

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

ÚČINEK METODY BLOOD FLOW RESTRICTION U PACIENTŮ SE SVALOVOU  
HYPOTROFIÍ MUSCULUS VASTUS MEDIALIS PO ARTROSKOPICKÉ OPERACI  
MENISKU KOLENNÍHO KLOUBU

Diplomová práce

(Magisterská)

Autor: Bc. Martin Radina, obor Aplikovaná fyzioterapie

Vedoucí práce: PhDr. David Smékal, Ph.D.

Olomouc 2023

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Martin Radina

**Název bakalářské práce:** Účinek metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií musculus vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu

**Pracoviště:** Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, Katedra fyzioterapie

**Vedoucí bakalářské práce:** PhDr. David Smékal, Ph.D.

**Rok obhajoby:** 2023

**Abstrakt:** Cílem diplomové práce bylo posoudit účinek metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií musculus vastus medialis po artroskopické operaci kolenního kloubu. Pro ověření účinku byla u pacientů měřena svalová síla, obvod svalů, rozsah pohybu a funkční stav operované dolní končetiny. Studie se zúčastnilo 20 probandů z toho 13 mužů a 7 žen ve věku od 19 do 71 let. Pacienti byli náhodně rozděleni do skupiny podstupující metodu Blood Flow Restriction a skupiny podstupující standardní rehabilitaci po operaci kolenního kloubu. Všichni pacienti podstoupili vstupní vyšetření, 8 třicetiminutových terapií a výstupní vyšetření. Pro hodnocení svalové síly byl využit dynamometr Isomed 2000. Obvod stehna dolní končetiny byl měřen pomocí krejčovského metru. Rozsah pohybu byl měřen pomocí dvouramenného goniometru a funkční stav operované dolní končetiny pomocí Lysholmova skórovacího dotazníku. U obou skupin došlo po terapiích ke zvýšení svalové síly, obvodu svalů a rozsahu pohybu v kolenním kloubu. Funkční stav operované dolní končetiny byl taktéž u obou skupin zlepšen. Pacienti podstupující metodu BFR dosáhli vyššího průměrného zlepšení svalové síly o 33,9 Nm do flexe a 30,9 Nm do extenze než pacienti ve skupině standardní terapie. Dle Mann-Whitneyova U test byl statisticky významný rozdíl mezi skupinami pouze do flexe. Výstupní hodnoty nárůstu obvodu stehna byly zvýšeny u obou skupin. Skupina BFR dosáhla v průměru po konci terapii nárůstu o 1,8 cm. Tento výsledek je hodnocen jako statisticky významný. V porovnání s kontrolní skupinou, u které došlo k průměrnému zlepšení v obvodu stehna o 0,7 centimetrů byl výsledek skupiny BFR statisticky nevýznamný. V oblasti rozsahu pohybu kolenního kloubu došlo ke zlepšení u obou skupin. Výstupní hodnoty byly v průměru vyšší u skupiny BFR a to o 6° při aktivním pohybu a o 5° při pasivním pohybu do flexe. Průměrné zlepšení rozsahu pohybu bylo vyšší u skupiny podstupující standardní rehabilitaci, protože průměrný rozsah pohybu byl při vstupním vyšetření nižší. U obou skupin došlo k výraznému zlepšení

v oblasti funkčního využití operované končetiny. Výstupní hodnoty Lysholmova skóre bylo u BFR skupiny v průměru vyšší o 2,3 bodů než u skupiny standardní terapie. Tento rozdíl nebyl dle Mann-Whitneyova U test statisticky významný. Tyto výsledky částečně ukazují rehabilitační potenciál metody BFR oproti standardní rehabilitaci u pooperačních kolenních kloubů. Pro lepší zhodnocení účinnosti metody Blood Flow Restriction je potřeba dalšího výzkumu.

**Klíčová slova:** Blood Flow Restriction, rehabilitace, hypotonie, hypertrofie, menisektomie

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographic identification**

**Author's first name and surname:** Bc. Martin Radina

**Title of the thesis:** The efficacy of the Blood Flow Restriction method in patients with muscular hypotrophy of the musculus vastus medialis following arthroscopic surgery of the meniscus of the knee joint

**Workplace:** Palacký University Olomouc, Faculty of Physical Culture, Department of Physiotherapy

**Supervisor:** David Smékal, Dr., Ph.D.

**Year of presentation:** 2023

**Abstract:** The objective of this diploma thesis was to assess the efficacy of the Blood Flow Restriction method in patients with muscular hypotrophy of the musculus vastus medialis following arthroscopic surgery of the knee joint. Muscle strength, the circumference of muscles, the range of motion and the functional status of the operated lower limb were all measured in patients in order to verify the efficacy of this method. 20 probands took part in the study, 13 of these were men and 7 were women, aged between 19 and 71 years. The patients were randomly divided into a group undergoing the Blood Flow Restriction method and a group undergoing standard rehabilitation following surgery of the knee joint. All the patients underwent an entrance examination, 8 thirty-minute therapy sessions and an exit examination. An Isomed 2000 dynamometer was used to assess muscle strength. The circumference of the thigh in the lower limb was measured using a tailor's tape measure. The range of motion was measured using a two-arm goniometer and the functional status of the operated lower limb was assessed using a Lysholm scoring scale. Muscle strength, the circumference of the muscles and the range of motion in the knee joint increased in both groups. The functional status of the operated lower limb also improved in both groups. Patients undergoing the BFR method achieved a higher average increase in muscle strength by 33.9 Nm in flexion and 30.9 Nm in extension. According to the Mann-Whitney U test there was only a statistically significant difference between the groups in flexion. The output values of the increase in thigh circumference were higher in both groups. The BFR group achieved an increase by 1.8 cm on average by the end of therapy. This result is considered statistically significant. In comparison to the control group, in which the average increase in thigh circumference was by 0.7 cm, the results of the BFR group are statistically insignificant. The range of motion of the knee joint also improved in both groups. The output values were higher on

average in the BFR group, by 6° during active movement and by 5° during passive movement into flexion. The average improvement in the range of motion was higher in the group undergoing standard rehabilitation, because the average range of motion was lower during the entrance examination. There was significant improvement in the functional use of the operated limb in both groups. The output values of the Lysholm score were higher on average by 2.3 points in the BFR group compared to the group undergoing standard therapy. This difference was not statistically significant according to the Mann-Whitney U test. These results show to some extent the rehabilitation potential of the BFR method compared to standard rehabilitation of knee joints post-surgery. Further research is necessary for better assessment of the efficacy of the Blood Flow Restriction method.

**Keywords:** Blood Flow Restriction, rehabilitation, hypotonia, hypertrophy, menisectomy

I agree to the thesis being lent out within the terms of library services.

Prohlašuji, že jsem magisterskou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Davida Smékala, Ph.D., uvedl jsem všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. 4. 2023

.....

Děkuji vedoucímu této magisterské práce PhDr. Davidu Smékalovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a veškeré konzultace, které byly přínosem pro mě i tuto magisterskou práci. Dále bych chtěl poděkovat bratrovi Jakobovi, který mi vždy dokázal poradit, přivedl mě na nápad toto téma zpracovat a umožnil mi obohatit rehabilitaci v České republice. Taktéž vděčím za podporu svým rodičům, bez kterých by nebylo možné, abych mohl fyzioterapii studovat. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat snoubence Hance, která při mně stála po celou dobu vypracovávání práce.

## **SEZNAM ZKRATEK**

BFR – Blood Flow Restriction

CKV – centrum kinantropologického výzkumu

CKC – uzavřený kinematický řetězec

cm – centimetry

GH (Grow Hormon) – růstový hormon

HSP (Heat Shock Proteins) – Proteiny teplotního šoku

IGF-1 (Insulin growth factor 1) – inzulínový růstový faktor

KOK – kolenní kloub

LCA – přední křížový vaz

LCM – kolaterální mediální vaz

LOP (Limb occlusion pressure) – tlak potřebný pro zastavení toku krve

mm – milimetry

MGF (Mechano-growth factor) – mechano-růstový faktor

M.P.T. – Master of Physical Therapy

MR – magnetická rezonance

mRNA (messenger RNA) – mediátorová RNA

mTOR (mammalian target of rapamycin) – savčí cíl rapamycinu

Nm – Newtonmetr

NOS-1 (nitric oxide synthase-1) – Syntáza oxidu dusnatého-1

OKC – otevřený kinematický řetězec

PNF – Proprioceptivní neuromuskulární facilitace

PTS – Personalizovaný turniketový systém

RHB - rehabilitace

ROM (range of motion) – rozsah pohybu

ROS – reaktivní formy kyslíku



# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 ÚVOD .....</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>2 PŘEHLED POZNATKŮ .....</b>                        | <b>13</b> |
| 2.1 ANATOMIE A KINEZIOLOGIE KOLENNÍHO KLOUBU .....     | 13        |
| 2.2 MENISKY .....                                      | 19        |
| 2.2.1 Druhy menisků .....                              | 20        |
| 2.2.2 Cévní zásobení menisků .....                     | 21        |
| 2.2.3 Poranění menisků .....                           | 22        |
| 2.2.4 Diagnostika poranění menisků .....               | 24        |
| 2.2.5 Léčebné postupy .....                            | 25        |
| 2.2.6 Rehabilitační postupy po operacích menisků ..... | 27        |
| 2.3 METODA BLOOD FLOW RESTRICTION .....                | 30        |
| 2.3.1 Mechanismus působení .....                       | 31        |
| 2.3.2 Indikace metody BFR .....                        | 34        |
| 2.3.3 Kontraindikace a rizika metody .....             | 34        |
| 2.3.4 Pomůcky na metodu BFR .....                      | 36        |
| 2.3.5 Současné způsoby aplikace .....                  | 38        |
| <b>3 CÍLE A HYPOTÉZY .....</b>                         | <b>39</b> |
| 3.1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....                          | 39        |
| 3.2 HYPOTÉZY .....                                     | 39        |
| 3.3 VÝZKUMNÉ OTÁZKY .....                              | 39        |
| <b>4 METODIKA .....</b>                                | <b>40</b> |
| 4.1 DESIGN STUDIE .....                                | 40        |
| 4.2 METODIKA VÝŠETŘENÍ .....                           | 42        |
| 4.2.1 Dynamometrie .....                               | 42        |
| 4.2.2 Obvody končetin .....                            | 43        |
| 4.2.3 Rozsahy pohybu v kloubu .....                    | 43        |
| 4.2.4 Lysholmův skórovací dotazník .....               | 43        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3 METODIKA A PRŮBĚH TERAPIÍ.....                                      | 44        |
| 4.3.1 Cviky pro skupinu podstupující metodu Blood Flow Restriction..... | 44        |
| 4.3.2 Cviky pro pacienty podstupující standardní terapii.....           | 44        |
| 4.4 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT .....                                    | 45        |
| 4.5 LIMITY STUDIE .....   | 45        |
| <b>5 VÝSLEDKY .....</b>   | <b>46</b> |
| 5.1 VÝSLEDKY K HYPOTÉZE H1 .....  | 46        |
| 5.2 VÝSLEDKY K HYPOTÉZE H2 .....  | 47        |
| 5.3 VÝSLEDKY K HYPOTÉZE H3 .....  | 48        |
| 5.4 VÝSLEDKY K HYPOTÉZE H4 .....  | 50        |
| 5.5 VÝSLEDKY K VÝZKUMNÉ OTÁZCE V1 .....                                 | 52        |
| <b>6 DISKUZE .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>7 ZÁVĚR .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>8 SOUHRN .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>9 SUMMARY.....</b>   | <b>67</b> |
| <b>10 REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>                                       | <b>69</b> |
| <b>11 PŘÍLOHY .....</b>   | <b>87</b> |

## 1 ÚVOD

V dnešní době je jedním z nejčastěji léčených problémů kolenního kloubu poranění menisků (Pogorelič et al., 2020). Poškození menisků bylo v populaci zaznamenáno nejčastěji ve třetí, čtvrté a páté dekádě lidského života (Cavanaugh, 2014). Wesdorp et al. (2020) udávají, že symptomatické zranění menisků je nejčastější poranění kolenního kloubu, postihujících až 8 z 1000 lidí každý rok v závislosti na jejich aktivitě. Mezi významné rizikové faktory poranění menisků můžeme zařadit pohlaví, kdy mají menisky častěji poškozené muži z důvodu většího fyzicky náročného pracovního zatížení. K akutnímu poranění menisků mohou přispět sportovní aktivity, mezi které můžeme řadit například fotbal a rugby (Snoeker et al., 2013). Pogorelič et al. (2020) dále přidávají mezi rizikové sporty basketbal, baseball, americký fotbal a lyžování.

Trhliny menisku jsou tradičně považovány za traumatické či degenerativní. V současné době je tato kategorizace založena na anamnéze, mechanismu úrazu, věku pacienta a zobrazovacích metodách, a to hlavně magnetickou rezonancí, díky které dokážeme zobrazit a určit specifický vzor přetržení menisku. Tato klasifikace patologie menisku je zásadní pro klinické rozhodování. Traumatické trhliny menisku se většinou léčí artroskopickou parciální menisektomií nebo suturou (Beaufils et al., 2017). Zatímco u degenerativních trhlin menisků je první volbou neoperativní léčba (Beaufils et al., 2017).

Základním postupem rehabilitace menisků je individuální přístup k pacientům (Cavanaugh & Killian, 2012). V dnešní době se při léčbě poranění a následné pooperační péči využívá nejvíce syntetických metod jako je například proprioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF). Dále se v následné rehabilitaci využívá metod senzomotorické stimulace a analytického posilování.

Mezi novější principy rehabilitace kolenního kloubu po artroskopických operacích bychom mohli zařadit metodu Blood Flow Restriction (BFR). Metoda BFR byla popularizována díky Johnymu Owensovi, M.P.T., který poprvé tuto metodu využil u vojáků poraněných na vojenských misích (DePhillipo et al., 2018). Samotná metoda Blood Flow Restriction funguje na principu přiložení zevní manžety na nejproximálnější místo nad poraněné místo, což v našem případě je kolenní kloub a nejvíce zasažený sval musculus vastus medialis (Hwang & Willoughby, 2019). Důsledkem přiložení této manžety by mělo docházet k zvýšené hypertrofii svalových vláken a rychlejšímu návratu svalové síly do celé dolní končetiny.

Tato pilotní studie je první klinickou studií sledující vliv metody Blood Flow Restriction na hypotrofii či hypotonii svalů po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu na území České republiky. Cílem studie v praktické části této práce je posoudit efektivitu metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod svalů, rozsah pohybu a každodenní funkčnost zkoumané končetiny. Zároveň kromě již zmíněných parametrů, bude práce porovnávat již známé kinezioterapeutické postupy rehabilitace a metodu Blood Flow Restriction. Výsledky této studie mohou pomoci se zařazením metody Blood Flow Restriction jako možnosti v rehabilitaci pooperačních i jiných svalových oslabení.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Anatomie a kineziologie kolenního kloubu

Kolenní kloub je jedním z nejsložitějších kloubů v lidském těle. Zároveň je tento kloub jedním z hlavních kloubů dolní končetiny. Samotný kloub musí snášet velkou zátěž, velké množství pohybů a je centrem aktivity na dolní končetině. Anatomicky se kolenní kloub skládá z komplexu tří kostí a většího počtu ligament. Mezi tyto tři kosti patří femur, tibiae a patela (Wang, 2022). Do ligament, fascií a svalů, které zpevňují kolenní kloub, řadíme z anteriorní strany patelární šlachy, patelární retikulární vlákna a čtyřhlavý sval stehenní. Z laterální strany zpevňují koleno laterální kolaterální ligamentum, laterální patelární retikulární vlákna, iliotibiální trakt a ze svalů dvouhlavý sval stehenní, šlacha popliteálního svalu a laterální hlava tříhlavého svalu lýtkového. Z posteriorní strany je stabilita zajišťována pomocí ligamentum popliteum obliquum, ligamentum popliteum arcuatum a ze svalů pomocí popliteálního svalu, hamstringů a zejména šlachou m. semimembranosus. Mediální stabilitu zajišťuje mediální kolaterální ligamentum a patelofemorální ligamentum a svaly upínající se do pes anserinus. Nitrokloubně je stabilita zajišťována pomocí předního a zadního zkříženého vazy. Všechny tyto struktury jsou doplňovány mediálním a laterálním meniskem (Neumann, 2013)

Samotné koleno lze pojmut jako 2 klouby – tibiofemorální a patelofemorální. Stabilita kloubu je zabezpečována kombinací statických vazů, dynamických svalových sil, meniskokapsulární aponeurózy, kostní topografii a zatížením kloubu (Flandry & Hommel, 2011).

Hlavní funkce kolenního kloubu je dle Harputa (2020) přenášení sil z femuru na tibií, jejich absorpce a redistribuce během aktivit a umožnění lokomoce s minimální spotřebou energie.

Lokomoci umožňují pohyby v kolenním kloubu. Tyto pohyby jsou definované pomocí stupňů volnosti. Kapandji (2002) říká, že kolenní kloub má převážně jeden stupeň volnosti, který nám dovoluje přiblížit distální část končetiny (tibií, fibulu, nohu) k proximální části končetiny (femuru) a obráceně. Dále však dodává, že má kolenní kloub ještě jeden stupeň volnosti. Tento stupeň volnosti je přibližně 30 až 40° a objevuje se pouze při flexi, kdy dochází k rotačnímu pohybu bérce.

Z mechanického hlediska musí koleno skloubit dva vzájemně vylučující se požadavky. Tyto požadavky znamenají dostatečnou stabilitu při plné extenzi, kdy jsou kladeny velké

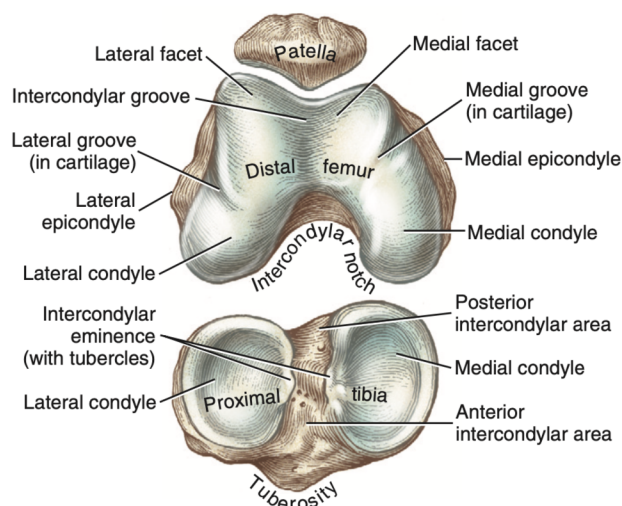
požadavky na kloub jako takový v důsledku zatížení váhou těla a délkou páky. Zároveň však musí mít dostatečnou mobilitu pro dosažení určitého stupně flexe (Kapandji, 2002).

Koleno tyto problémy řeší velmi důmyslným mechanickým postavením, ale zároveň špatným vzájemným spojením povrchů kostí, což dělá koleno velmi náchylným k různým podvrtnutím a vykloubením (Kapandji, 2002).

Základními pohyby v kolenním kloubu jsou flexe a extenze. Kromě těchto dvou pohybů se v kolenním kloubu dějí ještě malé mediální a laterální rotace. Všechny pohyby v kolenním kloubu jsou možné díky stavbě a spojení kloubních ploch na femuru, tibií a patelle.

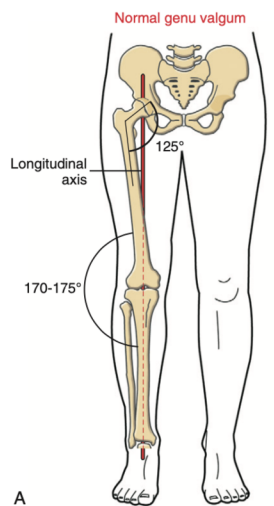
Jak již bylo popsáno v předchozích odstavcích, samotný kolenní kloub se skládá ze dvou kloubů. Tibiofemorální kloub je složen, jak již z názvu vyplývá z tibií a femuru. Na distálním konci femuru se nachází dvě velké konvexní plochy, jež nazýváme mediální a laterální kondyl femuru (Obr. 1). Z laterálního pohledu mají kondyly tvar vačky. Jestliže však oba kondyly porovnáme, tak má mediální kondyl oproti laterálnímu větší poloměr zakřivení. Rozdělení obou kondylů vytváří tzv. interkondylární zářez v zadní části a trochleární rýhu v přední části. Přední plochy mediálního a laterálního kondylu femuru zajišťují artikulaci česky. Uvnitř interkondylárního zářezu dále nalézáme místo úponu předního a zadního zkříženého vazy. Kondyly femuru tvoří plochy, jež artikulují s plochami na tibií (Harput, 2020).

Na proximálním konci tibií dochází k rozšiřování a tvorbě mediálního a laterálního kondylu, které tvoří kloubní plochy s distálním femurem (Obr. 1). Superiorní povrchy kondylů tvoří oblast, jež je často označována jako tibiální plató. Na tibiálním plató se dále nalézají dvě hladké kloubní plochy, na něž nasedají velké kondyly femuru a tvoří mediální a laterální kompartmenty tibiofemorálního kloubu. Větší, mediální kloubní plocha na tibií, je mírně konkávní, zatímco laterální kloubní plocha je plochá až mírně konvexní (Neumann, 2013). Kloubní plochy jsou ve středu odděleny interkondylární eminencí, tvořenou nepravidelně tvarovanými mediálními a laterálními hrbolky. Do interkondylární oblasti tibií se upínají přední a zadní zkřížený vaz a oba menisky (Harput, 2020).

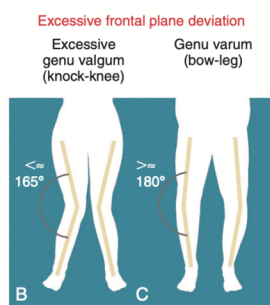


Obrázek 1. Osteologie pravé česky, kloubních ploch distálního femuru a proximální tibie (Neumann, 2013)

Tibiofemorální kloub, jak již bylo zmíněno, se skládá z femuru a tibie. Tělo femuru se při sestupu ke kolenu mírně naklání mediálně. Toto zešikmení je výsledkem přirozeného úhlu  $125^\circ$  proximálního femuru (Obr. 2). Kloubní plocha proximální části tibie je oproti femuru orientována téměř horizontálně, a proto kolenní kloub svírá na své laterální straně úhel přibližně  $170^\circ$  až  $175^\circ$ . Toto „normální“ postavení kolenního kloubu se nazývá genu valgum. Je však důležité zmínit, že variace v postavení kolene ve frontální rovině nejsou neobvyklé. Jestliže nalézáme úhel menší než  $170^\circ$ , tak mluvíme o excesivní variaci genu valgum, kdy kolena směřují do písmene „X“. Naopak pokud bude úhel větší než  $180^\circ$ , tak mluvíme o genu varum, kdy kolena směřují do písmene „O“ (Neumann, 2013).



