

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

**EFEKT METODY BLOOD FLOW RESTRICTION NA SVALOVOU  
SÍLU, OBVOD STEHNA A FUNKČNÍ STAV U PACIENTŮ PO  
ARTROSKOPICKÉ OPERACI MENISKU KOLENNÍHO KLOUBU**

Diplomová práce

Autor: Bc. Vojtěch Jireček

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

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

Olomouc 2023



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Bc. Vojtěch Jireček

**Název práce:** Efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod stehna a funkční stav u pacientů po artoskopické operaci menisku kolenního kloubu

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

**Pracoviště:** Katedra fyzioterapie

**Rok obhajoby:** 2023

### **Abstrakt:**

Cílem této diplomové práce bylo posoudit efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod stehna, rozsah pohybu a funkční stav operované dolní končetiny u pacientů po artoskopické operaci menisku kolenního kloubu. Dále porovnat tento efekt s efektem standardní rehabilitace po artoskopických operacích kolenního kloubu. Studie se zúčastnilo 20 probandů, z toho 13 mužů a 7 žen ve věku 19 až 71 let. Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin. Jedna podstoupila rehabilitaci metodou Blood Flow Restriction, druhá standardní rehabilitaci po artoskopické operaci kolenního kloubu. Všichni účastníci absolvovali vstupní a výstupní vyšetření a 8 třicetiminutových cvičebních jednotek. Síla byla posouzena izokinetickým dynamometrem, obvod stehna byl měřen 10 centimetrů nad patelou krejčovským metrem, funkční stav byl zhodnocen na základě Lysholmova skórovacího dotazníku a rozsah pohybu byl měřen dvouramenným goniometrem. U obou skupin došlo ke statisticky významnému zvýšení svalové síly do flexe i extenze kolenního kloubu, kdy metoda Blood Flow Restriction vedla k lepším výsledkům, ovšem se statisticky významným rozdílem mezi skupinami pouze do flexe. Obvod stehna se statisticky významně zvětšil pouze u Blood Flow Restriction skupiny, ale mezi skupinami rovněž nebyl statisticky významný rozdíl. Funkční stav se statisticky významně zlepšil u obou skupin bez významného rozdílu mezi skupinami, stejně jako rozsah aktivního i pasivního pohybu do flexe. Rozsah pohybu do extenze se změnil minimálně. Z těchto výsledků vyplývá, že metoda Blood Flow Restriction může být vhodnou volbou při rehabilitaci pacientů po artoskopických operacích menisku kolenního kloubu.

### **Klíčová slova:**

Menisektomie, artoskopie, kolenní kloub, Blood Flow Restriction

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Bc. Vojtěch Jireček

**Title:** Effects of Blood Flow Restriction training on muscle strength, thigh circumference and functional state in patients after knee arthroscopy for meniscal tear

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

**Department:** Department of Physiotherapy

**Year:** 2023

### **Abstract:**

The aim of this Master's thesis was to assess the effects of the Blood Flow Restriction training on muscle strength, thigh circumference, range of motion and functional state of the operated lower limb in patients after knee arthroscopy for meniscal tear. Another goal was to compare these effects with those of standard rehabilitation after knee arthroscopy. The study involved 20 probands, 13 men and 7 women aged 19 to 71 years. The probands were randomly divided into two groups. One had undergone Blood Flow Restriction training, the other standard rehabilitation after knee arthroscopy. All participants underwent an initial and final examination and 8 thirty-minute exercise blocks. Strength was assessed with an isokinetic dynamometer, thigh circumference was measured 10 centimetres above the patella with a tailor's tape measure, functional state was assessed with the Lysholm knee scoring scale, and range of motion was measured with a two-arm goniometer. Both groups had statistically significant increases in muscle strength in both flexion and extension of the knee joint, where the Blood Flow Restriction training led to better results, but with a statistically significant difference between the groups only in flexion. Thigh circumference increased statistically significantly only in the Blood Flow Restriction group, but there was also no statistically significant difference between the groups. Functional state improved statistically significantly in both groups with no significant difference between groups, as did the range of active and passive motion in flexion. The range of motion in extension changed minimally. These results suggest that the Blood Flow Restriction training may be an appropriate choice for rehabilitation of patients after knee arthroscopy for meniscal tear.

### **Keywords:**

Meniscectomy, arthroscopy, knee joint, Blood Flow Restriction

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

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

V Olomouci dne 30. dubna 2023

.....

Děkuji PhDr. Davidu Smékalovi, Ph.D. za věnovaný čas, ochotu a cenné rady při psaní této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Centru kinantropologického výzkumu FTK UPOL za poskytnutí prostor pro měření a RRR centru a Fyzioterapii iFyzio za poskytnutí prostor pro terapie. Nakonec i všem probandům, kteří se ochotně zúčastnili tohoto výzkumu.

## SEZNAM ZKRATEK

1RM	maximum na jedno opakování
aMFL	anteriorní meniskofemorální ligamentum
BFR	Blood Flow Restriction
ECM	extracelulární matrix
EIH	cvičením vyvolaná hypoalgezie
HA	kyselina hyaluronová
HIF-1 $\alpha$	hypoxií indukovaný faktor 1 $\alpha$
IGF-1	inzulinu podobný růstový faktor-1
LCA	ligamentum cruciatum anterius
LCL	ligamentum collaterale laterale
LCM	ligamentum collaterale mediale
LCP	ligamentum cruciatum posterius
LOP	limb occlusion pressure
MRI	magnetická rezonance
NMES	neuromuskulární elektrická stimulace
OA	osteoartróza
PFPS	patelofemorální bolestivý syndrom
pMFL	posteriorní meniskofemorální ligamentum
PTS	Personalised Tourniquet System
ROM	rozsah pohybu
VEGF	vaskulární endoteliální růstový faktor
VMO	musculus vastus medialis

## OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Přehled poznatků.....	13
2.1	Anatomie menisků kolenního kloubu .....	13
2.1.1	Mediální meniskus.....	13
2.1.2	Laterální meniskus.....	14
2.2	Biomechanické vlastnosti a funkce menisků .....	15
2.2.1	Přenos zatížení.....	16
2.2.2	Absorbce nárazů .....	17
2.2.3	Stabilita kloubu .....	17
2.2.4	Výživa a lubrikace kloubu .....	18
2.2.5	Propriocepce.....	18
2.3	Biochemické složení menisků .....	18
2.3.1	Extracelulární matrix.....	18
2.3.2	Voda.....	19
2.3.3	Kolagen .....	19
2.3.4	Proteoglykany .....	19
2.3.5	Glykoproteiny .....	19
2.4	Nervové zásobení menisků .....	19
2.5	Cévní zásobení menisků.....	20
2.6	Epidemiologie a patofyziologie poranění menisků.....	21
2.6.1	Mechanismus poranění menisku.....	22
2.6.2	Klasifikace poranění menisku .....	23
2.6.3	Dlouhodobé následky poranění menisku .....	28
2.7	Zobrazovací metody.....	29
2.7.1	Rentgenové vyšetření .....	29
2.7.2	Magnetická rezonance .....	29
2.7.3	Artroskopické vyšetření.....	30
2.7.4	Shoda magnetické rezonance a artroskopického vyšetření .....	30
2.8	Klinické vyšetření menisků.....	31
2.8.1	Diagnostická přesnost testů na poranění menisků .....	33



2.9	Operační postupy při poranění menisku .....	34
2.9.1	Menisektomie.....	34
2.9.2	Rekonstrukce menisku .....	35
2.9.3	Transplantace menisků.....	38
2.10	Rehabilitační postupy po artroskopické operaci menisku.....	38
2.10.1	Rehabilitace po parciální menisektomii .....	39
2.10.2	Rehabilitace po rekonstrukci menisku .....	39
2.11	Metoda Blood Flow Restriction .....	41
2.11.1	Okluzní tlaky u metody BFR.....	42
2.11.2	Vliv BFR na svalovou sílu a trofiku.....	44
2.11.3	Vliv BFR na bolest .....	46
2.11.4	Vliv BFR na kardiovaskulární systém .....	48
2.11.5	Vliv BFR na šlachy .....	49
2.11.6	Vliv BFR na kosti .....	49
2.11.7	Bezpečnostní rizika.....	49
2.11.8	Indikace .....	50
2.11.9	Kontraindikace.....	51
3	Cíle.....	52
3.1	Hlavní cíl.....	52
3.2	Hypotézy.....	52
3.3	Výzkumné otázky.....	53
4	Metodika .....	54
4.1	Výzkumný soubor .....	54
4.2	Informovanost účastníků výzkumu.....	55
4.3	Metodika vyšetření.....	55
4.3.1	Lysholmův skórovací dotazník.....	55
4.3.2	Antropometrické vyšetření .....	55
4.3.3	Goniometrické vyšetření .....	56
4.3.4	Dynamometrické vyšetření .....	56
4.4	Metodika a průběh terapií.....	57
4.4.1	Skupina BFR.....	57
4.4.2	Skupina standardní terapie .....	57

4.5	Statistické zpracování dat .....	58
4.6	Limity studie.....	58
5	Výsledky.....	59
5.1	Výsledky k hypotéze H1 .....	59
5.2	Výsledky k hypotéze H2 .....	60
5.3	Výsledky k hypotéze H3 .....	61
5.4	Výsledky k hypotéze H4 .....	61
5.5	Výsledky k hypotéze H <sub>01</sub> .....	62
5.6	Výsledky k hypotéze H <sub>02</sub> .....	64
5.7	Výsledky k výzkumné otázce V1.....	65
5.8	Výsledky k výzkumné otázce V2.....	66
5.9	Výsledky k výzkumné otázce V3.....	67
6	Diskuse.....	68
6.1	Diskuse k hypotézám H1 a H2.....	69
6.2	Diskuse k hypotéze H3 .....	72
6.3	Diskuse k hypotézám H4, H <sub>01</sub> a H <sub>02</sub> .....	73
6.4	Diskuse k terapii.....	74
6.5	Vedlejší účinky metody Blood Flow Restriction.....	76
7	Závěry .....	79
8	Souhrn .....	80
9	Summary.....	82
10	Referenční seznam .....	84
11	Přílohy.....	100
11.1	Vzor informovaného souhlasu .....	101
11.2	Vyjádření etické komise FTK UP.....	102
11.3	Lysholmův skórovací dotazník .....	103
11.4	Potvrzení o překladu .....	104

# 1 ÚVOD

Menisky jsou významnou součástí kolenního kloubu. Hlavní funkcí menisků je přenášení zátěže, čímž chrání kloubní chrupavky před opotřebením. Mezi další významné funkce lze zařadit tlumení nárazů, lubrikaci a výživu kloubu. Zároveň jsou důležitým zdrojem propriocepce a podílejí se na celkové stabilitě kolenního kloubu (Fox et al., 2012). Menisky jsou ovšem cévně zásobeny výhradně v zevní třetině. Výživa zbylé části menisku probíhá difuzí, což může komplikovat hojení meniskálních trhlin (Patel et al., 2021).

Incidence meniskálních trhlin je 61 případů na 100 000 lidí (Luvsannyam et al., 2022). Trhliny nacházíme jak u sportujících, tak nespportujících populace téměř všech věkových kategorií. U mladší populace se obvykle jedná o traumatické poranění. Rozeznáváme několik druhů trhlin. Patří mezi ně longitudinální, horizontální, radiální a bucket-handle trhliny. U starší populace se naopak často setkáváme s degenerativní komplexní trhlinou. U komplexní trhliny není možné určit přesný typ trhliny, nebo je jich přítomno několik (Fox et al., 2015). Častěji jsou postiženi muži, a to v poměru až 4:1. Dalšími rizikovými faktory jsou věk, zvýšená laxicita vaziva a vysoké BMI. Trhliny mediálního menisku jsou častější než trhliny laterálního menisku. Nejčastěji je poškozen zadní roh mediálního menisku, nejspíš kvůli jeho nízké pohyblivosti (Luvsannyam et al., 2022; Snoeker et al., 2013). Symptomy poranění menisku mohou být bolest, mírný otok, bloky, skřípoty či „giving way“ fenomén. Symptomy jsou závislé na typu trhliny, její velikosti a stabilitě, kdy například longitudinální stabilní trhlina nemusí narušovat biomechaniku kolene a nemusí být symptomatická (Fox et al., 2015). Poranění menisku, stejně jako jeho absence, jsou výrazné rizikové faktory pro vznik osteoartrózy (Lohmander et al., 2007).

Meniskální trhlina může být diagnostikována pomocí klinického vyšetření, magnetickou rezonancí či artroskopicky. Výhodou magnetické rezonance je bezpochyby její neinvazivnost a vyhnutí se všem rizikům spojeným s operací, jako je například riziko infekce (Dungl, 2014). Pokud se trhlina nehojí a je symptomatická, přistupuje se obvykle k artroskopické operaci. Nejčastější metodou volby je v současnosti parciální menisektomie, při které je odstraněna poraněná část menisku. Velkou výhodou parciální menisektomie je rychlost operačního zákroku, rychlý návrat k běžnému životu, minimum omezení a nízké riziko reoperace. Nemělo by být ovšem podceňováno riziko vzniku osteoartrózy při odstranění menisku (Brelín & Rue, 2016; Ozeki et al., 2021; Paxton et al., 2011). Méně často se pak setkáváme s rekonstrukcí menisku, kdy dochází k jeho zachování. Rozeznáváme několik operačních postupů, mezi které patří inside-out, outside-in a all-inside. Nejvýhodnější pro rekonstrukci jsou trhliny v krví zásobené zevní třetině. Rekonstrukce menisku vede ovšem k větším pooperačním omezením,

mezi které patří odlehčení operované dolní končetiny a omezení rozsahu pohybu. Návrat k běžným aktivitám trvá po rekonstrukci výrazně déle než po menisektomii a riziko reoperací je vyšší. Na druhou stranu se snižuje riziko vzniku degenerativních změn (Fox et al., 2015; Nepple et al., 2022; Patel et al., 2021). Poměrně vzácným řešením je transplantace menisků (Anderson et al., 2021).

Rehabilitační postupy po operaci menisků vycházejí z postupů používaných po rekonstrukci předního zkříženého vazů. Využívají se izometrické kontrakce, cviky v otevřeném a uzavřeném kinematickém řetězci, senzomotorika s využitím balančních ploch a další (Kolář et al., 2009). Největší rozdíl v rehabilitaci po menisektomii a rekonstrukci menisku je v rychlosti postupu rehabilitace. Pacient po menisektomii může být dříve a více zatížen, protože poškozená tkáň byla odstraněna a nedochází k jejímu hojení (Frizziero et al., 2012).

Mezi metody, které lze po artroskopické operaci kolenního kloubu využít, patří také metoda Blood Flow Restriction. Tato metoda využívá částečnou okluzi arteriálního toku krve do procvičované končetiny. Okluze je nejčastěji docílena pomocí pneumatické manžety (Anderson et al., 2019; Patterson et al., 2019). Použití této metody může mít při rehabilitaci dolních končetin stejné účinky jako silový trénink s vysokou intenzitou, ovšem s využitím nízké zátěže. Proto může být využita i u pacientů, kteří mají omezenou možnost zatížení, jako například pacienti po artroskopické operaci kolenního kloubu (Wengle et al., 2022). Účinek této metody je pravděpodobně dán vysokým metabolickým stresem, který následně vede k hypertrofii a nárůstu síly zatěžovaných svalů (Hughes et al., 2017). Přestože byla účinnost této metody potvrzena například u pacientů po rekonstrukci předního zkříženého vazů (Bobes Álvarez et al., 2020; Hughes et al., 2018; Charles et al., 2020), efekt u pacientů po operaci menisků zůstává nedostatečně prozkoumán. Cílem této diplomové práce je posoudit efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod dolních končetin, funkční stav operované dolní končetiny a rozsah pohybu kolenního kloubu u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu a porovnat ho s efektem standardní rehabilitace po artroskopických operacích kolenního kloubu.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Anatomie menisků kolenního kloubu

Menisky jsou hladké, leskle bílé destičky poloměsíčitého tvaru tvořené z vazivové chrupavky, umístěné na mediální a laterální straně kolenního kloubu mezi příslušným kondylem femuru a tibiálním plató (Dalley & Agur, 2023; Fox et al., 2012, 2015; Makris et al., 2011). Hrají klíčovou roli při ochraně kloubní chrupavky, a to tím, že přenáší zátěž, tlumí nárazy a napomáhají stabilitě kloubu. Zároveň rozkládají zátěž uvnitř kolena a pomáhají jeho lubrikaci. To je možné díky specializované anatomii s jak makroskopicky, tak mikroskopicky hladkými povrchy (Khalifa et al., 2020; Oatis, 2017; Pillai et al., 2018). Anatomicky je každý meniskus rozdělen na přední a zadní roh spojený meniskovým tělem, a připojen ke kosti (Patel et al., 2021). Periferní vaskularizovaný okraj, označovaný též jako červená zóna (red zone), je u obou menisků silný, konvexní a připojený ke kloubnímu pouzdru. Vnitřní nevaskularizovaný okraj, označovaný též jako bílá zóna (white zone), se zužuje do tenkého nepřiléhavého okraje. Superiorní plocha menisků má konkávní zakřivení, což umožňuje efektivnější artikulaci s kondyly femuru, které mají konvexní zakřivení. Inferiorní plocha je plochá a pokrývá tibiální plató (Dalley & Agur, 2023; Fox et al., 2012).

Oba menisky jsou kritickou součástí kolenního kloubu. Hlavními stabilizačními ligamenty jsou ligamentum collaterale mediale (LCM), ligamentum transversum genus spojující oba menisky, meniskofemorální ligamenta a úpony na předním a zadním rohu (Dalley & Agur, 2023; Makris et al., 2011). K dalším stabilizačním elementům kolenního kloubu patří kloubní pouzdro, ligamentum cruciatum anterius (LCA), ligamentum cruciatum posterius (LCP) a ligamentum collaterale laterale (LCL) (Oatis, 2017). Poranění jednoho nebo obou menisků vede ke změně biomechaniky kolenního kloubu, která zahrnuje zvýšení maximálního kontaktního stresu, který nakonec může vést k častým degenerativním změnám a k rozvoji osteoartrózy kolene (Khalifa et al., 2020).

#### 2.1.1 Mediální meniskus

Polokruhovitý mediální meniskus má tvar písmena C, v průměru měří asi 35 mm a je výrazně širší vzadu než vpředu (Dalley & Agur, 2023; Fox et al., 2012). Anteroposteriorní rozměr je větší než mediolaterální (Fox et al., 2015). Pokrývá asi 50 % až 60 % kontaktní plochy mediálního kompartmentu (Ozeki et al., 2021; Zdanowicz & Smigielski, 2017), s průměrnou šířkou 9-10 mm a průměrnou tloušťkou 3-5 mm (Patel et al., 2021). U uchycení předního rohu mediálního menisku existuje značná variabilita. Může být připojen buď do měkkých tkání, nebo

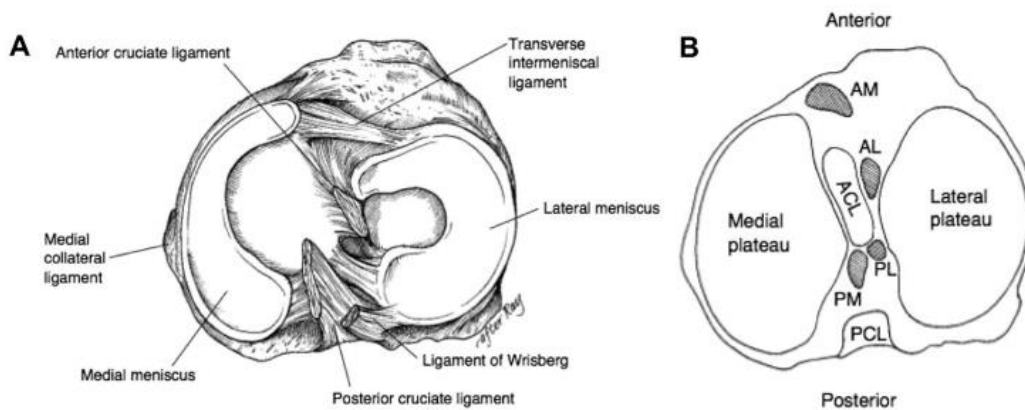
do kosti. Nicméně nejčastěji (59 %) je přední roh připojen k tibiálnímu platu v blízkosti area intercondylaris anterior před úponem LCA (Fox et al., 2012, 2015; Zdanowicz & Smigielski, 2017). Zadní roh mediálního menisku je připojen k tibiai v místě area intercondylaris posterior mezi laterálním meniskem a LCP (Fox et al., 2012). Periferní okraj mediálního menisku splývá s kloubním pouzdem a prostřednictvím koronárního (meniskotibiálního) ligamenta, které má vlákna rovnoběžná s kloubním pouzdem, je připojeno k tibiai (Fox et al., 2015). Mediální meniskus silně přiléhá k hluboké porci LCM. Vzhledem k rozsáhlým úponům laterálně k interkondylární ploše tibie a mediálně k LCM je mediální meniskus na tibiálním platu méně pohyblivý než laterální meniskus (Dalley & Agur, 2023; Oatis, 2017).

