° s lehkou deviací pánve ke zdravé straně, polodřep na jedné DKK a pomalý běh na běhacím trenažéru.

KRÁTKODOBÝ REHABILITAČNÍ PLÁN

Na základě vyšetření byl pacient zařazen do úvodní fáze plyometrického tréninku. Byl seznámen s post-rehabilitačním plánem a naučil se provádět tři plyometrické cviky odpovídající první fázi.

Byl proveden trénink o padesáti opakováních, dvě série po deseti opakováních Submax broad jump (Obrázek 2), dvě série po pěti opakováních na každou dolní končetinu Step up jumps (Obrázek 3) a jedna série po pěti opakováních na každou dolní končetinu Lunge pushback (Obrázek 4). Cviky byly provedeny s důrazem na dopadovou fázi a GCT se pohybovala kolem 1 až 2 vteřin. V průběhu tréninkové jednotky pacient neudával žádnou bolest ani pocit nejistoty a na konci udával mírnou únavu.

DLOUHODOBÝ REHABILITAČNÍ PLÁN

Po měsíci rehabilitace bude pacient podroben testům, aby zjistil, zda splňuje požadavky pro přechod do druhé fáze plyometrického tréninku. V této fázi budou cvičení zaměřena na excentrickou fázi obou dolních končetin a zahrnovat budou také unilaterální plyometrii. Celkový objem tréninku bude obsahovat sto opakování s mírnou intenzitou.

Následné testování po měsíci bude sloužit k posouzení připravenosti pacienta na vstup do třetí a čtvrté fáze rehabilitace, které budou zahrnovat pokročilejší unilaterální cviky pro přípravu na návrat do sportu. Ve třetí fázi bude pacient provádět celkově 150 opakování s vysokou intenzitou unilaterálních cvičení, zatímco ve čtvrté fázi se objem zvýší na 200 opakování s velmi vysokou intenzitou.

7 DISKUSE

Poranění ACL je jedním z nejčastějších zranění u sportovců. Na základě jejich zvýšené prevalence má následná rehabilitace podrobně popsané fáze. Tyto fáze jsou však popsány pouze do osmého týdne po operaci a následný postup v rehabilitaci je spíše nastíněn.

V historii se popisovalo mnoho mechanismů poranění ACL, ve které se nejčastěji uváděl nepřímý mechanismus, kdy dochází k abdukci a zevní rotaci bérce. V dnešní době se pomocí magnetické rezonance zjistilo, že nejčastější poranění nepřímým mechanismem je v brzděném pohybu, při dopadu na plošku nebo patní kost s malou flexí v kolenním kloubu (Zhang et al., 2019). Do rizikových faktorů bychom mohli zařadit i psychickou připravenost, stres (Palmieri-Smith et al., 2021), povrch, na kterém je brzděný pohyb proveden, genetiku a další.

Mechanismus, který popisuje, že velká síla svalu quadriceps femoris způsobuje anteriorní translaci při intenzivním zvedání ze dřepu, mě zaujal nejvíce. Hledal jsem studie, které tento mechanismus potvrzují, nakonec jsem našel spíše studie, které jej vyvracejí. Například DeMorat et al. (2004) píše o možnosti selhání předního zkříženého vazy v těle zemřelého při simulované kontrakci m. quadriceps femoris o síle 4500 N v jedné vteřině. V této studii se pracovalo se třinácti kolenními klouby zemřelých a k selhání došlo pouze u šesti z nich. Musí se také brát v potaz to, že ischiokrurální svaly, tedy antagonisti m. quadriceps femoris a agonisti ACL, nebyly aktivní a nemohli zabránit přetržení ligamenta.

Trendem se stává zaměření se na efektivní konzervativní léčbu a rehabilitaci, která umožňuje obnovení funkčnosti kolena bez nutnosti chirurgického zákroku. To je zvláště významné pro ty, kteří nejsou sportovně aktivní nebo nemají zvýšené nároky na stabilizaci kolena, ale stále chtějí obnovit svou pohyblivost a kvalitu života. Budoucí výzkumy a klinické studie by nás ale mohli přesvědčit o tom, že konzervativní terapie by mohla být účinná i pro sportující populaci.