A



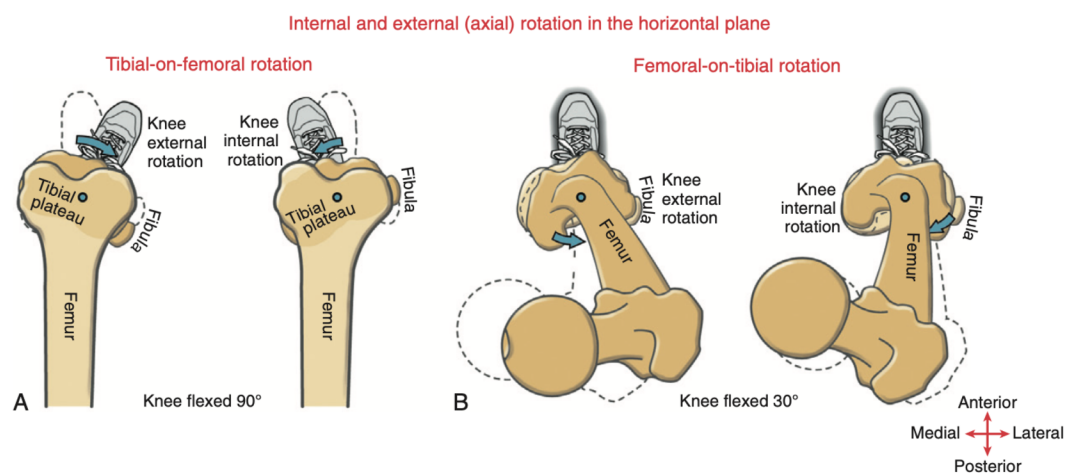
B

C

Obrázek 2. Odchyly ve frontální rovině kolena. A – normální genu valgum s úhlem 125°. B a C – abnormální odchyly ve frontální rovině (Neumann, 2013).

Samotný tibiofemorální kloub má dva stupně volnosti v sagitální rovině a až sedm v rovině frontální, které lze rozeznat pouze pasivně (Neumann, 2013). Harput (2020) tvrdí, že lze pomocí počítačové analýzy rozlišit až šest stupňů volnosti pro tibiofemorální kloub. Těchto šest stupňů volnosti zahrnují tři rotace (zevní a vnitřní rotaci, abdukci s addukcí a flexi s extenzí) a tři translační pohyby (přední a zadní zásuvka, mediolaterální posun a kompresi s distrakcí). V mediolaterální ose probíhají konkrétně pohyby do flexe s extenzí a mediolaterální posun. V předozadní ose probíhají pohyby do abdukce s addukcí a předozadní zásuvka. V superioinferiorní ose dochází k vnitřní a zevní rotaci s distrakcí a kompresí (Obr. 3).





Obrázek 3. Vnitřní a vnější (axiální) rotace pravého kolena. A – femur je stacionární, holenní kost se pohybuje. B – femur se pohybuje, holenní kost je nehybná (Neumann, 2013).

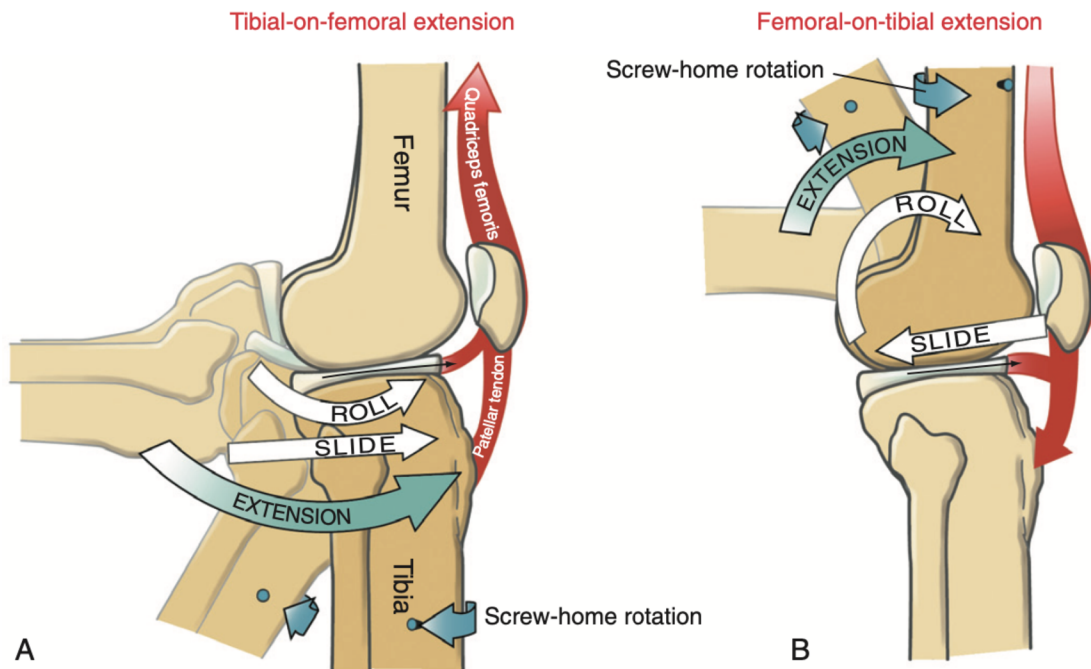
Co se týče samotných pohybů flexe a extenze, tak k nim dochází kolem mediálně – laterální osy rotace. Rozsah pohybu (ROM) v kolenním kloubu se u zdravého jedince pohybuje od 130 do 150 stupňů flexe a do asi 5 až 10 stupňů extenze. Na ROM v kolenním kloubu má vliv věk a pohlaví daného jedince (Oatis, 2009).

Mediálně – laterální osa rotace pro flexi a extenzi není pevná. Při pohybech dochází k její migraci v kondylech na femuru. Jako „evoluta“ se označuje zakřivená dráha medio – laterální osy. Zakřivení je ovlivněno excentrickým zakřivením kondylů femuru. Pohyb této osy rotace má biomechanické i klinické důsledky. Důsledkem této migrace je změna délky ramena síly flexorů a extenzorů kolena. Tímto se částečně vysvětluje změna vnitřního maximálního momentu maximálního úsilí v celém ROM (Neumann, 2013).

Vnitřní a vnější rotace kolenního kloubu probíhá kolem vertikální nebo podélné osy rotace. Obecně platí, že se zvyšující se flexí roste i volnost axiální rotace. ROM vnitřní axiální rotace přesahuje vnější axiální rotaci asi 2:1. V maximální extenzi koleno nevykonává žádnou axiální rotaci (Neumann, 2013).

Při vykonávání flexe a extenze se v kolenním kloubu děje několik pohybů současně. Během extenze kolenního kloubu, kdy dochází k pohybu tibie vůči femuru se kloubní plocha tibie roluje a klouže vpřed po kondylech femuru (Obr. 4, A). Souběžně s pohybem kloubní plochy dochází k posunu menisků vpřed. Během extenze femuru na tibií se kondyly femuru současně rolují dopředu a klouzají dozadu po kloubním povrchu tibie (Obr. 4, B). Díky těmto „kompenzačním“ pohybům dochází k omezení velikosti anteriorní translace femuru na tibií. Čtyřhlavý sval stehenní vede pohyb kondylů femuru

a stabilizuje menisky proti horizontálnímu uskřinutí způsobenému klouzajícím femurem (Neumann, 2013).



Obrázek 4. Aktivní pohyb v kloubu při extenzi KOK. Část A – pohyb tibie po femuru. Část B – pohyb femuru po tibii. V částech A i B – je meniskus tažen ke kontrahujícímu se čtyřhlavému svalu stehennímu (Neumann, 2013).

Jestliže se kolenní kloub dostane do plné extenze, tak dochází k uzamčení kolena pomocí „screw – home locking mechanismu“. Tento mechanismus je patrný během posledních 20 stupňů extenze. Dochází k zevní rotaci tibie a následnému zablokování extenze (Harput, 2020). Piazza a Cavanagh (2000) píše, že k tomuto zamykacímu mechanismu dochází díky asymetrii kondylů na femuru. Harput (2020) říká, že je mediální kondyl femuru přibližně o 1,7 cm delší než laterální. Díky tomu dochází po mediálním kondylu k delšímu klouzavému pohybu a zevní rotaci tibie.

Odemknutí kolenního kloubu je odstartováno pomocí popliteálního svalu, který funguje jako vnitřní rotátor tibie a zahajuje pohyb KOK do flexe (Harput, 2020). Kim et al. (2015) píše ve své práci, že nejprve z plné extenze do zhruba 20° flexe dochází ke klouzavému pohybu na delším mediálním kondylu femuru a tím pádem k relativní vnitřní rotaci tibie. Nazývají tento mechanismus jako obrácený zamykací mechanismus. Neumann (2013) říká, že je tento „screw – home locking mechanismus“ závislý na třech faktorech. Mezi tyto faktory řadí tvar mediálního kondylu femuru, pasivní napětí v předním zkříženém vazů (LCA) a mírný laterální tah čtyřhlavého svalu stehenního. Jako nejdůležitější faktor z těchto tří považuje tvar mediálního kondylu femuru. Kim et

al. (2015) dále udávají, že tento mechanismus je charakteristickým znakem zdravého pohybu kolene. Jeho absence je často popisována jako indikátor nestability nebo poškození kloubu, jako je např. natržení menisků.

## 2.2 Menisky

Menisky jsou klíny vazivové chrupavky ve tvaru půlměsíce umístěné na mediální a laterální šterbině kolena (Fox et al., 2015). Leží mezi kondyly femuru a tibiální plošinou na odpovídající straně kolena (Bryceland et al., 2017). Menisky díky své složité anatomii slouží k různým biomechanickým funkcím, jako je nosnost zátěže, vytváření kontaktní plochy, vedení rotace a stabilizace translace. Mediální meniskus je širší než laterální, i když jeho tělo je o něco nižší (Flandry & Hommel, 2011). Bryceland et al. (2017) píše ve své práci, že tvar mediálního menisku je půlkruhový, 40 až 45 mm dlouhý, přibližně 27 mm široký a pokrývající 51 % až 71 % mediálního kloubního povrchu. Oproti mediálnímu menisku vykazuje laterální meniskus větší rozmanitost ve velikosti, tvaru a tloušťce. Laterální meniskus je kratší. Jeho délka je přibližně 32 až 35 mm a je kruhovitě tvaru. Tibiální kloubní plochu pokrývá přibližně ze 75 % až 93 % (Bryceland et al., 2017).

Uchycení menisků je zprostředkováno pomocí úponové kotvy na spodní subchondrální kost tibiálního plateau (Fox et al., 2015). Přední roh mediálního menisku může mít velmi variabilní místo ukotvení, které je však velmi pevné. Nejčastěji se kotví do přední části tibie a předního zkříženého vazů v blízkosti interkondylární jamky. V některých případech dochází k ukotvení i přímo do pevné části tibiálního plateau. Zadní roh mediálního menisku se připojuje k tibií těsně před místem úponu zadního zkříženého vazů (Fox et al., 2015). Po svém obvodu se upíná přes kapsulární ligamenta ke kloubnímu lemu přibližně 5 mm distálně od kloubního okraje (Flandry & Hommel, 2011). Co se týče pohyblivosti, tak Bryceland et al. (2017) píše, že je poměrně nepohyblivý právě díky pevnému připojení k hluboké části mediálního kolaterálního vazů a perifernímu připojení ke kloubnímu pouzdru.

Laterální meniskus se předním rohem upíná k interkondylární jamce do oblasti úponu předního zkříženého vazů. Posteriošní část menisku se kotví na laterální tibiální okraj a do vazů Wrisberga (posteriošní meniskofemorální ligamenta) a Humphryho (anteriošní meniskofemorální ligamenta). Periferní připojení laterálního menisku je paralelní s připojením mediálního menisku. Na spojnici prvních dvou třetin a zadní

třetiny je periferní úpon laterálního menisku přerušen popliteálním hiátem (Flandry & Hommel, 2011). Laterální meniskus je díky svému ukotvení, velikosti a tvaru značně více mobilní než meniskus mediální (Fox et al., 2015).

Rozdíl mezi posuny mediálního a laterálního menisku je znatelný. Thompson et al. (1991) ve své studii udávají, že během flexe byl posun u mediálního menisku 5,1 mm a u laterálního menisku 11,2 mm. Kapandji (2002) píše, že při flexi dochází u laterálního menisku až k 12 mm posunu oproti 6 mm u menisku mediálního.

Kapandji (2002) píše, že existují pouze dva faktory, které zapříčiňují tyto pohyby menisků. První je pasivní, kdy k pohybu dochází pomocí femorálních kondylů vytlačujících menisky směrem dopředu. Druhý je aktivní. Během extenze dochází k tažení menisků dopředu pomocí meniskopatelárních vláken, jež jsou nataženy v důsledku dopředného pohybu pately. Během flexe je mediální meniskus tažen posteriorně pomocí úponu semimembrálního svalu, který je přichycen na jeho posteriorní okraj, zatímco jeho anteriorní část je tažena pomocí vláken z předního křížového vazy. Laterální meniskus je tažen posteriorně pomocí popliteálního svalu.

Během axiální rotace následují menisky pohyby kondylů femuru. Při laterální rotaci je zevní meniskus tažen směrem k přední části tibiálního kondylu, zatímco mediální meniskus je tažen posteriorně. Při mediální rotaci dochází k opačným tahům menisků než v případě laterální rotace (Kapandji, 2002).

### **2.2.1 Druhy menisků**

V lidském kolenním kloubu existují různě tvarované menisky. Takové abnormálně tvarované menisky nazýváme jako diskoidní. Nejvíce se tyto pozměněné menisky nacházejí na laterální straně kolenního kloubu. Mediální meniskus je anatomicky změněn jen velmi zřídka (Kushare et al., 2015). Kale et al. (2006) ve své studii píše, že laterální menisky můžeme rozdělit do dvou skupin, a to jako diskoidní a nediskoidní. Dále v této studii dělí diskoidní menisky na kompletní a nekompletní. Nediskoidní menisky autoři dělí na poloměsíčité a tvarované do písmene C. Vnitřní menisky jsou rozděleny na tvary písmene U položeného bokem, V, C a srpkovitěho tvaru.

Jestliže meniskus překrývá kruhovitě tibiální plateau, tak mluvíme o diskoidním menisku. Nekompletní diskoidní menisky mají otevřenou oblast v centru menisku a tvarem připomínají podkovu. Jestliže nemají otevřenou oblast v centru menisku, tak mluvíme o kompletním diskoidním menisku. Menisky mající tenký přední a zadní roh

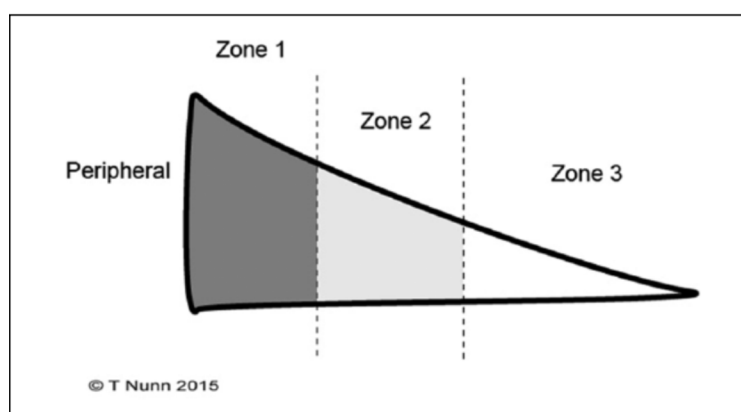
společně s tenkým tělem nazýváme jako srpkovitý nebo semilunární typ. Jestliže má meniskus tlustý přední roh, zadní roh a tlusté tělo, tak hovoříme o typu koňské podkovy. Menisky s tenkým předním a zadním rohem ale tlustým tělem identifikujeme jako srpkovitý typ. A menisky, které se tvarem podobaly položenému U, V a C jsou pojmenovány jako „ležaté“ U, V a C (Kale et al., 2006).

### 2.2.2 Cévní zásobení menisků

Cévní zásobení menisků je relativně nízké. Můžeme říct, že lze meniskus považovat jako avaskulární strukturu s omezeným periferním krevním zásobením (Fox et al., 2012). Hlavní zásobení menisků obstarávají převážně dolní a horní laterální a mediální geniculární tepny skrz parameniskální kapilární plexus (Bryceland et al., 2017). Fox et al. (2015) dodávají, že se jedná o větve popliteální arterie.

Periferních 10 % až 30 % okraje mediálního menisku a 10 % až 25 % laterálního menisku je relativně dobře vaskularizováno, což je důležitým aspektem pro jejich hojení. Endoligamentózní cévy z předních a zadních rohů putují na krátkou vzdálenost meniskem a tvoří přímé cesty pro výživu pomocí terminálních smyček (Fox et al., 2015). Zbývající části menisků (65 % až 75 %) jsou vyživovány ze synoviální tekutiny pomocí difuze nebo mechanickým pumpováním (pohyb kloubu) (Fox et al., 2012).

Díky rozdělení menisku na vaskularizovanou a avaskulární část vznikají tři zóny (Obr. 5). První zóna je tzv. červená zóna, která je relativně dobře vaskularizována. Druhou a zároveň přechodnou zónou je červeno – bílá. Poslední třetí zóna je bílá, jež je avaskulární (Bryceland et al., 2017).



Obrázek 5. Cévní zóny menisku (Bryceland et al., 2017).

### 2.2.3 Poranění menisků

Poškození menisků je časté zranění kolenního kloubu vyskytující se jak u normální populace, tak u sportovců (Neumann, 2013). Mediální meniskus bývá poraněn znatelně více než meniskus laterální v poměru přibližně 2:1. Akutní úraz menisků se častěji vyskytuje u mladší populace, kdy mechanismem úrazu bývá nejčastěji sportovní aktivita. Degenerativní poškození poté bývá častější u starší populace (McDermott, 2006). Fox et al. (2015) ve svém článku píše, že dochází k častějšímu zranění v oblasti menisků u mužů než u žen, a to v poměru od 2,5:1 až do 4:1.

Mezi časté symptomy vyskytující se při natržení nebo přetržení menisků jsou dle Fox et al. (2015) bolest, lehký otok („výpotek“). Méně častými jsou poté uzamčení kolenního kloubu, blokace, krepitace, různé druhy přeskokování či nestabilita. Frekvence a závažnost příznaků se liší v závislosti na velikosti trhliny menisku.

Natržení nebo úplné přetržení menisků je často spojeno se silnou axiální rotací femorálních kondylů přes částečně flektovaný a zatěžovaný kolenní kloub (Neumann, 2013). Akutní trhliny se mohou také objevit jako součást většího kombinovaného poranění kolena. Zejména se jedná o rupturu mediálního kolaterálního vazy, předního zkříženého vazy a mediálního menisku známé jako „nešťastná triáda“. Toto kombinované zranění kolenního kloubu vzniká v důsledku vynuceného valgózního postavení a zevní rotace na zatížené dolní končetině, například při pádu na lyžích (McDermott, 2006).

Zranění menisků lze klasifikovat na základě vzoru a umístění přetržení či natržení. Popsané vzory přetržení zahrnují vertikálně – podélné trhliny, šikmé trhliny („papouščí zobák nebo klapka), radiální trhliny, horizontální (příčné nebo štěpné) trhliny a komplexní trhliny (Obr. 6) (Mulry & McIntyre, 2018). Vertikální, šikmé a radiální trhliny nalézáme častěji u mladších pacientů, zatímco horizontální a komplexní trhliny u starších pacientů (Metcalf & Barrett, 2004).

Vertikálně – podélné trhliny menisků jsou často výsledkem traumatické události a jsou přidružené k poranění předního zkříženého vazy. Vertikální trhliny jsou orientovány kolmo k tibiálnímu plató a paralelně s dlouhou osou těla menisku. Rozdělují meniskus na centrální a periferní části ale nedochází k šíření trhliny do středu menisku (Nguyen et al., 2014). Velké, nestabilní vertikální trhliny dislokující se ve směru interkondylárního zářezu, se nazývají „trhliny rukojeti kyblíku“. Kromě bolesti mohou tyto trhliny způsobit mechanické problémy kolenního kloubu jako je částečné nebo úplné zablokování kolena. Operace menisku je doporučována pro většinu vertikálních nebo podélných trhlín (Beaufils et al., 2017).

Stejně jako vertikální trhliny jsou radiální trhliny typicky traumatického původu a jsou často pozorovány u mladších pacientů. Tyto trhliny jsou orientovány kolmo k tibiálnímu plateau a dlouhé ose menisku. Vyskytují se nejčastěji na spojení zadního rohu menisku a jeho těla. Radiální trhliny zadního rohu menisku tvoří přibližně 28 % všech trhlín. Radiální trhliny jsou problematické, protože ovlivňují biomechaniku kolenního kloubu (Bedi et al., 2010). Dle Beaufilse et al. (2017) dochází ke kompletní ztrátě funkce menisků za předpokladu, že se trhlina rozšíří až k periferní části. Dále píší, že v případě trhliny v červené nebo přechodné zóně by mělo docházet k operační reparaci menisku z důvodu obnovení integrity menisku. Bedi et al. (2010) píší, že by se radiální trhliny měly operačně řešit sešitím pouze v případě kompletních přetržení z důvodu prevence následných degenerativních procesů z důvodu ztráty funkce menisku. Beaufils et al. (2017) dodávají, že jestliže není meniskus přetržený kompletně a trhlina se nachází v bílé zóně menisku, tak je možné provést parciální menisektomii.

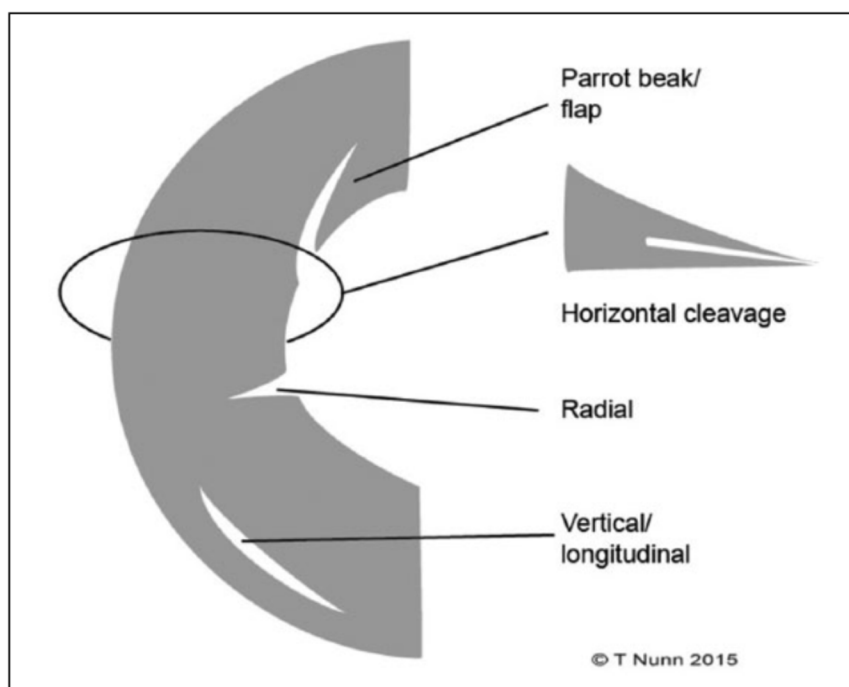
Horizontální trhliny probíhají paralelně s tibiálním plateau a začínají na centrálním okraji menisku nebo na jednom z kloubních povrchů. Jestliže se trhlina rozšíří k periférii, tak dojde k rozdělení menisku na horní a dolní polovinu. Horizontální trhliny se nejčastěji vyskytují u pacientů okolo 40 roku života v souvislosti s degenerativními procesy v kolenním kloubu (Nguyen et al., 2014). Horizontální trhliny se nejčastěji vyskytují v posteriorní části mediálního menisku. Pokud se tento druh trhliny vyskytuje v laterálním menisku, tak může být spojen s výskytem meniskové cysty (Fox et al., 2015). Horizontální trhliny jsou indikovány k parciální menisektomii menšího ze dvou cípů s dekompresí parameniskální cysty u starších pacientů, kteří trpí symptomy a nereagují na konzervativní léčbu (Beaufils et al., 2017).

Zobákovité trhliny jsou zdánlivě podobné trhlinám radiálním, ale vyskytují se šikmo k obvodovým vláknům menisku. Trhliny tohoto typu jsou ve většině případů traumatického původu a mohou způsobit bolestivé mechanické příznaky. Bolest se objevuje nejčastěji pokud se z trhliny odchlípne velká chlopeň meniskové tkáně. V tomto případě je doporučovaná menisektomie pro šikmé trhliny z důvodu výskytu v avaskulární zóně (Shieh et al., 2013).