### **2.1.2 Laterální meniskus**

Laterální meniskus má téměř kruhovitý tvar, se stejnou šířkou v celé délce. Oproti mediálnímu menisku, který pokrývá asi 60 % kloubního povrchu, pokrývá laterální meniskus asi 80 % a je více mobilní (Fox et al., 2015; Ozeki et al., 2021; Sayegh & Matzkin, 2022), s průměrnou šířkou 10-12 mm a průměrnou tloušťkou 4-5 mm (Patel et al., 2021). Oba rohy laterálního menisku jsou připevněny k tibiai. Úpon předního rohu laterálního menisku se nachází před eminencia intercondylaris a sousedí s úponem LCA. Zadní roh laterálního menisku se upíná za tuberculum intercondylare laterale těsně před úpon zadního rohu mediálního menisku (Obrázek 1). Laterální meniskus je volně spojen s kapsulárním vazem, nicméně tato vlákna nejsou spojena s LCL. Zadní roh se spojuje s vnitřní stranou mediálního kondylu femuru prostřednictvím anteriorního a posteriorního meniskofemorálního ligamenta (Fox et al., 2012). Zároveň je laterální meniskus spojen se šlachou musculus popliteus, jehož druhá část se upíná na laterální epikondyl femuru a který může pomáhat táhnout meniskus dozadu při flexi kolene (Dalley & Agur, 2023; Fox et al., 2015; Oatis, 2017).

Meniskofemorální ligamenta, také známá jako Humphreyho a Wrisbergovy ligamenta, spojují zadní roh laterálního menisku s mediálním kondylem femuru v blízkosti úponu zadního zkříženého vazy (Makris et al., 2011; Ozeki et al., 2021). Bylo prokázáno, že přední meniskofemorální ligamentum (aMFL), známé také jako Humphreyho vaz, má variabilní původ, přičemž přibližně 80 % se upíná distálně k posteromediálnímu svazku LCP. Zadní meniskofemorální ligamentum (pMFL), známé také jako Wrisbergův vaz, vychází přímo proximálně od mediálního interkondylického hřebene, proximálně od posteromediálního svazku LCP. Jeden z těchto vazů má 70,8 % populace, kdežto oba vazy se vyskytují přibližně u 17,6 % jedinců (Deckey et al., 2021). V průměru dosahují 20 % průměru LCP. Funkce těchto vazů zůstává neznámá, nicméně by mohly táhnout zadní roh mediálního menisku dopředu,

což by vedlo ke zvýšení kongruence meniskotibiální jamky a laterálního kondylu femuru (Fox et al., 2012; Makris et al., 2011).



Obrázek 1: (A) Anatomie menisků z pohledu shora. (B) Axiální pohled zobrazující tibiální platů a vztah menisků k okolním strukturám. AL = přední roh laterálního menisku, AM = přední roh mediálního menisku, PL = zadní roh laterálního menisku, PM = zadní roh mediálního menisku (Fox et al., 2015).

## 2.2 Biomechanické vlastnosti a funkce menisků

Biomechanické funkce menisků jsou odrazem jejich kompozice, morfologických a anatomických vlastností a jejich vztahu k okolním intraartikulárním i extraartikulárním strukturám. Menisky plní mnoho důležitých biomechanických funkcí, jako je přenos zátěže, tlumení nárazů, stabilita, výživa kloubu a propriocepce. Snižují také kontaktní napětí a zvyšují kontaktní plochy a kongruenci kolenního kloubu (Fox et al., 2012, 2015; Oatis, 2017; Sayegh & Matzkin, 2022).

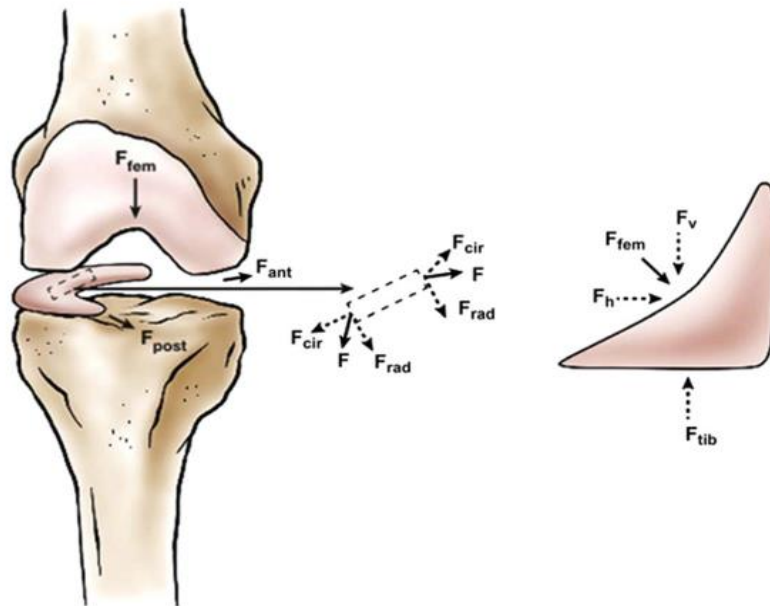
Míra pohyblivosti obou menisků se mezi studiemi různí, nicméně se shodují na výrazně vyšší pohyblivosti laterálního menisku oproti menisku mediálnímu. Laterální meniskus se během flexe kolenního kloubu pohybuje o 9 mm až 11,2 mm. Mediální meniskus o 2 mm až 5,1 mm. Poměr předního a zadního rohu laterálního menisku je menší, což naznačuje, že se laterální meniskus pohybuje spíše jako celek, kdežto velikost obou rohů mediálního menisku se značně liší. Nejméně pohyblivou částí mediálního menisku je jeho zadní roh, kde je pohyblivost omezena upnutím menisku k tibiálnímu platu pomocí ligamentum popliteum obliquum. Právě omezení pohyblivosti zadního rohu mediálního menisku je možným mechanismem vzniku meniskálních trhlin, které mohou vyústit v uskřínutí vazivové chrupavky mezi kondylem femuru a tibiálním platem během plné flexe. Rozdíl pohyblivosti předního a zadního rohu mediálního menisku může zvyšovat riziko poranění (Fox et al., 2012).

### **2.2.1 Přenos zatížení**

Komplexní funkce menisku byla odvozena od degenerativních změn, které jsou přítomny po jeho odstranění a byla popsána již v 50. letech 20. století, kdy Fairbank v roce 1948 jako první popsal zvýšený výskyt degenerativních onemocnění kloubní chrupavky u pacientů po celkové menisektomii. Jako tyto změny popsal zúžení kloubní štěrbiny, zploštění kondylů femuru a vznik osteofytů (Fairbank, 1948; Fox et al., 2015; Messner & Gao, 1998). Od té doby potvrdilo funkci menisku mnoho studií, které popsaly meniskus jako ochrannou strukturu přenářející zatížení. Při zatížení dolní končetiny dochází ke vzniku axiálních sil, které způsobují kompresi menisků, čímž dochází ke vzniku tzv. obručovitého cirkumferenciálního napětí (Obrázek 2). Axiální síly jsou přeneseny na cirkumferenciální kolagenní vlákna menisků a dochází k jejich tenzní deformaci (Fox et al., 2012, 2015; Ozeki et al., 2021).

Pevné uchycení menisků předními a zadními inzertními vazy zabraňuje laterálnímu vyklenutí během přenosu zátěže. Pokud jsou menisky intaktní, zatížení je rovnoměrně rozloženo. Pokud ovšem dojde k poruše či odstranění menisku, dochází k signifikantnímu zmenšení kontaktní plochy kondylů femuru a ke zvýšení kontaktního stresu (Oatis, 2017). Až 70 % zátěže v laterálním kompartmentu a 50 % zátěže v mediálním kompartmentu je při extendovaném koleni přenášeno pomocí menisků. Pokud dochází k flexi kolenního kloubu, může se tato hodnota přiblížit až k 90 %. Odstranění mediálního menisku vede ke snížení kontaktní plochy mediálního kompartmentu o 50 % až 70 % a ke zvýšení kontaktního stresu o 100 %. Odstranění laterálního menisku vede ke snížení kontaktní plochy laterálního kompartmentu o 40 % až 50 % a ke zvýšení kontaktního stresu na 200 % až 300 % fyziologických hodnot. Toto vede k významnému zvýšení zátěže na jednotku plochy a může vést k urychlení vzniku a progresu degenerativních změn (Fox et al., 2012, 2015).





Obrázek 2: Diagram sil působících na meniskus při zatížení. Při normálním zatížení je meniskus stlačován axiální silou stehenní kosti ( $F_{fem}$ ). Meniskus se deformuje radiálně, ale je ukotven svým předním a zadním rohem ( $F_{ant}$  a  $F_{post}$ ). Při zatížení vznikají tahové, tlakové a smykové síly. Tenzní obručovitě (cirkumferenciální) napětí ( $F_{cir}$ ) je výsledkem radiální deformace, zatímco vertikální a horizontální síly ( $F_v$  a  $F_h$ ) vznikají stlačením zakřiveného horního povrchu meniskální tkáně stehenní kostí. Radiální reakční síla ( $F_{rad}$ ) vyrovnává femorální horizontální sílu ( $F_h$ ) (Fox et al., 2015).

### 2.2.2 Absorbce nárazů

Menisky hrají zásadní roli při tlumení nárazů vznikajících zatížením kolene při běžné chůzi. Bylo prokázáno, že kolenní kloub s intaktními menisky má o 20 % vyšší schopnost absorbovat nárazy než kolenní kloub po kompletní menisektomii. Tato funkce menisků souvisí s jejich viskoelastickými vlastnostmi, jejichž hlavní složkou je obsah vody ve tkáni, kdy je náraz absorbován třecími odporovými silami, které vznikají při úniku tekutiny z tkáně (Fox et al., 2012, 2015).

### 2.2.3 Stabilita kloubu

Geometrické uspořádání menisků hraje zásadní roli ve zvyšování kongruence kloubních ploch a stability kolenního kloubu. Horní plocha obou menisků má konkávní tvar, což umožňuje efektivní artikulaci s konvexními kondyly femuru a plochým tibiálním plató. V případě, že je meniskus neporušený, má axiální zatížení multidirekcionální stabilizační funkci a vede k omezení přebytečného pohybu ve všech směrech (Ozeki et al., 2021). Menisektomie

mediálního menisku má u kolene s intaktním LCA minimální vliv na pohyb v anteroposteriorním směru, nicméně u LCA deficientního kolene vede ke zvýšení translace tibie antero-posteriorním směrem o 58 % při 90° flexi kolene. Bylo prokázáno, že zadní roh mediálního menisku je klíčovou strukturou pro zabránění anteriornímu posunu tibie, zejména u LCA deficientních kolen (Fox et al., 2012, 2015).

#### **2.2.4 Výživa a lubrikace kloubu**

Menisky mohou hrát roli při výživě a lubrikaci kolenního kloubu. Přesný mechanismus lubrikace chrupavky zůstává neznámý. Zatížení menisků může vést ke vtlačení cirkulující synoviální tekutiny do kloubní chrupavky, čímž by došlo ke snížení třecích sil v kloubu a k jeho výživě (Fox et al., 2012, 2015).

#### **2.2.5 Propriocepce**

Percepce polohy a pohybu kolenního kloubu je zprostředkována přítomnými mechanoreceptory, které převádějí informace o mechanické deformaci na elektrický signál. Největší množství těchto mechanoreceptorů bylo nalezeno v předních a zadních rozích. Rychle se adaptující mechanoreceptory, jako jsou Paciniho tělíska, zprostředkovávají vnímání pohybu kloubu. Pomalu se adaptující mechanoreceptory, kam můžeme řadit Ruffiniho zakončení či Golgiho šlachové orgány, zajišťují vnímání polohy kloubu. Díky výskytu těchto mechanoreceptorů hrají menisky důležitou roli v mechanismu senzorické zpětné vazby kolenního kloubu (Fox et al., 2012, 2015).

### **2.3 Biochemické složení menisků**

#### **2.3.1 Extracelulární matrix**

Meniskus je tvořen hustou extracelulární matrix (ECM), která je složena především z vody (70 %) a organických látek (30 %), zejména z kolagenu a buněk. Zbývající část tvoří proteoglykany, jiné než kolagenní proteiny a glykoproteiny (Pillai et al., 2018). Výše uvedený poměr se může lišit v závislosti na věku a hydrataci, případně poranění menisku každého jedince. ECM je syntetizována buňkami menisku a určuje jeho vlastnosti. Histologicky jsou menisky tvořeny třemi odlišnými skupinami buněk: fibrochondrocyty (produkujícími kolagen typu 1 a 2), fibroblasty a fusiformními buňkami. Fibrochondrocyty mají zaoblený tvar a jsou umístěny ve středu menisku. Fibroblasty jsou oválné buňky vnější zóny, které usnadňují komunikaci s ostatními buňkami. Fusiformní buňky se nacházejí podél povrchového okraje

menisku, mají absenci buněčných rozšíření a jsou přirovnávány ke zploštělým chondrocytům v povrchové zóně kloubní chrupavky (Fox et al., 2012; Makris et al., 2011; Patel et al., 2021).

### **2.3.2 Voda**

Voda tvoří asi 70 % celkové hmotnosti menisků. Většina vody je ve tkáni zadržována pomocí proteoglykanů. Obsah vody je nejvyšší v zadní části menisku a nižší v centrální a přední části. Interakce mezi vodou a ECM významně ovlivňuje viskoelastické vlastnosti tkáně (Fox et al., 2012).

### **2.3.3 Kolagen**

Kolagen je odpovědný zejména za pevnost menisků v tahu a tvoří asi 75 % organické hmoty menisků. Ve vnější vrstvě menisku převažuje kolagen typu I. Uvnitř menisku se vyskytuje jak kolagen I., tak i II. typu. Orientace kolagenních vláken se v menisku liší. V povrchové vrstvě mají náhodné uspořádání. Uvnitř menisku jsou pak vlákna uspořádána jak kruhovitě (cirkumferenciálně), tak radiálně (kolmo na meniskus). Toto uspořádání umožňuje mechanickou integritu pro přenos zátěže (Pillai et al., 2018).

### **2.3.4 Proteoglykany**

Proteoglykany, nacházející se v jemné síti kolagenních vláken, jsou velké záporně nabitě hydrofilní molekuly, které tvoří jedno až dvě procenta celkové hmotnosti organické hmoty. Velikost těchto molekul se dále zvětšuje se specifickou interakcí mezi proteoglykany a kyselinou hyaluronovou (HA). Tyto molekuly jsou zodpovědné za hydrataci menisků a poskytují tkáni schopnost odolávat vysokým tlakovým zatížením (Fox et al., 2012).

### **2.3.5 Glykoproteiny**

V menisku je obsažena řada glykoproteinů, jejichž funkce nebyla však dosud objasněna. Adhezivní glykoproteiny slouží jako spojovací články mezi složkami ECM a buňkami. Hlavními glykoproteiny v lidském těle jsou fibronektin, trombospondin a kolagen IV (Fox et al., 2012; Makris et al., 2011).

## **2.4 Nervové zásobení menisků**

Kolenní kloub je inervován zadní artikulární větví nervus tibialis a terminálními větvemi nervus obturatorius a nervus femoralis. Laterální část kloubního pouzdra je inervována

rekurentní větví nervus peroneus communis. Tato nervová vlákna pronikají kloubním pouzdem a následují cévní zásobení periferní části menisků a předního i zadního rohu, kde je největší koncentrace nervových vláken. Zevní třetina těla menisků je bohatěji inervována oproti vnitřním dvěma třetinám. Během krajní flexe a extenze jsou rohy menisků nejvíce namáhány a aferentní vstup je pravděpodobně nejvyšší (Fox et al., 2012).

Mechanoreceptory v meniscích fungují jako převodníky, převádějící fyzikální podněty na specifické elektrické vzruchy. V lidském menisku byly identifikovány tři morfologicky odlišné mechanoreceptory, a to Ruffiniho zakončení, Paciniho tělíška a Golgiho šlachové orgány. Ruffiniho mechanoreceptory jsou nízkoprahové a pomalu se adaptují na změny tlaku a deformace kloubu. Paciniho mechanoreceptory jsou nízkoprahové a rychle se adaptují na změny tenze. Golgiho šlachové orgány jsou vysokoprahové mechanoreceptory, které signalizují terminální rozsah pohybu v kloubu a jsou asociovány s nervosvalovou inhibicí. Tyto nervové struktury se vyskytují ve vyšší koncentraci v oblasti rohů menisku, zejména zadním rohu (Fox et al., 2012).

Několik studií uvádí, že některé intraartikulární komponenty nacházející se v kolenním kloubu jsou senzitivní a generují neurosenzorické signály, které mohou dosahovat míšní, mozečkové i vyšší úrovně centrálního nervového systému. Předpokládá se, že tyto neurosenzorické signály jsou zásadní pro vědomé vnímání a jsou důležité pro normální funkci kolenního kloubu a udržování homeostázy tkání (Fox et al., 2012).

## **2.5 Cévní zásobení menisků**

Menisky jsou relativně avaskulární struktury s omezeným krevním zásobením. Superiorní a inferiorní části každého menisku poskytují krevní zásobení převážně větve popliteální artérie, a to mediální, laterální a střední genikulární arterie. Premeniskální kapilární síť vznikající z těchto tepen vzniká v synoviální kapsulární tkáni kolene podél periferie menisků. 10 – 30 % mediálního a 10 – 25 % laterálního menisku je relativně dobře vaskularizováno, což má kruciólní význam při hojení menisku. Endoligamentózní cévy z předního a zadního rohu krátce procházejí do tkáně menisků, kde tvoří terminální smyčky zajišťující přímou výživu. Zbývající část menisků (65 % – 75 %) je vyživována synoviální tekutinou především prostřednictvím difuze (Fox et al., 2012; Patel et al., 2021).

## 2.6 Epidemiologie a patofyziologie poranění menisků

Prevalence meniskálních trhlin je přibližně 12 až 14 %, s přibližnou incidencí 61 případů na každých 100 000 lidí (Luvsannyam et al., 2022). Důvodů pro vysoký výskyt poranění menisku je několik. Nacházejí se mezi dvěma nejdelšími kostmi těla ve velkém, váhonosném kloubu. V tibiofemorálním kloubu působí kompresní síly několikanásobku tělesné hmotnosti, kterým musí menisky odolávat. Posuvný a rotační pohyb mezi stehenní a holenní kostí navíc působí na menisky velkými smykovými silami. V neposlední řadě jsou menisky připojeny k tibiálnímu plató, takže otáčivý pohyb stehenní a holenní kosti způsobuje velké deformace vazivové chrupavky. Všechny tyto faktory mohou společně způsobovat akutní natržení a roztřepení meniskální tkáně. Fragmenty z velkých trhlin mohou způsobit předvídatelné mechanické problémy v kolenním kloubu tím, že se uvolní a přemístí do středu tibiálního plata, čímž přeruší normální valivé a smykové pohyby tibie a femuru. Obvyklou stížností jedince s meniskální trhlinou je, že se kloub "zablokuje", zejména při extenzi kolene z polohy, kdy nese váhu, jako je například vstávání ze sedu nebo výstup do schodů (Oatis, 2017).