Výběr operativní nebo konzervativní léčby byl v minulosti založen na předpokladu, že ACL má omezenou schopnost hojení a tím pádem je většina ruptur ACL indikováno k operačnímu zákroku. Filbay et al. (2023) se svým Cross bracing protokolem (CBP) chtějí zdůraznit možnost efektivní konzervativní léčby a ukázat, že operační zákrok není vždy nezbytný. Při první kontrole na magnetické rezonanci mělo 90 % účastníků obnovenou kontinuitu ACL, i když na začátku byla jeho kontinuita úplně narušená. Probandi, kteří měli nejnižší stupeň podle ACL OsteoArthritis Score popisovali lepší funkci kolenního kloubu, lepší kvalitu života a s vyšším procentem návratu ke sportu. Tento stupeň se objevil u 50 % všech zúčastněných. Díky této studii máme další důkazy o hojivém potenciálu ACL sledované pomocí magnetické rezonance společně s pozitivními výsledky pacientů.

Tato studie, vzhledem k nedostatku výzkumů týkajících se konzervativní léčbě ACL a novosti CBP, poskytuje první výsledky, které mohou iniciovat další výzkumy a klinické studie zaměřené na tuto problematiku.

Operační zákrok by byl na místě, pokud by se jednalo o vícečetné poranění společně s ACL, například poranění meniskus nebo tzv. „unhappy trias“.

Další studie, která mi přišla zajímavá, je studie jednovaječných dvojčat, u kterých se objevilo poranění ACL v rozmezí dvou dní (Pelkowski et al., 2020). Tento případ potvrzuje tvrzení, že role genetiky je jeden z nejvýznamnějších rizikových faktorů pro poranění ACL. Poranění ACL v rodinné anamnéze zvyšuje riziko poranění u jednotlivce o více než 50 %. Tato informace nám naznačuje důležitost preventivního programu u sportovce s tímto údajem v anamnéze (Magnusson et al., 2021).

Plyometrie je jedna z postrehabilitačních metod, která má široké využití po zraněních různého druhu zejména u sportovců. Tato metoda využívá rychlých a intenzivních pohybů, které kombinují excentrickou a koncentrickou fázi s cílem maximalizovat využití tzv. amortizační síly země. Při plyometrických cvičeních dochází k rychlé změně směru pohybu, což stimuluje nervový systém a zlepšuje schopnost svalů reagovat na změnu zatížení. (Buckthorpe & Della Villa, 2021) Tím dochází k posílení svalů a vytvoření stabilizujícího efektu kolem kloubů, což je zvláště důležité po zranění ACL.

V zahraniční literatuře je plyometrie považovaná za důležitou součást postrehabilitačního procesu, ale česká literatura ani standardy doporučené organizací UNIFY neuvádí přesné postupy plyometrického tréninku. Fyzioterapeut neznalý v tomto oboru nebo i aktivní pacient snažící se aplikovat tento postup by mohl potenciálně způsobit nechtěné zhoršení stavu. Kvůli nedostatku informací fyzioterapeuti často neznají jednotlivé fáze a postupy při využití plyometrie a následně může dojít k poškození pacienta, nebo také reruptury v případě operovaného ACL.

V české literatuře se setkáváme pouze se zmíněním možnosti provedení plyometrie po operaci, po různých zásadnějších úrazech, anebo nejčastěji jako možnost zařazení plyometrie do preventivních programů. V standardě, doporučené organizací UNIFY, můžeme najít plyometrii pouze v primárních preventivních programech, nikoli však v sekundární. Pravděpodobně je to proto, že tento standard je pro běžnou populaci, u které se vyskytne poranění ACL.

I když je plyometrie možná i pro běžnou populaci, musí být cvičení modifikováno tak, aby odpovídalo jejich úrovni a nárokům. U sportovní populace většina českých fyzioterapeutů provede standartní rehabilitaci a následnou postrehabilitační složku přenechá v nejlepším případě na kondičním trenérovi anebo na pacientovi samotném. Absence jakéhokoliv

postrehabilitačního plánu znamená pro sportovce velké znevýhodnění. Existuje riziko, že nedostatečně řízené a příliš rychlé návraty do tréninkového procesu by mohly vést k opětovnému zranění v budoucnosti.

Plyometrie jako samostatná postrehabilitační metoda pro sportovce není dostatečná. Musí být aplikována s ostatními možnostmi tréninku, které zahrnují i optimální stimulace šlach. Tímto tématem se zabývá studie od Mersmann et al. (2017), která popisuje rozvoj dysbalancí a tendinopatií u mladých sportovců. Hypertrofii šlach můžeme dosáhnout prostřednictvím cvičení s vyšším odporem po delší dobu, zatímco plyometrie, která má krátkodobou amortizační fázi, přispívá k hypertrofii spíše svalů. Při popisu klasické plyometrie (Chmielewski et al., 2006) je udávána rychlost amortizační fáze 230 ms. To ale není možné vzít v potaz v rámci rehabilitace, jelikož minimálně v první fázi musí být tato fáze pohybu delší (cca 1-2 sekundy) pro dosažení koordinovaného dopadu a zlepšení stability kolenního kloubu. Do rychlosti 230 ms se dostáváme až v poslední fázi, kdy pacienta připravujeme na návrat do tréninkového procesu.