Komplexní trhliny zahrnují dva a více vzorů trhlín vyskytujících se ve více rovinách. Komplexní poškození menisku je často degenerativního charakteru a může se projevovat kavitacemi, změkčením nebo fibrilacemi meniskové tkáně (Mulry & McIntyre, 2018). Často se zdá, že je meniskus fragmentovaný, kdy tato iluze je vytvořena samotnou trhlinou, jenž se rozprostírá ve více rovinách (Nguyen et al., 2014). Vzhledem

k degenerativní povaze vzniku komplexních poškození menisku se trhliny obvykle nedají opravit, a tak je první volbou léčby částečná menisektomie (Beaufils et al., 2017).

Trhliny úponů menisků jsou časté, pokud se do této skupiny zařazují posteriorní degenerativní léze menisků. Skutečné traumatické avulze úponů jsou vzácné a vyskytují se často s trhlinami nebo přetržením předního křížového vaz. Nejčastější lokalizace takové trhliny je na laterální straně kolenního kloubu (Ahn et al., 2012). Mulry a McIntyre (2018) ve své práci píší, že jsou úponové poranění menisku významné, protože vedou k přerušení obvodových vláken menisku. Tyto trhliny odpovídají celkové funkční menisektomii. Ahn et al. (2012) píší, že by traumatické trhliny měly být řešeny operačně, a to zvláště pokud je natržen meniskofemorální vaz.



Obrázek 6. Druhy poranění menisku (Bryceland et al., 2017).

#### 2.2.4 Diagnostika poranění menisků

Diagnostika poranění menisků zahrnuje široké množství jak klinických, tak zobrazovacích metod. Správná diagnostika trhlín menisku zahrnuje podrobnou anamnézu, fyzikální vyšetření, zobrazovací a speciální testy. Pomocí podrobné anamnézy můžeme zjistit příčinu poranění menisku a vytvořit si představu o aktuálním stavu. Díky klinickým testům můžeme po odebrání podrobné anamnézy potvrdit či vyvrátit naše podezření na přetržení menisku (Luvsannyam et al., 2022). Bhan (2020) píše, že symptomy poškození menisků lze identifikovat pomocí pohybů dolních končetin v různých polohách a pomocí samotné chůze a dřepu pacienta. Je však důležité pamatovat



na to, že závažnost příznaků málokdy odpovídá typu a lokalizaci trhliny (Doral et al., 2018). Proto je důležité provádět pro potvrzení diagnózy zobrazovací metody nebo artroskopické vyšetření, které však bez terapeutické komponenty není doporučováno (Bhan, 2020). Speciální klinické testy jako McMurrayho, Apleyho, Steinmanovy testy jsou doporučovány pro diagnostiku trhlín menisků, ale jejich přesnost a spolehlivost je nízká (Smith et al., 2015). Průměrná senzitivita a specifita pro McMurrayho test byla 70,5 % a 71,1 %. Senzitivita a specifita pro Apleyho test činila v průměru 60,7 % a 70,2 % (Bronstein, & Schaffer, 2017). Obyčejné rentgenové vyšetření není vhodné pro rutinní hodnocení poškození menisků. Avšak lze ho využít jako prostředek k vyloučení jiných poškození kolenního kloubu, jenž mohou mít podobné symptomy jako přetržení menisků (Bhan, 2020).

Hlavní volbou pro diagnostiku menisků je magnetická rezonance (MR). Senzitivita a specifita MR pro diagnostiku trhlín menisků dosahuje 88 % až 93 % (Maffulli et al., 2010). Magnetická rezonance nám může odhalovat základní charakteristiky trhlín menisků, jako je umístění, délka, tvar a hloubka trhliny (Maffulli et al., 2010). Nejvíce užitečnou zobrazovací rovinou pro odhalení patologie menisků při MR je sagitální rovina. Frontální zobrazovací rovina zlepšuje detekci radiálních, horizontálních, posunutých trhlín a trhlín „rukojeti kbelíku“. Transversální projekce nám pomáhá diagnostikovat radiální, vertikální, komplexní, posunuté a laterální trhlíny menisků (Maffulli et al., 2010).

### **2.2.5 Léčebné postupy**

Zvýšený výskyt osteoartrózy po vyjmutí části nebo celého menisku donutil ortopedy co nejvíce chránit, opravovat nebo rekonstruovat menisky. Rozhodnutí o použití operačních nebo konzervativních postupů by se mělo provádět po uvážení faktorů souvisejících s pacienty a tíží poškození menisků. Mezi faktory související s pacientem řadíme věk, úroveň aktivity, životní styl, celkový zdravotní stav a očekávání pacienta. Mezi faktory tíže poškození řadíme umístění a typ léze, etiologii vzniku poranění, kvalitu tkáně a související léze. Je na zodpovědnosti ortopeda kombinovat klinické informace, radiologické snímky a klinické zkušenosti ve snaze vybrat správný postup podle faktorů souvisejících s pacientem a lézí (Doral et al., 2018).

Neoperační léčba je užitečná pro počáteční léčbu akutního poranění kolene a jako první volba léčby u degenerativních trhlín menisků. V nejakutnější fázi zranění se doporučuje používat protokol „PRICE“ (ochrana, odpočinek, led, komprese a elevace)

(Doral et al., 2018). Ke zmírnění otoku a bolesti mohou být předepsány nesteroidní protizánětlivé léky a léky proti bolesti. U degenerativních a jednoduchých traumatických trhlin menisků zahrnuje další konzervativní léčba použití kolenní ortézy, odlehčování zraněné dolní končetiny, fyzioterapii a fyzikální terapii. Fyzioterapie by měla začít co nejdříve po poranění. Mezi postupy, jež by měly být zahrnuty v časné fyzioterapii řadíme cviky na zvětšení bezbolestného rozsahu pohybu, cviky na posílení svalů zasažené dolní končetiny a celkově na stabilizaci poraněného kolenního kloubu. Pacienti by také měli být vedeni k vytrvalostním aktivitám, které snižují mechanickou zátěž v kolenním kloubu (Luvsannyam et al., 2022).

Operační léčba zahrnuje v současné době tři hlavní metody chirurgického řešení trhlin menisku. Jedná se o menisektomii, suturu menisků nebo rekonstrukci menisku (Mutsaerts et al., 2016).

Menisektomie může být provedena jako úplná nebo částečná. Operační přístup pro menisektomii může být otevřený nebo artroskopický. V současné době se totální menisektomie téměř nikdy neprovádí a ani se nedoporučuje jako primární výkon u lézí menisků. Totální menisektomie se nedoporučuje hlavně z důvodu dřívějšího rozvoje osteoartrózy a z důvodů dlouhodobých neúspěšných klinických výsledků. Částečná menisektomie bývá také častěji prováděná artroskopickým způsobem než otevřeným způsobem. Tento druh výkonu je indikován u pacientů s radiálními trhlinami v bílé zóně a u degenerativních trhlin menisků. Dále se tento druh operačního řešení volí u pacientů, u kterých není možná oprava menisků v návaznosti na faktory souvisejícím s pacientem nebo samotnou lézí (Doral et al., 2018). Podle současných doporučených postupů již není artroskopická částečná menisektomie léčbou první volby a měla by být prováděná pouze u výběrových pacientů s neopravitelnými trhlinami menisků. Dále je tento operační postup doporučován u pacientů s přetrvávajícími mechanickými příznaky trvající déle než 3 měsíce (Luvsannyam et al., 2022).

Oprava menisků, stejně jako menisektomie může být provedena jako otevřená operace nebo jako artroskopická operace (Beaufils et al., 2017). Artroskopický přístup převažuje nad otevřenou operací z důvodu snížení rizika poškození nervů. Před každou reparační operací je potřeba zjistit tvar trhlin a v jaké zóně menisku se trhlina nachází (Beaufils et al., 2017). U akutních traumatických trhlin v dobře prokrvených periferních červených zónách je sešití menisků nejvýhodnější. Do vzorů trhlin, jež jsou nejlépe opravitelné lze zařadit podélné, horizontální a vertikální trhliny. Artroskopické opravy

menisků lze provést technikami sešití „inside – out“, „outside – in“ a „all – inside“ (Doral et al., 2018).

Rekonstrukční opravy menisku se používají k nahrazení částečně nebo úplně vyoperovaných menisků u symptomatických pacientů nereagujících na konzervativní léčbu (Doral et al., 2018). Cílem tohoto přístupu je obnovení funkčnosti kolenního kloubu a zmírnění degenerativních procesů, které by se mohli objevit v důsledku špatné biomechaniky kolene (Doral et al., 2018). Rekonstrukce může být provedená pomocí použití meniskálních scaffoldů nebo pomocí transplantace alografických štěpů. Transplantace alografického štěpu spočívá v transplantaci nepoškozené tkáně od dárce. Pro rekonstrukci pomocí meniskálních scaffoldů se používají syntetické biodegradabilní porézní struktury k vyplnění defektu menisků. Vysoká poréznost skeletů těchto syntetických náhrad umožňuje prorůstání cévní tkáně, což v konečném důsledku poskytuje další zesílení výplně. Tyto operace však patří k nejméně prováděným operacím menisků (Luvsannyam et al., 2022).

### **2.2.6 Rehabilitační postupy po operacích menisků**

Dnešní rehabilitační postupy po operacích menisků by se měli řídit plánem, který není strukturovaný jako dřívější plány. To platí hlavně z důvodu jiné rychlosti rekonvalescence každého pacienta. Některé protokoly a postupy mohou u pacienta, jehož léčba postupuje pomalejším tempem, zrychlit jeho rekonvalescenci, ale u pacientů, jenž postupují rychleji, by další urychlení programů mohlo jejich postup zabrzdit. Přestože existují doporučené postupy k rehabilitaci po operacích menisků, tak by fyzioterapeut neměl u všech pacientů postupovat stejně. Místo toho by měli fyzioterapeuti kombinovat klinické poznatky s vyšetřením a podle toho nastavit individuální rehabilitační plán (Cavanaugh & Killian, 2012). Léčebný plán lze vypracovat pouze po zvážení klinických nálezů z komplexního vyšetření. Fyzioterapeut by měl vypracovat na základě vyšetření seznam prioritních problémů. K vyřešení každého problému lze poté zvolit specifické rehabilitační strategie. V průběhu terapií by měla být dodržována funkční progrese terapeutických cvičení (Cavanaugh & Killian, 2012).

Volba rehabilitačního protokolu jako součást konzervativní léčby u pacientů s diagnózou natržení menisků obvykle závisí na klinických projevech souvisejících s poraněním. Tato varianta by měla být nabízená pacientům s méně závažnými příznaky, kteří jsou bez omezení rozsahu pohybu v kolenním kloubu, neměli by trpět signifikantními mechanickými příznaky a meniskus by měl být stabilní (Chirichella et al.,

2019). V akutní fázi natržení menisků se počáteční léčba skládá z protokolu „RICE“ (klid, led, komprese a elevace), kdy se ke slovu „RICE“ někdy přidává na začátek velké P a vzniká protokol „PRICE“ (ochrana, klid, led, komprese a elevace). Dalším postupem v akutní fázi je podání protizánětlivých léků. Pacient není omezován v zatížení dolní končetiny a vše závisí na jeho toleranci bolesti (Garvick & Reich, 2020). Po ukončení akutního stádia dochází pomocí fyzioterapie k úplnému vymizení symptomů do šesti týdnů (Cavanaugh, 2014). Rehabilitační program by se měl zaměřit na odstranění zbytkového otoku a posílení čtyřhlavého svalu stehenního společně s hamstringy. Nakonec lze zařadit statickou či dynamickou senzomotorickou stimulaci, chůzi a kolo. Následně lze pacientovi postupně povolovat sportovní zatížení za podmínky, že pacient nemá žádné příznaky poranění menisků (Khalifa et al., 2020).

Po částečné menisektomii je zachována vnitřní anatomie kolenního kloubu, což nám dává větší volnost ve volbě rehabilitačního programu a můžeme být přísnější ve výběru cviků. Hlavními cíli rehabilitace je zmírnit pooperační bolest a otok, progresivně zvyšovat rozsah pohybu a dosáhnout plného zatížení co nejdříve, podle tolerance pacienta (Garvick & Reich, 2020). Rozsah pohybu by měl být podporován, protože se ukázalo, že příliš dlouhá imobilizace zhoršuje funkční výsledky. Účinným nástrojem na zvětšování rozsahu pohybu je rotoped. Jiné možnosti jako pasivní pohyb neprokázaly významný přínos. Hydroterapie je v časně fázi rehabilitace kontraindikována až do doby, než dojde k zahojení jizev (Kelln et al., 2009). Khalifa et al. (2020) ve svém článku píše, že by v prvním týdnu po operaci mělo docházet ke zvyšování zatížení operované dolní končetiny v závislosti na toleranci pacienta. Ve druhém až čtvrtém týdnu je cílem dosažení normálního vzorce chůze a zvětšování rozsahu pohybu v kolenním kloubu. Dále dodávají, že by od třetího týdně mělo docházet k progresivnímu posilování svalů, balančnímu cvičení a tréninku propiocepce. Návrat ke sportovním aktivitám je doporučován až ve chvíli, kdy čtyřhlavý sval stehenní operované dolní končetiny dosáhne minimálně 80 % svalové síly neoperované dolní končetiny (Chirichella et al., 2019).

Rehabilitační postupy po rekonstrukcích menisků se kromě zvládnutí pooperačních bolestí a otoků, jak bylo zmíněno u parciálních menisektomii, zabývají především znovuzískáním plného rozsahu pohybu kolene, obnovením svalové síly, návratem do plného zatížení kolene a návratem ke sportovním aktivitám. S ohledem na čas potřebný k dosažení těchto cílů dělíme rehabilitační protokoly na postupný nebo zrychlený (Khalifa et al., 2020).

Postupný rehabilitační protokol umožňuje stálý nárůst nosnosti a zátěže během prvních čtyř týdnů po operaci, přičemž kolenní kloub zůstává imobilizovaný a extendovaný po dobu nejméně šesti týdnů. Návrat k opětovnému zatížení by neměl být dříve než po šesti týdnech (Logerstedt et al., 2010). Zrychlená rehabilitace zahrnuje brzké zatížení kolenního kloubu dle tolerance pacienta, časnou mobilizaci bez přiložení ortézy a návrat ke sportovním aktivitám v průběhu čtyř měsíců (Chirichella et al., 2019). Oba protokoly prokázaly svou účinnost a bezpečnost pro rehabilitaci. Zrychlený protokol prokázal oproti postupnému převahu v rychlejším znovuzískání rozsahu pohybu kolena, rychlejší návrat svalové síly hlavně v oblasti čtyřhlavého svalu stehenního a rychlejší návrat ke sportovním aktivitám (Logerstedt et al., 2010). Podle protokolu dle Noyese et al. (2012) by měl pacient během prvních dvou týdnů dosáhnout flexe 90° a plné flexe by měl dosáhnout nejpozději do osmého týdne. Izometrické cviky jsou povoleny ihned po operaci a těžší cvičení přibližně od třetího týdne. Cvičení na nácvik rovnováhy a propriocepce může být zahájeno mezi třetím až pátým týdnem. Počínaje pátým týdnem dovolují pacientovi zatížení na balančních přístrojích. Pacienti mají dovoleno začít s běháním od jedenáctého týdne za předpokladu, že síla čtyřhlavého svalu stehenního operované dolní končetiny dosahuje aspoň 90 % síly zdravé kontralaterální končetiny.

### 2.3 Metoda Blood Flow Restriction

Jednou z možností rehabilitace po artroskopické operaci kolenního kloubu je metoda Blood Flow Restriction (BFR). Při této metodě se kontrolovaně snižuje průtok krve k pracujícím svalům ovlivněných hypotrofií v důsledku operace s cílem urychlit hypertrofií svalové tkáně a návrat svalové síly daných svalů.

Historicky se ke snižování průtoku krve používali různé provazy, pásky nebo gumy. První sofistikovaný elektricky kontrolovaný systém na omezení průtoku krve byl vynalezen až v roce 1984. O 16 let později, v roce 2000, byl poté vynalezen první přesný a bezpečný manžetový systém na metodu BFR. O hlavní popularizaci metody se zasloužil Johny Owens, M.P.T., který začal metodu používat u poraněných vojáků (DePhillipo et al., 2018).

Snížení průtoku krve k pracujícím svalům je dosaženo pomocí pneumatické manžety, vybavené vakem na vzduch, která je připojena na zařízení kontrolující tlak v manžetě. Dochází tedy k tomu, že se manžeta nafoukne na předem nastavený tlak, jež nám zapříčiní snížený průtok krve ke svalům (Loenneke et al., 2013).

Tlak potřebný pro snížení toku krve do končetiny v manžetě může být ovlivněn řadou faktorů. Mezi tyto faktory řadíme šířku manžety, obvod končetiny a krevní tlak. Tyto faktory stěžují standardizaci tlaku k dosažení snížení průtoku krve (Loenneke et al., 2015).

Na nejnovějších přístrojích se tlak potřebný pro snížení toku krve vypočítává z tlaku pro úplné uzavření krve (LOP). Obecně se udává, že pro posílení a zvýšení hypertrofie svalů by měl být tlak nastavený na 40 až 80 % ze 100 % potřebných pro úplné uzavření. Stejně tlaky se doporučuje použít při aerobním protokolu BFR. Jediná změna tlaku v manžetě při BFR metodě nastává u imobilizovaných pacientů, kdy se využívá pasivního protokolu. U tohoto protokolu se manžeta v 5minutových intervalech napouští a vypouští s tlakem 0 až 100 % (Patterson et al., 2019).

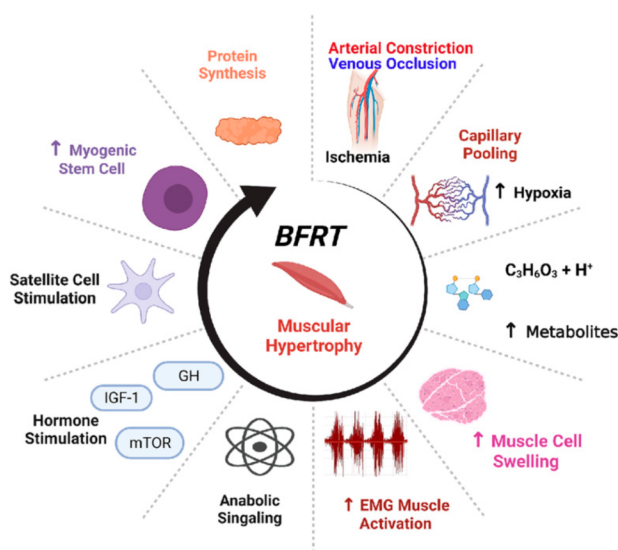
Co se týče intenzity zatížení, tak se jako nejvýhodnější ukazuje použití protokolu, kdy pacient cvičí s nízkým odporem o intenzitě zatížení či odporu odpovídající 20 až 40 % z jednoho maximálního opakování. Standardní série jednoho cviku je 75 opakování. Obvykle je těchto 75 opakování rozdělených do úvodních třiceti opakování a tří dalších sérií po patnácti opakování. Mezi každou sérií následuje třicetisekundový odpočinek. Standardní praxí je udržovat manžetu nafouknutou skrz všechny série i odpočinky s následným vyfouknutím po docvičení. Před dalším cvičením dochází k opětovnému nafouknutí manžety na požadované hodnoty tlaku. Frekvence rehabilitací pomocí této

metody se doporučuje pacientům dvakrát až třikrát týdně po dobu více jak tři týdny nebo jednou až dvakrát denně po dobu maximálně tří týdnů (Anderson et al., 2019; Patterson et al., 2019).

### 2.3.1 Mechanismus působení

Buněčné mechanismy odpovědné za fyziologické reakce spojené s pasivním i aktivním tréninkem BFR nejsou stále dobře prozkoumány. Předpokládá se však, že několik skupin cytokinů, signálních molekul a satelitních buněk je odpovědných za kontrolu růstu síly a svalových vláken (Mendias et al., 2013). Dle Loennekeho et al. (2010) jsou primárními mechanismy díky kterým metoda BFR stimuluje růst svalové hmoty zvýšená akumulace metabolitů s následným nárůstem anabolických růstových faktorů, zvýšené zapojování rychlých svalových vláken a nárůst v produkci bílkovin prostřednictvím cesty savčího cíle rapamycinu (mTOR). Mezi další faktory, které byly pozorovány, patří vyšší výskyt proteinů teplotního šoku (HSP), navyšování syntázy oxidu dusnatého-1 (NOS-1) a snížení exprese myostatinu (Obr. 7).

Někteří autoři dělí mechanismy působící při metodě BFR na primární a sekundární. Jako primární faktory jsou označovány metabolický stres a mechanické napětí. Mezi sekundární mechanismy jsou řazeny mechanodestrukce svalových vláken, poškození svalů, hormony, poškození buněk, reaktivní formy kyslíku (ROS), proteiny teplotního šoku a syntázy oxidu dusnatého (Pearson & Hussain, 2015).



Obrázek 7. Buněčné změny spojené s metodou BFR. BFRT = Blood Flow Restriction Therapy, EMG = elektromyografie, IGF-1 = inzulinový růstový faktor 1, GH = růstový hormon a mTOR = cesta savčího cíle rapamycinu (Watson et al., 2022).

Jak již bylo v odstavcích výše popsáno, tak je jedním z hlavních mechanismů působících při metodě Blood Flow Restriction zvýšená akumulace metabolitů a na to navázaná zvýšená produkce růstových anabolických faktorů. V tomto případě se bavíme hlavně o vyšších hodnotách v produkci krevního laktátu z plazmy a laktátu ze svalových buněk jako reakce na cvičení se sníženým tokem krve (Loenneke et al., 2010). Tento fakt je významný, protože je prokázáno, že kyselé intramuskulární prostředí zvyšuje produkci růstového hormonu (GH) (Loenneke et al., 2010).

Ve studii od Takarady et al. (2000) došlo po odcvičení metody Blood Flow Restriction k nárůstu hodnoty laktátu 290krát oproti měření před odcvičením metody Blood Flow Restriction. Schoenfeld (2013) k tomuto tématu dodává, že není úplně objasněno, zda má nebo nemá růstový hormon nějakou souvislost s následnou hypertrofií. Domnívá se však, že úlohou růstového hormonu v hypertrofii svalových vláken je pomoc při uvolňování inzulínového růstového faktoru 1 (IGF-1).

IGF-1 je často označován jako jeden z nejdůležitějších anabolických hormonů savců. Předpokládá se, že je hlavní anabolickou odpovědí těla na zatížení. Jeho účinky jsou navíc tímto zatížením ještě zvýšeny (Schoenfeld, 2013). Je prokázáno, že v důsledku zvýšených hodnot růstového hormonu dochází ke zvýšení hladiny jaterního izomorfního IGF-1 a také jsou na vyšší úrovni hladiny mechano-růstového faktoru (MGF) ve svalu. K produkci IGF-1 dochází v periferní svalové tkáni, ale může být produkován i systémově v játrech v reakci na GH.

Tento peptidový hormon je známý svým mitogenním a anabolickým účinkem vůči kosterní svalové hmotě (Hwang & Willoughby, 2019). Zvýšené hladiny tohoto hormonu jsou přímo úměrné nárůstu svalové síly po tréninku s odporem (Kostek et al., 2005). K jak velkému nárůstu v cirkulující hladiny IGF-1 dochází při cvičení se sníženým tokem krve k pracujícím svalům a jaký účinek na nárůst svalové hmoty tyto zvýšené hladiny budou mít, zkoumali ve své studii Abe et al. (2005). V této studii pozorovali zvýšené množství IGF-1 po cvičení metody BFR. I přes toto zjištění však do dnešního dne není jasné, jaký vliv na jeho množství v těle má metoda BFR (Hwang & Willoughby, 2019).