Zatímco poranění LCA vidíme častěji u sportující populace, poranění menisků je časté jak u sportující, tak i nespportující populace (Lohmander et al., 2007). Poranění menisků je častým zdrojem bolesti a postižení kolene. Celkový poměr meniskálních trhlin u mužů a žen se pohybuje od 2,5:1 po 4:1, více jsou tedy postiženi muži (Drosos & Pozo, 2004; Dungal, 2014). Nejvyšší incidence poranění menisku je u mužů mezi 21. a 30. rokem života a u žen mezi 11. a 20. rokem života (Fox et al., 2015). Degenerativní trhliny mají nejvyšší incidenci u mužů mezi 41. a 50. rokem, u žen mezi 61. a 70. rokem života (Luvsannyam et al., 2022). Trhliny mediálního menisku (81 %) jsou častější než trhliny laterálního menisku (19 %). Poranění laterálního menisku je častější ve spojitosti s akutním poraněním LCA. Obecně jsou trhliny menisku způsobeny kombinací axiálního zatížení a rotačních sil, které vedou ke vzniku smykových sil. Tyto síly nadále působí na meniskus a způsobují jeho poranění (Fox et al., 2015).

Traumatické trhliny jsou obvykle spojeny se známým poraněním kolene, mohou být buď izolované, nebo sdružené s poraněním ligament či kloubní chrupavky. Tento typ poranění menisku se obvykle objevuje u mladších aktivních jedinců. Degenerativní trhliny vznikají po dlouhodobé kumulaci zátěže a korelují s přítomností přidružené chondromalacie. Meniskální trhliny u dětí jsou způsobeny traumatem, nebo přítomností ke zranění náchylné varianty menisku, jako je diskoidní meniskus či meniskální cysta (Fox et al., 2015).

Symptomy způsobené poraněním menisku jsou obvykle bolest a mírný otok. Méně často se pak objevují mechanické příznaky, jako jsou bloky, přeskakování, skřípoty či „giving way“

fenomén. Četnost a závažnost symptomů se různí podle velikosti a pohyblivosti meniskální trhliny (Fox et al., 2015).

### **Diskoidní meniskus**

Je třeba zvážit několik anatomických variant menisků, které mohou být významně náchylnější ke zraněním. Jednou z takovýchto anatomických variant je diskoidní meniskus, který je větší než normální meniskus a obvykle se vyskytuje laterálně. Vzhledem k abnormální morfologii má tato varianta za následek abnormální rozložení sil podél menisku, což jej činí náchylnějším k trhlinám při působení menších traumatických sil. Diskoidní meniskus zahrnuje 3 typy:

**Typ I:** kompletní diskoidní meniskus, který pokrývá celé tibiální plato a je stabilní při vyšetření sondou.

**Typ II:** částečný diskoidní meniskus, který pokrývá až 80 % tibiálního plata a je stabilní při vyšetření sondou

**Typ III:** nestabilní diskoidní meniskus v důsledku absence zadního meniskotibiálního (koronárního) ligamenta s pouze zadním úponem meniskofemorálního (Wrisbergova) ligamenta (Patel et al., 2021). U pacientů s kompletním diskoidním meniskem má posteriorní meniskofemorální ligamentum zvýšenou tloušťku ve srovnání s nediskoidním meniskem (Deckey et al., 2021).

#### **2.6.1 Mechanismus poranění menisku**

Mechanismus poranění může být obecně rozdělen na poranění při sportovní aktivitě, při nespportovní aktivitě a při neaktivitě. Každá z kategorií zahrnuje asi třetinu všech meniskálních poranění. Poranění při sportovní aktivitě může být dále klasifikováno jako kontaktní či bezkontaktní, přičemž nejčastější je právě bezkontaktní poranění. U mladých sportovců vznikají trhliny v důsledku nadměrného zatížení menisku, kdežto u starších osob je meniskus vlivem degenerativních změn náchylnější ke zranění (Fox et al., 2015).

Mechanismus zranění obvykle zahrnuje torzní nebo střížný pohyb s valgózní či varózní silou působící na flektované koleno. U kontaktních aktivit obvykle nedochází ke střetu s jiným hráčem, k výpadu ani k nešikovnému přistání, ale pacienti obvykle popisují jediný „špatný krok“. U nekontaktních sportovních aktivit je běžným mechanismem decelerace nebo přistání ze skoku. Jako rizikové faktory poranění menisků jsou uváděny věk, protože po třetí dekádě života začínají degenerativní změny menisku snižovat elasticitu a zvyšovat náchylnost menisku

ke zranění (Fox et al., 2015), dále laxicita vaziva, pohlaví a vysoké BMI (Luvsannyam et al., 2022).

### **2.6.2 Klasifikace poranění menisku**

Trhliny jsou všeobecně klasifikovány podle vzoru trhliny nebo etiologie poranění. Hojně rozšířený je systém zónové klasifikace navržený Cooperem v roce 1991, který poskytuje konzistentní klinickou dokumentaci vzorů meniskálních trhlín a jejich umístění. V tomto systému jsou menisky rozděleny na tři radiální zóny anteroposteriorně a čtyři obvodové zóny táhnoucí se od periferie k vnitřní straně menisku. Mezi typy meniskálních trhlín patří vertikální longitudinální, radiální, horizontální, komplexní (Obrázek 4), „bucket-handle“ trhliny (Fox et al., 2015) a „flap“ trhliny (Ozeki et al., 2021).

V roce 2011 ISAKOS vypracoval a schválil artroskopický klasifikační systém meniskálních trhlín, který má standardizovat artroskopickou charakteristiku trhliny, dokumentaci a vykazování výsledků (Obrázek 3). Tento klasifikační systém byl navržen s cílem lepší konzistentnosti artroskopické klasifikace a dokumentace meniskálních trhlín (Sayegh & Matzkin, 2022).

Klasifikační systém ISAKOS zatím nezískal mezi odbornou populací široké uznání, což může být způsobeno menší obeznameností oproti systému Coopera z roku 1991, a větší složitostí. Širší přijetí tohoto klasifikačního systému by mohlo vést k lepší mezioborové komunikaci a zároveň zlepšit kvalitu a úroveň důkazů v literatuře o meniskálních trhlínách (Sayegh & Matzkin, 2022).

Popis klasifikace ISAKOS zahrnuje osm artroskopických nálezů:

1. Hloubka trhliny, která klasifikuje trhliny jako částečné nebo úplné. Částečné trhliny zasahují pouze do horní nebo spodní plochy menisku, kdežto úplné zasahují do obou ploch (Sayegh & Matzkin, 2022).
2. Šířka okraje, která se odhaduje na základě Cooperovy zónové klasifikace meniskových trhlín podle toho, jak daleko trhlina zasahuje centrálně do menisku. Trhliny tak mohou zasahovat do Cooperovy zóny 1 (šířka okraje < 3 mm; vnější třetina), Cooperovy zóny 2 (šířka okraje 3 mm až 5 mm; střední třetina) a Cooperovy zóny 3 (šířka okraje > 5 mm; vnitřní třetina). Šířka zóny 1 byla zvolena na základě důkazů vaskularity v periferních 3 mm menisku. V případě, že by trhlina zasahovala do více zón, je hodnocena podle nejbližší zóny (Sayegh & Matzkin, 2022). Dle jedné z největších topografických studií z roku 2021 se až 46 % trhlín laterálního a 36 % mediálního

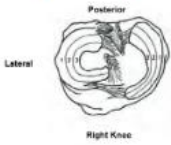
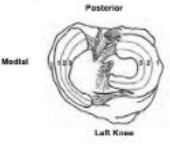
menisku nachází v zóně 1, 34 % trhlín laterálního a 46 % mediálního menisku v zóně 2 a 20 % trhlín laterálního a 17 % mediálního menisku v zóně 3 (Belgaid et al., 2021).

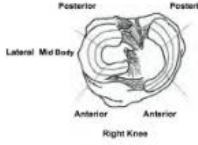
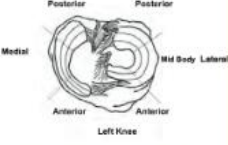
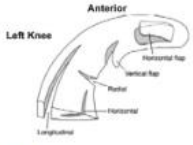
3. Radiální lokalizace rozděluje meniskus na třetiny a topograficky kategorizuje trhlíny podle míry rozšíření do přední, střední nebo zadní zóny. Trhlína může zasahovat do jedné, dvou i všech tří zón (Sayegh & Matzkin, 2022).
4. Pokud laterální meniskální trhlína částečně nebo zcela zasahuje před popliteální hiatus, je klasifikována jako centrální vůči popliteálnímu hiatu (Sayegh & Matzkin, 2022). Tato centrální oblast je jediným místem, kde meniskus není přímo spojen s kloubním pouzdem. Proto je tato část laterálního menisku při artroskopickém vyšetření nejpohyblivější (Wadhwa et al., 2016).
5. Vždy by měl být uveden dominantní vzor trhlíny. Výjimkou jsou komplexní trhlíny, které mají dva nebo více vzorů trhlíny (Sayegh & Matzkin, 2022).
6. Kvalita tkáně, která označuje tkáň jako degenerativní, nedegenerativní nebo neurčitou (Sayegh & Matzkin, 2022). Popsané degenerativní charakteristiky zahrnují kavitaci, mnohočetné trhlíny, změkčenou meniskovou tkáň, nebo jiné degenerativní změny (Wadhwa et al., 2016).
7. Délka trhlíny, která je měřena artroskopickým pravítkem či sondou a je uváděna v milimetrech (Sayegh & Matzkin, 2022).
8. Procento excidovaného menisku, které je číselně odhadnuto i graficky znázorněno do schématu (Sayegh & Matzkin, 2022).


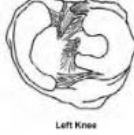


## THE ISAKOS CLASSIFICATION OF MENISCAL TEARS (cont.)

1. **TEAR DEPTH**
  - Partial
  - Complete
2. **LOCATION** (refer to diagram for description)  
Rim Width (circumferential location):
  - Zone 1  Zone 2  Zone 3



3. **RADIAL LOCATION**  
Posterior–Mid body–Anterior Location:
  - Posterior
  - Mid Body
  - Anterior



4. **CENTRAL TO THE POPLITEAL HIATUS**
  - YES  NO
5. **TEAR PATTERN** (refer to diagram for description)
  - Longitudinal-vertical: extension is a bucket handle tear
  - Horizontal
  - Radial
  - Vertical flap
  - Horizontal flap
  - Complex
6. **QUALITY OF TISSUE**
  - Non-degenerative
  - Degenerative
  - Undetermined
7. **LENGTH OF TEAR IN MM**
8. **INDICATE THE AMOUNT OF** meniscus that was excised by drawing on the diagram and crosshatching the part that was removed.
 



9. **WHAT PERCENT OF THE MEDIAL MENISCUS WAS EXCISED?**
   %

Obrázek 3: ISAKOS klasifikace meniskálních trhlín (Belgaid et al., 2021).

### Vertikální longitudinální trhlina

Vertikální longitudinální trhlina vzniká mezi cirkumferenciálními vlákny kolagenu rovnoběžně s obvodovou osou menisku, kolmo na tibiální plató, přičemž je v celé délce stejně vzdálena od periferního okraje. Tyto trhliny rozdělují meniskus na centrální a periferní část (Fox et al., 2015; Ozeki et al., 2021; Patel et al., 2021). Původ těchto trhlín je nejčastěji traumatický s největší incidencí u mužů mezi 21. a 30. rokem a žen mezi 11. a 20. rokem (Fox et al., 2015). Pokud se nachází v zadním rohu, je až 90 % mediálních a 83 % laterálních vertikálních podélných trhlín zadního rohu spojeno s koexistující trhlinou LCA (Patel et al., 2021). Incidence vertikálních longitudinálních trhlín je 39 % pro laterální a 28 % pro mediální meniskus (Belgaid et al., 2021). Vzhledem k tomu, že k těmto trhlinám dochází mezi kolagenními vlákny, nemusí být porušena biomechanika kolene, a proto nemusí být symptomatické. Tyto trhliny jsou běžně přístupné k fixaci suturou (Fox et al., 2015). Rekonstrukce je možná technikou inside-out, outside-in i all-inside, s výsledky srovnatelnými či lepšími než u parciální menisektomie (Beaufils & Pujol, 2017).

### **Radiální trhlina**

Radiální (příčné) trhliny jsou trhliny kolmé na tibiální plató, které mají největší incidenci v oblasti přechodu zadní a střední třetiny menisku a nejčastěji se táhnou od volného vnitřního okraje směrem k periférii, nicméně se mohou objevovat i v jiných oblastech. Tento typ trhliny kompletně přerušuje kolagenní vlákna (Ozeki et al., 2021; Patel et al., 2021; Srimongkolpitak & Chernchujit, 2022). Incidence radiálních trhlin je 9 % pro laterální a 6 % pro mediální meniskus (Belgaïd et al., 2021) a nejčastěji se vyskytují u mužů mezi 11 a 20 lety a u žen mezi 51 a 70 lety. Obvykle jsou traumatického původu, kdy je v 79 % postižení mediálního menisku postižen zadní roh, a mohou být asociované s rupturou LCA. Radiální trhliny jsou kritické z důvodu narušení biomechaniky kolene, kdy je porušen převod axiálního zatížení na cirkumferenciální napětí, a obvykle jsou špatně rekonstruovatelné. U radiálních trhlin zasahujících do periferie může potenciálně dojít k hojení díky perifernímu krevnímu zásobení (Fox et al., 2015).

### **Horizontální trhlina**

Horizontální trhliny jsou rovnoběžné s tibiálním plató a rozdělují meniskus na horní a dolní část (Ozeki et al., 2021). Incidence je 26 % pro laterální a 25 % pro mediální meniskus (Belgaïd et al., 2021). Tento typ trhliny můžeme vidět u všech věkových skupin, ale obvykle se vyskytují u starších pacientů, u mužů mezi 31. a 50. rokem a u žen mezi 51. a 60. rokem. Nejčastěji postihují posteriorní část mediálního menisku. Pokud se tento typ trhliny objeví na laterálním menisku, může být asociován s cystou či osteoartrózou. Vznikají pravděpodobně jako následek střížných sil mezi horní a dolní plochou menisku, což má za následek oddělení horního a dolního segmentu. Opakované zatížení meniskální trhliny může mít za následek její propagaci, posun fragmentu, nestabilitu okraje a objevení mechanických symptomů, mezi které patří bloky, přeskokování, větší bolestivost a výpotek (Fox et al., 2015). Ačkoli se má za to, že horizontální trhliny mají minimální schopnost hojení kvůli své vaskularitě a současným degenerativním změnám, systematický přehled uvádí, že úspěšnost oprav horizontálních trhlin byla 77,8 %, což je srovnatelná úspěšnost s opravami jiných typů meniskálních trhlin (Ozeki et al., 2021).

### **„Bucket-handle“ trhlina**

Trhlina typu bucket-handle (Obrázek 5) může mít vertikální či šikmý průběh, s longitudinálním prodloužením k přednímu rohu, kde dochází často k posunu fragmentu k interkondylárnímu zářezu (Ozeki et al., 2021). Název je odvozen od vzhledu této trhliny, kdy vnitřní posunutý fragment menisku připomíná rukojeť, kdežto periferní neposunutá část připomíná kbelík. Tento typ trhliny obvykle zasahuje celý meniskus, ale může být rovněž

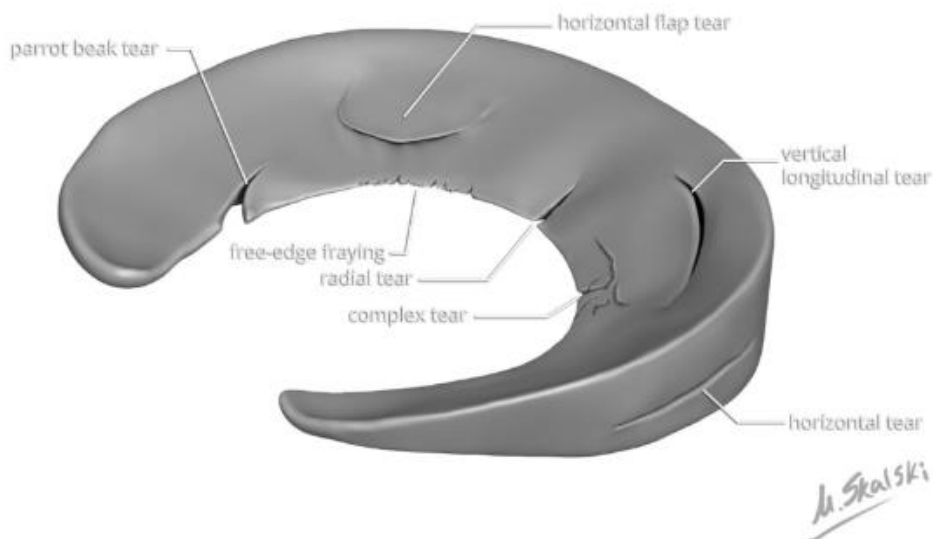
přítomný pouze v oblasti zadního rohu a těla nebo pouze v oblasti rohu. Často je asociována s poraněním LCA. Obvykle postihuje mediální meniskus (Fox et al., 2015; Srimongkolpitak & Chernchujit, 2022).

### „Displaced flap“ trhlina

Flap tears jsou trhliny s výrazným posunem mezi normálně srostlými segmenty a postihují mediální meniskus (87 %) častěji než laterální meniskus (13 %). Nejčastější trhlinou s posunutím laloku je trhlina těla mediálního menisku, která se posunuje inferiorně do mediálního žlábků a někdy může být při artroskopii přehlédnuta, ale měla by být zaznamenána na MRI. Trhliny laloku posunuté směrem dolů (78 %) jsou častější než trhliny posunuté směrem nahoru (20 %), a přestože tělo je nejčastěji postiženo u mediálního menisku, zadní roh je častěji postižen u laterálního menisku (Patel et al., 2021).

### Komplexní degenerativní trhlina

Komplexní trhliny obvykle zahrnují dva nebo více typů, nebo je nelze snadno zařadit (Patel et al., 2021). Incidence této trhliny je 26 % pro laterální a 23 % pro mediální meniskus (Belgaïd et al., 2021), s nejvyšší incidencí u starších dospělých, nicméně byly nalezeny i u pacientů ve věku 20 let. Komplexní trhliny mohou, ale nemusí být asociovány s traumatickým vznikem a mohou mít nenápadný začátek. Často se vyskytují současně s dalšími degenerativními změnami kolenního kloubu. Obecně mají komplexní trhliny mizivý až žádný hojivý potenciál a nelze je opravit (Fox et al., 2015).



Obrázek 4: Jednotlivé typy meniskálních trhlín (Patel et al., 2021).



Obrázek 5: Třídimenzionální bucket-handle trhlina (Patel et al., 2021).

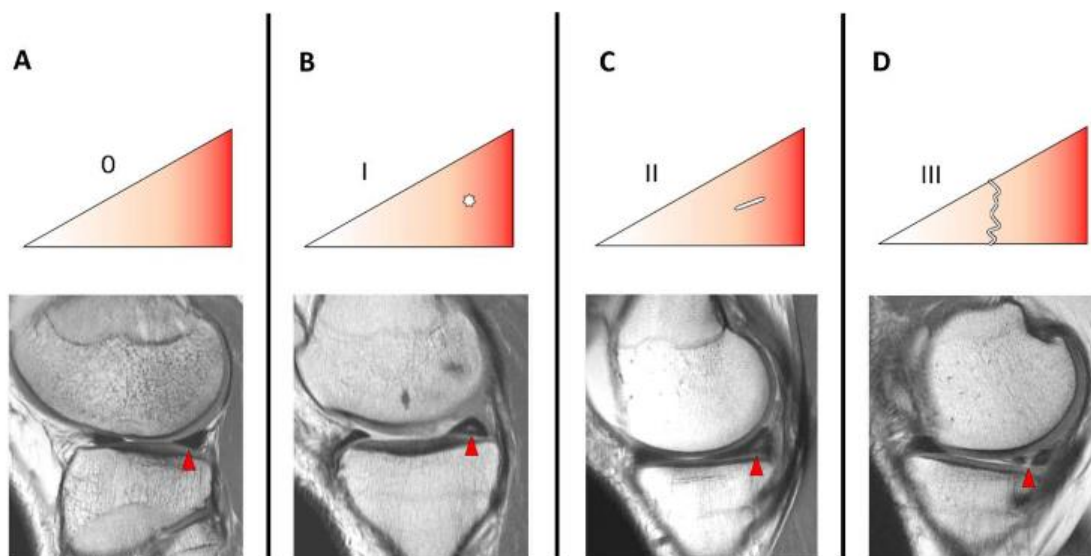
### **2.6.3 Dlouhodobé následky poranění menisku**

Jak již bylo zmíněno výše, poranění menisků je časté jak u sportujících, tak i nespportující populace. Bylo prokázáno, že při dlouhodobém sledování jsou tato poranění spojena s vysokým rizikem rozvoje degenerativních změn kolenního kloubu, konkrétně osteoartrózy (OA). Toto riziko je zvýšeno až čtyřikrát (Snoeker et al., 2013). Osteoartróza vede následně ke vzniku bolesti a funkčnímu postižení u lidí mladého či středního věku. Tato situace může být popsána jako mladý pacient se starým kolenem (Lohmander et al., 2007).