Mimo využití této metody na souši na různém povrchu (písek, tráva, trampolína, beton...) je možné aplikovat plyometrii i ve vodním prostředí. Tento způsob se zdá jako velmi efektivní a v některých situacích dokonce optimální možnost zatížení, avšak ne každý fyzioterapeut nebo pacient má k dispozici dostatečně vybavené prostory nebo čas, aby mohli společně navštívit bazén a provést trénink v tomto prostředí. Tato metoda má své výhody díky snížení vnějších sil na poškozenou tkáň o 62 % (Donoghue et al., 2011) a tím je vhodná pro jedince se sníženým prahem bolesti, kteří prozatím netolerují trénink na tvrdém povrchu.

8 ZÁVĚR

Ligamentum cruciatum anterius (ACL) zabezpečuje společně s PCL stabilitu kolenního kloubu. Nejčastější mechanismus úrazu této struktury bývá nepřímým mechanismem při brzděném pohybu, kdy dochází k dopadu na patní kost nebo celou plošku s malou flexí v kolenním kloubu (Zhang et al., 2019). Následná rehabilitace po operačním zákroku má několik specifických fází.

Plyometrie je jedna z post-rehabilitačních metod, která má využití po standardní rehabilitaci po rekonstrukci ACL u sportující části populace pro jejich optimálnější a rychlejší návrat do tréninkového procesu.

Bohužel při analýze dosavadních rehabilitačních protokolů byly nalezeny některé, které obsahují v pozdní fázi rehabilitaci plyometrii, ale neobsahují přesné postupy, díky kterým by se mohl fyzioterapeut, neznalý v této problematice, řídit. Cílem práce bylo popsat plyometrii, jednotlivé fáze plyometrického pohybu, mechanismus, jak funguje plyometrie a navrhnout strukturu plyometrického programu, podle kterého by se mohl fyzioterapeut, kondiční trenér nebo také aktivní pacient řídit a sestavit vlastní program. Do programu byly v práci doplněny také vlastní návrhy cviků, které si fyzioterapeut může dopravit nebo doplnit na základě typu plyometrického pohybu a cíle, kterého chce s pacientem dosáhnout.

9 SOUHRN

Tato bakalářská práce je zaměřena na shrnutí poznatků a možnosti zařazení plyometrie do rehabilitačního protokolu po rekonstrukci ACL. Rozdělil jsem práci na dvě části, teoretickou a praktickou.

První kapitola teoretické části popisuje teorii kolenního kloubu, zaměřuje se na důkladnější popis ACL, jeho proprioceptivní funkci a možnosti mechanismu poranění s rizikovými faktory. Druhá část práce se věnovala plyometrii, její historii, původem termínu a principy, jako je cyklus zkrácení-protažení, kterým plyometrie funguje, a popisem jednotlivých fází pohybu v rámci plyometrického režimu. Poslední kapitola se zaměřuje na možnost zařazení plyometrie do rehabilitačního programu po standardním rehabilitačním protokolu. Zaměřuje se na faktory, které dokážeme ovlivnit k upravení intenzity plyometrie pro sportovce. Na základě poznatků, které byly zjištěny v rámci této bakalářské práce byl popsán plyometrický program, který byl rozdělen na čtyři části a doplněn o vlastní fotografie cviků, které ze získaných poznatků vycházely.

Praktická část obsahuje vytvořenou kazuistiku sportovce po rekonstrukci ACL, na kterém byl aplikován plyometrický program, který byl popsán ve třetí kapitole teoretické části.

10 SUMMARY

This bachelor thesis is aimed at summarizing the findings and the possibility of incorporating plyometrics into the rehabilitation protocol after ACL reconstruction. I have divided the thesis into 2 parts, theoretical and practical.

In the first chapter of the theoretical part, I described the anatomy of the knee joint, in which I focused on a more thorough description of the ACL, its proprioceptive function and the possibility of a mechanism of injury with risk factors. The second part of my thesis focused on plyometrics, where I discussed its history, the origins of the term and principles such as the stretch-shortening cycle that plyometrics works through, and a description of the different phases of movement within the plyometric regime. The third chapter focuses on the possibility of incorporating plyometrics into a rehabilitation program following a standard rehabilitation protocol. In this subsection, I focus on the factors that we can influence to adjust the intensity of plyometrics for the athlete. Based on the knowledge that I have found during this thesis, I have described a plyometric program that is divided into four parts and supplemented it with my own photographs of exercises based on the knowledge I have gained.