Mezi hlavní mechanismy hypertrofie svalů při metodě BFR se řadí zvýšené zapojování rychlých svalových vláken II. typu. Autoři toto zvýšené zapojování rychlých vláken považují za kritický faktor pro nárůst svalové hmoty (Loenneke, Fahs et al., 2011). K zapojování rychlých svalových vláken dochází při vyšší zátěži. Mechanismus, díky kterému k této aktivaci dochází, souvisí pravděpodobně se sníženým přísunem kyslíku



k pracujícím svalům a zvýšenému množství vytvořených metabolitů ve svalové tkáni (Hwang & Willoughby, 2019; Meyer, 2006).

Loenneke et al. (2011) a Yasuda et al. (2010) ve svých studiích píší, že stimulace aferentních vláken tří (A $\delta$  vlákna) a čtyři (C-vlákna) společně s inhibicí alfa motoneuronu může být zapříčiněno sníženým množstvím kyslíku a zvýšeným množstvím metabolitů. Díky této stimulaci dochází dle autorů ke zvýšenému náboru motorických jednotek a rychlých svalových vláken k udržení svalové síly a ochraně svalu před selháním.

Damas et al. (2018) ve svém článku říkají, že intramuskulární otok buněk zvyšuje syntézu proteinů a snižuje proteolýzu ve svalových vláknech. Takový buněčný otok může vyvolat proliferaci satelitních buněk a usnadnit jejich fúzi se svalovými vlákny, což v důsledku vede k hypertrofii (Scott et al., 2014). Kapilární „pooling“ vyvolaný BFR akutně zvyšuje přítok vody do svalových buněk. Takto způsobený buněčný otok spustí anabolickou signalizaci, která aktivuje savčí cíl rapamycinu (mTOR) a mitogenem aktivované proteinkinázové dráhy. Když je dráha mTOR aktivována, tak signalizuje syntézu svalových proteinů, což vede k hypertrofii kosterního svalstva (Scott et al., 2014; Loenneke et al., 2012).

Dalším mechanismem zmiňovaným autory je mechanická stimulace svalových vláken při svalových kontrakcích a relaxacích, kdy dochází ke stimulaci intramuskulárních signálních drah nezávislých na hormonech a růstových faktorech (Watson et al., 2022). Mechanicky vyvolané napětí narušuje integritu svalu a způsobuje mechanochemickou molekulární a buněčnou odpověď v myofibrilách a satelitních buňkách. Lokalizované poškození tkáně kontraktálních prvků nebo cytoskeletu je dalším teoretickým mechanismem, který může vyvolat nárůst svalů (Schoenfeld, 2010). Tato mechanická narušení aktivují dráhu mTOR a iniciují syntézu svalových proteinů (Scott et al., 2014).

Ve studii od Wernboma et al. (2009) zkoumali, zda má na aktivitu dráhy mTOR vliv cvičení s omezeným tokem krve k pracujícím svalům. V této studii prováděli pacienti extenzi kolenního kloubu do vyčerpání. Skupina podstupující BFR měla zvýšenou signalizaci mTOR oproti skupině bez BFR.

Na rozdíl od pozitivních účinků mTOR na hypertrofii svalové tkáně působí jako inhibitor svalové růstu myostatin (Scott et al., 2014). Myostatin v lidském těle funguje jako negativní regulátor svalového růstu. U metody BFR bylo prokázáno, že má supresivní účinek na expresi mRNA myostatinu (Nielsen et al., 2012). Toto zjištění podporují ve svém článku Hwang a Willoughby (2019) kteří píší, že po cvičení se

sníženým průtokem krve dochází ke snížení exprese genu myostatinu. Tyto intramuskulární signalizační akce, doprovázející cvičení metody Blood Flow Restriction, hrají roli při produkci a proliferaci myogenních kmenových buněk (Scott et al., 2014).

Cvičení pomocí metody BFR může vyvolávat hypertrofii svalů díky mechanismům potlačujících expresi myostatinu, jež jsou však podmíněny hypoxií a akumulací metabolitů doprovázející tuto metodu (Loenneke et al., 2010).

### **2.3.2 Indikace metody BFR**

Metodu Blood Flow Restriction lze použít na široké množství problémů. Nejčastěji se však v dnešní době používá u pooperačních stavů, a to především na dolní končetině. Mezi nejčastěji indikované pooperační stavy na metodu BFR patří například rekonstrukce LCA, LCM, menisků nebo operace chrupavky. Terapie pomocí této metody je zvláště indikována u pacientů, kteří mají odlehčovat dolní končetiny, jsou imobilizováni, trpí výraznou bolestí nebo u sportovců, pro co nejrychlejší návrat ke sportovnímu výkonu (DePhillipo et al., 2018).

Thomasová (2019) ve svém článku píše, že se cvičení se sníženým tokem krve k pracujícím svalům na dolní končetině dá využít u poranění vazů, šlach, náhradách kloubů nebo u bolestí související s přetěžováním. U horní končetiny Thomasová (2019) popisuje obdobné užití metody jako na dolní končetině.

Využití této metody má široké uplatnění u velkého množství svalových poranění, stářím vzniklých chorob (například sarkopenie), u pacientů připravujících se na operační výkon, u degenerativních onemocnění pohybového systému (například osteoporóza) a v neposlední řadě u neurologických onemocnění, které jsou charakteristické ztrátou svalové hmoty nebo síly (Thomas, 2019).

### **2.3.3 Kontraindikace a rizika metody**

U pacientů, kdy je zvažováno použití metody Blood Flow Restriction, by mělo být na daném pracovišti posouzeno riziko a kontraindikace pro tuto metodu. Do skupiny rizikových pacientů, u nichž by mělo být doplněno vyšetření na specializovaném pracovišti před použitím metody BFR, patří pacienti s postižením kardiovaskulárního systému a především srdce, lidé trpící cukrovkou, obezitou, kalcifikací tepen, srpkovitou anémií, těžkou hypertenzí nebo onemocněním v oblasti ledvin (DePhillipo et al., 2018).

Brandner et al. (2018) píší ve své práci, že existuje několik vnitřních a vnějších faktorů, které je potřeba zvážit před cvičením metody Blood Flow Restriction. Jako vnitřní faktory lze označit anamnézu jedince. Vnitřní faktory jsou o něco méně modifikovatelné než vnější faktory. Další vnitřní faktory jako je například věk a životní styl, nejsou kontraindikací, ale měly by být zváženy před cvičením metody BFR. Mezi možné kontraindikace tito autoři řadí:

1. Kardiovaskulární onemocnění
  - a. Ischemická choroba srdeční
  - b. Onemocnění periferních cév
  - c. Nestabilní hypertenze
  - d. Žilní tromboembolická nemoc
  - e. Poruchy krevní srážlivosti
  - f. Ateroskleróza
  - g. Tichá ischemie myokardu
  - h. Dysfunkce levé komory
  - i. Hemofilie
  - j. Cévní endoteliální dysfunkce
  - k. Křečové žíly
  - l. Marfanův syndrom
2. Poranění pohybového aparátu
  - a. Akutní svalové trauma
  - b. „Crush“ poranění
  - c. Nadměrné pooperační otoky
  - d. Otevřené zlomeniny
  - e. Otevřená poranění měkkých tkání
  - f. Kožní štěpy
3. Životní styl
  - a. Stáří
  - b. Tělesná hmotnost (obezita)
  - c. Těhotenství
  - d. Nekomrolovaný diabetes mellitus
  - e. Dyslipidémie
  - f. Dehydratace
4. Rodinná anamnéza

- a. Poruchy srážlivosti
- b. Srpkovitá anémie
- c. Fibrilace síní nebo srdeční selhání
- d. Rakovina

#### 5. Léky

- a. Ty, o kterých je známo, že zvyšují srážlivost krve

Kromě potenciálních přínosů metody BFR je potřeba vždy zvážit negativa této metody. Mezi hlavní komplikace, které mohou nastat při nebo po cvičení pomocí metody se sníženým tokem krve k pracujícím svalům, řadí autoři možnost vytvoření trombu z důvodu nahromadění krve v končetinách (Manini & Clark, 2009). Madarame et al. (2010) ve své studii zkoumali, jaký vliv má metoda BFR na vznik sraženiny. Výsledkem této studie bylo, že metoda BFR nemá žádný vliv na to, jestli se trombus objeví nebo neobjeví.

Nakajima et al. (2006) provedli studii na výskyt nežádoucích účinků při cvičení metody BFR. Výzkumu se účastnilo přibližně 13000 probandů ve věkovém rozmezí mezi 20 až 80 lety. Nejčastějším nežádoucím účinkem u metody BFR byla cerebrální anemie objevující se u 0,277 % probandů. V pořadí druhý nejčastěji se vyskytující nežádoucí účinek byl žilní trombus, který se objevil u 0,055 % probandů. Incidence plicní embolie a rhabdomyolýzy byla shodně 0,008 %. Tato zjištění mohou naznačovat, že u „zdravých“ jedinců je riziko vzniku nežádoucích účinků metody Blood Flow Restriction mizivé.

Další potenciální nežádoucí účinky ve své studii udávají Anderson et al. (2019). Tito autoři udávají, že se při cvičení metody BFR může vyskytnout opožděný nástup svalové bolesti, necitlivost, závratě, modřiny pod manžetou nebo zvýšená bolestivost svalů při cvičení.

#### **2.3.4 Pomůcky na metodu BFR**

Komponenty potřebné pro metodu BFR se skládají z personalizovaného turniketového systému a manžety, jež spojuje hadička (Obr. 8). V současné době se pro metodu BFR využívá již třetí generace personalizovaného turniketového systému. Tato třetí generace má zabudovaný Doppler (ultrazvuk) ve svých manžetách a dokáže kontrolovat arteriální průtok krve. Nejvíce používaným systémem tohoto druhu v dnešní době je personalizovaný turniketový systém od firmy Delfi Medical (Obr. 8) (DePhillipo et al., 2018).

Co se týče šířky manžety využívané na metodu BFR, tak lze na dnešním trhu najít manžety v rozmezí od 5 do 18 centimetrů (Hughes et al., 2017). Požadovaný tlak ke snížení toku krve do končetiny je do určité míry určen šířkou manžety. Širší manžety zmenšují poloměr cévy na větší části končetiny (Weatherholt et al., 2019). K dosažení snížení nebo dokonce zastavení toku krve do končetiny je tedy potřeba nižšího tlaku u širší manžety než u užší manžety (Loenneke et al., 2013). Loenneke et al. (2013) ve své studii píše, že průměrný tlak pro uzavření toku krve do končetiny byl u 13,5 centimetrové manžety 144 mmHg, zatímco u užší 5 centimetrové manžety byl tento tlak 235 mmHg. Použití širší manžety umožňuje dosažení sníženého toku krve do končetiny při použití nižších tlaků a tím tak snížit nepohodlí (Weatherholt et al., 2019). Na toto je potřeba brát ohled hlavně z toho důvodu, že větší obvody končetin vyžadují vyšší tlaky, aby bylo dosaženo stejného procenta snížení toku krve ve srovnání s menšími končetinami (Loenneke et al., 2013). Při použití užší manžety může docházet častěji k poškození cév, svalů a nervů (Loenneke, Wilson J.M. et al., 2011). Tato zjištění dokazují, že pokud je to možné, tak je vhodné použít širší manžetu (Watson et al., 2022).



Obrázek 8. Přístroj Personalized tourniquet systém (PTS) od firmy Delfi Medical pro metodu BFR (vlastní archiv autora).

### 2.3.5 Současné způsoby aplikace

Ve velkém množství prvních výzkumů metody BFR docházelo k aplikaci libovolného tlaku na končetiny pacientů. Použití libovolného tlaku mohlo vyvolávat některé druhy stimulace doprovázející metodu BFR, ale zároveň mohlo docházet k zvětšenému diskomfortu a nežádoucím účinkům metody (Spitz et al., 2022). Pro snížení pocitu nepohodlí a zároveň poskytnutí účinného anabolického tréninkového stimulu by měl být tlak při provádění cvičení se sníženým tokem krve mezi 40 až 80 % z tlaku potřebného k úplnému uzavření toku do končetiny (Singer et al., 2020; Loenneke et al., 2016). Při cvičení na horních končetinách se běžně doporučuje používat tlaky mezi 40 až 50 %, pro dolní končetiny se doporučuje používat tlaky mezi 60 až 80 % z tlaku potřebného pro úplné uzavření (Patterson et al., 2019; Scott et al., 2015).

Metodu BFR lze použít již třetí pooperační den a lze ji použít ve všech fázích rehabilitace (Humes et al., 2020). Nejlepších výsledků se při metodě BFR dosahuje v kombinaci cvičení s nízkým odporem. V tomto případě autoři mluví o tréninku na 20 až 40 % z jednoho maximálního opakování, což poskytuje dostatečný stimul pro vyvolání podstatné svalové hypertrofie a nárůstu svalové síly (Patterson et al., 2019; Mattocks et al., 2018; Loenneke et al., 2011).

Nejčastěji doporučovaná kombinace cviku a opakování zahrnuje 75 opakování rozdělených do 4 sérií. První série se skládá z 30 provedení a je následována třemi sériemi po 15 opakováních cviku (Patterson et al., 2019; Loenneke et al., 2011). Kombinovaný účinek zátěže s odporem a celkové práce provedené díky počtu opakování vede k mechanické stimulaci svalových vláken. Pauzy mezi jednotlivými sériemi jsou doporučovány v rozmezí 30 až 60 vteřin. Typicky zůstává manžeta v těchto krátkých pauzách nafouknutá (Patterson et al., 2019).

Pro vyvolání anabolických změn pomocí metody BFR se doporučuje frekvence terapií 2 až 3krát týdně po dobu minimálně 6 týdnů. Ideální doba trvání se však odhaduje mezi 9 až 10 týdny (Patterson et al., 2019; Loenneke et al., 2012).

Stejně jako u všech rehabilitačních programů by měla být terapie pomocí metody Blood Flow Restriction periodizována, aby došlo k aktivnímu zapojení pacienta, progresivnímu zvedání obtížnosti a k optimální anabolické stimulaci svalů (Watson et al., 2022).

## **3 CÍLE A HYPOTÉZY**

### **3.1 Cíl diplomové práce**

Cílem diplomové práce bylo posoudit efektivitu metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod svalů, rozsah pohybu a každodenní funkčnost zkoumané končetiny u pacientů po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu. Zároveň kromě již zmíněných parametrů porovnává práce známé kinezioterapeutické postupy rehabilitace a metodu Blood Flow Restriction.

### **3.2 Hypotézy**

#### **H1**

Je statisticky významný rozdíl mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction v nárůstu svalové síly svalů provádějících flexi kolenního kloubu operované dolní končetiny.

#### **H2**

Je statisticky významný rozdíl mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction v nárůstu svalové síly svalů provádějících extenzi kolenního kloubu operované dolní končetiny.

#### **H3**

Je statisticky významný rozdíl nárůstu obvodu svalů mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction po terapiích.

#### **H4**

Je statisticky významný rozdíl mezi konvenčními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction na změnu rozsahu pohybu v kolenním kloubu.

### **3.3 Výzkumné otázky**

#### **V<sub>1</sub>**

Jak velký vliv mají tyto dva rozdílné postupy rehabilitace na každodenní funkčnost zkoumané končetiny?

## 4 METODIKA

### 4.1 Design studie

Diplomová práce se zabývala účinkem metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií musculus vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Celý výzkumný soubor tvořilo 20 pacientů. Hodnocení vybraných parametrů probíhalo u celé skupiny probandů (n=20), kterou tvořili pacienti po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu, či artroskopické operaci více částí kolenního kloubu včetně menisku. Cílená rehabilitace probíhala na pracovišti RRR centrum v Olomouci nebo v nestátním zdravotnickém zařízení fyzioterapie IFyzió – Jiří Herbert Procházka s.r.o. v Olomouci. Pacienti neměli žádné další přidružené závažné onemocnění pohybového, neurologického či jiného původu. Skupinu podstupující metodu Blood Flow Restriction tvořilo 10 probandů, kontrolní skupinu podstupující rehabilitaci za pomoci konvenční terapie tvořilo 10 probandů. Všichni probandi terapie dokončili a nikdo ze studie nebyl vyloučen.

Výzkumný soubor tvořilo 20 probandů, kteří byli rozděleni do dvou skupin po 10 probandech. Mezi probandy bylo 13 mužů a 7 žen. Jednalo se o pacienty narozené v letech 1950 až 2003 (Obr. 9). Všichni pacienti podstoupili parciální menisektomii menisku kolenního kloubu pomocí artroskopické operace. 17 probandů mělo operováno mediální meniskus a 3 probandi laterální meniskus. Přidružené poranění LCA, LCM nebo jiného kolenního vazů bylo u 3 probandů. První proband z těchto tří měl rupturu mediálního menisku, mediálního kolaterálního vazů a předního zkříženého vazů. Druhý proband měl rupturu mediálního menisku a předního zkříženého vazů. Třetí proband měl rupturu mediálního menisku a natažený přední zkřížený vaz. Průběh léčby se u prvního a druhého probanda lišil pouze v tom, že dokud měli od ošetřujícího lékaře indikované odlehčení operované dolní končetiny, tak prováděli pouze cviky v odlehčení (2 terapie). U probanda tři z pacientů, kteří měli přidružené poranění, se terapie nelišila vůbec, jelikož měl od počátku indikovanou plnou zátěž. Terapie byla u pacientů zahájena do 14 dnů od vytažení stehů.

Zařazení do skupiny BFR nebo konvenční terapie bylo provedeno terapeutem č. 1. Zařazení bylo náhodné. K přeřazení ze skupiny BFR do skupiny standardní terapie docházelo pouze v případě, že měl pacient kontraindikace znemožňující zařazení do skupiny BFR. Všechna cvičení prováděl terapeut č. 1. Terapeut č. 2 prováděl vstupní



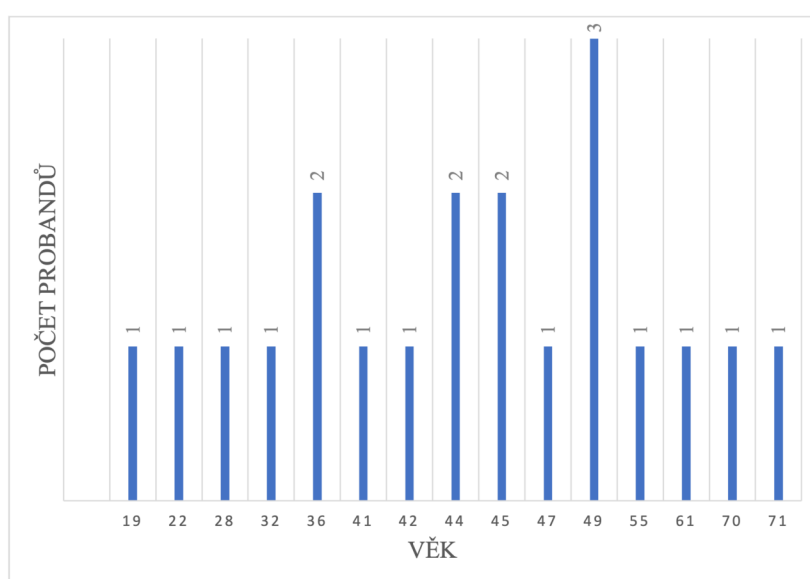
a výstupní měření bez znalostí zařazení pacientů do terapeutické skupiny. Terapeut č. 1 neznal vstupní a výstupní hodnoty vyšetření.

První skupinu tvořili probandi podstupující metodu Blood Flow Restriction. V této skupině bylo 9 mužů a 1 žena. Věkové rozpětí této skupiny bylo od 19 do 49 let. Druhou skupinu tvořili probandi podstupující standardní terapii kolenního kloubu a tvořilo ji 6 žen a 4 muži ve věkovém rozpětí od 36 do 71. Toto nerovnoměrné rozložení probandů do skupin bylo zapříčiněno kontraindikacemi. Charakteristika obou skupin je popsána v Tabulce 1. Skupina 1 a 2 se lišily hlavně v průměrném věku probandů.

Při vstupním vyšetření byli pacienti požádáni o podepsání informovaného souhlasu (Příloha 2) a byli informováni o průběhu terapie. Při vstupním vyšetření byla pacientovi odebrána osobní anamnéza, změřeny rozsahy pohybu v kolenních kloubech, obvody dolních končetin a svalová síla do extenze a flexe na dynamometru. Dále byli pacienti instruováni o vyplnění Lysholmova dotazníku (Příloha 3), který byl dále vyplňován po 4. terapii a při výstupním měření po šesti týdnech

První terapie následovala v co nejkratším možném termínu po vstupním měření. Na úvodní terapii byli všichni pacienti instruováni, jak se starat o pooperační jizvy a edukováni o režimových opatřeních v rámci rekonvalescence v domácím prostředí.

Celkově každý pacient absolvoval vstupní vyšetření, 8 rehabilitací po 30 minutách s frekvencí 2x týdně a výstupní měření. Při každé terapii byl pacient dotazován, zda došlo k nějakému výraznému zhoršení či zlepšení v oblasti operované dolní končetiny. Kritérium zařazení pacienta do studie dokončení všech terapií a podstoupení úvodního a výstupního vyšetření.



Obrázek 9. Zobrazení počtu probandů v závislosti na jejich věku.

Tabulka 1. Charakteristika souboru probandů (průměr hodnot ± směrodatná odchylka)

| Proměnná             | Celý soubor | BFR skupina | Standardní RHB |
|----------------------|-------------|-------------|----------------|
| Muži/ženy<br>(počet) | 13/7        | 9/1         | 4/6            |
| Věk (roky)           | 44,3 ± 13,3 | 36,9 ± 10,2 | 51,6 ± 11,9    |
| Výška (cm)           | 176 ± 9,5   | 180,7 ± 7,4 | 171,4 ± 9,1    |
| Váha (kg)            | 83,7 ± 15,1 | 86,9 ± 15,8 | 80,4 ± 13,6    |

## 4.2 Metodika vyšetření

Vstupní i výstupní měření probíhalo v laboratoři dynamometrie CKV Baluo individuálně za přítomnosti terapeuta č. 2. Před zahájením samotného vyšetřování byli pacienti informováni (Příloha 1) o možnosti kdykoliv odstoupit z výzkumu a měření ukončit. Samotné měření obsahovalo vyplnění Lysholmova dotazníku, měření svalové síly na dynamometru (Isomed 2000), měření rozsahu pohybu a obvodu končetin.

### 4.2.1 Dynamometrie

Svalová síla byla měřena na dynamometru Isomed 2000. Samotnému vyšetření předcházelo rozcvičení pacienta za pomoci chůze a nácvičku předkopu 5x 25 %, 4x 50 % a 1x 100 % zátěže na dynamometru subjektivně dle pacienta.

Vyšetření pacienta probíhalo v sedě, kdy střed otáčení páky dynamometru byl stanoven na laterální epikondyl femuru. K dynamometru byl pacient fixován ramenními opěrkami, pásem přes břicho a stehna, z důvodu zajištění izolovaného pohybu v kolenním kloubu. K ramenu dynamometru byla dolní končetina fixována přibližně dva prsty nad laterálním kotníkem. Vyšetření svalové síly začínalo z 10° extenze do flexe a poté z flexe do extenze. Celé vyšetření se opakovalo celkem třikrát s patnácti vteřinovou pauzou mezi jednotlivými měřeními. U všech pacientů nezávisle na operované končetině se vždy začínalo na pravé končetině a vyšetření končilo levou končetinou.