Osteoartróza je multifaktoriální onemocnění s genetickými a environmentálními faktory, které je v populaci časté a je spojováno s vyšším věkem. Je charakterizováno ložiskovými oblastmi úbytku kloubní chrupavky v synoviálních kloubech, vznikem osteofytů, změnou subchondrální kosti a synovitiidou. V pokročilejších stádiích dochází k zúžení kloubní štěrbiny, ke vzniku subchondrální sklerózy a kostních cyst. Obvykle se OA klinicky projevuje různým stupněm bolesti, ztuhlostí a funkčním postižením, ale může být i asymptomatická. Jak kloubní změny, tak symptomy v průběhu let pomalu postupují. OA je tak považována za progresivní onemocnění, i když ne vždy tomu tak musí být. To, jak rané změny v kloubu předpovídají rozvoj symptomatické OA, není dostatečně popsáno (Lohmander et al., 2007).

## 2.7 Zobrazovací metody

Rozeznáváme tři stupně poranění. Grade 1 je intrameniskální patologie kulovitého charakteru, která nedosahuje na kloubní plochu. Grade 2 je intrameniskální patologie lineárního charakteru, která rovněž nedosahuje na kloubní plochu. Grade 3 označuje patologii, která již na kloubní plochu dosahuje (Obrázek 6) (Šimeček et al., 2017).



Obrázek 6: Grading meniskálních trhlín. (A) Grade 0, (B) Grade I, (C) Grade II, (D) Grade III. Červené šipky označují lokaci trhliny (Fox et al., 2015).

### 2.7.1 Rentgenové vyšetření

Rentgenové vyšetření má význam především pro diferenciální diagnostiku poranění menisku. U chronických poranění mediálního menisku můžeme pozorovat osteofyt umístěný na mediálním kondylu tibie pod kloubní štěrbinou. Tento osteofyt je označován jako Rauberovo znamení. Arthrografické vyšetření menisků ztratilo význam díky přesnějším vyšetřením, jako je magnetická rezonance či artroskopie (Dungl, 2014).

### 2.7.2 Magnetická rezonance

Magnetická rezonance (MRI) má dominantní postavení především ve schopnosti zobrazení patologie menisků, zkřížených vazů a chrupavek (Šimeček et al., 2017), nicméně většina studií prokázala diagnostickou přesnost především u menisků a zkřížených vazů (Crawford et al., 2007). Jedná se o dobře dostupnou neinvazivní metodu. Na druhou stranu je ale jak finančně, tak i časově náročná. Hodnocení patologie pomocí MRI je velmi složité a vyžaduje spolupráci se specialistou rentgenologem (Šimeček et al., 2017). MRI je považována

za neinvazivní alternativu artroskopického vyšetření (Rayan et al., 2009). Pro diagnostiku opakovaných trhlin lze pro větší přesnost zvolit artrografii magnetickou rezonancí s intraartikulárním kontrastem (Syed et al., 2022).

### **2.7.3 Artroskopické vyšetření**

Kolenní kloub byl prvním kloubem, který byl vyšetřen pomocí artroskopie (Milewski et al., 2011). Artroskopie je považována za zlatý standard v diagnostice poranění kolenního kloubu, s diagnostickou přesností až 94 %. Zároveň může být využita i terapeuticky, nicméně se jedná o invazivní a poměrně nákladnou proceduru vyžadující anestezii a nemocniční hospitalizaci s rizikem komplikací, jako je například infekce (Khandelwal et al., 2018).

### **2.7.4 Shoda magnetické rezonance a artroskopického vyšetření**

#### **Senzitivita**

Čím blíže se hodnota senzitivity blíží k 1, tím v menším počtu případů popřela MRI pozitivní nález artroskopie. Studie z České republiky na 470 participantech popisuje, že u nejčastějšího patologického nálezu na meniscích, tedy poranění zadního rohu mediálního menisku, dosáhla senzitivita hodnoty 0,94. Z toho vyplývá, že může artroskopista při pozitivním nálezu na MRI očekávat patologii zadního rohu. U většiny ostatních struktur byla senzitivita rovněž vysoká, dosahovala hodnot kolem 0,8 (Šimeček et al., 2017).

Meta-analýza z roku 2021 zahrnující 17 studií popisuje průměrnou senzitivitu 0,92 u mediálního menisku a 0,8 u laterálního menisku (Wang et al., 2021) Další meta-analýza z roku 2019 uvádí celkovou senzitivitu u mediálního menisku 0,93 a u laterálního menisku 0,83 (Shakoor et al., 2019). Studie z roku 2021 na 543 participantech určila senzitivitu MRI u mediálního menisku jako 0,92 a u laterálního menisku jako 0,81. Senzitivita u jednotlivých typů trhlin byla u mediálního menisku určena jako 0,58 pro longitudinální, 0,69 pro horizontální, 0,38 pro radiální a 0,65 pro komplexní trhlinu. U laterálního menisku se jedná o senzitivitu 0,62 pro longitudinální, 0,48 pro horizontální, 0,54 pro radiální a 0,45 pro komplexní trhlinu (Kim et al., 2021)

#### **Specifita**

Čím více se hodnota specifity blíží k 1, tím méně často nalezne MRI pozitivní nález u negativního artroskopického nálezu. Ve studii z roku 2017 je hodnota specifity většinou vyšší než senzitivity a přesahuje hodnoty 0,9. Nižší hodnoty specifity mohou rovněž signalizovat artroskopické přehlédnutí poranění uvnitř obalu, kdežto MRI zobrazuje i hlubší

vrstvy. Ze 456 artroskopií s nálezem označila MRI pouze 3 případy jako negativní -> specifická 0,99 (Šimeček et al., 2017).

Meta-analýza z roku 2021 zahrnující 17 studií popisuje průměrnou specificku 0,9 u mediálního a 0,95 u laterálního menisku (Wang et al., 2021). Meta-analýza z roku 2019 uvádí celkovou specificku pro mediální meniskus 0,87 a pro laterální meniskus 0,9 (Shakoor et al., 2019). Studie z roku 2021 určila specificku MRI pro mediální meniskus jako 0,8 a pro laterální jako 0,85. Specificku jednotlivých typů trhliny byla u mediálního menisku 0,98 pro longitudinální, 0,87 pro horizontální, 0,95 pro radiální, a 0,91 pro komplexní trhlinu. U laterálního menisku pak 0,97 pro longitudinální, 0,94 pro horizontální, 0,91 pro radiální a 0,91 pro komplexní trhlinu (Kim et al., 2021).

### **Přesnost**

Přesnost vyjadřuje míru shody obou metod, kdy 100 % znamená, že byly všechny nálezy hodnoceny shodně. Celkově osciluje přesnost okolo 90 %, přičemž nejvyšší je u negativního nálezu = obě metody se shodují, že je nález negativní. Tato skutečnost může mít praktický význam při rozhodování, zda se uchýlit k artroskopii či nikoliv. Poměrně zásadní se zdá být rovněž zkušenost rentgenologa, kde se ukazuje být přesnost zkušeného rentgenologa asi o 10 % vyšší než u nezkušeného (Šimeček et al., 2017). Studie z roku 2021 určila přesnost MRI pro vyšetření mediálního menisku jako 0,86, a přesnost pro vyšetření laterálního menisku jako 0,83. Tato studie rovněž hodnotila přesnost u jednotlivých typů trhlin, a to jako 0,95 u longitudinální, 0,86 u horizontální, 0,93 u radiální, 0,84 u komplexní trhliny mediálního menisku a 0,91 u longitudinální, 0,91 u horizontální, 0,88 u radiální a 0,84 u komplexní trhliny laterálního menisku (Kim et al., 2021).

## **2.8 Klinické vyšetření menisků**

Při poranění menisků typicky nacházíme palpační bolestivost v průběhu příslušné kloubní štěrbiny. V literatuře je popsán nespočet různých testů k vyšetření poraněných menisků, nicméně žádný z nich není zcela přesný, proto je vhodné volit jejich kombinaci. Princip těchto testů však bývá shodný, kdy tlak na poškozený meniskus spojený s rotací vyvolá bolest, případně přeskočení. Čím je flexe kolenního kloubu při vyšetření větší, tím dorzálnější část menisku vyšetřujeme (Dungl, 2014).

### **Klinický obraz**

Při poranění menisku se objevuje bolest během chůze po nerovném povrchu a při prudkých rotacích na zatížené dolní končetině. Často se také setkáváme s pocitem přeskakování a nejistoty. V klidu potíže obvykle mizí. Některé typy lézí mohou způsobit blokády kolene a při opakovaném dráždění kolene poškozeným meniskem může vzniknout výpotek (Dungl, 2014).

### **McMurrayův test**

Tento test slouží k vyšetření zadních rohů menisků. Pacient je vyšetřován vleže na zádech. Vyšetřovaná dolní končetina je uvedena do maximální flexe v kolenním kloubu. Vyšetřující jednou rukou uchopí chodidlo, druhou podpírá koleno. Bérec je rotován vnitřně a koleno uváděno do extenze pro vyšetření laterálního menisku, poté je bérec rotován zevně a koleno extendováno pro vyšetření mediálního menisku (Bronstein & Schaffer, 2017). Ruka, která podpírá koleno, zároveň palpuje vyšetřovanou kloubní štěrbinu. Test je pozitivní při vyvolání bolesti či přeskočení v kloubní štěrbině (Dungl, 2014; Gallo, 2011). Tento test může být dále modifikován aplikací valgózního či varózního stresu na kolenní kloub (Gross et al., 2005; Hoppenfeld, 1976).

### **Steinmannův příznak I**

Pacient je vyšetřován vsedě s flexí v koleni 90°, bérce jsou svěšeny z lehátka. Bérec je rotován zevně pro vyšetření vnitřního menisku a vnitřně pro vyšetření zevního menisku. Příznak je pozitivní při vyvolání bolesti (Dungl, 2014; Gallo, 2011).

### **Steinmannův příznak II**

Pacient je vyšetřován vleže na zádech na okraji lehátka. Koleno je plně extendováno a bolestivé místo v kloubní štěrbině je palповáno vyšetřujícím. Při zvětšování flexe se bolestivé místo posouvá dozadu (Dungl, 2014; Gallo, 2011).

### **Payerův příznak**

Pacient se posadí do tureckého sedu a přitlačí kolena směrem k podložce. Při poškození zadního rohu mediálního menisku se objeví bolest v zadní části mediální kloubní štěrbině (Dungl, 2014; Gallo, 2011).



### **Childressův příznak**

Při poranění zadního rohu menisku vyvolá dřep či chůze ve dřepu bolest, nebo není pacient vůbec schopný tento úkon provést. Při chůzi ve dřepu dochází kvůli velké flexi v koleni k nadměrnému tlaku právě v oblasti zadních rohů menisků. Je nutno odlišit bolest, která může vycházet z patelofemorálního skloubení (Dungl, 2014; Gallo, 2011; Gross et al., 2005).

### **Apleyův test**

Tento test lze využít pro odlišení poranění menisků od poranění postranních vazů (Dungl, 2014; Gross et al., 2005). Pacient leží v pronační poloze na lehátku. Nejprve je bérce rotován vnitřně a zevně v neutrálním zatížení. Poté je bérce rotován v distrakci a kompresi v ose bérce. Zvýšená bolest při distrakci kolenního kloubu ukazuje na poranění vazů, kdežto zvýšená bolest při kompresi kolenního kloubu poukazuje na trhlinu menisku. Stejně jako u McMurrayova testu cílí vnitřní rotace na laterální meniskus, zevní rotace na vnitřní meniskus, a pro zacílení na zadní rohy můžeme využít zvýšenou flexi. Dolní končetina pacienta je fixována kolenem vyšetřujícího (Bronstein & Schaffer, 2017; Hoppenfeld, 1976).

### **Thessaly test**

Pacient stojí na jedné dolní končetině, která je naplocho fixována na zemi. Nejprve vyšetřujeme koleno ve flexi 5°, poté ve flexi 20°. Terapeut podepře pacienta a ten třikrát rotuje trupem vnitřně a třikrát zevně, čímž by mělo dojít k reprodukci dynamického přenesení zátěže a měl by být zatížen meniskus. Při bolesti či přeskokování v laterální či mediální kloubní šterbině je test pozitivní (Bronstein & Schaffer, 2017).

#### **2.8.1 Diagnostická přesnost testů na poranění menisků**

Řada studií informovala o přesnosti testů hodnotících poškození menisků, zejména McMurrayova a Apleyho testu. Uváděná senzitivita a specifita se mezi studii značně lišila, a publikované studie byly omezeny značnou heterogenitou. Rozdíly byly přičítány metodologickým chybám v designu studií (Bronstein & Schaffer, 2017). Meta-analýza z roku 2007 zahrnovala 18 studií z anglicky a německy mluvících zemí. Senzitivita a specifita se značně lišily, a to od 15 % do 74 %, respektive od 11 % do 97 % u McMurrayova testu, a od 13 % do 70 %, respektive od 33 % do 100 % u Apleyho testu. Souhrnná senzitivita a specifita pak byla 70,5 %, respektive 71,1 % pro McMurrayův test a 60,7 %, respektive 70,2 % pro Apleyho kompresní test (Hegedus et al., 2007)

Další meta-analýza, publikovaná v roce 2008, zahrnovala 11 studií. Uvedla, že průměrná senzitivita a specifita byla 55 %, respektive 77 % pro McMurrayův test, a 22 %, resp. 88 % pro Apleyho test. Tento přehled potvrdil velmi rozdílné hodnoty (Meserve et al., 2008).

V původním článku Karachalia (2005) byla uváděna senzitivita a specifita pro Thessaly test v 20° flexi 89 %, respektive 97 % pro mediální meniskus a 92 %, respektive 96 % pro laterální meniskus. Nicméně studie z roku 2015 zahrnující 593 pacientů zaznamenala senzitivitu 64 % a specifitu 53 %, výsledky se významně nelišily od McMurrayova testu (Bronstein & Schaffer, 2017).

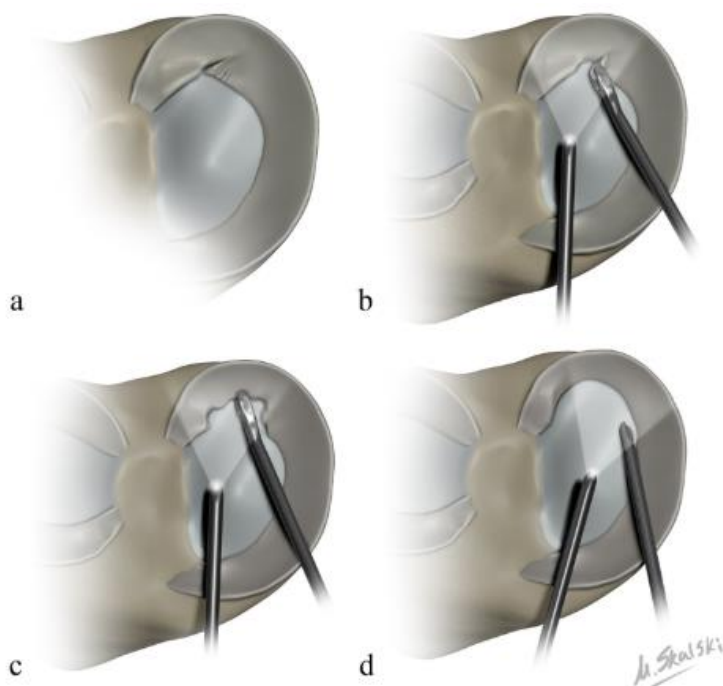
## **2.9 Operační postupy při poranění menisku**

Nejspolehlivějším způsobem ošetření poraněného menisku je artroskopie (Dungl, 2014). Bylo zjištěno, že oproti otevřené operaci kolene vede artroskopické řešení k výrazně kratší době hospitalizace a k rychlejšímu návratu k práci a sportu (McDermott & Amis, 2006). Mezi operační možnosti řadíme menisektomii, rekonstrukci a transplantaci menisku. Při rozhodování o léčbě je třeba vzít v úvahu faktory, jako je typ trhliny, její umístění, možnost zhojení a také věk pacienta (Brelín & Rue, 2016).

### **2.9.1 Menisektomie**

Menisektomie může zahrnovat parciální, subtotální či totální odstranění poškozené meniskální tkáně a měla by být použita pouze v případě, kdy oprava není možná. Při menisektomii by měl zůstat zachován stabilní, hladký okraj (Obrázek 7), aby bylo sníženo riziko opakovaných trhlín. Přestože vede menisektomie obvykle k rychlejšímu návratu k běžnému životu, nemělo by být podceňováno riziko vzniku degenerativních změn (Brelín & Rue, 2016). Bylo prokázáno, že izolovaná trhlina ošetřená menisektomií vede k vysokému riziku vzniku symptomatické osteoartrózy, a to i v případě, že byl rozsah resekce omezen (Ozeki et al., 2021). Se zvyšujícím se množstvím resekované meniskální tkáně dochází k výraznému nárůstu kontaktního napětí v tibiofemorálním skloubení. Z tohoto důvodu by mělo zůstat zachováno největší možné množství menisku a k menisektomii se uchýlovat pouze v případě, že jiné metody není možné využít (Brelín & Rue, 2016; McDermott & Amis, 2006).

Pokud není trhlina menisku vhodná k rekonstrukci, ať už kvůli místu, velikosti nebo kvalitě tkáně, je částečná menisektomie platnou operační možností (Anderson et al., 2021; Patil et al., 2017). Parciální menisektomie je preferovanou metodou léčby, pokud je trhlina izolovaná na vnitřní třetině menisku (bílá zóna), protože nedostatečná vaskularizace neumožňuje správné hojení po případné rekonstrukci. Obvykle se provádí, když jsou pacientovy příznaky rezistentní na konzervativní léčbu nebo začnou ovlivňovat jeho každodenní aktivity (Patel et al., 2021). Nepopíratelnou výhodou menisektomie je výrazně rychlejší návrat k běžným aktivitám a sportu (Brelín & Rue, 2016). Míra reoperace po parciální menisektomii činí při dlouhodobém sledování delším než 10 let 3,9 % (Paxton et al., 2011).



Obrázek 7: Ilustrace znázorňující artroskopickou parciální menisektomii. Trhlina menisku (a) je uchopena košíčkovými kleštěmi (b) a poté rozříznuta až k okraji trhliny (c). Okraje jsou poté oříznuty a dotvarovány pomocí resektoru (d) (Patel et al., 2021).

### **2.9.2 Rekonstrukce menisku**

Pro záchranu menisku by první volbou chirurgického řešení měla být jeho rekonstrukce, a to zejména u mladších aktivnějších pacientů. Před plánováním operace je nutné posoudit vhodnost trhliny k rekonstrukci. Chirurgické techniky lze rozdělit na tři postupy: inside-out, outside-in a all-inside (Obrázek 8), přičemž technika je zvolena na základě umístění a typu poranění (Ozeki et al., 2021). Nejvhodnější k rekonstrukci je longitudinální trhlina nacházející se v red-red zóně, nicméně v současné době již existují možnosti rekonstrukce dalších typů

trhlin (Brelín & Rue, 2016; Patil et al., 2017). Společným znakem každého typu rekonstrukce menisku je příprava menisku a jeho prostředí. Veškeré volné nebo roztřepené úlomky menisku by měly být odstraněny a protilehlé okraje jsou obroušeny, aby se vymezil okraj menisku a podpořila se hojivá reakce (Fox et al., 2015).