In the practical part, I created a case study of an athlete after ACL reconstruction, on which I applied the plyometric program that I described in chapter three of the theoretical part.

11 REFERENČNÍ SEZNAM

Al Attar, W. S. A., Bakhsh, J. M., Khaledi, E. H., Ghulam, H., & Sanders, R. H. (2022). Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: a systematic review of cluster randomised trials. *Journal of Physiotherapy*, *68*(4), 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2022.09.001>

Boden, B. P., Sheehan, F. T., Torg, J. S., & Hewett, T. E. (2010). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *18*(9), 520–527. <https://doi.org/10.5435/00124635-201009000-00003>

Buckthorpe, M., & Della Villa, F. (2021). Recommendations for Plyometric Training after ACL Reconstruction – A Clinical Commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *16*(3), 879–895. <https://doi.org/10.26603/001c.23549>

Chmielewski, T. L., George, S. Z., Tillman, S. M., Moser, M. W., Lentz, T. A., Indelicato, P. A., Trumble, T. N., Shuster, J. J., Cicuttini, F. M., & Leeuwenburgh, C. (2016). Low – Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, *44*(3), 609–617. <https://doi.org/10.1177/0363546515620583>

Chmielewski, T. L., Myer, G. D., Kauffman, D., & Tillman, S. M. (2006). Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: Physiological responses and clinical application. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *36*(5), 308-319. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2013>

Čihák, R., & Grim, M. (2019). *Anatomie 1* (Vol. 3). Praha: Grada Publishing,

Davies, G. J., & Matheson, J. W. (2001). Shoulder plyometrics. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, *9*(1), 1-18. <https://doi.org/10.1097/00132585-200101000-00001>

Davies, G., Riemann, B. L., & Manske, R. (2015). Current concepts of plyometric exercise. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(6), 760–786. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4637913/>

DeMorat, G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik, S., & Garrett, W. (2004). Aggressive Quadriceps Loading Can Induce Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *American Journal of Sports Medicine*, *32*(2), 477–483. <https://doi.org/10.1177/0363546503258928>

Deng, N., Soh, K. G., Zaremohzzabieh, Z., Abdullah, B., Salleh, K. M., & Huang, D. (2023). Effects of Combined Upper and Lower Limb Plyometric Training Interventions on Physical Fitness in Athletes: A Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *20*(1), 482. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010482>

Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2011). Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian Journal of Orthopaedics*, 45(4), 294-300. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.80320>

Donoghue, O. A., Shimojo, H., & Takagi, H. (2011). Impact forces of plyometric exercises performed on land and in water. *Sports Health*, 3(3), 303–309. <https://doi.org/10.1177/1941738111403872>

Dungl, P. (2014). *Ortopedie* (Vol. 2). Praha: Grada Publishing.

Duthon, V. B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Ménétrey, J. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 14(3), 204-213. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0679-9>

Dvořák, R. (2003). *Základy kinezioterapie*. Univerzita Palackého v Olomouci.

Filbay, S. R., Dowsett, M., Chaker Jomaa, M., Rooney, J., Sabharwal, R., Lucas, P., Van Den Heever, A., Kazaglis, J., Merlino, J., Moran, M., Allwright, M., Kuah, D. E. K., Durie, R., Roger, G., Cross, M., & Cross, T. (2023). Healing of acute anterior cruciate ligament rupture on MRI and outcomes following non-surgical management with the Cross Bracing Protocol. *British Journal of Sports Medicine*, 57(23), 1490–1497. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106931>

Fukutani, A., Hashizume, S., & Isaka, T. (2023). Measurements of tendon length changes during stretch–shortening cycles in rat soleus. *Scientific Reports*, 13(1), 5381. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32370-5>

Fukutani, A., Kurihara, T., & Isaka, T. (2015). Factors of force potentiation induced by stretch-shortening cycle in plantarflexors. *PLoS ONE*, 10(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120579>

Girgis, F. G., Marshall, J. L., & Monajem, A. A. (1975). The Cruciate Ligaments of the Knee Joint: Anatomical. Functional and Experimental Analysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 106(1), 216-231. https://journals.lww.com/clinorthop/citation/1975/01000/the_cruciate_ligaments_of_the_knee_joint_33.aspx?casa_token=VuG-jWTGAbUAAAAA:a6AlkqC_jSixyT2IZY1_us_cOCq1rz_OTi8l0WT2A7v_082qmK3ZpD-USTzZEOLm_53Y_1njS082VuHe

Goldblatt, J. P., & Richmond, J. C. (2003). Anatomy and biomechanics of the knee. *Operative Techniques in Sport Medicine*, 11(3), 172-186. <https://doi.org/10.1053/otsm>

Hansen, D., & Kennelly, S. (2019). *Anatomie: Trénink výbušné síly*. C-press.