Úhlová rychlost vyšetření byla nastavena na 60° za sekundu. Toto nastavení rychlosti je nejvíce používané pro vyšetření extenzorů kolenního kloubu. Rychlost 60° za sekundu je rychlost, která umožní otestovat rozsah pohybu a zároveň je dostatečně rychlá na získání spolehlivých dat o svalové síle.

Svalová síla čtyřhlavého svalu stehenního byla měřena při koncentrické kontrakci svalu, neboť vystihuje jeho hlavní anatomickou funkci, a to extenzi kolenního kloubu.

#### **4.2.2 Obvody končetin**

Obvody končetin byly u pacientů měřeny v leže na zádech, kdy dolní končetiny měl pacient uvolněny. Vždy byl u pacienta měřen obvod stehna 10 cm nad patelou, přes patelu, přes tuberositas tibiae a v nejširším místě bérce. Toto měření u všech pacientů probíhalo jak na operované končetině, tak na neoperované končetině. Měření bylo provedeno jako součást vstupního i výstupního měření.

#### **4.2.3 Rozsahy pohybu v kloubu**

Rozsahy pohybu byly měřeny pomocí dvouramenného goniometru v sagitální rovině do flexe a extenze ve třech kloubech. Mezi tyto klouby byli v rámci studie zařazeny kyčelní kloub, kolenní kloub a hlezenní kloub. Měření rozsahu pohybu probíhalo aktivně i pasivně dle goniometrie od Jandy a Pavlů (1993).

#### **4.2.4 Lysholmův skórovací dotazník**

K publikaci Lysholmova skórovacího dotazníku (Příloha 3) došlo poprvé v roce 1982, kdy obsahoval pouze subjektivní části hodnocení kolenního kloubu pacientem. V dnešní podobě obsahuje 8 částí, ve kterých může získat pacient až 100 bodů. Jestliže pacient získá hodnotu 100 bodů, tak jde o bezpříznakového pacienta. Lysholmův dotazník hodnotí kulhání, nutnost opory, zablokování kolene, nestabilitu, otoky, chůzi po schodech, možnost vykonání dřepu a bolest. U každé z těchto vyjmenovaných částí jsou nabídnuty možnosti, podle nichž se pacient může rozhodnout. Každá z těchto možností je ohodnocená jinou bodovou hodnotou. Vždy je pacient instruován k výběru pouze jedné možnosti (Briggs et al., 2006; Briggs et al., 2009).

Lysholmův dotazník se používá v praxi hlavně na hodnocení funkčního stavu pacienta po operaci kolenního kloubu. Mezi nejčastější diagnózy, u kterých je tento dotazník využíván patří poranění LCA, menisků a modifikovanou formu je možné využít i u pacientů podstoupivších operaci chrupavky kolenního kloubu (Briggs et al., 2006; Briggs et al., 2009; Smith et al., 2009).

### **4.3 Metodika a průběh terapií**

V rámci této pilotní studie absolvovali probandi celkem osm 30minutových terapií. Cvičební jednotka byla absolvována v souladu s doporučeními ošetřujících lékařů a zásadami rehabilitace po operacích menisků kolenního kloubu. Pro každou skupinu pacientů byl nastaven plán rehabilitací, kdy pacienti ve skupině BFR měli stejné cviky a pacienti absolvující standardní rehabilitaci měli stejné cviky v rámci jejich skupiny.

#### **4.3.1 Cviky pro skupinu podstupující metodu Blood Flow Restriction**

Probandi absolvující metodu Blood Flow Restriction podstoupili posilovací protokol této metody, kdy byl tok krve k pracujícím svalům snížen o 80 %. Měření snížení toku krve probíhalo za pomoci PTS od firmy Defli Medical. Již zmíněné 80 % snížení toku krve přístroj vypočítal z úplného uzavření toku (LOP). Oba tyto tlaky se u každého pacienta zvlášť lišily v závislosti na konstituci těla.

Pacienti v dané skupině podstoupili 8 terapií. Každá jednotlivá terapie se skládala ze 3 cviků. Mezi cviky, které musel každý pacient vykonat, jsme zařadili v naší studii předkopy, podřepy a výstupy na stoličku. Z časových důvodů terapií nebylo možné zařadit více cviků. Každý cvik pacient prováděl ve čtyřech sériích. První série se skládala z 30 opakování daného cviku. Poté následovaly další tři série cviku po 15 opakováních. Mezi každou sérií měl vždy pacient půlminutovou pauzu. Následně po odcvičení celého cviku došlo k vyfouknutí manžety s jednodominutovou pauzou na změnu polohy před dalším cvikem a obnovení toku krve do končetiny. Před započítáním dalšího cvičení došlo znovu k nafouknutí manžety. Po skončení všech cviků a odejmutí manžety z dolní končetiny pacienta byl pacient vyzván k chůzi, aby došlo k prokrvení cvičené končetiny. K navyšování zatížení v průběhu cvičení docházelo po subjektivním uvážení terapeuta provádějícího rehabilitační jednotky a dle stavu pacienta z důvodu zaslepení studie a neznalosti svalové síly pacientů.

#### **4.3.2 Cviky pro pacienty podstupující standardní terapii**

Všichni pacienti ve skupině standardní terapie podstupovali téměř totožný rehabilitační plán, který se měnil pouze v závislosti na zdatnosti a adaptaci pacienta na dané cviky. Na úvodní rehabilitační jednotce byli pacienti zaučeni na ošetření jizvy stejně jako pacienti v BFR skupině. Dále v rámci úvodní jednotky byli pacienti naučeni základním posilovacím cvikům. Mezi tyto cviky jsme zařadili izometrické posilování

s overballem pod kolenem pro aktivaci čtyřhlavého svalu stehenního a hamstringů. Druhý cvik, který byli pacienti v rámci úvodní terapie naučeni, byl cvik na zvětšování rozsahu pohybu v kolenním kloubu, kdy se overball posunul z podkolenní jamky pod pacientovu patu a pacient měl flektovat koleno. Třetím cvikem, s nímž pacienti odcházeli z úvodní terapie, byla edukace „mostů“ v leže na zádech. V rámci dalších rehabilitací docházelo ke ztěžování cviků a celkovému zvyšování zatížení pacienta.

Pacienti v této skupině stejně jako pacienti v BFR skupině podstoupili 8 terapií po 30 minutách. V rámci těchto cvičebních jednotek bylo terapeutem zařazeno do rehabilitace izometrické posilování, analytické posilování dle svalového testu, posilování v CKC i OKC (předkopy, podřepy, výpady a poskoky), propioceptivní neuromuskulární facilitace – 1. diagonála pro dolní končetinu (flekční vzor, extenční varianta) – techniky rytmická stabilizace, zvrát agonistů a senzomotorická cvičení s využitím balančních ploch.

#### **4.4 Statistické zpracování dat**

Hodnoty svalové síly, rozsahu pohybu, obvody končetin a Lysholmova skórovacího dotazníku získané na vstupním a výstupním vyšetření byly zapsány do tabulek v programu Excel Office 365. Po ukončení měření byly do těchto tabulek dopsány hodnoty Lysholmova skórovacího dotazníku ze čtvrté terapie, které odebral terapeut provádějící terapie. K následnému zpracování hodnot byl použit program STATISTICA 14.0.0. Pro porovnání probandů v rámci jedné skupiny před a po terapiích byl použit Wilcoxonův test. Pro porovnání skupiny podstupující metodu Blood Flow Restriction a skupiny podstupující standardní terapii byl použit Mannův-Whitneyho U test.

#### **4.5 Limity studie**

Mezi limity této studie bezesporu patří malý počet probandů (n=20). Pro zlepšení kvality výzkumu by bylo potřeba většího počtu pacientů.

Dalšími limitujícími faktory této studie jsou velký věkový rozptyl, genderová nevyváženost skupin, motivace pacienta vykonávat rehabilitace a cvičit v domácím prostředí a krátké trvání rehabilitačních jednotek. Všechny tyto faktory mohly ovlivnit výsledky studie a nelze je tedy zobecňovat.

## 5 VÝSLEDKY

Tato část diplomové práce prezentuje výsledky výzkumu, který se zabýval účinkem metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií m. vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny 4 hypotézy a 1 výzkumná otázka.

### 5.1 Výsledky k hypotéze H1

**H1:** Je statisticky významný rozdíl mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction v nárůstu svalové síly svalů provádějících flexi kolenního kloubu operované dolní končetiny.

Pro určení svalové síly operované dolní končetiny do flexe byl použit dynamometr Isomed 2000 na CKV Baluo. Základní statistická charakteristika skóre svalové síly do flexe na operované dolní končetině u skupiny podstupující standardní rehabilitaci a skupiny podstupující metodu BFR je popsána v Tabulce 2. Skupina podstupující BFR metodu má výraznější rozdíl v průměrných hodnotách do flexe po terapiích než skupina podstupující standardní terapii. Zároveň skupina BFR dosáhla v průměru vyšších hodnot o 33,9 Nm (Newtonmetr) do flexe v kolenním kloubu po absolvování všech terapií.

K ověření hypotézy H1 jsme použili Mann-Whitneyův U test pro dvě nezávislé skupiny (Tabulka 3). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  je statisticky významný nárůst svalové síly do flexe v oblasti operovaného kolenního kloubu. Na základě tohoto výsledku je hypotéza **H1 přijata**.

Tabulka 2. Svalová síla operované dolní končetiny do flexe, popisná statistika

| Skupina               | Počet | M1 ± SD     | M2 ± SD      | M2 - M1 |
|-----------------------|-------|-------------|--------------|---------|
| <b>BFR</b>            | 10    | 59,1 ± 18,2 | 105,8 ± 28,4 | 46,7    |
| <b>Stand.<br/>RHB</b> | 10    | 48,7 ± 23   | 71,9 ± 28,6  | 23,2    |

Vysvětlivky: M1 – průměrné skóre Nm před terapií

M2 – průměrné skóre Nm po terapiích

SD – směrodatná odchylka

Tabulka 3. Svalová síla operované dolní končetiny do flexe, Mann-Whitney U test pro skupinu BFR a standardní RHB

|                       | <b>Z-skóre</b>  | <b>P-hodnota</b> |
|-----------------------|-----------------|------------------|
| <b>Skóre před RHB</b> | 1,020504        | 0,314999         |
| <b>Skóre po RHB</b>   | <b>2,003212</b> | <b>0,043257</b>  |

## 5.2 Výsledky k hypotéze H2

**H2:** Je statisticky významný rozdíl mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction v nárůstu svalové síly svalů provádějících extenzi kolenního kloubu operované dolní končetiny.

Pro určení svalové síly operované dolní končetiny do extenze byl stejně jako při vyšetření do flexe použit dynamometr Isomed 2000 na CKV Baluo. Základní statistická charakteristika skóre svalové síly do extenze na operované dolní končetině u skupiny podstupující standardní rehabilitaci a skupiny podstupující metodu BFR je popsána v Tabulce 4. Skupina podstupující BFR metodu má výraznější rozdíl v průměrných hodnotách do extenze po terapiích než skupina podstupující standardní terapii. Skupina BFR dosáhla v průměru vyšších hodnot o 30,9 Nm do extenze po absolvování všech terapií. K ověření této hypotézy byl použit Mann-Whitneyův U test. Na základě výsledků byla hypotéza **H2 zamítnuta**.

Tabulka 4. Svalová síla operované dolní končetiny do extenze, popisná statistika

| Skupina           | Počet | <b>M1 ± SD</b> | <b>M2 ± SD</b> | <b> M2 - M1 </b> |
|-------------------|-------|----------------|----------------|------------------|
| <b>BFR</b>        | 10    | 69,8 ± 19,4    | 130,4 ± 28,2   | 60,6             |
| <b>Stand. RHB</b> | 10    | 61,8 ± 25      | 99,5 ± 47,3    | 37,7             |

Vysvětlivky: M1 – průměrné skóre v Nm před terapií

M2 – průměrné skóre Nm po terapiích

SD – směrodatná odchylka

Tabulka 5. Svalová síla operované dolní končetiny do extenze, Mann-Whitney U test pro skupinu BFR a standardní RHB

|                       | <b>Z-skóre</b> | <b>P-hodnota</b> |
|-----------------------|----------------|------------------|
| <b>Skoré před RHB</b> | 1,250106       | 0,217563         |
| <b>Skoré po RHB</b>   | 1,776433       | 0,075256         |

### 5.3 Výsledky k hypotéze H3

**H3:** Je statisticky významný rozdíl nárůstu obvodu svalů mezi standardními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction po terapiích.

Pro určení nárůstu obvodu svalu byl používán standardizovaný postup antropometrického měření. Samotné měření spočívalo ve změření obvodů operované dolní končetiny. V tabulce 6 je uvedena základní statistická charakteristika naměřených antropometrických hodnot. Vstupní hodnoty byly u obou skupin téměř totožné. Taktéž výstupní hodnoty byly téměř totožné až na dvě výjimky. První výjimkou byl větší nárůst v oblasti stehna, přesněji řečeno 10 cm nad patelou u skupiny BFR. Druhou výjimkou byl úbytek v obvodu přes patelu u skupiny podstupující standardní rehabilitaci, ale i u skupiny podstupující BFR, kdy k tomuto úbytku došlo zřejmě s ústupem otoku.

Abychom zjistili, zda došlo při metodě BFR, ale i při standardizované rehabilitaci k nárůstu svalové hmoty v oblasti operované dolní končetiny, použili jsme na změřená data Wilcoxonův test (Tabulka 7 a 8). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  můžeme z výsledku tabulky 7 zjistit, že ve skupině podstupující metodu Blood Flow Restriction došlo ke statisticky významné změně v oblasti stehna, přesněji řečeno 10 cm nad patelou a v oblasti pately. Z výsledků tabulky 8 poté můžeme zjistit, že ke staticky významné změně u skupiny podstupující standardní rehabilitaci došlo pouze v oblasti pately.

Ke zjištění rozdílu výstupních hodnot mezi skupinou BFR a skupinou standardizované terapie byl použit Mann-Whitneyův U test (Tabulka 9). Dle výsledků Mann-Whitneyův U testu není statisticky významný rozdíl v nárůstu obvodu svalů v oblasti operované dolní končetiny mezi skupinou BFR a skupinou standardní rehabilitace. Na základě těchto výsledků byla **H3 zamítnuta**.



Tabulka 6. Antropometrické měření obvodů operované dolní končetiny, popisná statistika

|                                | Skupina    | M1 ± SD    | M2 ± SD    | M2 - M1 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|---------|
| <b>10 cm nad patelou</b>       | BFR        | 47,1 ± 5,1 | 48,9 ± 4   | 1,8     |
|                                | Stand. RHB | 47,8 ± 3,5 | 48,5 ± 3,2 | 0,7     |
| <b>Přes patelu</b>             | BFR        | 41,3 ± 2,5 | 40,3 ± 2,5 | -1      |
|                                | Stand. RHB | 42,1 ± 3,1 | 40,7 ± 3,1 | -1,4    |
| <b>Přes tuberositas tibiae</b> | BFR        | 36,8 ± 2,3 | 36,4 ± 1,9 | -0,4    |
|                                | Stand. RHB | 38,4 ± 3,1 | 37,8 ± 3,2 | -0,6    |
| <b>Nejširší místo lýtka</b>    | BFR        | 38,8 ± 2,9 | 38,8 ± 2,2 | 0       |
|                                | Stand RHB  | 38,6 ± 1,9 | 38,9 ± 1,8 | 0,3     |

Vysvětlivky: M1 – průměrný obvod v cm před terapií

M2 – průměrný obvod v cm po terapiích

SD – směrodatná odchylka

Tabulka 7. Obvody operované dolní končetiny BFR skupina, Wilcoxonův test

| <b><u>BFR</u></b>              | <b>Z-skóre</b> | <b>P-hodnota</b> |
|--------------------------------|----------------|------------------|
| <b>10 cm nad patelou</b>       | 2,520504       | 0,011719         |
| <b>Přes patelu</b>             | 2,100420       | 0,035693         |
| <b>Přes tuberositas tibiae</b> | 0,674200       | 0,500185         |
| <b>Nejširší místo lýtka</b>    | 0,00           | 1,0              |

Tabulka 8. Obvody operované dolní končetiny skupina standardní terapie, Wilcoxonův test

| <b><u>Standardní terapie</u></b> | <b>Z-skóre</b> | <b>P-hodnota</b> |
|----------------------------------|----------------|------------------|
| <b>10 cm nad patelou</b>         | 1,658577       | 0,097202         |
| <b>Přes patelu</b>               | 2,310462       | 0,020863         |
| <b>Přes tuberositas tibiae</b>   | 1,677256       | 0,093493         |
| <b>Nejširší místo lýtka</b>      | 0,611577       | 0,540818         |

Tabulka 9. Obvody operované dolní končetiny, Mann-Whitney U test pro skupinu BFR a standardní RHB

|                                | Z-skóre před RHB | P-hodnota před RHB | Z-skóre po RHB | P-hodnota po RHB |
|--------------------------------|------------------|--------------------|----------------|------------------|
| <b>10 cm nad patelou</b>       | -0,113818        | 0,911797           | 0,151872       | 0,853428         |
| <b>Přes patelu</b>             | -0,536253        | 0,578742           | -0,346073      | 0,739364         |
| <b>Přes tuberositas tibiae</b> | -1,22572         | 0,217563           | -1,03221       | 0,314999         |
| <b>Nejširší místo lýtka</b>    | 0,382743         | 0,684211           | 0,038245       | 0,970512         |

#### 5.4 Výsledky k hypotéze H4

**H4:** Je statisticky významný rozdíl mezi konvenčními postupy rehabilitace a metodou Blood Flow Restriction na změnu rozsahu pohybu v kolenním kloubu.

Tabulka 10 popisuje základní statistiku operovaného kolenního kloubu u skupiny Blood Flow Restriction a standardní rehabilitace. Průměrný rozsah pohybu byl při úvodním i výstupním měření vyšší u skupiny podstupující BFR. Rozdíl mezi skupinami byl při úvodním měření aktivního pohybu do flexe 12° a pasivního pohybu 9,5°. Většího zlepšení dle průměrných hodnot popisné statistiky dosáhla skupina standardní rehabilitace, ale to lze částečně přičítat nižším naměřeným počátečním hodnotám rozsahu pohybu.

Obě skupiny jsme porovnali pomocí Mann-Whitneyova U testu (Tabulka 11), kdy rozdíl na změnu rozsahu pohybu mezi skupinami nebyl statisticky významný. Na základě statistické nevýznamnosti je **H4 zamítnuta**.

Tabulka 10. Rozsah pohybu operovaného kolenního kloubu, popisná statistika

|                      | <b>Skupina</b> | <b>M1 ± SD</b> | <b>M2 ± SD</b> | <b> M2 - M1 </b> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>FLX – aktivní</b> | BFR            | 97 ± 16,8      | 119,5 ± 7,2    | 22,5             |
|                      | Stand. RHB     | 85,5 ± 13,1    | 113,5 ± 12,3   | 28               |
| <b>FLX – pasivní</b> | BFR            | 101,5 ± 19,1   | 126 ± 8,3      | 24               |
|                      | Stand. RHB     | 92 ± 15,3      | 121 ± 11,2     | 29               |
| <b>EX – aktivní</b>  | BFR            | 1 ± 3          | 2,5 ± 3,4      | 1,5              |
|                      | Stand. RHB     | 0              | 3 ± 3,3        | 3                |
| <b>EX – pasivní</b>  | BFR            | 1 ± 3          | 2,5 ± 3,4      | 1,5              |
|                      | Stand RHB      | 0,5 ± 1,5      | 3 ± 3,3        | 2,5              |

Vysvětlivky: M1 – průměrný obvod ve stupních před terapií

M2 – průměrný obvod ve stupních po terapiích

SD – směrodatná odchylka

FLX – flexe

EX – extenze

Tabulka 11. Rozsah pohybu – operovaný kolenní kloub, Mann-Whitney U test pro skupinu BFR a standardní RHB

|                      | <b>Před terapií</b> |                  | <b>Po terapiích</b> |                  |
|----------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
|                      | <b>Z-skóre</b>      | <b>P-Hodnota</b> | <b>Z-skóre</b>      | <b>P-Hodnota</b> |
| <b>FLX – aktivní</b> | 1,334405            | 0,217563         | 0,962438            | 0,352681         |
| <b>FLX – pasivní</b> | 1,173849            | 0,247451         | 0,812258            | 0,435872         |
| <b>EX – aktivní</b>  | 0,900000            | 0,739364         | -0,339823           | 0,739364         |
| <b>EX – pasivní</b>  | 0,00                | 0,970512         | -0,339823           | 0,739364         |

## 5.5 Výsledky k výzkumné otázce V1

**V1:** Jak velký vliv mají tyto dva rozdílné postupy rehabilitace na každodenní funkčnost zkoumané končetiny?

Pro zjištění, jak velký vliv mají tyto dva zkoumané postupy rehabilitace na funkčnost operované dolní končetiny, jsme použili Lysholmův skórovací dotazník. Probandi vyplňovali dotazník při vstupním vyšetření, po čtvrté terapii a při výstupním vyšetření. Zjištěné průměrné skóre u Blood Flow Restriction skupiny a skupiny standardní terapie je zobrazeno v tabulce 12. Skupina standardní terapie dosáhla výraznějšího rozdílu průměrného skóre před terapií a po terapii než skupina BFR o 1,1 bodu. Výraznějšího rozdílu průměrného skóre mezi měřením po čtvrté terapii a konečným měřením dosáhla skupina standardní terapie oproti skupině podstupující BFR o 8 skórovacích bodů. Avšak konečné průměrné skóre je o 2,3 bodu vyšší u skupiny podstupující metodu Blood Flow Restriction.

V rámci porovnání statistického zlepšení jsme výsledky podrobili Wilcoxonovu testu (Tabulka 13). Výsledkem tohoto testu bylo, že v obou skupinách došlo ke statisticky významnému zlepšení v oblasti funkčnosti operované dolní končetiny.

K porovnání obou skupin mezi sebou jsme použili Mann-Whitneyův U test (Tabulka 14). Výsledkem tohoto testu bylo, že nedošlo ke statisticky významnému rozdílu mezi skupinami v oblasti funkčnosti operované dolní končetiny.

Na základě těchto výsledků, lze říct, že jsou obě metody rehabilitace stejně efektivní v návratu funkce operované dolní končetiny.