Ačkoli má rekonstrukce menisku ve srovnání s parciální menisektomií vyšší míru krátkodobých (16,5 % vs. 1,4 %) a dlouhodobých (20,7 % vs. 3,9 %) reoperací, je také spojena s lepšími dlouhodobými výsledky, vyšším Lysholmovým výsledným skóre a menším počtem degenerativních změn (Patel et al., 2021). Míra selhání rekonstrukce menisku minimálně pět let po operaci činí 19,5 % (Nepple et al., 2022).

### **Technika Inside-out**

U této techniky je steh zakládán z menisku přes kloubní pouzdro ven z kloubu, uzlí se vně kloubu. Je vyžadováno speciální instrumentárium, lze ji využít ve všech částech menisku a pomáhá při repozici nestabilních trhlin (Dungl, 2014). Ačkoli byla technika inside-out zlatým standardem pro zadní třetinu longitudinálních trhlin menisku, novější zdokonalené techniky pro all-inside se staly preferovanou metodou (Pace et al., 2021). Existuje několik výhod rekonstrukce menisku technikou inside-out. K zavádění stehů se používají tenčí jehly, které jsou příznivější než jehly s většími otvory a implantáty, které vyžaduje většina zařízení typu all-inside. Stehové uzly lze vázat pod přímou vizualizací na posteriorní část kloubního pouzdra s hmatovou a vizuální zpětnou vazbou potvrzující kompresi přes trhlínu, což optimalizuje hojení menisku. Technika inside-out také eliminuje riziko migrace implantátu v kloubu, která může způsobit poškození kloubních chrupavek, jež bylo popsáno u zařízení typu all-inside. V neposlední řadě je technika inside-out atraktivní z hlediska nákladů, protože stehy potřebné k opravě jsou podstatně levnější než 1 kotva typu all-inside (Pace et al., 2021). Míra selhání rekonstrukce menisku pomocí této techniky činí po pěti letech od operace 14,2 % (Nepple et al., 2022).

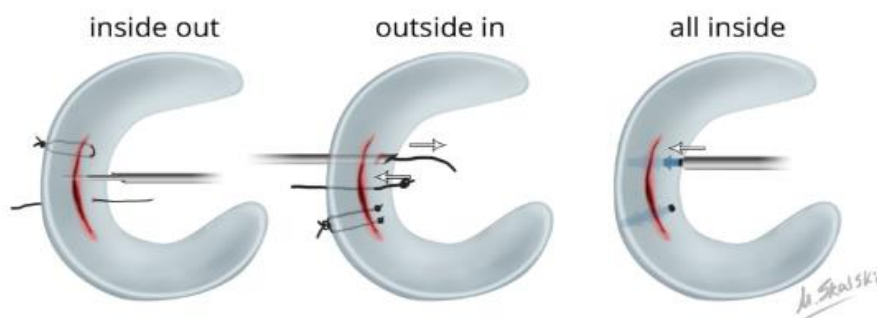
### **Technika Outside-in**

V roce 1985 zavedl Warren techniku outside-in, která byla původně navržena tak, aby snížila riziko entrapmentu peroneálního nervu na laterální straně (Jouve et al., 2010). Tato technika je jednoduchá a není vyžadováno žádné speciální instrumentárium, není ovšem vhodná pro ošetření trhlin v zadní části menisku (Dungl, 2014). Technika outside-in spočívá v průchodu stehu meniskem zvenčí dovnitř kloubu, jeho vytažení ven a uvázání uzlu nad pouzdrem. Vzhledem k tomu, že tato technika zahrnuje zavedení ostrého nástroje dovnitř kloubu bez vizuální kontroly, jsou ideální a bezpečnou indikací trhlíny předního rohu

a vertikální podélné trhliny v předních dvou třetinách menisku. Trhliny zadního rohu řešené technikou outside-in mají vysoké riziko neurovaskulárního poranění (Patil et al., 2017). Míra selhání rekonstrukce menisku pomocí této techniky činí po pěti letech od operace 21,7 % (Nepple et al., 2022).

### Technika All-inside

Technika all-inside se v průběhu let vyvíjela, což vedlo ke zjednodušení a zkrácení doby operace a snížení neurovaskulárních rizik (Patil et al., 2017). V současné době se u této techniky využívají fixační prvky, které dovolují klasickou vertikální a horizontální suturu stehem s vláknem na povrchu menisku. Nové systémy se skládají ze zaváděcí jehly, která obsahuje dvě fixační kotvičky spojené nevstřebatelnými vlákny. Meniskus je propíchnut jehlou přes lézi a je zavedena první kotvička s vláknem za bází menisku. Následně je jehla vytažena, meniskus je asi o 4 mm vedle opět propíchnut přes lézi, je zavedena druhá kotvička a vlákno dotaženo (Dungl, 2014). Jedinečné použití zařízení typu all-inside je při reparaci léze mediálního menisku v oblasti zadního rohu. Radiální trhliny jsou také lépe opravitelné technikou all-inside (Patil et al., 2017). Některé all-inside rekonstrukce mohou obnovit kontinuitu tkáně bez fixace menisku k okolním měkkým tkáním, což mu umožňuje samostatný pohyb a hojení i přes brzké zahájení rozsahu pohybu kolene. Techniky all-inside také zabraňují hyperstabilitě, která může vést k přetržení nebo opětovnému roztržení stehu. Bylo prokázáno, že all-inside rekonstrukce mají kratší operační čas a rychlejší pooperační zotavení. Na druhou stranu mohou i modernější all-inside zařízení vést k lokálnímu podráždění měkkých tkání a otoku (Golz et al., 2022). Míra selhání rekonstrukce menisku pomocí této techniky činí po pěti letech od operace 15,8 % (Nepple et al., 2022).



Obrázek 8: Ilustrace technik rekonstrukce menisku (Patel et al., 2021).

### **2.9.3 Transplantace menisků**

Novějším přístupem k léčbě meniskálních trhlin je transplantace meniskového alograftu, která se stala reálnou možností léčby vybraných symptomatických pacientů ve věku do 50 let, kteří podstoupili subtotální nebo totální menisektomii (Patel et al., 2021). Typickými kandidáty na tento zákrok jsou pacienti, u nichž se po menisektomii objeví příznaky bolesti a otoku v důsledku časných degenerativních změn. Kontrolní artroskopie zaznamenaly u většiny pacientů dobré zhojení periferního okraje kloubního pouzdra, i když v některých případech bylo pozorováno zmenšení transplantátu. Obvykle se periferie meniskového alograftu přišije ke zbývajícímu perifernímu okraji nebo kloubnímu pouzdru. Meniskální rohy se fixují buď malými přiloženými kostními zátkami, nebo fixací měkkých tkání stehy. Kontraindikací pro implantaci alograftu je asymptomatické poškození, pokročilá artróza, obezita, synoviální onemocnění, zánětlivá artritida, významná osteoartróza a předchozí infekce kloubu. Mezi nevýhody patří omezený počet dostupných štěpů, cena, velikost štěpu, vliv sterilizace a konzervace na biomechanickou pevnost štěpu a riziko přenosu onemocnění (Anderson et al., 2021; Fox et al., 2015). Chirurgické a konzervační techniky transplantace menisků se stále vyvíjejí. Využívají se čerstvé, mrazem ošetřené štěpy. Ačkoli je zmrazení spojeno se zmenšením štěpu, poskytuje chirurgovi možnost vybrat si štěp odpovídající velikosti z nabídky dostupných velikostí a tvarů (Anderson et al., 2021). Komplikace zahrnující selhání alograftu i postupnou ztrátu chrupavky se vyskytují až ve 21 %, přičemž některé studie uvádějí až 35 % reoperací (Patel et al., 2021)

### **2.10 Rehabilitační postupy po artroskopické operaci menisku**

Léčba trhliny menisku může být konzervativní nebo chirurgická. Fyzioterapie a rehabilitační protokoly jsou však vždy nedílnou a zásadní součástí léčebného plánu. Výběr protokolu, který bude následovat, se liší podle samotného pacienta, typu nebo vzoru poranění menisku a typu provedené chirurgické léčby, a to buď částečné menisektomie, nebo rekonstrukce menisku. Cílem všech rehabilitačních protokolů je co nejdříve obnovit svalovou sílu a plný rozsah pohybu (ROM) kolene, umožnit pacientovi podstupovat zátěž, a nakonec mu pomoci vrátit se bezpečně a rychle na úroveň aktivity před úrazem. Rozdíl mezi jednotlivými protokoly spočívá v časovém intervalu mezi jednotlivými fázemi, který je delší u pacientů s reparací menisku a rychlejší u pacientů po parciální menisektomii (Khalifa et al., 2020). Rehabilitační postupy využívané u pacientů po artroskopických operacích menisků jsou shodné s těmi, které se běžně používají u pacientů po rekonstrukcích LCA (Kolář et al., 2009).

### **2.10.1 Rehabilitace po parciální menisektomii**

Po parciální menisektomii je zachována vnitřní anatomie kolena, což dává šanci rychlejšímu rehabilitačnímu protokolu. Hlavními cíli protokolu je zmírnění pooperační bolesti a otoku, prevence dalšího poškození, postupné zvyšování ROM kolene až do dosažení plného rozsahu, zvyšování svalové síly a kondice a dosažení plné zátěže co nejdříve podle tolerance pacienta (Jeong et al., 2012; Khalifa et al., 2020). Je třeba podporovat časnou mobilizaci, protože bylo prokázáno, že prodloužená pooperační imobilizace zhoršuje funkční výsledky (Khalifa et al., 2020) a podporuje atrofii stehenního svalstva (O'Donnell et al., 2017). Pacienti jsou obvykle schopni se vrátit ke sportu přibližně za šest týdnů, kdy ustoupí bolest kolene a výpotek, a síla kvadricepsů/hamstringů se vrátí k normálu (Patil et al., 2017). Rychlost tohoto programu je dána tím, že se meniskus nehojí, protože poškozená tkáň byla odstraněna (Brelín & Rue, 2016).

V 1. pooperačním týdnu je cílem zvýšit zatížení a toleranci zátěže, zátěž operované dolní končetiny bývá obvykle 50 %. Může být využito izometrických kontrakcí a cviků v uzavřeném kinematickém řetězci. Ve 2. až 4. týdnu je cílem dosáhnout normálního vzoru chůze s plnou zátěží a zvýšit rozsah pohybu kolene. Od 3. týdne se zahajuje progresivní posilování svalů, balanční cvičení a trénink propriocepce (Frizziero et al., 2012; Jeong et al., 2012; Koch et al., 2020; Kolář et al., 2009). Pacienti se mohou vrátit ke kancelářské práci po jednom týdnu, návrat k běžným sportovním aktivitám po parciální menisektomii je povolen poté, co síla čtyřhlavého stehenního svalu dosáhne přibližně 80 % síly neoperované dolní končetiny. K výkonnostnímu sportu je možno se vrátit tehdy, když síla čtyřhlavého stehenního svalu dosáhne alespoň 90 % síly kontralaterální strany, přibližně po osmi týdnech (Khalifa et al., 2020). Některé studie ovšem odhalily deficit síly operované dolní končetiny i po 4 letech od zákroku (Feeley & Lau, 2018; McLeod et al., 2012).

### **2.10.2 Rehabilitace po rekonstrukci menisku**

Rehabilitace po rekonstrukci menisku probíhá pozvolněji a panuje neshoda, zda se musí jednat o pomalý, nebo může být použit zrychlený protokol. V současné době existuje jen málo důkazů, které by podporovaly jeden osvědčený postup (O'Donnell et al., 2017; Spang III et al., 2018). V počátečním období se obecně dodržuje ochrana ve smyslu sníženého zatížení a sníženého rozsahu pohybu, kdy by flexe kolenního kloubu neměla přesáhnout 90° (Patil et al., 2017). Časné pooperační období je rozhodující pro ochranu meniskální náhrady tak, aby byla zachována komprese v místě opravy. Pokud dojde ke ztrátě kompresních sil v místě rekonstrukce, šance na úspěšné zhojení menisku se výrazně sníží (Sherman et al., 2020).

Rehabilitační protokoly se soustředí především na znovuzískání plného rozsahu pohybu kolene, dosažení plné zátěže a návrat ke sportovním aktivitám. Rehabilitační protokoly lze rozdělit na postupný a zrychlený. Oba přístupy vykazují dobré procento zhojení a shodnou míru selhání (Smoak et al., 2020; Spang III et al., 2018), ale urychlený protokol může vést podle některých studií k rychlejším výsledkům (Frizziero et al., 2012) a omezit ztrátu svalové hmoty a síly (O'Donnell et al., 2017). Postupný rehabilitační protokol umožní během prvních čtyř týdnů po operaci postupné zvyšování zátěže, přičemž koleno zůstane imobilizované v extenční poloze po dobu nejméně šesti týdnů u komplexní sutury a tři týdny u sutury v periferní části menisku. Návrat ke sportovním aktivitám by měl být po uplynutí nejméně šesti měsíců (Frizziero et al., 2012; Harput et al., 2020; Khalifa et al., 2020; Koch et al., 2020). Naproti tomu zrychlená rehabilitace zahrnuje časná zatěžování podle tolerance, časnou mobilizaci bez použití ortézy a bez omezení rozsahu pohybu, a to podle některých autorů již od třetího dne po operaci (Spang III et al., 2018). Návrat ke sportovním aktivitám je povolen po čtyřech měsících (Frizziero et al., 2012; Harput et al., 2020; Khalifa et al., 2020; Spang III et al., 2018). Bylo prokázáno, že je časná mobilizace po sutuře menisku spojena s velmi nízkou mírou osteoartrózy s odstupem 12 měsíců (Frizziero et al., 2012).

Biomechanické studie ukázaly, že různé typy trhlin menisku a s nimi spojené techniky opravy reagují při fyziologickém zatížení odlišně. Při zatížení kolene jsou vertikální longitudinální trhliny a bucket-handle trhliny stlačeny. Naopak při zatížení dojde k distrakci a posunu radiální a komplexní trhliny, což může ovlivnit proces hojení a snížit jeho úspěšnost. V důsledku toho vykazují urychlené rehabilitační protokoly s časným zatížením a rozsahem pohybu pozitivní výsledky u pacientů s vertikálními a stabilnějšími trhlinami (Harput et al., 2020; Khalifa et al., 2020; O'Donnell et al., 2017; Sherman et al., 2020; Spang III et al., 2018).

Vzhledem k těmto zjištěním byl představen rehabilitační protokol specifický pro typ trhliny. Pacienti s longitudinální meniskální trhlinou o délce menší než 3 cm mohli po operaci končetinu plně zatěžovat, ale ROM byl omezen na 90° po dobu tří týdnů, a na 125° od 3. do 6. týdne. Pacienti s trhlinami delšími než 3 cm byli imobilizováni v kolenní ortéze po dobu tří týdnů, ale mohli končetinu zatěžovat. Pacienti byli omezeni na pasivní pohyb od 0° do 90°. Mezi 3. a 6. týdnem bylo pacientům umožněno přejít na aktivní flexi kolene do 90°. Dále pacienti postupovali v týdnech 6 až 8 do flexe 125°, poté byla všechna omezení ukončena. Pacienti s komplexními a radiálními trhlinami byli po dobu šesti týdnů omezeni minimální zátěží a flexí do 90°. Od šestého týdne bylo povoleno zatěžování operované končetiny a flexe nad 90°. Pacienti s podélnými trhlinami se mohli vrátit ke sportu po 3 měsících, zatímco pacienti s komplexními a radiálními trhlinami se mohli vrátit ke sportu po 4 až 5 měsících (Sherman et al., 2020; Spang III et al., 2018).



## 2.11 Metoda Blood Flow Restriction

První studie o Blood Flow Restriction (BFR) byla publikována v roce 1990 (Kaijser et al., 1990). Tato technika byla zpopularizována v Japonsku v 70. letech 20. století, kdy Yoshiaki Sato představil koncept KAATSU tréninku, známého též jako trénink s přidaným tlakem nebo okluzní trénink. První aplikace byly zaznamenány pro dekonkreci v geriatrické medicíně, kde byla snaha řešit kardiovaskulární změny a svalovou atrofii související s věkem. V posledních letech se rozsah využití stále rozšiřuje jako doplněk tradiční terapie muskuloskeletálních zranění a ortopedických traumat (Anderson et al., 2019; Patterson et al., 2019).

Terapie s využitím metody BFR zahrnuje aplikaci pneumatické manžety či elastické bandáže na proximální část končetiny, které uzavře žilní odtok a omezí arteriální přítok (Li et al., 2021; Wengle et al., 2022). Hypoteticky se tím docílí vzniku anaerobního prostředí, které vede ke vzniku vysokých úrovní metabolického stresu a mechanického napětí. Oba tyto faktory jsou popisovány jako primární faktory svalové hypertrofie (Anderson et al., 2019; McEwen et al., 2019; Wengle et al., 2022). BFR má své uplatnění jak při odporovém cvičení, tak i při aerobním cvičení. Přestože kombinace BFR s aerobním cvičením vede k významnému zlepšení aerobní kapacity (Flocco & Bernabei, 2022; Formiga et al., 2020; Yang et al., 2022), bude v této práci zahrnuto využití při odporovém cvičení. Pacient provádí odporové cvičení s přibližně 20 až 30 % maxima jednoho opakování (1RM). Standardní provedení BFR tréninku je obvykle popisováno jako úvodní série po 30 opakováních, po níž následují 3 série po 15 opakováních s 30 sekundovým odpočinkem mezi sériemi, celkem tedy 75 opakování. Další možností je využít 3 – 5 sérií do koncentrického selhání, což ale nemusí být například u pooperační rehabilitace vhodné. Další zvyšování tréninkového objemu pravděpodobně nevede k dalším adaptacím. Standardním postupem je udržovat manžetu nafouknutou po celou dobu sérií a odpočinku s vyprázdněním po provedení všech 75 opakování a krátkou dobou odpočinku před opětovným nafouknutím pro následující cvičení. Frekvence tréninku je obvykle 2 až 3 sezení týdně (Anderson et al., 2019; Patterson et al., 2019).

Použití BFR s odporovým tréninkem s nízkou zátěží během rehabilitace dolních končetin může mít podobně hypertrofické účinky srovnatelné s odporovým tréninkem s vysokou zátěží. Proto může být tato metoda ideální pro pacienty, kteří zpočátku nejsou schopni provádět vysoce intenzivní cvičení z důvodu operace kolena, ale snaží se zlepšit sílu a trofiku svalstva dolních končetin (Wengle et al., 2022). Přestože je umístění manžety a nízké zatížení používané při cvičení poměrně standardizované, průzkum postupů BFR tréninku v rehabilitaci ukázal, že existují nejednotnosti v metodice, vybavení a v používaných úrovních okluzního tlaku (Anderson et al., 2019).

### **2.11.1 Okluzní tlaky u metody BFR**

Velká nejednotnost v určení okluzních tlaků je dána především tím, že některé studie používaly tlak aplikovaný pomocí okluzní manžety (Obrázek 9) na úrovni stanovené jako procento personalizovaného okluzního tlaku končetiny (limb occlusion pressure, LOP), jiné studie používaly fixní, pro všechny pacienty stejný tlak manžety (např. 200 mmHg nebo 130 % systolického krevního tlaku) aplikovaný pomocí manžet různých velikostí a tvarů, a několik studií stanovilo tlak na základě systolického krevního tlaku pomocí matematických vzorců, které se v minulosti ukázaly jako nepřesné a jejichž využívání bylo omezeno. Tyto nejednotnosti v metodice a vybavení ztěžují určení bezpečného, ale zároveň co nejefektivnějšího tlaku pro omezení krevního průtoku (Anderson et al., 2019; McEwen et al., 2019).