Chaloupka, R. (2001). *Vybrané kapitoly z LTV v ortopedii a traumatologii*. Vydavatelství IDVPZ.

Kapandji, A. I. (2019). *The Physiology of the Joints* (7. ed.). Handspring publishing.

Kasmi, S., Sariati, D., Hammami, R., Clark, C. C. T., Chtara, M., Hammami, A., Salah, F. Z. Ben, Saeidi, A., Ounis, O. Ben, Granacher, U., & Zouhal, H. (2023). The effects of different rehabilitation training modalities on isokinetic muscle function and male athletes' psychological status after anterior cruciate ligament reconstructions. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, *15*(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00645-z>

Kasmi, S., Zouhal, H., Hammami, R., Clark, C. C. T., Hackney, A. C., Hammami, A., Chtara, M., Chortane, S. G., Salah, F. Z. Ben, Granacher, U., & Ounis, O. Ben. (2021). The Effects of Eccentric and Plyometric Training Programs and Their Combination on Stability and the Functional Performance in the Post-ACL-Surgical Rehabilitation Period of Elite Female Athletes. *Frontiers in Physiology*, *12*(1). <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.688385>

Lord, B., Grice, J., Cox, G., Yassen, S., & Wilson, A. (2015). Anterior cruciate ligament reconstruction – evolution and current concepts. *Orthopaedics and Trauma*, *29*(1), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2014.12.002>

Magnusson, K., Turkiewicz, A., Hughes, V., Frobell, R., & Englund, M. (2021). High genetic contribution to anterior cruciate ligament rupture: Heritability ~69 %. *British Journal of Sports Medicine*, *55*(7), 385-389. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102392>

Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017). Imbalances in the development of muscle and tendon as risk factor for tendinopathies in youth athletes: A review of current evidence and concepts of prevention. *Frontiers in Physiology*, *8*(1). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00987>

Palmieri-Smith, R. M., Mack, C. D., Brophy, R. H., Owens, B. D., Herzog, M. M., Beynonn, B. D., Spindler, K. P., & Wojtys, E. M. (2021). Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Tears in the National Football League. *American Journal of Sports Medicine*, *49*(7), 1786–1793. <https://doi.org/10.1177/03635465211010146>

Pelkowski, J. N., DeMatas, K., McCoy, R. C., & Ortigueria, C. (2020). Seeing Double: A Case of ACL Tears in Monozygotic Twin Female Athletes Within 48 Hours. *Cureus*, *12*(3). <https://doi.org/10.7759/cureus.7244>

Prodromos, C. C., Brown, C. H., Fu, F. H., Georgoulis, A., Gobbi, A., Howell, S. H., Johnson, D., Paulos, L. E., & Shelbourne, K. D. (2008). The Anterior Cruciate Ligament: Reconstructon and basic science. Elsevier Saunders.

Silvers, H. J., & Mandelbaum, B. R. (2011). ACL Injury Prevention in the Athlete. *Sport-Orthopadie – Sport-Traumatologie*, *27*(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2011.01.010>

Toy, B. J., Yeasting, R. A., Morse, D. E., & McCann, P. (1995). Arterial Supply to the Human Anterior Cruciate Ligament. *Journal of athletic training*, *30*(2), 149–152. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16558326/>

Xu, C., Liu, T., Wang, M., Liu, C., Li, B., Lian, Q., Chen, T., Chen, F., Qiao, S., & Wang, Z. (2022). Comparison of proprioception recovery following anterior cruciate ligament reconstruction using an artificial graft versus an autograft. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06019-9>

Zhang, L., Hacke, J. D., Garrett, W. E., Liu, H., & Yu, B. (2019). Bone Bruises Associated with Anterior Cruciate Ligament Injury as Indicators of Injury Mechanism: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 49(3), 453–462. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01060-6>

Župková, G. (2020). *Možnosti akutní a dlouhodobé stimulace explozivní síly dolních končetin pomocí různých druhů silové postaktivační potenciace*. Brno: Masarykova Univerzita.