Tabulka 12. Skóre Lysholmova skórovacího dotazníku, popisná statistika

| Skupina               | Počet | M1 ± SD     | M2 ± SD     | M3 ± SD     | M3 - M1 | M3 - M2 |
|-----------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|
| <b>BFR</b>            | 10    | 51,1 ± 15,0 | 77,5 ± 9,7  | 87,8 ± 11,2 | 36,7    | 10,3    |
| <b>Stand.<br/>RHB</b> | 10    | 47,7 ± 20,3 | 67,2 ± 19,2 | 85,5 ± 9,9  | 37,8    | 18,3    |

Vysvětlivky: M1 – průměrné skóre před terapií

M2 – průměrné skóre po 4 terapii

M3 – průměrné skóre po terapiích

SD – směrodatná odchylka

Tabulka 13. Skóre Lysholmova dotazníku, Wilcoxonův test

| Skupina               | Vstupní x výstupní |           | Vstupní x Půlka |           | Půlka x výstupní |           |
|-----------------------|--------------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
|                       | Z-skóre            | P-hodnota | Z-skóre         | P-hodnota | Z-skóre          | P-hodnota |
| <b>BFR</b>            | 2,803060           | 0,005062  | 2,803060        | 0,005062  | 2,803060         | 0,005062  |
| <b>Stand.<br/>RHB</b> | 2,803060           | 0,005062  | 2,803060        | 0,005062  | 2,344377         | 0,019059  |

Tabulka 14. Skóre Lysholmova dotazníku, Mann-Whitney U test pro skupinu BFR a standardní RHB

|                                 | Z-skóre  | P-hodnota |
|---------------------------------|----------|-----------|
| <b>Skóre vstupní vyšetření</b>  | 0,264874 | 0,795936  |
| <b>Skóre po 4 terapii</b>       | 0,720030 | 0,481251  |
| <b>Skóre výstupní vyšetření</b> | 0,719758 | 0,481251  |

## 6 DISKUZE

Diplomová práce se zabývala účinkem metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií m. vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Svým charakterem je práce pilotní studií na toto téma na území České republiky, a proto bylo zapotřebí efekt metody BFR porovnat se standardní rehabilitací již používanou v této lokalitě. Probandi absolvovali vstupní vyšetření, 8 rehabilitačních intervencí rozdělených do 4 týdnů a výstupní vyšetření. Do dnešního dne nebyla provedena žádná studie na našem území na téma metody Blood Flow Restriction. V zahraničních výzkumech a literatuře se výzkumy na téma BFR vyskytují nejčastěji ve spojení s rekonstrukčními operacemi LCA (Curran et al., 2020; Hughes et al., 2019; Iversen et al., 2016; Kilgas et al., 2019; Ohta et al., 2003; Takarada et al., 2000), geriatrických pacientů (Karabulut et al., 2013; Libardi et al., 2015; Ozaki et al., 2011; Shimizu et al., 2016; Vechin et al., 2015; Yasuda et al., 2015) nebo pacientů trpících osteoartrózou (Baker et al., 2020; Bryk et al., 2016; Ferraz et al., 2018; Harper et al., 2019; Segal et al., 2015). Jediné dvě podobné studie, kdy používali metodu BFR u pacientů po artroskopické operaci menisku byla studie od Ke et al. (2022) a Jakobsena et al. (2022). Tyto dvě studie se zabývaly využitím metody BFR u pacientů podstupující artroskopickou operaci menisků a vlivu této metody na zvýšení svalové síly a svalového obvodu. V odborné literatuře tedy nenalzáme dostatek informací o tom, jaký vliv má metoda Blood Flow Restriction na pacienty po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Pacienti po tomto druhu operace se nejčastěji potýkají s hypotrofií v oblasti m. quadriceps femoris, sníženým rozsahem pohybu v kolenním kloubu a snížením funkčního využití operované dolní končetiny.

Svalová slabost, hypotrofie či atrofie spojené s operacemi provedenými na kolenním kloubu negativně ovlivňují jeho následnou funkčnost (Watson et al., 2022). Artroskopická menisektomie je jedním z běžně používaných postupů po poranění menisků, který může do určité míry zlepšit funkci kolena (Li et al., 2020). Artroskopické operace kolenního kloubu jsou však často doprovázeny komplikacemi, jako je bolest, atrofie či hypotrofie extenzorové skupiny svalů kolenního kloubu a omezení rozsahu pohybu. Je zjištěno, že se u pacientů může projevovat oslabení v oblasti extenzorů kolenního kloubu až 4 roky po operaci, což zásadně ovlivňuje funkci kolena a kvalitu každodenního života (Ericsson et al., 2006). Proto dochází u těchto pacientů k indikaci

rehabilitace. Schoenfeld (2013) píše, že k účinné prevenci svalové hypotrofie či atrofie po artroskopické menisektomii menisků kolenního kloubu je potřeba odporového cvičení vhodné intenzity. S touto myšlenkou souhlasí i autoři Watson et al. (2022), kteří píší, že silový trénink by měl být nedílnou součástí pooperační péče. Tradičně se dle American College of Sports (2009) pro vyvolání svalové hypertrofie používalo cvičení o velké zátěži dosahující až 70 % z jednoho maximálního opakování. Dále však udávají, že takové zatížení je pro pacienty, kteří podstoupili artroskopickou menisektomii kolenního kloubu až moc náročné. Osobně si myslím, že cvičení o vysokém zatížení pohybující se okolo 70 % z jednoho maximálního opakování nemá u pacientů, kteří podstoupili artroskopickou operaci menisků kolenního kloubu význam. Mezi důvody, proč si toto myslím bych zařadili bolest, která je přítomná po operaci, oslabení svalů a funkčnost končetiny, což jsou faktory, díky kterým takové cvičení nebude u pacientů příliš dobře tolerováno. Za posledních 15 až 20 let dochází dle zahraniční literatury k ústupu od cvičení s velkou zátěží, a do popředí se dostává cvičení s malým zatížením společně se sníženým tokem krve k pracujícím svalům. Toto cvičení by mělo vyvolat podobnou hypertrofii svalové tkáně a zvýšení svalové síly jako cvičení s velkým odporem, či váhou (Early et al., 2020; Van Cant et al., 2020).

Snížení toku krve k pracujícím svalům se poprvé objevilo již kolem roku 1960 v Japonsku pod názvem „Kaatsu“, která však s dnešní metodou BFR má společné pouze to, že docházelo ke snížení toku krve k pracujícím svalům. Toto snížení toku nebylo ničím kontrolované, a tudíž potenciálně nebezpečné. První vědecká studie popisující snížení toku krve k pracujícím svalům v dnešní podobě se objevila až kolem roku 1998 (DePhillipo et al., 2018).

Účinky metody z velké míry závisí na zvoleném tlaku v manžetě, počtu cviků a opakování, délce rehabilitační intervence a zvolené zátěži. V této práci byl tlak v manžetě u všech pacientů podstupující metodu BFR nastaven na 80 % z úplného uzavření toku krve do končetiny. Poslední studie udávají, že nejběžněji používané tlaky pro dolní končetinu jsou v rozmezí od 60 do 80 % z úplného uzavření toku do končetiny (Patterson et al., 2019, Scott et al., 2015). Stejně tlaky jsou doporučeny ve studiích od DePhillipo et al. (2018) a Vopata et al. (2020). Ve studii od Countsové et al. (2016) zkoumali jaké tlaky vyvolávají požadovanou odpověď nárůstu svalové hmoty a síly. Výzkum proběhl na horní končetině. Z výsledků jejich studie vyplývá, že při tlaku 40 %

z úplného uzavření toku krve do končetiny dosáhneme stejné stimulace jako při použití tlaku 90 % z úplného uzavření toku krve do končetiny. Ve studii od Singera et al. (2020) zkoumali, jak různé tlaky používané při metodě BFR ovlivňují průtok krve a prokrvení tkání. Mezi zkoumané tlaky zařadili 0 %, 60 %, 80 % a 100 % z maximálního tlaku pro uzavření toku krve do končetiny. Před, během a po cvičení byl zaznamenáván průtok krve femorální tepnou a okysličení tkání. Z výsledků této studie vyplývá, že veškeré tlaky nad 60 % z tlaku potřebného pro úplné uzavření toku krve do končetiny vyvolají výrazné změny v okysličení tkání a průtoku krve k pracujícím svalům. Volba nižšího tlaku bude mít za následek nižší hypoxii ale zároveň také nižší diskomfort pro pacienta. Hughes et al. (2017) píše stejně jako Singer et al. (2020), že veškeré tlaky nad 60 % s optimálním zatížením způsobí nárůst svalové hmoty a síly. Zároveň ale dodávají, že vyšší tlaky budou mít lepší výsledky ale bude snížen komfort pacienta.

Ve studii od Ke et al. (2022) použili stejný tlak jako my v naší studii a to 80 % z úplného uzavření tlaku do končetiny. Studie se zaměřovala na porovnání rehabilitačních postupů u pacientů, kteří podstoupili parciální menisektomii kolenního kloubu. První skupinu tvořili pacienti (n=19) podstupující standardní rehabilitaci a druhou skupinu tvořili pacienti podstupující metodu Blood Flow Restriction (n=19). Tyto dvě skupiny probandů poté porovnávali v parametrech bolesti, rozsahu pohybu, funkčnosti končetiny pomocí Lysholmova skóre, síly svalů kolenního kloubu do extenze měřené na isokinetickém dynamometru (CON-TREX) a obvodu svalů. Z výsledků vyplývá, že při použití tohoto tlaku při metodě BFR došlo k signifikantnímu zlepšení ve všech pozorovaných parametrech. Porovnání této studie s našimi výsledky rozebírám v následujících odstavcích.

Efektivní omezení toku krve do pracující končetiny souvisí se šířkou manžety, protože čím širší manžeta, tím je potřeba nižšího tlaku na snížení toku krve (Loenneke et al., 2013). Ve studii od Segal et al. (2015) použili manžetu o šířce 6,5 centimetrů. Někteří autoři ve svých studiích používají manžetu o šířce 11,5 centimetrů (Hughes et al., 2018, Hughes et al., 2019), kdežto někteří autoři volí ještě širší manžety o šířce 14 centimetrů (Iversen et al., 2016) nebo 17,5 centimetrů (Ferraz et al., 2018). My jsme v naší studii použili manžetu o šířce 11,5 centimetrů, kterou vyrábí firma Delfi Medical. Stejnou manžetu a šířku manžety použili ve své studii i Ke et al. (2022). Umístění manžety na tělo pacienta by mělo být co nejproximálněji ke středu těla na končetině kterou chceme



ovlivnit (Neto et al., 2017; Spitz et al., 2021). Tento postup, který se ukazuje jako nejefektivnější jsme zvolili i my v naší studii.

Počet cviků a počet opakování byl v naší studii nastaven na 3 cviky (předkopy, podřepy a výstupy na stoličku) po 75 opakováních rozdělených do 30-15-15-15 opakování s 30vteřinovou pauzou mezi každou sérií. Po docvičení jednoho cviku následovalo vyfouknutí manžety s 1minutovou pauzou na změnu pozice před začátkem dalšího cviku. Toto nastavení počtu cviků a opakování je nejčastěji používanou kombinací mezi autory studií (Loenneke et al., 2012; Loenneke, Wilson J.M. et al., 2011; Patterson et al., 2019; Slysz et al., 2016). Stejný protokol jako jsme použili my u pacientů po operaci menisků, použili ve své studii i Ke et al. (2022). Ve studii od Ferraze et al. (2018) použili protokol kdy měli pacienti od 1. do 5. týdne rehabilitaci dvakrát týdně. V rámci každé rehabilitace měli pacienti naplánovány 4 cviky po 10 opakováních. Od 5. do 12. týdne měli pacienti naplánováno 5 cviků po 10 opakováních.

Zátěž v naší studii byla u skupiny BFR nastavena dle subjektivního uvážení terapeuta a dle stavu pacienta z důvodu, že terapeut provádějící rehabilitace neznal výsledky vstupního vyšetření, kde byla měřena maximální síla, kterou je pacient schopen vyvinout. Toto bylo zapříčiněno zaslepeností studie. Nejčastěji používanou zátěží ve studiích na metodu Blood Flow Restriction se pohybuje mezi 20 až 30 % z jednoho maximálního opakování (Harper et al., 2019; Karabulut et al., 2010; Vechin et al., 2015).

Cílem této diplomové práce bylo posoudit efektivitu metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod svalů, rozsah pohybu a každodenní funkčnost zkoumané končetiny u pacientů po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu. Zároveň kromě již zmíněných parametrů porovnává práce známé kinezioterapeutické postupy rehabilitace a metodu Blood Flow Restriction. Při porovnání výsledných hodnot svalové síly do flexe a extenze, mezi jednotlivými pacienty, tak měli pacienti podstupující experimentální metodu BFR větší rozdíly hodnot po terapii než kontrolní skupina. Při vstupním vyšetření svalové síly do flexe a extenze měli pacienti podstupující metodu Blood Flow Restriction téměř shodná vstupní data jako pacienti podstupující standardní rehabilitaci. Vstupní data antropometrického vyšetření byla taktéž téměř shodná. Při porovnání pacientů mezi sebou došlo ke znatelnému nárůstu obvodu v oblasti čtyřhlavého svalu stehenního u experimentální skupiny podstupující BFR oproti skupině podstupující

standardní rehabilitaci. Rozsah pohybu byl při výstupním měření větší u skupiny podstupující Blood Flow Restriction než u skupiny podstupující standardní rehabilitaci. Při porovnání každodenní funkčnosti končetiny mezi jednotlivými pacienty byl použit Lysholmův skórovací dotazník, kdy skupina standardní rehabilitace měla větší rozdíl výsledných hodnot oproti skupině podstupující metodu BFR.

Při vstupním a výstupním vyšetření byla pacientům změřena svalová síla do flexe a extenze na dynamometru – Isomed 2000. U skupiny BFR došlo dle Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné (příloha 4) k výraznému zlepšení svalové síly do flexe i extenze. Při výstupním měření dosahovala experimentální skupina podstupující metodu BFR vyššího průměrného zlepšení ve svalové síle do flexe o 33,9 Nm, ale i extenze o 30,9 Nm než skupina podstupující standardní rehabilitaci. Tyto výsledky se shodují s výzkumy zahraničních autorů zmíněných výše. Průměrné zlepšení svalové síly po konci terapii bylo ve skupině standardní rehabilitace do flexe o 23,2 Nm a do extenze o 37,7 Nm, zatímco ve skupině BFR došlo po konci terapií k průměrnému zlepšení do flexe o 46,7 Nm a do extenze o 60,6 Nm. Při porovnání výstupních hodnot mezi oběma skupinami pomocí Mann-Whitneyova U testu byl statisticky významný rozdíl v nárůstu svalové síly do flexe. Při porovnání výstupních hodnot do extenze nedošlo ke statisticky významné změně mezi skupinami. Faktorem, proč nedošlo ke statisticky významnému zlepšení mezi skupinami v oblasti svalové síly do extenze v naší terapii může být příliš krátké trvání intervence, kdy probandi podstoupili pouze 8 rehabilitačních jednotek v průběhu 4 týdnů.

Ke et al. (2022) ve své práci porovnávali zvýšení svalové síly u probandů podstupující metodu BFR a pacientů podstupujících standardní rehabilitaci po artroskopické menisektomii menisku kolenního kloubu. Zjistili, že pacienti podstupující metodu BFR dosáhli po 8 týdnech terapie většího nárůstu svalové síly než pacienti, kteří podstupovali pouze standardní rehabilitaci. Při porovnání na konci jejich měření jim vyšlo, že se pacienti statisticky významně zlepšili jak do flexe, tak do extenze. Měření změny svalové síly v této studii proběhlo na isokinetickém dynamometru.

Ve studii od Tenneta et al. (2017), porovnávali metodu BFR a standardní rehabilitaci u pacientů po artroskopické operaci. V této studii zkoumali zvýšení svalové síly do flexe a extenze u pacientů po artroskopické operaci kolenního kloubu. Pro měření

svalové síly byl použit dynamometr (Biodex systém 3). Všichni pacienti podstoupili 12 terapií v rámci 6 týdnů. Oproti naší studii však došlo ke statisticky významnému zlepšení svalové síly do flexe i extenze. Oproti naší studii došlo ve všech zmíněných studiích ke statisticky významnému zlepšení svalové síly do flexe i extenze.

V systematické – review píše Barber-Westin a Noyes (2019), že k dosažení významného nárůstu svalové síly je zapotřebí aspoň 6 týdnů rehabilitace pomocí metody BFR. S touto minimální délkou intervence pomocí metody Blood Flow Restriction se shoduje i Wengle et al. (2022), kdy navíc dodávají, že by frekvence rehabilitací měla být minimálně aspoň dvakrát v týdnu. S těmito informacemi se ztotožňujeme. Aby došlo ke statisticky významnému rozdílu mezi metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací, tak by dle našeho názoru byla zapotřebí delší rehabilitační intervence v délce 6 až 8 týdnů, respektive 12. až 16. rehabilitačních jednotek. Někteří autoři volí ještě delší čas intervence pomocí metody BFR v délce 12 týdnů (Ferraz et al., 2018; Harrper et al., 2019; Libardi et al., 2015; Vechin et al., 2015). Nejdelší čas na intervenci prováděnou pomocí Blood Flow Restriction použil ve své studii Ohta et al. (2003). Výzkum a cvičení pomocí metody BFR probíhal na pacientech po rekonstrukci předního zkříženého vazů 16 týdnů.

Rozdělení pacientů do skupin bylo náhodné. Je však pravdou že v našem výzkumu musely být dvě ženy přesunuty do skupiny standardní rehabilitace z důvodu kontraindikací na metodu Blood Flow Restriction. Toto přesunutí vyvolalo nepoměr mezi skupinami, kdy ve skupině BFR bylo 9 mužů a 1 žena a ve skupině standardní rehabilitace bylo 6 žen a 4 muži. Tento genderový nepoměr by dle našeho názoru mohl být faktorem, proč došlo k většímu nárůstu svalové síly u skupiny BFR. Druhým faktorem, proč si myslím, že došlo k většímu nárůstu svalové síly u skupiny BFR může být celkový nižší průměrný věk u skupiny BFR (36,9 let) než u skupiny standardní rehabilitace (51,6 let). Melnyk et al. (2009) píše, že různá pohlaví mohou reagovat na silový trénink odlišně. Dále píše, že i věk může ovlivňovat přírůstek svalové hmoty. Tyto faktory mohou dle našeho názoru ovlivňovat výsledky svalové síly. Jak bylo popsáno výše, došlo k většímu průměrnému nárůstu svalové síly po absolvování terapií do flexe i extenze u skupiny BFR. Rozdílné složení výzkumných skupin mohlo mít vliv na vstupní i výstupní měření svalové síly na dynamometru. Malik et al. (2018) píše, že je dynamometrie dobrým nástrojem na změření maximální svalové síly. Dále však dodávají,

že může být ovlivněno několika faktory. Mezi tyto faktory poté řadí motivaci pacienta, omezení rozsahu pohybu (například otokem) a bolest.

Pro hodnocení nárůstu svalové hmoty bylo v této studii využito měření obvodu stehna pomocí krejčovského metru 10 cm nad patelou. Schoenfeld (2010) píše, že existuje spojení mezi svalovou silou a velikostí svalů. Stejného názoru je i Fry (2004). Náš výzkum zjistil, že při výstupním měření po 4 týdnech terapií dosáhla experimentální skupina podstupující metodu BFR výraznějšího průměrného nárůstu obvodu stehna 10 centimetrů nad patelou o 0,4 centimetrů než skupina podstupující standardní terapii (Tabulka 6). Dle Wilcoxonova testu došlo ke statisticky významnému nárůstu v obvodu stehna 10 cm nad patelou u experimentální skupiny podstupující BFR (Tabulka 7). U skupiny standardní terapie k tomuto statisticky významnému nárůstu nedošlo (Tabulka 8). Při porovnání obou skupin terapií pomocí Mann-Whitneyova U testu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi metodou Blood Flow Restriction a standardní terapií v nárůstu obvodů dolní končetiny (Tabulka 9). Tento fakt by mohl být způsoben příliš krátkou dobou intervence. Tyto zjištění můžeme reprodukovat tak, že k výraznějšímu nárůstu svalové hmoty je zapotřebí využití delšího času rehabilitací pomocí metody Blood Flow Restriction než námi zvolená doba trvání v délce 4 týdnů. S touto myšlenkou souhlasí i ve studii Ke et al. (2022) kde zjistili, že po 4 týdnech od operace nebyl mezi skupinou podstupující metodou BFR a skupinou podstupující standardní terapií statisticky významný rozdíl. Dodávají avšak, že po 8 týdnech od operace došlo ke statisticky výraznému nárůstu obvodu stehna ve skupině podstupující rehabilitaci pomocí metody Blood Flow Restriction oproti skupině standardní rehabilitace. Stejný statisticky významný nárůst ve svalové hmotě dosáhly i další výzkumy, které trvaly delší dobu než náš výzkum (Hughes et al., 2017, Lixandrão et al., 2015, Wengle et al., 2022).

Schoenfeld (2010) píše, že na nárůst svalové hmoty může mít vliv pohlaví, věk, genetická výbava. Tyto faktory mohli teoreticky ovlivňovat i konečné výsledky naší studie a odůvodňovat, proč ve skupině Blood Flow Restriction došlo k výraznějšímu nárůstu svalové hmoty.

Pacienti vyplnili během vstupního vyšetření, po čtvrté terapii a během výstupního vyšetření Lysholmův skórovací dotazník, kterým jsme hodnotili funkční stav operované dolní končetiny. U obou skupin došlo k výraznému průměrnému zlepšení mezi vstupním

a výstupním vyplnění (Tabulka 12). Vyššího průměrného skóre dosáhla po výstupním měření skupina podstupující standardní rehabilitaci a to o 1,1 bodu. Avšak mezi měřením po čtvrté terapii a konečným měřením dosáhla skupina podstupující standardní rehabilitaci oproti metodě BFR průměrného rozdílu o 8 bodů. Dle Wilcoxonova testu došlo k významnému zlepšení mezi vstupním vyplněním dotazníku a vyplněním dotazníku po čtvrté terapii u obou skupin. Stejně tak došlo ke statisticky významnému zlepšení mezi čtvrtou terapií a výstupní terapií. (Tabulka 13). Při porovnání obou skupin pomocí Mann-Whitneyova U testu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi skupinami (Tabulka 14). Ve studii od Ke et al. (2020) nebyl předoperační rozdíl mezi skupinou podstupující BFR metodu a skupinou podstupující standardní rehabilitaci. V této studii však oproti naší studii došlo ke statisticky významnému rozdílu mezi čtvrtým až osmým týdnem, kdy pacienti podstupující metodu BFR dosahovali výrazně lepších výsledků než pacienti podstupující standardní terapii. Tento rozdíl oproti naší studii může korelovat s výrazným nárůstem svalové hmoty a síly mezi 4 až 8 týdnem. Hughes et al. (2017) tento rozdíl v nárůstu svalové hmoty mezi 4 až 8 týdnem je způsoben adaptací svalové tkáně na procesy probíhající jako důsledek hypoxie. Tento výraznější nárůst by mohl mít vliv na části Lysholmova skórovacího dotazníku jako je například chůze po schodech, provedení dřepu, kulhání nebo pocit stability. Z tohoto důvodu jsme předpokládali, že bude mít skupina podstupující metodu Blood Flow Restriction výrazněji lepší výsledky ve funkčním využití operované dolní končetiny než skupina podstupující standardní terapii.

V oblasti rozsahu pohybu došlo ke statisticky výraznému zlepšení u obou skupin. Toto významné zlepšení rozsahu mohlo být zapříčiněno snížením otoku v oblasti pately a snížením bolestivosti (Tabulka 7 a 8). U skupiny BFR byl aktivní pohyb do flexe po konci terapie zvětšen v průměru o  $22,5^\circ$  a u skupiny podstupující standardní rehabilitaci o  $28,5^\circ$ . Skupina standardní rehabilitace tedy dosáhla většího zlepšení v průběhu terapií. Konečný aktivní rozsah pohybu do flexe byl vyšší u skupiny BFR a to o  $6^\circ$ . Při porovnání obou skupin pomocí Mann-Whitneyova U testu (Tabulka 11) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi metodami na rozsah pohybu v kolenním kloubu. Podobného zlepšení rozsahu pohybu došlo i ve studii od Ke et al. (2022), kdy se rozsah pohybu v kolenním kloubu u skupiny BFR zlepšil za 8 týdnů od operace o  $18,9^\circ$  a u skupiny standardní rehabilitace o  $9,5^\circ$ . Musím však podotknout, že pacienti v této studii začínali na mnohem vyšším počátečním rozsahu pohybu v kolenním kloubu (BFR =  $118,41^\circ \pm 6,85$ ; standardní RHB =  $121,25^\circ \pm 7,38$ ) oproti pacientům v našem výzkumu (BFR =  $97^\circ \pm 16,8$ ; standardní RHB =  $85^\circ \pm 13,1$ ).