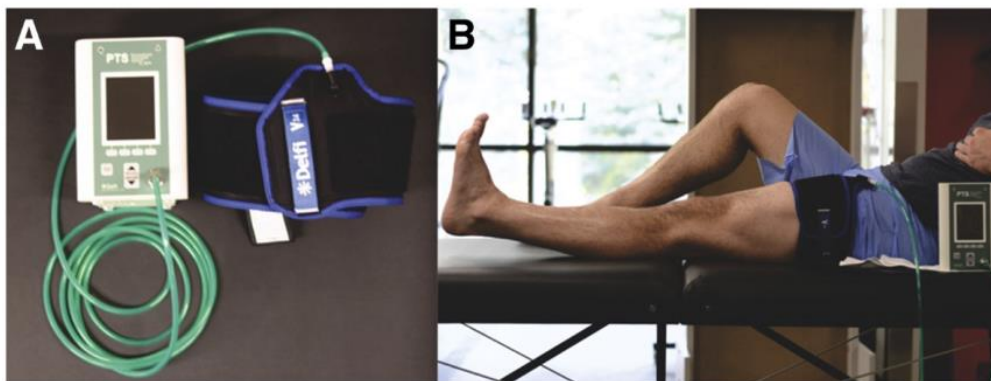
Protože fixní okluzní tlak bude u jedinců s různou tělesnou konstitucí způsobovat jinou úroveň arteriální okluze (Hughes et al., 2017), a aby byly překonány inkonsistence mezi jednotlivými studiemi, bylo doporučeno využívání LOP. LOP je definován jako minimální tlak aplikovaný u konkrétního pacienta konkrétní manžetou, který je nutný k zastavení průtoku arteriální krve do končetiny distálně od manžety. Tento tlak je ovlivňován několika proměnnými, mezi které patří vlastnosti pacientovy končetiny včetně obvodu a množství svalové a tukové tkáně, fyziologické vlastnosti pacienta včetně krevního tlaku a vlastnosti manžety, mezi které patří šířka, délka a tvar. Ukázalo se, že u aplikací, kdy není využit LOP, může dojít buď k úplné, nebo naopak nedostatečné arteriální okluzi. To představuje riziko ischemického poškození a riziko poškození nervových struktur přímo pod manžetou při aplikaci nadměrného tlaku. Zároveň dochází ke snížení účinnosti metody BFR, a to při úplné, ale i nedostatečné okluzi. Pacient rovněž nedostává konzistentní stimul při jednotlivých terapiích (Anderson et al., 2019; McEwen et al., 2019). Pro využití LOP je nutná speciální manžeta s dopplerovským ultrazvukem (Vopat et al., 2020).

Existují tři hlavní výhody používání personalizovaných tlaků založených na relativním procentu LOP. První výhodou jsou desítky let zkušeností s využitím škrtících manžet v chirurgických zařízeních, kdy je zajištěna bezpečná a přesná aplikace tlaku na končetinu pacienta. Nastavení a regulace tlaku jako předem stanoveného procenta LOP může pomoci předejít nežádoucím příhodám, které mohou vzniknout v důsledku neúmyslného použití tlaku, který vede k úplné arteriální okluzi. Druhou výhodou je fakt, že použití jednotné úrovně restriktivního tlaku omezuje variabilitu intenzity BFR u jednotlivých pacientů, protože svalová aktivace i nervosvalová únava se mění v závislosti na relativní intenzitě BFR. Třetí výhodou je

možné porovnání výsledků studií, které využívaly konzistentní úroveň okluzního tlaku, a tím určení optimálních protokolů (McEwen et al., 2019).

Jako optimální tlak pro BFR je navrhováno široké rozpětí tlaků, a to 40 % - 80 % LOP, u kterých byla prokázána jejich účinnost (Patterson et al., 2019). Stále však neexistuje jasný konsensus ohledně ideálních individuálních okluzních tlaků. Předepsaná aplikace tlaku je primární proměnnou při aplikaci BFR. Je důležité, aby bylo zajištěno, že nepohodlí způsobené kompresí aktivní svaloviny bude minimalizováno, aniž by byla ohrožena účinnost metody (Clarkson et al., 2020). Bylo prokázáno, že neuromuskulární aktivace a svalová únava se liší v závislosti na LOP, přičemž 80 % okluze výrazně převyšuje 40 % a 60 %. Pokud je zátěž < 30 % 1RM, což je typické v rehabilitačních zařízeních v důsledku zranění nebo pooperačních omezení, pak může být k vyvolání svalového růstu podobného silovému tréninku s vysokou zátěží zapotřebí vyššího restriktivního tlaku, jako je 80% LOP (Anderson et al., 2019; Cuyul-Vásquez et al., 2020). U fyzicky neaktivní části populace a jedinců špatně tolerujících fyzickou zátěž a nepohodlí je nutné zvážit, zda bude v konkrétní situaci pro pacienta vhodnější využít značně nekomfortní tlak 80 % LOP, nebo se uchýlit k tlaku 40 % - 60 % LOP a vyššímu komfortu při cvičení (Clarkson et al., 2020). U vyšších okluzních tlaků může díky zvýšenému diskomfortu dojít ke snížení počtu provedených opakování, což může mít vliv na efektivitu dané terapie (Counts et al., 2016). Z toho vyplývá, že opodstatněnost "ideálního" individualizovaného tlaku může záviset na cílené populaci a že v různých situacích může mít opodstatnění použití jak vysokých, tak nízkých až středních tlaků (Clarkson et al., 2020). Některé studie rovněž naznačují, že pro maximální efektivitu BFR terapie nemusí být využití vysokých okluzních tlaků nutné (Counts et al., 2016). Jiné studie naopak naznačují, že při zatížení 20 % 1RM vede okluzní tlak 80 % LOP oproti 40 % k větší hypertrofii a nárůstu svalové síly. U 40 % 1RM nevede zvýšení okluzního tlaku k významným rozdílům (Dankel et al., 2017; Hughes et al., 2017; Lixandrão et al., 2018; Naess, 2021).

Velikost tlaku potřebného k zastavení průtoku krve končetinou je také závislá na šířce manžety, kdy širší manžeta vyžaduje pro okluzi nižší tlak. Proto je zásadní, aby byl tlak, který je stanoven při měření LOP, aplikován při rehabilitaci stejně širokou manžetou, protože využití manžety s rozdílnou šířkou může způsobit zcela jiný stupeň okluze končetiny (Patterson et al., 2019).



Obrázek 9: Aplikace metody Blood Flow Restriction (DePhillipo et al., 2018a).

### **2.11.2 Vliv BFR na svalovou sílu a trofiku**

Trénink BFR má významný přínos pro rozvoj trofiky a síly kosterního svalstva (Hughes et al., 2017; Miller et al., 2021). Hypertrofie kosterního svalstva je definována jako nárůst svalové hmoty, který je dán především zvětšením velikosti svalových vláken, nikoliv se zvětšením jejich počtu. Svalová hypertrofie je indukována signalizačními kaskádami a růstovými faktory, jako je inzulinu podobný růstový faktor-1 (IGF-1). Aby bylo dosaženo hypertrofické reakce, musí být svalová vlákna vystavena dostatečnému mechanickému či metabolickému stresu. Obecně se při hypertrofickém a silovém tréninku doporučuje úroveň zatížení mezi 60 a 100 % 1RM (Anderson et al., 2019).

Při aplikaci BFR metody dochází ke vzniku hypoxického a ischemického stavu a tím ke zvýšenému metabolickému stresu, který vede k vyššímu zapojení svalových vláken při nižším zatížení. Jak metabolický stres, tak mechanické napětí byly označeny za "primární hypertrofické faktory", proto vede používání BFR během odporového tréninku ke zvýšení svalové síly a hypertrofii (Hughes et al., 2017; Li et al., 2021).

Většina studií se shoduje na tom, že trénink s nízkou intenzitou (20 % až 40 % 1RM) s využitím BFR vedl k významně vyšším adaptacím v oblasti hypertrofie a svalové síly, než trénink s nízkou intenzitou bez využití BFR. Některé studie ukazují, že BFR vede ke stejnému nárůstu svalové hmoty jako odporový trénink s vysokou intenzitou, ale nevede k tak významnému nárůstu svalové síly (Patterson et al., 2019; Wengle et al., 2022).

Podle meta-analýzy z roku 2017 porovnávající trénink s vysokou zátěží s BFR tréninkem s nízkou zátěží vedl silový trénink k mírně většímu nárůstu svalové síly u jedinců s osteoartrózou kolenního kloubu, poraněním kolenních vazů, myozitidou a starších dospělých náchylných k sarkopenii. Tato meta-analýza rovněž ukazuje, že BFR je účinnější variantou

v porovnání s tréninkem nízké intenzity bez BFR. Nárůst svalového objemu se zdá být u BFR a tréninku s vysokou intenzitou bez významného rozdílu (Hughes et al., 2017), což potvrzuje i další meta-analýza z roku 2018, podle které neměl na hypertrofii vliv ani rozdíl ve využitých okluzních tlacích (Lixandrão et al., 2018). Meta-analýza z roku 2021 zkoumající jedince po poranění kolenního kloubu potvrzuje větší účinnost BFR tréninku oproti tréninku s nízkou zátěží. Tato studie ovšem nenalezla významný rozdíl v nárůstu svalové síly mezi BFR tréninkem a tréninkem s vysokou intenzitou (Li et al., 2021), což podporuje i další meta-analýza z téhož roku, která zároveň uvádí srovnatelný nárůst svalové hmoty po BFR ve srovnání s odporovým tréninkem s vysokou intenzitou (Nitzsche et al., 2021). Meta-analýza z roku 2022, zkoumající populaci podstupující operaci kolene, došla k závěru, že BFR trénink vedl k výrazné hypertrofii čtyřhlavého svalu stehenního oproti kontrolní skupině. Kontrolní skupiny se ovšem mezi jednotlivými studii lišily (Wengle et al., 2022). BFR může být s pozitivním efektem na svalovou hmotu a sílu využito i po rekonstrukci LCA (Bobes Álvarez et al., 2020; Hughes et al., 2018; Charles et al., 2020; Lu et al., 2020; Spada et al., 2022), stejně jako u osteoartrózy, pokud silový trénink s vysokou intenzitou způsobuje přílišnou bolest (Grantham et al., 2021). U starších dospělých vedl BFR trénink k významně vyššímu nárůstu síly než trénink nízké intenzity, ale ne k větší než trénink vysoké intenzity. V nárůstu svalové hmoty nebyl mezi BFR a silovým tréninkem vysoké intenzity významný rozdíl (Centner et al., 2019). Z BFR mohou pravděpodobně benefitovat i starší dospělí ohrožení sarkopenií (Cahalin, Formiga, Anderson, et al., 2022).

### **Potenciální mechanismy účinku**

Mechanismus účinku, kterým vede BFR k hypertrofii a nárůstu svalové síly, nebyl dosud zcela objasněn. Navrhovaný mechanismus je založen na kombinaci mechanického a metabolického stresu. Oproti konvenčnímu silovému tréninku s vysokou intenzitou je ovšem dominantním faktorem metabolický stres (Freitas et al., 2021; May et al., 2022; Miller et al., 2021; Pearson & Hussain, 2015; Rossi et al., 2018). Tyto faktory působí synergicky a vyvolávají řadu sekundárních mechanismů včetně hypoxie tkání, hromadění metabolitů a buněčného otoku (May et al., 2022). Akumulace vedlejších metabolických produktů souvisí s aktivací aferentních nervových vláken skupin III a IV, která inhibují  $\alpha$ -motoneurony inervující motorické jednotky s pomalými svalovými vlákny typu I, což vyžaduje včasný nábor motorických jednotek s rychlými svalovými vlákny typu II, které jsou citlivější na hypertrofické adaptace (Freitas et al., 2021). Svalová vlákna typu II mají relativně větší průměr a vyšší stimulační práh. energii získávají především z glykolytické dráhy namísto oxidativního metabolismu, takže se přednostně rekrutují v hypoxickém prostředí. Tkáňová hypoxie při BFR způsobuje přednostní

nábor motorických jednotek typu II, které se obvykle rekrutují pouze při tréninku s vysokou zátěží. To následně podporuje autokrinní a parakrinní signální dráhy, které vedou k syntéze bílkovin, stimulaci myogenních kmenových buněk a lokální a systémové syntéze anabolických hormonů včetně růstového hormonu, který následně může vést ke zvýšení IGF-1 (Freitas et al., 2021; May et al., 2022). Významné zvýšení IGF-1 však nebylo u BFR zaznamenáno (Miller et al., 2021). Dále dochází ke snížení exprese myostatinu (de Queiros et al., 2021).

Dalším důležitým faktorem účinku BFR je shromažďování krve způsobené žilní okluzí. Kombinací zvýšeného množství extracelulární tekutiny a akumulace metabolitů, včetně laktátu a reaktivních forem kyslíku, vzniká tlakový gradient, který žene tekutinu do svalových vláken. Výsledný zvýšený objem buněk mění jejich strukturu a řídí anabolické signální dráhy. Buněčný otok podporuje zvýšenou syntézu proteinů v mnoha různých typech buněk včetně hepatocytů, osteocytů a svalových vláken. Tyto přínosy se projevují jak u mladších, tak u starších jedinců bez zvýšení svalového poškození, otoků nebo vnímané bolesti (Anderson et al., 2019; Baker et al., 2020; Counts et al., 2016; Hughes et al., 2017; Li et al., 2021; May et al., 2022; Minniti et al., 2020; Pearson & Hussain, 2015).

### **2.11.3 Vliv BFR na bolest**

Zátěž svalového systému snižuje senzitivitu na bolest endogenní modulací bolesti označovanou jako hypoalgie vyvolaná cvičením (EIH). EIH je pozorována po odporovém, aerobním i izometrickém cvičení a není omezena pouze na zatěžovanou část těla, ale je pozorována i ve vzdálených oblastech, ovšem v menší míře. To naznačuje, že EIH je vyvolána jak lokálními, tak i centrálními mechanismy. Míra EIH se zdá být závislá na intenzitě cvičení, kdy se zvyšující se intenzitou roste i účinek EIH (Song et al., 2021). U odporových, aerobních a izometrických cvičení je popisován u zdravé populace a populace s chronickou bolestí střední až velký účinek EIH (Rice et al., 2019). U odporového tréninku je velký účinek EIH pozorován u cvičení s vysokou intenzitou při použití zátěže 75 % 1RM (Hughes & Patterson, 2020), případně při nižší zátěži prováděné do selhání. Přestože zvyšování intenzity může přinést větší účinek EIH, může být nevhodné pro jedince, kteří nejsou schopni cvičit s vysokou intenzitou (Song et al., 2021).

Bylo prokázáno, že BFR s nízkou intenzitou rovněž vede k EIH. Velikost účinku EIH se zdá být větší, pokud bylo cvičení prováděno s BFR ve srovnání se stejným cvičením bez omezení průtoku krve (Song et al., 2021). Studie z roku 2020 zjistila, že BFR s LOP 40 % i 80 % a cvičení s vysokou intenzitou zvýšily účinnost EIH více než cvičení s nízkou intenzitou, a k největšímu účinku vedla BFR s 80 % LOP. U BFR zůstával lokálně zvýšený práh bolesti i po 24 hodinách

(Hughes & Patterson, 2020). Podle meta-analýzy z roku 2021 vede BFR trénink u pacientů po poranění kolenního kloubu k významnějšímu snížení bolestivosti než silový trénink s vysokou intenzitou (Li et al., 2021), kdežto podle meta-analýzy z roku 2020 nebyl ve snížení bolestivosti na konci intervence mezi BFR a silovým tréninkem s vysokou intenzitou signifikantní rozdíl (Cuyul-Vásquez et al., 2020).

### **Potenciální mechanismy účinku**

Jedním z možných mechanismů, jak může BFR snižovat bolest, je aktivace opioidního a endokannabinoidního systému. Během BFR tréninku je vyvolán ischemický a hypoxický stav ve tkáních pod manžetou a distálně od ní. Přidání BFR během cvičení s nízkou intenzitou významně zvyšuje metabolický stres a nervosvalovou únavu ve srovnání s odpovídajícím cvičením bez BFR, což se projevuje intramuskulární akumulací metabolitů a snížením pH. Tím dochází ke stimulaci svalových chemoreceptorů, které mohou aktivovat aferentní vlákna skupiny III a IV, čímž se mění aferentní zpětná vazba do CNS (Hughes & Patterson, 2019, 2020; Song et al., 2021). Ve srovnání s cvičením s vysokou i nízkou intenzitou byla u BFR nalezena zvýšená koncentrace beta-endorfinů (Hughes & Patterson, 2020).

Druhým možným mechanismem je podmíněná modulace bolesti. Podmíněná modulace bolesti je fenomén popisovaný jako "bolest inhibuje bolest". Vnímání bolesti a nepohodlí je během BFR zvýšeno v podobném rozsahu jako u cvičení vysoké intenzity, což může vést k aktivaci descendentních inhibičních drah. Podmíněná modulace bolesti může souviset s hypoxií nebo zánětem jako takovým a může být dosažitelná pomocí BFR i bez cvičení (Hughes & Patterson, 2019; Song et al., 2021). Tento mechanismus podporuje fakt, že byla bolest snížena více u BFR s 80 % LOP než u BFR s 40 % LOP. Ovšem snížené vnímání bolesti po BFR přetrvávalo i po 24 hodinách, což je u podmíněné modulace bolesti nepravděpodobné (Hughes & Patterson, 2020).

Třetím možným mechanismem je časný přednostní nábor vysokoprahových motorických jednotek, což je důležitým mechanismem EIH a může vysvětlovat, proč je při cvičení vysoké intenzity pozorován větší účinek hypoalgie. Vysokoprahové motorické jednotky se obvykle rekrutují pouze při vysoké intenzitě, kdežto nízkoprahové motorické jednotky jsou zapojeny při cvičení nízké intenzity. Po cvičení s vysokou zátěží proti odporu je často pozorován větší stupeň snížení bolesti ve srovnání s cvičením s nízkou zátěží proti odporu. Pokud je však odporové cvičení s nízkou zátěží prováděno do volního selhání, je pozorován srovnatelný rozsah hypoalgetické odpovědi, což naznačuje, že nábor vysokoprahových motorických jednotek může být jedním ze základních mechanismů hypoalgie vyvolané cvičením. Při BFR jsou

vysokoprahové motorické jednotky kvůli hypoxickému prostředí a zrychlenému nástupu únavy rekrutovány přednostně (Hughes & Patterson, 2019; Song et al., 2021).

Spojení mezi kardiovaskulárním a bolest modulujícím systémem může poskytnout další mechanismus, kterým cvičení BFR vyvolává hypoalgezi. Vyšší krevní tlak a srdeční frekvence jsou spojeny se sníženým vnímáním bolesti. To může být způsobeno překrýváním oblastí mozku ovládajících baroreceptory a nocicepci. Během cvičení vede zvýšený krevní tlak ke zvýšené stimulaci baroreceptorů, která pak spouští sestupnou inhibiční aktivitu ve snaze obnovit homeostázu. Zvýšení srdeční frekvence a krevního tlaku vyvolané cvičením je při cvičení s BFR výraznější ve srovnání se srovnatelnou zátěží bez BFR (Hughes & Patterson, 2019; Song et al., 2021).

#### **2.11.4 Vliv BFR na kardiovaskulární systém**

Kardiovaskulární systém je základní strukturou pro dodávku kyslíku, živin a hormonů a zajišťuje odvádění vedlejších produktů metabolismu. Má také zásadní význam pro regulaci distribuce krve do metabolicky aktivních tkání. Arteriální poddajnost odráží schopnost tepny rozpínat se a opětovně se stahovat během srdeční kontrakce i relaxace. Poddajnost stěn velkých tepen se s přibývajícím věkem a nemocemi snižuje, což vede ke zvýšené tuhosti tepen a zhoršené vazodilatační funkci, která je nezávislým rizikovým faktorem kardiovaskulárních onemocnění (Liu et al., 2021). Bylo prokázáno, že BFR pozitivně ovlivňuje arteriální poddajnost a funkci endotelu (Baker et al., 2020; Patterson et al., 2019).

Jako jeden ze základních mechanismů, jimiž BFR trénink reguluje periferní cévní systém, je označována neogeneze periferních kapilár. Prokázalo se, že exprese některých angiogenních genů se po odporovém cvičení s nízkou zátěží v kombinaci s BFR významně zvýšila. Jedním z hlavních růstových faktorů zapojených do angiogeneze je vaskulární endoteliální růstový faktor (VEGF). Během BFR může výsledný pokles hladiny kyslíku ve svalech stabilizovat hypoxií indukovaný faktor 1 $\alpha$  (HIF-1 $\alpha$ ) pro cílenou aktivaci transkripce VEGF (Li et al., 2022). Zvýšená angiogeneze v končetinách může zlepšit dynamiku průtoku tekutin a snížit hypertenzi, a to i u pacientů se srdečním selháním. U těchto pacientů nebyly hlášeny žádné vedlejší účinky (Cahalin, Formiga, Owens, et al., 2022).