Bylo by vhodné pokračovat ve výzkumu metody Blood Flow Restriction na pooperačních stavech kolenního kloubu. Dále by bylo vhodné terapii u těchto pacientů provádět delší dobu než 4 týdny, aby došlo k přesnějším a mnohem důvěryhodnějším výsledkům a rozdílům mezi metodou BFR a standardní terapií. V nastavení, ve kterém proběhla tato studie nelze u některých námi hodnocených parametrů říci, že je metoda BFR efektivnější než klasická standardizovaná rehabilitace.

## 7 ZÁVĚR

Diplomová práce si kladla za cíl posoudit účinek metody Blood Flow Restriction na nárůst svalové síly, svalového obvodu, rozsahu pohybu a každodenní funkčnosti operované dolní končetiny u pacientů, kteří podstoupili artroskopickou operaci menisků kolenního kloubu a porovnat ji se standardní rehabilitací používanou na území České republiky. Po zpracování a vyhodnocení získaných dat lze vyvodit tyto závěry:

1. Přestože při vstupním vyšetření byla svalová síla u skupiny podstupující metodu Blood Flow Restriction a skupiny podstupující standardní terapii téměř shodné, tak při výstupním vyšetření došlo k výraznějšímu nárůstu svalové síly u skupiny probandů podstupující metodu BFR. Skupina probandů, jež podstoupili metodu BFR dosáhli při výstupním hodnocení svalové síly do flexe a extenze lepších průměrných výsledků o 33,9 Nm do flexe a 30,9 Nm do extenze. Je však pravdou že dle Wilcoxnova testu došlo ke statisticky významnému zlepšení svalové síly jak u skupiny podstupující metodu BFR, tak i u skupiny standardní rehabilitace. Rozdíly mezi nárůstem svalové síly mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova U testu statisticky významný do flexe, ale zároveň nebyl statisticky významný do extenze.
2. Co se týče obvodů svalů na operované dolní končetině, tak dle Wilcoxnova testu došlo ke statisticky významnému nárůstu obvodů svalů v oblasti stehna u skupiny podstupující metodu BFR. U skupiny podstupující metodu BFR došlo při výstupním měření v průměru k nárůstu o 1,8 centimetrů v oblasti 10 cm nad patelou. U skupiny podstupující standardní rehabilitaci došlo při výstupním měření k průměrnému nárůstu o 0,7 centimetrů 10 cm nad patelou. Obě skupiny se tedy zlepšily. Rozdíl mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova U testu statisticky nevýznamný.
3. Rozdíl hodnot, kterých pacienti dosáhli při měření rozsahu pohybu, byl u obou skupin dle Wilcoxnova testu statisticky významně zlepšen při aktivním i pasivním pohybu do flexe. Ve skupině podstupující metodu BFR byl při výstupním měření zjištěn větší aktivní rozsah pohybu v kolenním kloubu do flexe o 6°. Pasivní rozsah pohybu měla skupina podstupující Blood Flow Restriction oproti skupině

podstupující standardní rehabilitaci taktéž větší a to o 5°. Rozdíl mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova U testu zhodnocen jako statisticky nevýznamný. U probandů podstupující standardní rehabilitaci byl větší rozdíl průměrného vstupního a výstupního rozsahu pohybu v kolenním kloubu než u skupiny podstupující metodu BFR. Tento výsledek bylo možné předvídat pro nižší vstupní hodnoty u skupiny standardní rehabilitace oproti skupině podstupující metodu Blood Flow Restriction. Z námi zjištěných výsledků tedy nelze určit, zda má metoda Blood Flow Restriction lepší účinek na rozsah pohybu v kolenním kloubu do flexe než standardní rehabilitace.

4. Celkové zlepšení průměrného skóre Lysholmova dotazníku bylo u skupiny podstupující standardní terapii výraznější než u skupiny podstupující metodu BFR. Avšak průměrná výstupní hodnota byla u skupiny Blood Flow Restriction vyšší o 2,3 bodu oproti skupině podstupující standardní rehabilitaci. V průměru tedy probandi podstupující metodu Blood Flow Restriction dosáhli lepšího funkčního stavu operované dolní končetiny po absolvování terapie oproti skupině podstupující standardní terapii. Dle Mann-Whitneyova U testu však tento rozdíl nebyl statisticky významný.



## 8 SOUHRN

Diplomová práce se zabývala efektem metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod svalů, rozsah pohybu a každodenní funkčnost zkoumané končetiny u pacientů po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu. Svalová síla byla měřena na dynamometru Isomed 2000 v nastavení pro kolenní kloub, obvod svalů byl měřen antropometricky pomocí krejčovského metru, měření rozsahu pohybu proběhlo pomocí dvouramenného goniometru a pro hodnocení funkčního stavu byl použit Lysholmův skórovací dotazník.

Teoretická část diplomové práce popisuje anatomii a kineziologii kolenního kloubu společně s anatomii menisků. V dalších kapitolách této části se diplomová práce věnuje rozdělení menisků, cévnímu zásobení, patologii, diagnostice poranění, léčebným postupům a rehabilitačním postupům po operacích menisků. Důležitým podkladem pro teoretickou část jsou poslední kapitoly teoretické části, které se věnují metodě Blood Flow Restriction. Tyto poslední kapitoly popisují mechanismus působení, indikace, kontraindikace a rizika, pomůcky potřebné k aplikaci metody BFR. Poslední kapitola je věnována současným postupům v aplikaci metody Blood Flow Restriction.

Praktická část diplomové práce popisuje metodiku vstupního vyšetření, výstupní vyšetření, terapie skupiny podstupující metodu Blood Flow Restriction a skupiny podstupující standardní terapii po operacích kolenního kloubu. Výzkumný soubor tvořilo 20 pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Pacienti byli následně rozděleni do dvou skupin. První skupina byla tvořena pacienty podstupující metodu Blood Flow Restriction a druhá skupina podstoupila terapii pomocí standardní rehabilitace. Pacienti ve skupině standardní rehabilitace absolvovali terapii zahrnující ošetření měkkých tkání a převážně jizvy, kinezioterapii cílenou na cviky pro zvětšování rozsahu v kolenním kloubu, posílení svalů operované dolní končetiny a převážně čtyřhlavého svalu stehenního a senzomotorická cvičení na stabilizaci kolenního kloubu. Skupina podstupující experimentální metodu Blood Flow Restriction absolvovala edukaci péče o jizvu pomocí technik měkkých tkání a cvičení pomocí metody Blood Flow Restriction, které se skládalo ze tří cviků po 75 opakováních. Všichni pacienti absolvovali 8 terapií po třiceti minutách na pracovišti RRR centrum v Olomouci nebo na pracovišti IFyzio – Jiří Herbert Procházka s.r.o. v Olomouci.

Pacienti podstupující metodu BFR dosáhli většího nárůstu v oblasti svalové síly v průměru o 33,9 Nm do flexe a 30,9 Nm do extenze než pacienti podstupující standardní rehabilitaci. Jako statisticky významný rozdíl v nárůstu svalové síly mezi skupinami byl vyhodnocen pouze výsledek do flexe. Výsledek do extenze nebyl statisticky významný, což se týče rozdílu mezi skupinami. Co se týče nárůstu svalů, tak došlo ke statisticky významnému nárůstu svalů v oblasti stehna u skupiny Blood Flow Restriction, kdy průměrný nárůst mezi vstupním a výstupním vyšetřením byl 1,8 centimetrů. K nárůstu došlo i u skupiny podstupující standardní terapii a to o 0,7 centimetru, ale tento výsledek byl vyhodnocen jako statisticky nevýznamný.

V oblasti rozsahu pohybu došlo u skupin k velkému zlepšení mezi vstupním a výstupním měřením. U pacientů podstupující standardní rehabilitaci byl zjištěn větší rozdíl průměrného rozsahu pohybů před terapií a po terapii než u skupiny BFR. Avšak probandí ze skupiny BFR dosáhli většího rozsahu pohybu po konci terapií o 6° při aktivním pohybu do flexe a o 5° při pasivním pohybu do flexe. Z těchto výsledků, tedy nelze určit, zda má metoda Blood Flow Restriction větší vliv na rozsah pohybu než standardní rehabilitace.

Ve funkčním využití operované dolní končetiny došlo k výraznějšímu průměrnému zlepšení u pacientů podstupující standardní rehabilitaci než u pacientů podstupující metodu Blood Flow Restriction. Je ale pravdou, že průměrná výstupní hodnota byla u skupiny BFR vyšší o 2,3 bodu než u skupiny podstupující standardní rehabilitaci. V průměru tedy došlo k lepšímu funkčnímu stavu dolní končetiny u pacientů podstupující metodu Blood Flow Restriction. Tento výsledek by mohl napovídat, že při delším trvání intervencí by mohla být metoda BFR vhodnou metodou ke zlepšení funkčního stavu operované dolní končetiny.

## 9 SUMMARY

This diploma thesis discusses the efficacy of the Blood Flow Restriction method on the muscle strength, muscle circumference, range of motion and every-day functionality of the examined limbs in patients following arthroscopic surgery of the meniscus of the knee joint. Muscle strength was measured using an Isomed 2000 dynamometer in knee joint setting, muscle circumference was measured anthropometrically using a tailor's tape measure, the range of motion was measured using a two-arm goniometer and functional status was assessed using a Lysholm scoring scale.

The theoretical part of this diploma thesis describes the anatomy and kinesiology of the knee joint, along with the anatomy of the meniscus. The subsequent parts of this diploma thesis are devoted to the types of meniscus, its blood supply, pathology, diagnostics of injuries, therapeutic procedures and rehabilitation procedures following surgery of the meniscus. The last chapters of the theoretical section, which is devoted to the Blood Flow Restriction method, provide important background material for the theoretical section. These last chapters describe the mechanism of effect, indications, contraindications and risks, and the equipment needed to apply the BFR method. The last chapter is about the current procedures used to apply the Blood Flow Restriction method.

The practical part of this diploma thesis describes the methodology for the entrance examination, the exit examination, therapy for the group undergoing the Blood Flow Restriction method and the group undergoing standard therapy for knee joints post-surgery. The research sample consists of 20 patients who have had arthroscopic surgery of the knee-joint meniscus. Patients were subsequently divided into two groups. The first group consisted of patients undergoing the Blood Flow Restriction method and the second group underwent standard rehabilitation. Patients in the standard rehabilitation group received therapy including treatment of soft tissues and particularly the scar, kinesiotherapy focusing on exercises for increasing the range of motion of the knee joint, strengthening the muscles of the operated lower limb and predominantly of the quadriceps femoris muscle, and sensor-motor exercises for stabilising the knee joint. The group undergoing the Blood Flow Restriction method received instruction on care of the scar using soft tissue techniques and exercises using the Blood Flow Restriction method, which consisted of three exercises with 75 repetitions each. All the patients received 8

30-minute therapy sessions at the RRR Centrum facility in Olomouc or at IFyzio – Jiří Herbet Procházka s.r.o. in Olomouc.

Patients undergoing the BFR method achieved a greater increase in muscle strength, on average by 33.9 Nm in flexion and by 30.9 Nm in extension, than patients receiving standard rehabilitation treatment. Only the result for flexion was considered a statistically significant difference in the increase in muscle strength between the groups. The result for extension was not statistically significant in relation to the difference between the groups. With regard to the increase in the size of the muscle, there was a statistically significant increase in the circumference of the muscles in the area of the thigh in the Blood Flow Restriction group, whereas the average increase between the entrance and exit examination was 1.8 cm. The muscles also increased in circumference in the group undergoing standard therapy, by 0.7 cm, but this result was considered statistically insignificant.

There was a substantial improvement in the range of motion between the entrance and exit measurements of both groups. A greater difference in the average range of motion before and after therapy was found in patients undergoing standard rehabilitation than those in the BFR group. But the probands in the BFR group achieved a greater range of motion after the end of therapy, by 6° during active movement into flexion and by 5° during passive movement into flexion. It is not possible to determine whether the Blood Flow Restriction method has more impact on the range of motion than standard physiotherapy from these results.

There was a greater average improvement in the functional use of the operated lower limb in patients undergoing standard rehabilitation than in patients undergoing the Blood Flow Restriction method. Though it is true that the average output value was higher in the BFR group by 2.3 points than in the group undergoing standard rehabilitation. Therefore, patients undergoing the Blood Flow Restriction method achieved better functional status of the lower limb on average. This result could indicate that the BFR method may be a suitable method for improving the functional status of the operated lower limb if therapy is of a longer duration.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg Blood Flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 33(1), 34–40. <https://doi.org/10.1097/JPT.0b013e3181d07a73>
- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., Koizumi, K., & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12. <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.6>
- Ahn, J. H., Yoo, J. C., & Lee, S. H. (2012). Posterior horn tears: All-inside suture repair. *Clinics in Sports Medicine*, 31(1), 113–134. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2011.09.003>
- American College of Sports Medicine (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Anderson, A. B., Owens, J. G., Patterson, S. D., Dickens, J. F., & LeClere, L. E. (2019). Blood Flow Restriction therapy: From development to applications. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(3), 119–123. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000240>
- Baker, B. S., Stannard, M. S., Duren, D. L., Cook, J. L., & Stannard, J. P. (2020). Does Blood Flow Restriction therapy in patients older than age 50 result in muscle hypertrophy, increased strength, or greater physical function? A systematic review. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 478(3), 593–606. <https://doi.org/10.1097/CORR.000000000000010>

- Barber-Westin, S., & Noyes, F. R. (2019). Blood Flow-Restricted training for lower extremity muscle weakness due to knee pathology: A systematic review. *Sports Health, 11*(1), 69–83. <https://doi.org/10.1177/1941738118811337>
- Beaufils, P., Becker, R., Kopf, S., Matthieu, O., & Pujol, N. (2017). The knee meniscus: Management of traumatic tears and degenerative lesions. *EFORT Open Reviews, 2*(5), 195–203. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.2.160056>
- Beaufils, P., Becker, R., Kopf, S., Englund, M., Verdonk, R., Ollivier, M., & Seil, R. (2017). Surgical management of degenerative meniscus lesions: The 2016 ESSKA meniscus consensus. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA, 25*(2), 335–346. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4407-4>
- Bedi, A., Kelly, N. H., Baad, M., Fox, A. J., Brophy, R. H., Warren, R. F., & Maher, S. A. (2010). Dynamic contact mechanics of the medial meniscus as a function of radial tear, repair, and partial meniscectomy. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume, 92*(6), 1398–1408. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00539>
- Bhan K. (2020). Meniscal tears: Current understanding, diagnosis, and management. *Cureus, 12*(6), e8590. <https://doi.org/10.7759/cureus.8590>
- Brandner, C. R., May, A. K., Clarkson, M. J., & Warmington, S. A. (2018). Reported side-effects and safety considerations for the use of blood flow restriction during exercise in practice and research. *Techniques in Orthopaedics, 33*(2), 114-121. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000259>
- Briggs, K. K., Kocher, M. S., Rodkey, W. G., & Steadman, J. R. (2006). Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner activity scale for patients with meniscal injury of the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume, 88*(4), 698–705. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00339>

- Briggs, K. K., Lysholm, J., Tegner, Y., Rodkey, W. G., Kocher, M. S., & Steadman, J. R. (2009). The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(5), 890–897. <https://doi.org/10.1177/0363546508330143>
- Bronstein, R. D., & Schaffer, J. C. (2017). Physical examination of the knee: Meniscus, cartilage, and patellofemoral conditions. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 25(5), 365–374. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-15-00464>
- Bryceland, J. K., Powell, A. J., & Nunn, T. (2017). Knee menisci. *Cartilage*, 8(2), 99–104. <https://doi.org/10.1177/1947603516654945>
- Bryk, F. F., Dos Reis, A. C., Fingerhut, D., Araujo, T., Schutzer, M., Cury, R.deP., Duarte, A., Jr, & Fukuda, T. Y. (2016). Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: A randomized clinical trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 24(5), 1580–1586. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4064-7>
- Cavanaugh, J. T. (2014). Rehabilitation of meniscal injury and surgery. *The Journal of Knee Surgery*, 27(6), 459–478. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1394299>
- Cavanaugh, J. T., & Killian, S. E. (2012). Rehabilitation following meniscal repair. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 5(1), 46–58. <https://doi.org/10.1007/s12178-011-9110-y>
- Counts, B. R., Dankel, S. J., Barnett, B. E., Kim, D., Mouser, J. G., Allen, K. M., Thiebaud, R. S., Abe, T., Bembien, M. G., & Loenneke, J. P. (2016). Influence of relative Blood Flow Restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle & Nerve*, 53(3), 438–445. <https://doi.org/10.1002/mus.24756>

- Curran, M. T., Bedi, A., Mendias, C. L., Wojtys, E. M., Kujawa, M. V., & Palmieri-Smith, R. M. (2020). Blood Flow Restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, *48*(4), 825–837. <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>
- Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: The role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(3), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>
- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L. T., & LaPrade, R. F. (2018). The role of Blood Flow Restriction therapy following knee surgery: Expert Opinion. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, *34*(8), 2506–2510. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.05.038>
- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L., & LaPrade, R. F. (2018). Blood Flow Restriction therapy after knee surgery: Indications, safety considerations, and postoperative protocol. *Arthroscopy Techniques*, *7*(10), 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.06.010>
- Doral, M. N., Bilge, O., Huri, G., Turhan, E., & Verdonk, R. (2018). Modern treatment of meniscal tears. *EFORT Open Reviews*, *3*(5), 260–268. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.3.170067>
- Ericsson, Y. B., Roos, E. M., & Dahlberg, L. (2006). Muscle strength, functional performance, and self-reported outcomes four years after arthroscopic partial meniscectomy in middle-aged patients. *Arthritis and Rheumatism*, *55*(6), 946–952. <https://doi.org/10.1002/art.22346>



- Ferraz, R. B., Gualano, B., Rodrigues, R., Kurimori, C. O., Fuller, R., Lima, F. R., DE Sá-Pinto, A. L., & Roschel, H. (2018). Benefits of resistance training with Blood flow restriction in knee osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *50*(5), 897–905. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>
- Flandry, F., & Hommel, G. (2011). Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, *19*(2), 82–92. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e318210c0aa>
- Fox, A. J., Bedi, A., & Rodeo, S. A. (2012). The basic science of human knee menisci: Structure, composition, and function. *Sports Health*, *4*(4), 340–351. <https://doi.org/10.1177/1941738111429419>
- Fox, A. J., Wanivenhaus, F., Burge, A. J., Warren, R. F., & Rodeo, S. A. (2015). The human meniscus: A review of anatomy, function, injury, and advances in treatment. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, *28*(2), 269–287. <https://doi.org/10.1002/ca.22456>
- Fry A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *34*(10), 663–679. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00004>
- Garvick, S. J., & Reich, S. (2020). Meniscal tears. *JAAPA: Official Journal of the American Academy of Physician Assistants*, *33*(1), 45–46. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000615500.07925.35>
- Harper, S. A., Roberts, L. M., Layne, A. S., Jaeger, B. C., Gardner, A. K., Sibille, K. T., Wu, S. S., Vincent, K. R., Fillingim, R. B., Manini, T. M., & Buford, T. W. (2019). Blood-Flow Restriction resistance exercise for older adults with knee osteoarthritis: A pilot randomized clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, *8*(2), 265. <https://doi.org/10.3390/jcm8020265>

- Harput, G. (2020). Kinesiology of the knee joint. In *Comparative Kinesiology of the Human Body* (pp. 393-410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812162-7.00022-9>
- Hwang, P. S., & Willoughby, D. S. (2019). Mechanisms behind Blood Flow–Restricted training and its effect toward muscle growth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(7), 167-179. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002384>
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood Flow Restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(13), 1003-1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
- Hughes, L., Patterson, S. D., Haddad, F., Rosenblatt, B., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., & Paton, B. (2019). Examination of the comfort and pain experienced with Blood Flow Restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Physical Therapy in Sport*, *39*(9), 90-98. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.06.014
- Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). Comparing the effectiveness of Blood Flow Restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK national health service randomised controlled trial. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *49*(11), 1787–1805. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>
- Humes, C., Agüero, S., Chahla, J., & Foad, A. (2020). Blood flow restriction and its function in post-operative anterior cruciate ligament reconstruction therapy: Expert opinion. *The Archives of Bone and Joint Surgery*, *8*(5), 570–574. <https://doi.org/10.22038/abjs.2020.42068.2145>

- Chirichella, P. S., Jow, S., Iacono, S., Wey, H. E., & Malanga, G. A. (2019). Treatment of knee meniscus pathology: Rehabilitation, surgery, and orthobiologics. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, *11*(3), 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.08.384>
- Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent Blood Flow Restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*, *5*(1), 115–118. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>
- Jakobsen, T. L., Thorborg, K., Fisker, J., Kallemose, T., & Bandholm, T. (2022). Blood Flow Restriction added to usual care exercise in patients with early weight bearing restrictions after cartilage or meniscus repair in the knee joint: A feasibility study. *Journal of Experimental Orthopaedics*, *9*(1), 101. <https://doi.org/10.1186/s40634-022-00533-4>
- Kale, A., Kopuz, C., Edýzer, M., Aydin, M. E., Demýr, M., & Ynce, Y. (2006). Anatomic variations of the shape of the menisci: A neonatal cadaver study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, *14*(10), 975–981. <https://doi.org/10.1007/s00167-006-0069-y>
- Kapandji, I. A. (2002). *The Physiology of the joints. Volume 2. Lower Limb*. London: Churchill Livingstone.
- Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y., & Bemben, M. G. (2010). The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(1), 147–155. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1204-5>
- Karabulut, M., Sherk, V. D., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2013). Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *33*(5), 393–399. <https://doi.org/10.1111/cpf.12044>

- Ke, J., Zhou, X., Yang, Y., Shen, H., Luo, X., Liu, H., Gao, L., He, X., & Zhang, X. (2022). Blood flow restriction training promotes functional recovery of knee joint in patients after arthroscopic partial meniscectomy: A randomized clinical trial. *Frontiers in Physiology, 13*, 1015853. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1015853>
- Kelln, B. M., Ingersoll, C. D., Saliba, S., Miller, M. D., & Hertel, J. (2009). Effect of early active range of motion rehabilitation on outcome measures after partial meniscectomy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA, 17*(6), 607–616. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0723-2>
- Khalifa, A. A., Mohamed, R. A.-E., Abo-Zeid, A. R., & Abd-Elaal, A. M. (2020). Rehabilitation options for patients with an isolated meniscal tear, a narrative review. *Sports Orthopaedics and Traumatology, 36*(4), 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2020.08.002>
- Kilgas, M. A., Lytle, L. L. M., Drum, S. N., & Elmer, S. J. (2019). Exercise with Blood Flow Restriction to improve quadriceps function long after ACL reconstruction. *International Journal of Sports Medicine, 40*(10), 650–656. <https://doi.org/10.1055/a-0961-1434>
- Kim, H. Y., Kim, K. J., Yang, D. S., Jeung, S. W., Choi, H. G., & Choy, W. S. (2015). Screw-Home movement of the tibiofemoral joint during normal gait: Three-dimensional analysis. *Clinics in Orthopedic Surgery, 7*(3), 303–309. <https://doi.org/10.4055/cios.2015.7.3.303>
- Kostek, M. C., Delmonico, M. J., Reichel, J. B., Roth, S. M., Douglass, L., Ferrell, R. E., & Hurley, B. F. (2005). Muscle strength response to strength training is influenced by insulin-like growth factor 1 genotype in older adults. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), 98*(6), 2147–2154. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00817.2004>

- Kushare, I., Klingele, K., & Samora, W. (2015). Discoid meniscus: Diagnosis and management. *The Orthopedic Clinics of North America*, *46*(4), 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2015.06.007>
- Li, Y., Wu, Y., Zeng, Y., & Gu, D. (2020). Biomechanical differences before and after arthroscopic partial meniscectomy in patients with semilunar and discoid lateral meniscus injury. *American Journal of Translational Research*, *12*(6), 2793–2804.
- Libardi, C. A., Chacon-Mikahil, M. P., Cavaglieri, C. R., Tricoli, V., Roschel, H., Vechin, F. C., Conceição, M. S., & Ugrinowitsch, C. (2015). Effect of concurrent training with Blood Flow Restriction in the elderly. *International Journal of Sports Medicine*, *36*(5), 395–399. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1390496>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Laurentino, G., Libardi, C. A., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., Tricoli, V., & Roschel, H. (2015). Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(12), 2471–2480. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3253-2>
- Logerstedt, D. S., Snyder-Mackler, L., Ritter, R. C., Axe, M. J., & Orthopedic Section of the American Physical Therapy Association (2010). Knee pain and mobility impairments: Meniscal and articular cartilage lesions. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *40*(6), A1–A35. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.0304>
- Loenneke, J. P., Allen, K. M., Mouser, J. G., Thiebaud, R. S., Kim, D., Abe, T., & Bembem, M. G. (2015). Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(2), 397–405. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3030-7>
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Wilson, J. M., & Bembem, M. G. (2011). Blood flow restriction: The metabolite/volume threshold theory. *Medical Hypotheses*, *77*(5), 748–752. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.07.029>

- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses*, *78*(1), 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.10.014>
- Loenneke, J. P., Kim, D., Mouser, J. G., Allen, K. M., Thiebaud, R. S., Abe, T., & Bemben, M. G. (2016). Are there perceptual differences to varying levels of Blood Flow Restriction? *Physiology & Behavior*, *157*, 277–280. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.02.022>
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013). Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *33*(4), 325–327. <https://doi.org/10.1111/cpf.12035>
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity Blood Flow Restriction training: A meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(5), 1849–1859. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2167-x>
- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to Blood Flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(1), 1–4. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1239499>
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bemben, M. G. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *21*(4), 510–518. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x>
- Livsannyam, E., Jain, M. S., Leitao, A. R., Maikawa, N., & Leitao, A. E. (2022). Meniscus tear: Pathology, incidence, and management. *Cureus*, *14*(5), e25121. <https://doi.org/10.7759/cureus.25121>

- Madarame, H., Kurano, M., Takano, H., Iida, H., Sato, Y., Ohshima, H., Abe, T., Ishii, N., Morita, T., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity resistance exercise with Blood Flow Restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(3), 210–213. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00927.x>
- Maffulli, N., Longo, U. G., Campi, S., & Denaro, V. (2010). Meniscal tears. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 1, 45–54. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s7753>
- Malik, Z. A., Vanrenterghem, J., & Burniston, J. G. (2018). The reliability of data produced by isokinetic dynamometry (IKD) of knee extension and flexion movement. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(6S), 1219-1226. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i6s.90>
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood Flow Restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(2), 78-85. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31819c2e5c>
- Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Bell, Z. W., Owens, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). The application of Blood Flow Restriction: Lessons from the laboratory. *Current Sports Medicine Reports*, 17(4), 129–134. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000473>
- McDermott, I. D. (2006). Meniscal tears. *Current Orthopaedics*, 20(2), 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2006.02.010>
- Melnyk, J. A., Rogers, M. A., & Hurley, B. F. (2009). Effects of strength training and detraining on regional muscle in young and older men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 105(6), 929–938. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0979-0>

- Mendias, C. L., Lynch, E. B., Davis, M. E., Sibilsky Enselman, E. R., Harning, J. A., Dewolf, P. D., Makki, T. A., & Bedi, A. (2013). Changes in circulating biomarkers of muscle atrophy, inflammation, and cartilage turnover in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *The American Journal of Sports Medicine*, *41*(8), 1819–1826. <https://doi.org/10.1177/0363546513490651>
- Metcalf, M. H., & Barrett, G. R. (2004). Prospective evaluation of 1485 meniscal tear patterns in patients with stable knees. *The American Journal of Sports Medicine*, *32*(3), 675–680. <https://doi.org/10.1177/0095399703258743>
- Meyer, R. A. (2006). Does blood flow restriction enhance hypertrophic signaling in skeletal muscle? *Journal of Applied Physiology*, *100*(5), 1443-1444. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01636.2005>
- Mulry, T. J., & McIntyre, L. F. (2018). The classification of knee meniscal cartilage tears. *Operative Techniques in Sports Medicine*, *26*(4), 228-232. <https://doi.org/10.1053/j.otsm.2018.10.002>
- Mutsaerts, E. L., van Eck, C. F., van de Graaf, V. A., Doornberg, J. N., & van den Bekerom, M. P. (2016). Surgical interventions for meniscal tears: A closer look at the evidence. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, *136*(3), 361–370 <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2351-2>
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y., Nagata, T., & KAATSU Training Group. (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, *2*(1), 5-13. <https://doi.org/10.3806/ijktr.2.5>
- Neto, G. R., Novaes, J. S., Dias, I., Brown, A., Vianna, J., & Cirilo-Sousa, M. S. (2017). Effects of resistance training with Blood Flow Restriction on haemodynamics: A systematic review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *37*(6), 567–574. <https://doi.org/10.1111/cpf.12368>



- Neumann, D. A. (2013). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation (2nd. Ed)*. St. Louis: Mosby, Elsevier Health Sciences.
- Nguyen, J. C., De Smet, A. A., Graf, B. K., & Rosas, H. G. (2014). MR imaging-based diagnosis and classification of meniscal tears. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 34(4), 981–999. <https://doi.org/10.1148/rg.344125202>
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Bech, R. D., Nygaard, T., Hvid, L. G., Wernbom, M., Suetta, C., & Frandsen, U. (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *The Journal of Physiology*, 590(17), 4351–4361. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.237008>
- Noyes, F. R., Heckmann, T. P., & Barber-Westin, S. D. (2012). Meniscus repair and transplantation: A comprehensive update. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 42(3), 274–290. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3588>
- Oatis, C.A. (2009). *Kinesiology: The mechanics and pathomechanics of human movement*. Lippincott Williams & Wilkins
- Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). Low-load resistance muscular training with moderate restriction of Blood Flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 74(1), 62–68. <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>
- Ozaki, H., Miyachi, M., Nakajima, T., & Abe, T. (2011). Effects of 10 weeks walk training with leg blood flow reduction on carotid arterial compliance and muscle size in the elderly adults. *Angiology*, 62(1), 81–86. <https://doi.org/10.1177/0003319710375942>

- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology, 10*, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine, 45*(2), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
- Piazza, S. J., & Cavanagh, P. R. (2000). Measurement of the screw-home motion of the knee is sensitive to errors in axis alignment. *Journal of Biomechanics, 33*(8), 1029–1034. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(00\)00056-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(00)00056-7)
- Pogorelić, Z., Puizina, E., Jukić, M., Meštrović, J., Pintarić, I., & Furlan, D. (2020). Arthroscopic management of meniscal injuries in adolescents: Outside-in suturing versus meniscal Dart technique. *Acta Clinica Croatica, 59*(3), 431–438. <https://doi.org/10.20471/acc.2020.59.03.06>
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 45*(3), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., & Dascombe, B. J. (2014). Hypoxia and resistance exercise: A comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 44*(8), 1037–1054. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0177-7>
- Segal, N., Davis, M. D., & Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of Blood Flow-Restricted low-load resistance training for quadriceps strengthening in men at risk of symptomatic knee osteoarthritis. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation, 6*(3), 160–167. <https://doi.org/10.1177/2151458515583088>

- Shieh, A., Bastrom, T., Roocroft, J., Edmonds, E. W., & Pennock, A. T. (2013). Meniscus tear patterns in relation to skeletal immaturity: Children versus adolescents. *The American Journal of Sports Medicine*, *41*(12), 2779–2783. <https://doi.org/10.1177/0363546513504286>
- Shimizu, R., Hotta, K., Yamamoto, S., Matsumoto, T., Kamiya, K., Kato, M., Hamazaki, N., Kamekawa, D., Akiyama, A., Kamada, Y., Tanaka, S., & Masuda, T. (2016). Low-intensity resistance training with Blood Flow Restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(4), 749–757. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3328-8>
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine*, *43*(3), 179–194. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0017-1>
- Singer, T. J., Stavres, J., Elmer, S. J., Kilgas, M. A., Pollock, B. S., Kearney, S. G., & McDaniel, J. (2020). Knee extension with blood flow restriction: Impact of cuff pressure on hemodynamics. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(1), 79–90. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04250-2>
- Smith, B. E., Thacker, D., Crewesmith, A., & Hall, M. (2015). Special tests for assessing meniscal tears within the knee: A systematic review and meta-analysis. *Evidence-Based Medicine*, *20*(3), 88–97. <https://doi.org/10.1136/ebmed-2014-110160>
- Smith, H. J., Richardson, J. B., & Tennant, A. (2009). Modification and validation of the Lysholm knee scale to assess articular cartilage damage. *Osteoarthritis and Cartilage*, *17*(1), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2008.05.002>

- Snoeker, B. A., Bakker, E. W., Kegel, C. A., & Lucas, C. (2013). Risk factors for meniscal tears: A systematic review including meta-analysis. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(6), 352–367. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4295>
- Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2016). The efficacy of Blood Flow Restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.09.005>
- Spitz, R. W., Chatakondi, R. N., Bell, Z. W., Wong, V., Viana, R. B., Dankel, S. J., Abe, T., Yamada, Y., & Loenneke, J. P. (2021). Blood Flow Restriction Exercise: Effects of Sex, Cuff Width, and Cuff Pressure on Perceived Lower Body Discomfort. *Perceptual and motor skills*, 128(1), 353–374. <https://doi.org/10.1177/0031512520948295>
- Spitz, R. W., Wong, V., Bell, Z. W., Viana, R. B., Chatakondi, R. N., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2022). Blood flow restricted exercise and discomfort: A review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(3), 871–879. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003525>
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 61-65. doi: 10.1152/jappl.2000.88.1.61
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
- Thomas, K. (2019). The benefits of Blood Flow Restriction training for rehabilitation. *Co-Kinetic Journal*, (79), 24-31.

- Thompson, W. O., Thaete, F. L., Fu, F. H., & Dye, S. F. (1991). Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *The American Journal of Sports Medicine*, 19(3), 210–216. <https://doi.org/10.1177/036354659101900302>
- Van Cant, J., Dawe-Coz, A., Aoun, E., & Esculier, J. F. (2020). Quadriceps strengthening with blood flow restriction for the rehabilitation of patients with knee conditions: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 33(4), 529–544. <https://doi.org/10.3233/BMR-191684>
- Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceição, M. S., Damas, F. R., Lixandrão, M. E., Berton, R. P., Tricoli, V. A., Roschel, H. A., Cavaglieri, C. R., Chacon-Mikahil, M. P., & Ugrinowitsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with Blood Flow Restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1071–1076. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000703>
- Vopat, B. G., Vopat, L. M., Bechtold, M. M., & Hodge, K. A. (2020). Blood Flow Restriction therapy: Where we are and where we are going. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 28(12), e493–e500. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00347>
- Wang S. (2022). Biomechanical analysis of the human knee Joint. *Journal of Healthcare Engineering*, 9365362. <https://doi.org/10.1155/2022/9365362>
- Watson, R., Sullivan, B., Stone, A., Jacobs, C., Malone, T., Heebner, N., & Noehren, B. (2022). Blood Flow Restriction therapy: An evidence-based approach to postoperative rehabilitation. *JBJS Reviews*, 10(10), e22.00062. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.22.00062>
- Weatherholt, A. M., Vanwye, W. R., Lohmann, J., & Owens, J. G. (2019). The effect of cuff width for determining limb occlusion pressure: A comparison of blood flow restriction devices. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 136–143.

- Wengle, L., Migliorini, F., Leroux, T., Chahal, J., Theodoropoulos, J., & Betsch, M. (2022). The effects of Blood Flow Restriction in patients undergoing knee surgery: A systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, *50*(10), 2824–2833. <https://doi.org/10.1177/03635465211027296>
- Wernbom, M., Järrebring, R., Andreasson, M. A., & Augustsson, J. (2009). Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2389–2395. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc1c2a>
- Wesdorp, M. A., Eijgenraam, S. M., Meuffels, D. E., Bierma-Zeinstra, S. M. A., Kleinrensink, G. J., Bastiaansen-Jenniskens, Y. M., & Reijman, M. (2020). Traumatic meniscal tears are associated with meniscal degeneration. *The American Journal of Sports Medicine*, *48*(10), 2345–2352. <https://doi.org/10.1177/0363546520934766>
- Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., Kurano, M., Fujita, S., & Nakajima, T. (2010). Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism: Clinical And Experimental*, *59*(10), 1510–1519. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2010.01.016>
- Yasuda, T., Fukumura, K., Uchida, Y., Koshi, H., Iida, H., Masamune, K., Yamasoba, T., Sato, Y., & Nakajima, T. (2015). Effects of low-load, elastic band resistance training combined with Blood Flow Restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *70*(8), 950–958. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu084>

## 11 PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha 1 Informovaný souhlas

Příloha 2 Vyjádření etické komise FTK UP

Příloha 3 Lysholmův skórovací dotazník

Příloha 4 Tabulka s výsledky Lysholmova skórovacího dotazníku, Wilcoxonův test

Příloha 5 Potvrzení o překladu

## Příloha 1. Informovaný souhlas

### Informovaný souhlas

**Název studie (projektu):** Účinek metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií musculus vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Pokud je studie randomizovaná, beru na vědomí pravděpodobnost náhodného zařazení do jednotlivých skupin lišících se léčbou.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Podpis fyzioterapeuta pověřeného touto studií:

Datum:

Datum:



## Příloha 2. Vyjádření etické komise FTK UP



Fakulta  
tělesné kultury

Genius loci ...

### Vyjádření Etické komise FTK UP

**Složení komise:** doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně  
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.  
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.  
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.  
doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.  
Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.

Na základě žádosti ze dne 6.4.2022 byl projekt diplomové práce

Autor /hlavní řešitel/: **Bc. et Bc. Martin Radina**

s názvem **Účinek metody Blood Flow Restriction u pacientů se svalovou hypotrofií musculus vastus medialis po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **34/2022**

dne: **7. 4. 2022**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

**Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.**

za EK FTK UP  
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.  
předsedkyně

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury  
Komise etická  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

**Příloha 3.** Lysholmův skórovací dotazník

**Lysholmův dotazník**

Pacient:

Pohlaví:

Věk:

| Symptom            |  | Body – max. 100 bodů |
|--------------------|--|----------------------|
| Kulhání            | Žádné  | 5                    |
|                    | Lehké či občasné                             | 3                    |
|                    | Výrazné či trvalé                            | 0                    |
| Nutnost podpory    | Žádná  | 5                    |
|                    | Hůl nebo berle                               | 2                    |
|                    | Plný došlap nemožný                          | 0                    |
| Bloky              | Žádné bloky či přeskakování                  | 15                   |
|                    | Přeskakování ale ne bloky                    | 10                   |
|                    | Občasné bloky                                | 6                    |
|                    | Časté bloky                                  | 2                    |
|                    | Zablokovaný kloub při vyšetření              | 0                    |
| Nestabilita        | Žádná nestabilita                            | 25                   |
|                    | Občasná nestabilita při sportu               | 20                   |
|                    | Častá nestabilita při sportu                 | 15                   |
|                    | Občasná nestabilita při běžné denní činnosti | 10                   |
|                    | Častá nestabilita při běžné denní činnosti   | 5                    |
|                    | Nestabilita při každém kroku                 | 0                    |
| Otoky              | Žádné  | 10                   |
|                    | Po náročném cvičení                          | 6                    |
|                    | Po běžném cvičení                            | 2                    |
|                    | Konstantní, trvalé                           | 0                    |
| Chůze po schodech  | Bez problému                                 | 10                   |
|                    | Mírně bolestivá                              | 6                    |
|                    | Hodně bolestivá                              | 2                    |
|                    | Nemožná                                      | 0                    |
| Dřepy              | Bez problému                                 | 5                    |
|                    | Mírně bolestivé                              | 4                    |
|                    | Ne víc než 90° ohnutí                        | 2                    |
|                    | Nemožné                                      | 0                    |
| Bolestivost        | Žádná  | 25                   |
|                    | Nekonstantní nebo lehká při sportu           | 20                   |
|                    | Pravidelná při sportu                        | 15                   |
|                    | Pravidelná, při nebo po chůzi více než 2 km  | 10                   |
|                    | Pravidelná, při nebo po chůzi méně než 2 km  | 5                    |
|                    | Konstantní, stála                            | 0                    |
| Celkový počet bodů |  |                      |

**Příloha 4.** Tabulka s výsledky Lysholmova skórovacího dotazníku, Wilcoxonův test

| Hodnocená oblast            | <b>Kontrolní</b> |           | <b>Experimentální</b> |           |
|-----------------------------|------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                             | Z – skóre        | P-hodnota | Z – skóre             | P-hodnota |
| <b>Svalová síla flexe</b>   | 2,803060         | 0,005062  | 2,803060              | 0,005062  |
| <b>Svalová síla extenze</b> | 2,665570         | 0,007686  | 2,803060              | 0,005062  |

## **Příloha 5. Potvrzení překladu**

### **Bibliographic identification**

**Author's name and surname:** Bc. Martin Radina

**Title of bachelor's thesis:** The efficacy of the Blood Flow Restriction method in patients with muscular hypotrophy of the musculus vastus medialis following arthroscopic surgery of the meniscus of the knee joint

**Workplace:** Palacký University Olomouc, Faculty of Physical Culture, Department of Physiotherapy

**Supervisor:** PhDr. David Smékal, Ph.D.

**Year of presentation:** 2023

**Abstract:** The objective of this diploma thesis was to assess the efficacy of the Blood Flow Restriction method in patients with muscular hypotrophy of the musculus vastus medialis following arthroscopic surgery of the knee joint. Muscle strength, the circumference of muscles, the range of motion and the functional status of the operated lower limb were all measured in patients in order to verify the efficacy of this method. 20 probands took part in the study, 13 of these were men and 7 were women, aged between 19 and 71 years. The patients were randomly divided into a group undergoing the Blood Flow Restriction method and a group undergoing standard rehabilitation following surgery of the knee joint. All the patients underwent an entrance examination, 8 thirty-minute therapy sessions and an exit examination. An Isomed 2000 dynamometer was used to assess muscle strength. The circumference of the thigh in the lower limb was measured using a tailor's tape measure. The range of motion was measured using a two-arm goniometer and the functional status of the operated lower limb was assessed using a Lysholm scoring scale. Muscle strength, the circumference of the muscles and the range of motion in the knee joint increased in both groups. The functional status of the operated lower limb also improved in both groups. Patients undergoing the BFR method achieved a higher average increase in muscle strength by 33.9 Nm in flexion and 30.9 Nm in extension. According to the Mann-Whitney U test there was only a statistically significant difference between the groups in flexion. The output values of the increase in thigh circumference were higher in both groups. The BFR group achieved an increase by 1.8 cm on average by the end of therapy. This result is considered statistically significant. In comparison to the control group, in which the average increase in thigh circumference was by 0.7 cm, the results of the BFR group are statistically insignificant. The range of

motion of the knee joint also improved in both groups. The output values were higher on average in the BFR group, by 6° during active movement and by 5° during passive movement into flexion. The average improvement in the range of motion was higher in the group undergoing standard rehabilitation, because the average range of motion was lower during the entrance examination. There was significant improvement in the functional use of the operated limb in both groups. The output values of the Lysholm score were higher on average by 2.3 points in the BFR group compared to the group undergoing standard therapy. This difference was not statistically significant according to the Mann-Whitney U test. These results show to some extent the rehabilitation potential of the BFR method compared to standard rehabilitation of knee joints post-surgery. Further research is necessary for better assessment of the efficacy of the Blood Flow Restriction method.

**Key words:** Blood Flow Restriction, rehabilitation, hypotonia, hypertrophy, menisectomy

I agree to the thesis being lent out within the terms of library services.

## **8 SUMMARY**

This diploma thesis discusses the efficacy of the Blood Flow Restriction method on the muscle strength, muscle circumference, range of motion and every-day functionality of the examined limbs in patients following arthroscopic surgery of the meniscus of the knee joint. Muscle strength was measured using an Isomed 2000 dynamometer in knee joint setting, muscle circumference was measured anthropometrically using a tailor's tape measure, the range of motion was measured using a two-arm goniometer and functional status was assessed using a Lysholm scoring scale.

The theoretical part of this diploma thesis describes the anatomy and kinesiology of the knee joint, along with the anatomy of the meniscus. The subsequent parts of this diploma thesis are devoted to the types of meniscus, its blood supply, pathology, diagnostics of injuries, therapeutic procedures and rehabilitation procedures following surgery of the meniscus. The last chapters of the theoretical section, which is devoted to the Blood Flow Restriction method, provide important background material for the theoretical section. These last chapters describe the mechanism of effect, indications, contraindications and risks, and the equipment needed to apply the BFR method. The last chapter is about the current procedures used to apply the Blood Flow Restriction method.

The practical part of this diploma thesis describes the methodology for the entrance examination, the exit examination, therapy for the group undergoing the Blood Flow Restriction method and the group undergoing standard therapy for knee joints post-surgery. The research sample consists of 20 patients who have had arthroscopic surgery of the knee-joint meniscus. Patients were subsequently divided into two groups. The first group consisted of patients undergoing the Blood Flow Restriction method and the second group underwent standard rehabilitation. Patients in the standard rehabilitation group received therapy including treatment of soft tissues and particularly the scar, kinesiotherapy focusing on exercises for increasing the range of motion of the knee joint, strengthening the muscles of the operated lower limb and predominantly of the quadriceps femoris muscle, and sensor-motor exercises for stabilising the knee joint. The group undergoing the Blood Flow Restriction method received instruction on care of the scar using soft tissue techniques and exercises using the Blood Flow Restriction method,

which consisted of three exercises with 75 repetitions each. All the patients received 8 30-minute therapy sessions at the RRR Centrum facility in Olomouc or at IFyzió – Jiří Herbet Procházka s.r.o. in Olomouc.

Patients undergoing the BFR method achieved a greater increase in muscle strength, on average by 33.9 Nm in flexion and by 30.9 Nm in extension, than patients receiving standard rehabilitation treatment. Only the result for flexion was considered a statistically significant difference in the increase in muscle strength between the groups. The result for extension was not statistically significant in relation to the difference between the groups. With regard to the increase in the size of the muscle, there was a statistically significant increase in the circumference of the muscles in the area of the thigh in the Blood Flow Restriction group, whereas the average increase between the entrance and exit examination was 1.8 cm. The muscles also increased in circumference in the group undergoing standard therapy, by 0.7 cm, but this result was considered statistically insignificant.

There was a substantial improvement in the range of motion between the entrance and exit measurements of both groups. A greater difference in the average range of motion before and after therapy was found in patients undergoing standard rehabilitation than those in the BFR group. But the probands in the BFR group achieved a greater range of motion after the end of therapy, by 6° during active movement into flexion and by 5° during passive movement into flexion. It is not possible to determine whether the Blood Flow Restriction method has more impact on the range of motion than standard physiotherapy from these results.

There was a greater average improvement in the functional use of the operated lower limb in patients undergoing standard rehabilitation than in patients undergoing the Blood Flow Restriction method. Though it is true that the average output value was higher in the BFR group by 2.3 points than in the group undergoing standard rehabilitation. Therefore, patients undergoing the Blood Flow Restriction method achieved better functional status of the lower limb on average. This result could indicate that the BFR method may be a suitable method for improving the functional status of the operated lower limb if therapy is of a longer duration.

*This is to confirm that this document has been translated by a qualified translator of Hláska Language Studio.  
In Nový Jičín, April 21, 2023*

*Mgr. Zdeňka Lacinová*