Podle meta-analýzy z roku 2021 vede odporový trénink nízké intenzity s BFR k větší arteriální poddajnosti než odporový trénink sám. Vliv na cévní funkce byl v delším časovém horizontu shodný, ale do čtyř týdnů tréninku měl BFR výraznější efekt (Liu et al., 2021). Meta-analýza z roku 2022 došla k závěru, že BFR zvýšilo VEGF i HIF-1 $\alpha$  významněji v porovnání s kontrolní skupinou bez BFR. Odporový trénink s BFR zároveň vedl k většímu účinku



na angiogenezi než aerobní cvičení (Li et al., 2022). Metaanalýza z roku 2018 naznačuje, že BFR nevede k významnému zvýšení systolického ani diastolického krevního tlaku po cvičení u jedinců s hypertenzí (Wong et al., 2018).

#### **2.11.5 Vliv BFR na šlachy**

Ačkoli jsou svaly zodpovědné za produkci síly, přenos těchto sil na kosterní systém zajišťují šlachy. Interakce komplexu svalové a šlachové jednotky s kosterním systémem je proto pro lidskou lokomoci klíčová. Odporový trénink s vysokou intenzitou se ukázal být efektivnější pro optimální adaptaci šlach oproti tréninku s nízkou intenzitou. Nicméně některé studie naznačují, že k srovnatelným adaptacím morfologických a mechanických vlastností šlachy může vést i odporový trénink nízké intenzity s BFR (Burton & McCormack, 2022).

#### **2.11.6 Vliv BFR na kosti**

Pro zlepšení zdraví kostí je doporučováno cvičení s odporem střední až vysoké intenzity nebo cvičení s opakovanými dopady, které stimuluje metabolismus kostí (Bittar et al., 2018). Výzkum prokázal zvýšení sérových koncentrací kostní alkalické fosfatázy a zvýšení kostního metabolismu u odporového tréninku s nízkou intenzitou v kombinaci s BFR, což naznačuje vliv na zdraví kostí (Hughes et al., 2017; Miller et al., 2021). Možné mechanismy odpovědné za tento účinek jsou zvýšený intramedulární tlak a intersticiální tekutina v kosti způsobená žilní okluzí. Kromě těchto mechanismů bylo zjištěno, že BFR aktivuje transkripční faktor indukovaný hypoxií, čímž zvyšuje expresi vaskulárního endoteliálního růstového faktoru a tvorbu mikrocév v kostní tkáni. Tato technika je tedy použitelnou alternativou pro mnoho jedinců, kteří se snaží léčit nebo zpomalit projevy kostních onemocnění (Bittar et al., 2018).

#### **2.11.7 Bezpečnostní rizika**

Existují potenciální obavy spojené s BFR, které se týkají především svalového poškození včetně rhabdomyalýzy a vlivu na kardiovaskulární systém včetně trombózy. Nebyla však nalezena spojitost mezi intervenčním protokolem a závažností vedlejších účinků (Anderson et al., 2019; Freitas et al., 2021; Minniti et al., 2020).

Kvůli externímu stlačení cévního řečiště okluzní manžetou existuje obava ze vzniku žilní trombózy při BFR. Teoreticky by okluze krevního toku a poškození endotelu mohly podporovat koagulační stavy prostřednictvím Virchowovy triády. Souhrnná literatura ovšem ukazuje, že nežádoucích příhod týkajících se žilní trombózy je minimum (Vopat et al., 2020). V největší studii svého druhu se u 7 z 12 642 pacientů (0,06 %) po použití BFR objevila hluboká žilní

trombóza. Není známo, zda je vztah asociovaný nebo kauzální (Nakajima et al., 2006). Studie neprokázaly zvýšené riziko srážlivosti krve a vzniku tromboembolické nemoci ihned po cvičení ani v řádu 4 až 12 týdnů probíhajícího BFR, nicméně většina těchto studií byla prováděna na zdravé populaci. Bylo prokázáno, že BFR aktivuje fibrinolytický systém, což by teoreticky mělo bránit tvorbě trombů (Patterson et al., 2019; Vopat et al., 2020).

Tradiční odporový trénink může vést k poškození svalů, zejména u netrénovaných jedinců. Toto poškození je nejčastěji spojováno s excentrickou svalovou kontrakcí. Po primárním poškození tréninkem často dochází k sekundárnímu poškození zánětlivou reakcí. Svalové poškození lze určit na základě svalové biopsie, nebo nepřímými markery, mezi které patří snížení produkce síly, snížení rozsahu pohybu, bolestivost svalů, otoky a měření cirkulujících hladin kreatinkinázy a/nebo myoglobinu. V extrémních případech může být fyzická zátěž spojena s rozpadem tkáně příčně pruhovaného kosterního svalstva, označovaným jako námahová rhabdomyolýza. Případy námahové rhabdomyolýzy jsou obvykle spojeny se zátěží, která výrazně přesahuje fyzickou zdatnost a běžnou fyzickou námahu účastníka, ale byly také spojeny s vysokou tepelnou zátěží, dehydratací nebo užíváním některých léků. Byly zjištěny zcela výjimečné případy rhabdomyolýzy po BFR, nicméně riziko se pohybuje mezi 0,2 – 0,008 %, což se významně neliší oproti riziku při běžném silovém tréninku (Anderson et al., 2019; Minniti et al., 2020; Patterson et al., 2019).

Dalšími riziky je poranění kůže či nervu, teplotní změny, zvýšená bolest, prodloužená ischemie a arteriální poranění (DePhillipo et al., 2018a), parestezie, podkožní krvácení a mdloby (de Queiros et al., 2021). Základními příčinami těchto rizik jsou vysoký tlak v manžetě, úzká šířka manžety, vysoký gradient tlaku pod manžetou a dlouhá doba používání manžety. Při využití personalizovaných tlaků vyjádřených v procentech LOP jsou tato rizika však minimální (DePhillipo et al., 2018a).

BFR se jeví jako bezpečná terapeutická metoda u pacientů s poruchami kolenního kloubu, především je-li využívána v souladu se zjištěnými důkazy (Barber-Westin & Noyes, 2019; Minniti et al., 2020; Nietzsche et al., 2021).

### **2.11.8 Indikace**

Indikace pro použití BFR v kombinaci s odporovým tréninkem nízké intenzity zahrnují následující: pooperační a postmobilizační rehabilitace, patelofemorální bolestivý syndrom, meniskální trhliny, poranění vazů, a rehabilitace pro muskuloskeletální poruchy (Minniti et al., 2020). Pacienti využívající BFR však musí být motivovaní, protože dochází ke zvýšení vnímaného úsilí oproti cvičení stejné intenzity bez BFR (Brandner & Warmington, 2017).

### **2.11.9 Kontraindikace**

V současné době nebyly u BFR stanoveny žádné absolutní kontraindikace. Potenciálními kontraindikacemi, které je třeba zvážit, jsou žilní trombóza, kardiovaskulární porucha, srpkovitá anémie, infekce končetin, lymfadenektomie, rakovina či nádor, obezita, diabetes mellitus, těžká hypertenze, onemocnění ledvin a jater, případně léky, které zvyšují srážlivost krve. Je vhodné, aby byli pacienti před započítím BFR řádně vyšetřeni (Anderson et al., 2022; DePhillipo et al., 2018a, 2018b; de Queiros et al., 2021).

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Cílem diplomové práce je ověřit efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod stehna, rozsah pohybu a funkční stav u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

### **3.2 Hypotézy**

#### **H1**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu svalové síly do flexe v kolenním kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

#### **H2**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu svalové síly do extenze v kolenním kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

#### **H3**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu obvodu stehna v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

#### **H4**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému zlepšení funkčního stavu kolenního kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

#### **H<sub>0</sub>1**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction nevede ke statisticky významnému zvýšení aktivního a pasivního rozsahu pohybu v kolenním kloubu do flexe v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

#### **H<sub>0</sub>2**

Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction nevede ke statisticky významnému zvýšení aktivního a pasivního rozsahu pohybu v kolenním kloubu do extenze v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu.

### **3.3 Výzkumné otázky**

#### **V1**

Jak velký bude rozdíl nárůstu svalové síly mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

#### **V2**

Jak velký bude rozdíl nárůstu obvodu stehna mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

#### **V3**

Jak velký bude rozdíl zlepšení funkčního stavu kolenního kloubu mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

## 4 METODIKA

Studie byla provedena formou kvantitativního výzkumu se statistickým zpracováním dat. Jedná se o klinickou experimentální (kvazi-experiment) randomizovanou zaslepenou studii. Terapeut č. 1 náhodně rozdělil pacienty do standardní a BFR skupiny a provedl terapii obou skupin v rozsahu 8 třicetiminutových cvičebních jednotek. V případě přítomných kontraindikací u probandů zařazených do BFR skupiny byl proband přesunut do standardní skupiny. Terapeut č. 2 provedl vstupní a výstupní vyšetření bez znalosti rozdělení pacientů do skupin. Terapeut č. 1 neznal výsledky vyšetření a dotazníků prováděné terapeutem č. 2.

### 4.1 Výzkumný soubor

Do výzkumného souboru bylo zahrnuto 20 probandů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Vstupní a výstupní měření proběhlo v laboratoři dynamometrie v prostorách Centra kinantropologického výzkumu FTK. Probandi absolvovali rehabilitaci v RRR centru – Centrum léčby bolestivých stavů a pohybových poruch v Olomouci, spol. s.r.o. a Fyzioterapii IFyziio – Jiří Herbert Procházka s.r.o. Výzkumný soubor se skládal ze 13 mužů a 7 žen ve věku od 19 do 71 let. Průměrný věk probandů byl 44,25 let. Výzkum probíhal v období červen 2022 – duben 2023.

Všichni probandi byli odesláni na rehabilitaci po artroskopii menisku kolenního kloubu. U všech probandů byla provedena parciální menisektomie, z toho u 17 menisektomie mediálního menisku a u 3 menisektomie laterálního menisku. Tři probandi měli přidružené poranění vazů v oblasti kolenního kloubu, z toho jeden rupturu LCA, jeden rupturu LCA a LCM a jeden distenzi LCA. Terapie byla zahájena do 14 dnů od vytažení stehů. Kritérium zařazení do studie byla plná účast na terapiích a podstoupení vstupního a výstupního vyšetření. Probandi neměli žádné další závažné onemocnění pohybového či nervového systému.

Probandi byli náhodně rozděleni terapeutem č. 1 do standardní a BFR skupiny. Věkové rozmezí probandů ve skupině BFR bylo od 19 do 49 let s průměrným věkem 36,9 let a tvořilo ji 9 mužů a 1 žena. Ve standardní skupině byl průměrný věk 51,6 let ve věkovém rozmezí od 36 do 71 let a tvořili ji 4 muži a 6 žen. Dvě ženy byly do standardní skupiny zařazeny kvůli kontraindikacím pro využití metody BFR.

## **4.2 Informovanost účastníků výzkumu**

Všichni účastníci byli při prvním setkání seznámeni s průběhem a jednotlivými částmi výzkumného projektu. Každý účastník podepsal informovaný souhlas o dobrovolné účasti na studii (Příloha 1), schválený Etickou komisí FTK UP (Příloha 2).

## **4.3 Metodika vyšetření**

Vstupní a výstupní měření probíhalo individuálně s terapeutem č. 2 v laboratoři dynamometrie v Centru kinantropologického výzkumu FTK. Před zahájením měření byli pacienti informováni o možnosti kdykoliv z výzkumu odstoupit. Vyšetření obsahovalo odebrání anamnézy, vyplnění Lysholmova skórovacího dotazníku, goniometrické a antropometrické vyšetření a vyšetření svalové síly na dynamometru.

### **4.3.1 Lysholmův skórovací dotazník**

Lysholmův skórovací dotazník (Příloha 3) byl původně v roce 1982 vyvinut pro hodnocení funkčního stavu po poškození kolenních vazů. V roce 1985 byl upraven a dnes se používá při různých postiženích kolenního kloubu včetně poranění menisků. Používá se zejména ke zhodnocení funkčního stavu pacienta s poraněním kolenního kloubu. V revidované verzi byla přidána položka týkající se blokování kolene a odstraněny položky týkající se bolesti při „giving way“ fenoménu, otoku při „giving way“ fenoménu a objektivního měření atrofie. Obsahuje 8 vyšetřovaných oblastí. Patří mezi ně kulhání, blokování kolene, bolest, chůze do schodů, nutnost podpory, nestabilita, otok a dřep. U každé položky je vybrána jedna nejvíce odpovídající odpověď, které náleží příslušný počet bodů. Počítá se celkové skóre od 0 do 100 bodů, kdy 95 až 100 bodů značí vynikající výsledek, 84 až 94 bodů dobrý výsledek, 65 až 83 bodů dostatečný výsledek a <65 bodů špatný výsledek (Briggs et al., 2006, 2009; Collins et al., 2011).

### **4.3.2 Antropometrické vyšetření**

Pro zhodnocení míry trofiky a otoku bylo využito antropometrické vyšetření obvodů dolní končetiny. Byly měřeny čtyři obvody, a to obvod 10 centimetrů nad patelou, přes patelu, přes tuberositas tibiae a v nejširším místě bérce. Všechna měření byla provedena dvakrát a z naměřených hodnot byl vypočítán průměr. Pro porovnání byly měřeny obě dolní končetiny. Proband byl vždy instruován, aby měl dolní končetiny plně relaxované.

Obvod stehen lze použít jako orientační měřítko nárůstu svalové hmoty, protože úzce souvisí s množstvím svalové hmoty dolních končetin, ovšem může být ovlivněn i dalšími proměnnými. Měření obvodu stehen je jednoduchý a neinvazivní způsob, jak posoudit změny trofiky, ale případně i tonicitu svalstva na dolních končetinách.

#### **4.3.3 Goniometrické vyšetření**

K měření rozsahu pohybu byl použit dvouramenný goniometr. Aktivní a pasivní rozsah pohybu v sagitální rovině byl měřen v kyčelním, kolenním a hlezenním kloubu na obou dolních končetinách. Každé měření proběhlo dvakrát a z naměřených hodnot byl vypočítán průměr.

#### **4.3.4 Dynamometrické vyšetření**

Vyšetření dynamometrie probíhalo na přístroji Izomed 2000. Samotnému vyšetření předcházelo rozcvičení formou chůze a nácvik flexe a extenze kolenního kloubu na Izomedu, který byl nastavením shodný s následným testováním, pouze se sníženým subjektivním úsilím. Bylo provedeno 5 opakování na 25 % maximálního úsilí, 4 opakování na 50 % maximálního úsilí, 2 opakování na 75 % maximálního úsilí a nakonec 1 opakování maximálním úsilím. Pauzy mezi jednotlivými opakováními byly dle potřeby probanda. Střed otáčení páky dynamometru byl ve středu laterální kloubní štěrbin. Pacient byl vyšetřován v křesle vsedě. Ke křeslu byl fixován ramenními opěrkami, pásem přes břicho a pásem přes střed stehna, aby byl zajištěn izolovaný pohyb kolenního kloubu. K ramenu dynamometru byl proband fixován nad kotníkem. Vyšetření začínalo v 10° flexi kolenního kloubu, konečný rozsah byl 90° flexe. Byla provedena flexe maximální silou, po které ihned následovala extenze maximální silou. Celý proces se opakoval třikrát s 15sekundovou pauzou mezi jednotlivými pokusy. Probandi byli během jednotlivých pokusů slovně povzbuzováni a měli vizuální zpětnou vazbu na monitoru měřicího přístroje. Rameno dynamometru se pohybovalo izokineticky úhlovou rychlostí 60°s<sup>-1</sup>. Tři opakování byla zvolena, aby mohl být spolehlivě změřen maximální moment síly při úhlové rychlosti 60°s<sup>-1</sup> (Coban et al., 2021). Měření vždy začínalo pravou končetinou, po ní následovala končetina levá.

Úhlová rychlost 60°s<sup>-1</sup> byla zvolena, protože dovoluje otestovat dostatečně velký rozsah pohybu, přičemž stále spolehlivě měří moment síly. Obecně vyšší úhlová rychlost měření vede k nižšímu naměřenému momentu síly, s výraznějším poklesem v krajních polohách (Baltzopoulos & Brodie, 1989; Malik et al., 2018). Navíc by mohla vyšší úhlová rychlost být u pooperačních stavů kolenního kloubu bolestivá.



Všechna opakování byla prováděna koncentricky, protože vyvinout maximální excentrickou svalovou kontrakci může být náročnější a u pacientů s krátkým časovým odstupem od artroskopické operace kolenního kloubu by mohla výrazněji vyvolávat negativní vjemy, jako je bolest nebo strach z pohybu. Dále bylo zjištěno, že reprodukovatelnost excentrických měření je oproti koncentrickým obecně nižší (Dirnberger et al., 2012).

#### **4.4 Metodika a průběh terapií**

Všichni probandi v obou skupinách absolvovali osm 30minutových cvičebních jednotek s frekvencí 2 cvičební jednotky za týden. V rámci skupin absolvovali všichni pacienti shodný rehabilitační plán v souladu se zásadami rehabilitace po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu a doporučeními ošetřujících lékařů.

##### **4.4.1 Skupina BFR**

Ve skupině využívající metodu Blood Flow Restriction byl použit okluzní tlak 80 % LOP, protože při nízké zátěži, která byla u pooperačních stavů využita, mohou vést vyšší okluzní tlaky k větším přírůstkům svalové síly, svalové hmoty (Anderson et al., 2019) a výrazněji snižovat bolest (Hughes & Patterson, 2020). Míra arteriální okluze byla měřena za pomoci PTS (Personalized Tourniquet System) od firmy Delfi Medical. Z časových důvodů byly do každé cvičební jednotky zařazeny tři cviky, a to předkopávání vsedě, podřepy a výstupy na stoličku. Každý cvik byl prováděn ve čtyřech sériích, kdy první čítala 30 opakování a ostatní 15 opakování. Interval odpočinku mezi sériemi byl 30 sekund. Manžeta byla po celou dobu jednoho cviku nafouknuta. Po ukončení čtvrté série následovala pauza 60 sekund s vyfouknutím manžety. Po ukončení cvičení byl pacient vyzván k chůzi, aby došlo k opětovnému prokrvení okludované dolní končetiny. Zátěž byla u každého probanda navyšována individuálně dle rozhodnutí fyzioterapeuta. Probandi byli rovněž edukováni o ošetření jizvy.

##### **4.4.2 Skupina standardní terapie**

Probandi ve standardní skupině podstupovali totožný rehabilitační plán, který se mohl lišit v náročnosti v závislosti na kondici probanda. V úvodní terapii bylo využito tří cviků a sice mostování vleže na zádech, izometrické kontrakce s overballem pod kolenním kloubem a flexe kolenního kloubu s overballem pod patou. Tyto cviky byly v následujících cvičebních jednotkách u každého pacienta ztěžovány dle jeho tolerance zátěže. V dalších terapiích bylo také využito izometrické posilování, analytické posilování, posilování v uzavřeném i otevřeném

kinematickém řetězci (předkopávání, podřepy), propioceptivní neuromuskulární facilitace, zejména 1. diagonála, rytmická stabilizace a zvrát agonistů. Dále byla využita senzomotorická cvičení s využitím balančních ploch. Probandi byli rovněž edukováni o ošetření jizvy.

#### **4.5 Statistické zpracování dat**

Hodnoty Lysholmova skórovacího dotazníku a goniometrického, antropometrického a dynamometrického vyšetření získané při vstupním a výstupním vyšetření byly zapsány do programu Excel Office 365, kde byly vypočteny průměrné hodnoty všech parametrů a směrodatné odchylky. Dále byly hodnoty zpracovány v programu STATISTICA 14.0.0. Pro testování všech hypotéz byl použit Mann-Whitneyův test. Pro zhodnocení statistické významnosti efektu terapie v jednotlivých skupinách byl využit Wilcoxonův test.

#### **4.6 Limity studie**

Mezi limity této práce patří nízký počet probandů ( $n=20$ ), velký věkový rozptyl mezi skupinami i jednotlivými probandy a genderová nevyváženost mezi skupinami. Dále závislost na motivaci probandů při dynamometrickém měření, kdy byla velikost naměřeného momentu síly závislá na jejich motivaci, která mohla být ovlivněna například bolestí či strachem z pohybu operované dolní končetiny. Dále možné zkreslení při antropometrickém a goniometrickém vyšetření, kde je přesnost měření závislá na lidském faktoru. A krátké trvání intervence, kdy se změny v trojici či svalové síle nemusely za čtyři týdny plně manifestovat. Všechny tyto faktory mohly ovlivnit výsledky studie.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Výsledky k hypotéze H1

**H1:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu svalové síly do flexe v kolenním kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Ke zhodnocení svalové síly do flexe byl využit dynamometr Izomed 2000. V tabulce 1 jsou uvedena deskriptivní statistická data svalové síly operované dolní končetiny před a po terapii. U BFR skupiny došlo k průměrnému nárůstu 46,74 Nm, zatímco u standardní skupiny byl nárůst 23,19 Nm. Skupina BFR začínala na vyšších průměrných hodnotách flexe a to 59,14 Nm oproti 48,67 Nm u standardní skupiny.

**Tabulka 1**

*Svalová síla do flexe, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	59,14 ± 18,21	105,88 ± 28,45	46,74
Standardní	10	48,67 ± 23,05	71,86 ± 28,63	23,19

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm do flexe před terapií, M2 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm do flexe po terapii v Nm, SD = směrodatná odchylka

K ověření hypotézy H1 byl využit Mann-Whitneyův test pro dvě nezávislé skupiny (BFR a standardní). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  byl dle Mann-Whitneyova testu mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl ve zvýšení svalové síly do flexe viz tabulka 2. Na základě těchto zjištění byla hypotéza H1 potvrzena.

**Tabulka 2**

*Svalová síla do flexe, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	1,020504	0,307490
Po skončení terapie	2,003212	0,045155*

\* $p < 0,05$  = statisticky významné

## 5.2 Výsledky k hypotéze H2

**H2:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu svalové síly do extenze v kolenním kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Ke zhodnocení svalové síly do extenze byl využit dynamometr Izomed 2000. V tabulce 3 jsou uvedena deskriptivní statistická data svalové síly operované dolní končetiny před a po terapii. U BFR skupiny došlo k průměrnému nárůstu 60,62 Nm, zatímco u standardní skupiny byl nárůst 37,61 Nm. Skupina BFR začínala na vyšších průměrných hodnotách flexe a to 69,82 Nm oproti 61,84 Nm u standardní skupiny.

**Tabulka 3**

*Svalová síla do extenze, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	69,82 ± 19,40	130,44 ± 28,27	60,62
Standardní	10	61,84 ± 24,99	99,45 ± 47,30	37,61

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm do extenze před terapií, M2 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm do extenze po terapii, SD = směrodatná odchylka

K ověření hypotézy H2 byl využit Mann-Whitneyův test pro dvě nezávislé skupiny (BFR a standardní). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  nebyl dle Mann-Whitneyova testu mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl ve zvýšení svalové síly do extenze (tabulka 4). Na základě těchto zjištění byla hypotéza H2 zamítnuta.

**Tabulka 4**

*Svalová síla do extenze, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	1,250106	0,211262
Po skončení terapie	1,776433	0,075663

### 5.3 Výsledky k hypotéze H3

**H3:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému nárůstu obvodu stehna v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Pro zhodnocení změn v objemu svalové hmoty bylo využito měření obvodu stehna 10 centimetrů nad patelou. Deskriptivní statistická data jsou uvedena v tabulce 5. U BFR skupiny došlo ke zvýšení obvodu stehna v průměru o 1,8 cm, zatímco u skupiny podstupující standardní rehabilitaci o 0,7 cm.

**Tabulka 5**

*Obvod stehna, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	47,1 ± 3,48	48,9 ± 3,21	1,8
Standardní	10	47,8 ± 5,06	48,5 ± 4,01	0,7

*Poznámka:* M1 = průměrný obvod stehna v cm před terapií, M2 = průměrný obvod stehna v cm po terapii, SD = směrodatná odchylka

K ověření hypotézy H3 byl využit Mann-Whitneyův test pro dvě nezávislé skupiny (BFR a standardní). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  nebyl dle Mann-Whitneyova testu mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl v nárůstu obvodu stehna (tabulka 6). Na základě těchto zjištění byla hypotéza H3 zamítnuta.

**Tabulka 6**

*Obvod stehna, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	-0,113818	0,909382
Po skončení terapie	0,229028	0,818847

### 5.4 Výsledky k hypotéze H4

**H4:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction vede ke statisticky významnému zlepšení funkčního stavu kolenního kloubu v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Ke zhodnocení funkčního stavu operované dolní končetiny byl u probandů využit Lysholmův skórovací dotazník. V tabulce 7 jsou uvedena deskriptivní statistická data Lysholmova skóre u BFR a standardní skupiny. Standardní skupina dosáhla vyššího průměrného zlepšení, nicméně BFR skupina dosahovala celkově vyššího průměrného skóre 87,8 bodu oproti 85,5 u standardní skupiny. Obě skupiny dosáhly dle hodnotící škály Lysholmova skóre dobrých výsledků.

#### Tabulka 7

*Skóre Lysholmova dotazníku, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	51,1 ± 15	87,8 ± 11,3	36,7
Standardní	10	47,7 ± 20,3	85,5 ± 9,9	37,8

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty Lysholmova skóre před terapií, M2 = průměrné hodnoty Lysholmova skóre po terapii, SD = směrodatná odchylka

K ověření hypotézy H4 byl využit Mann-Whitneyův test pro dvě nezávislé skupiny (BFR a standardní). Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  nebyl dle Mann-Whitneyova testu mezi skupinami zjištěn statisticky významný rozdíl v Lysholmově skóre (tabulka 8). Na základě těchto zjištění byla hypotéza H4 zamítnuta.

#### Tabulka 8

*Skóre Lysholmova dotazníku, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	0,264874	0,791107
Po skončení terapie	0,719758	0,471675

## 5.5 Výsledky k hypotéze H<sub>0</sub>1

**H<sub>0</sub>1:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction nevede ke statisticky významnému zvýšení aktivního a pasivního rozsahu pohybu v kolenním kloubu do flexe v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Ke zhodnocení rozsahu pohybu byl využit dvouramenný goniometr. Deskriptivní statistická data jsou pro aktivní rozsah pohybu do flexe uvedena v tabulce 9, pro pasivní rozsah pohybu v tabulce 11. Dle výsledků Mann-Whitneyova testu nebyl při hladině statistické

významnosti  $p < 0,05$  zjištěn statisticky významný rozdíl mezi BFR a standardní skupinou u aktivního (tabulka 10) ani pasivního (tabulka 12) rozsahu pohybu do flexe. Na základě těchto zjištění byla hypotéza  $H_0$ 1 potvrzena.

### Tabulka 9

*Aktivní rozsah pohybu do flexe, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	97° ± 16,76	119,5° ± 7,23	22,5
Standardní	10	85,5° ± 13,12	113,5° ± 12,26	28,5

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty aktivního rozsahu pohybu do flexe před terapií, M2 = průměrné hodnoty aktivního rozsahu pohybu do flexe po terapii, SD = směrodatná odchylka

### Tabulka 10

*Aktivní rozsah pohybu do flexe, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	1,334405	0,212295
Po skončení terapie	0,962438	0,335830

### Tabulka 11

*Pasivní rozsah pohybu do flexe, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	101,5° ± 19,11	126° ± 8,31	24,5
Standardní	10	92° ± 15,36	121,5° ± 11,19	29,5

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty pasivního rozsahu pohybu do flexe před terapií, M2 = průměrné hodnoty pasivního rozsahu pohybu do flexe po terapii, SD = směrodatná odchylka

### Tabulka 12

*Pasivní rozsah pohybu do flexe, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	1,173849	0,240456
Po skončení terapie	0,812258	0,416644

## 5.6 Výsledky k hypotéze H<sub>02</sub>

**H<sub>02</sub>:** Rehabilitace metodou Blood Flow Restriction nevede ke statisticky významnému zvýšení aktivního a pasivního rozsahu pohybu v kolenním kloubu do extenze v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

Ke zhodnocení rozsahu pohybu byl využit dvouramenný goniometr. Deskriptivní statistická data jsou pro aktivní rozsah pohybu do extenze uvedena v tabulce 13, pro pasivní rozsah pohybu v tabulce 15. Dle výsledků Mann-Whitneyova testu nebyl při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  zjištěn statisticky významný rozdíl mezi BFR a standardní skupinou u aktivního (tabulka 14) ani pasivního (tabulka 16) rozsahu pohybu do extenze. Na základě těchto zjištění byla hypotéza H<sub>02</sub> potvrzena.

**Tabulka 13**

*Aktivní rozsah pohybu do extenze, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	1° ± 3	2,5° ± 3,35	1,5
Standardní	10	0°	3° ± 3,32	3

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty aktivního rozsahu pohybu do extenze před terapií, M2 = průměrné hodnoty aktivního rozsahu pohybu do extenze po terapii, SD = směrodatná odchylka

**Tabulka 14**

*Aktivní rozsah pohybu do extenze, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	0,9	0,3668121
Po skončení terapie	-0,339823	0,733990

**Tabulka 15**

*Pasivní rozsah pohybu do extenze, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1
BFR	10	1° ± 3	2,5° ± 3,35	1,5
Standardní	10	0,5° ± 1,50	3° ± 3,32	2,5

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty pasivního rozsahu pohybu do extenze před terapií, M2 = průměrné hodnoty pasivního rozsahu pohybu do extenze po terapii, SD = směrodatná odchylka



**Tabulka 16***Pasivní rozsah pohybu do extenze, Mann-Whitneyův test*

	Z-skóre	p-value
Před začátkem terapie	0,000000	1,000000
Po skončení terapie	-0,339823	0,733990

**5.7 Výsledky k výzkumné otázce V1**

**V1:** Jak velký bude rozdíl nárůstu svalové síly mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

V tabulce 17 jsou uvedena deskriptivní statistická data rozvoje svalové síly u obou skupin. Rozdíl mezi jednotlivými skupinami nebyl před započítáním terapie statisticky významný. Průměrně byl rozdíl v nárůstu svalové síly 23,55 Nm ve flexi a 23,01 Nm v extenzi. V obou případech byl větší nárůst síly pozorován u BFR skupiny. Pro zjištění statistické významnosti nárůstu svalové síly v rámci jednotlivých skupin byl použit Wilcoxonův test pro dvě závislé proměnné. Při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  byl jak přírůstek svalové síly do flexe (tabulka 18), tak do extenze (tabulka 19) v obou skupinách statisticky významný.

**Tabulka 17***Rozdíl síly mezi BFR a standardní skupinou, deskriptivní statistika*

Pohyb	Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1	Rozdíl
Flexe	BFR	10	59,14 ± 18,21	105,88 ± 28,45	46,74	23,55
Flexe	Standardní	10	48,67 ± 23,05	71,86 ± 28,63	23,19	
Extenze	BFR	10	69,82 ± 19,40	130,44 ± 28,27	60,62	23,01
Extenze	Standardní	10	61,84 ± 24,99	99,45 ± 47,30	37,61	

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm před terapií, M2 = průměrné hodnoty momentu síly v Nm po terapii v Nm, SD = směrodatná odchylka

### Tabulka 18

*Svalová síla do flexe, Wilcoxonův test*

Skupina	Z-skóre	p-value
BFR	2,803060	0,005062*
Standardní	2,803060	0,005062*

\* $p < 0,05$  = statisticky významné

### Tabulka 19

*Svalová síla do extenze, Wilcoxonův test*

Skupina	Z-skóre	p-value
BFR	2,803060	0,005062*
Standardní	2,665570	0,007686*

\* $p < 0,05$  = statisticky významné

## 5.8 Výsledky k výzkumné otázce V2

**V2:** Jak velký bude rozdíl nárůstu obvodu stehna mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

V tabulce 20 jsou uvedena deskriptivní statistická data rozvoje obvodu stehna u obou skupin. Rozdíl mezi jednotlivými skupinami nebyl před započítáním terapie statisticky významný. Větší nárůst obvodu stehna byl u BFR skupiny, a to o 1,1 cm oproti standardní skupině. Dle Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné byl při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  rozdíl obvodu stehna před započítáním a po ukončení terapie u BFR skupiny statisticky významný, u standardní skupiny nikoliv (tabulka 21).

### Tabulka 20

*Rozdíl obvodu stehna mezi BFR a standardní skupinou, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1	Rozdíl
BFR	10	47,1 ± 3,48	48,9 ± 3,21	1,8	1,1
Standardní	10	47,8 ± 5,06	48,5 ± 4,01	0,7	

*Poznámka:* M1 = průměrný obvod stehna v cm před terapií, M2 = průměrný obvod stehna v cm po terapii, SD = směrodatná odchylka

**Tabulka 21***Obvod stehna, Wilcoxonův test*

Skupina	Z-skóre	p-value
BFR	2,520504	0,011719*
Standardní	1,658577	0,097202

\* $p < 0,05$  = statisticky významné**5.9 Výsledky k výzkumné otázce V3**

**V3:** Jak velký bude rozdíl zlepšení funkčního stavu kolenního kloubu mezi rehabilitací metodou Blood Flow Restriction a standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu?

V tabulce 22 jsou uvedena deskriptivní statistická data funkčního stavu operované dolní končetiny u obou skupin. Rozdíl mezi jednotlivými skupinami nebyl před započítáním terapie statisticky významný. Vyššího Lysholmova skóre dosáhla BFR skupina, nicméně větší zlepšení bylo pozorováno u standardní skupiny, a to o 1,1 bodu. Dle Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné byl při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  rozdíl vstupního a výstupního Lysholmova skóre u obou skupin statisticky významný (tabulka 23).

**Tabulka 22***Rozdíl Lysholmova skóre mezi BFR a standardní skupinou, deskriptivní statistika*

Skupina	Počet	M1 ± SD	M2 ± SD	M2 - M1	Rozdíl
BFR	10	51,1 ± 15	87,8 ± 11,3	36,7	1,1
Standardní	10	47,7 ± 20,3	85,5 ± 9,9	37,8	

*Poznámka:* M1 = průměrné hodnoty Lysholmova skóre před terapií, M2 = průměrné hodnoty Lysholmova skóre po terapii, SD = směrodatná odchylka

**Tabulka 23***Skóre Lysholmova dotazníku, Wilcoxonův test*

Skupina	Z-skóre	p-value
BFR	2,803060	0,005062*
Standardní	2,803060	0,005062*

\* $p < 0,05$  = statisticky významné

## 6 DISKUSE

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit, jaký efekt má metoda Blood Flow Restriction na nárůst svalové síly flexorů a extenzorů kolene, nárůst obvodu stehna, zvýšení rozsahu pohybu v kolenním kloubu a zlepšení funkčního stavu kolenního kloubu včetně snížení bolesti v porovnání se standardní rehabilitací u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu. Hlavním podnětem pro vznik této práce byl nedostatek studií, které by zkoumaly vliv této metody u pacientů po poranění menisků. Naprostá většina prací, která zkoumala vliv BFR na kolenní kloub a dolní končetinu celkově, směřovala svou pozornost především na pooperační stavy po rekonstrukcích LCA, kde je dostupné velké množství studií, z nichž většina jsou systematická review, případně meta-analýzy (Barber-Westin & Noyes, 2019; Bobes Álvarez et al., 2020; Colapietro et al., 2022; Culvenor et al., 2022; Hughes et al., 2017, 2018; Charles et al., 2020; Li et al., 2021; Lu et al., 2020; Minniti et al., 2020; Nietzsche et al., 2021; Spada et al., 2022; Wengle et al., 2022). Dále pak na kolenní klouby s osteoartrózou (Barber-Westin & Noyes, 2019; Bobes Álvarez et al., 2020; Cuyul-Vásquez et al., 2020; Grantham et al., 2021; Li et al., 2021; Minniti et al., 2020; Nietzsche et al., 2021). Poměrně dobře je popsán i vliv BFR u starších dospělých (Baker et al., 2020; Cahalin, Formiga, Anderson, et al., 2022; Centner et al., 2019; Hughes et al., 2017). Pouze velmi malé množství prací se věnuje stavům po menisektomii či rekonstrukci menisků. Ve dvou nalezených studiích zabývajících se efektem metody BFR u pacientů po artroskopické operaci menisku došli autoři k závěru, že kombinace BFR a běžné rehabilitace může vést k lepším výsledkům, a to zejména v oblasti svalové síly a hmoty (Ke et al., 2022; Jakobsen et al., 2022), což se shoduje s výsledky této práce. Pokud byl vliv BFR na pacienty po poranění menisku zahrnut do systematické review, jednalo se pouze o minoritní část celé studie, viz například systematická review z roku 2022, kde jsou poranění menisku zmíněna, nicméně nebyl nalezen dostatek dat, a tak se popis vlivu BFR, stejně jako dalších rehabilitačních metod, týká pouze pacientů po operaci LCA (Culvenor et al., 2022). V literatuře tak neexistuje dostatek dat o vlivu BFR na svalovou sílu, obvod, rozsah pohybu ani funkční stav operované dolní končetiny u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu.

U pacientů s poškozením menisků či jiným poškozením kolenního kloubu se před i po samotné operaci projevuje deficit svalové síly, inhibice funkce čtyřhlavého svalu stehenního, svalová hypotrofie a bolest, a to v krátkodobém i dlouhodobém časovém horizontu (Cobian et al., 2017), kdy deficit síly a svalové hmoty může přetrvávat i po 4 letech od operace (Feeley & Lau, 2018; McLeod et al., 2012). Předpokládá se, že hypotrofie musculus vastus medialis (VMO) je po poranění či operaci kolene nejvýraznější ze všech částí čtyřhlavého svalu

stehenního a že ischiokrurální svaly a adduktory jsou postiženy méně. Stejně tak i silový deficit je nejmarkantnější u extenzorů kolene (Akima & Furukawa, 2005). Kromě svalové hypotrofie a silového deficitu se u pacientů po parciální menisektomii může objevit i patelofemorální bolestivý syndrom (PFPS) (Amestoy et al., 2021). Studie z roku 2015 naznačuje, že při PFPS je celý čtyřhlavý sval stehenní postižen rovnoměrně (Giles et al., 2015). PFPS může být u některých pacientů kromě inaktivity před a po operaci, svalové inhibici a bolesti vyvolané poškozením menisků či samotnou operací dalším faktorem zodpovědným za svalovou hypotrofii a slabost v oblasti stehenního svalstva, zejména extenzorů kolene (Amestoy et al., 2021). Tento bolestivý stav vzniká až u 23 % pacientů po parciální menisektomii a vede k dalšímu prohloubení svalové hypotrofie a slabosti (Amestoy et al., 2022). Poranění menisku, menisektomie, ale i svalová slabost vedou v dlouhodobém časovém horizontu ke vzniku osteoartrózy, přičemž při vyšší svalové síle stehenního svalstva jsou příznaky osteoartrózy mírnější. Vyšší svalová síla tak může mít protektivní vliv před poškozením chrupavky (Ericsson et al., 2019). Další možností, jak snížit riziko budoucích degenerativních změn, by byla volba rekonstrukce menisku před samotnou parciální menisektomií (Patel et al., 2021). V našem souboru 20 probandů se ovšem nikdo po rekonstrukci menisku nevyskytoval, což může naznačovat nevhodnost rekonstrukce u našich konkrétních probandů, nebo preferenci menisektomie pro její jednodušší provedení, rychlejší návrat pacienta k běžnému životu s menším množstvím omezení a nižší riziko reoperace.

## **6.1 Diskuse k hypotézám H1 a H2**

V naší práci jsme pomocí Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné zjistili, že rehabilitace metodou BFR vede ke statisticky významnému nárůstu svalové síly do flexe i extenze kolenního kloubu. Tento výsledek se shoduje s výsledky systematických review, které se věnují vlivu BFR u jiných poranění či postižení kolenního kloubu než stavu po artroskopické operaci menisku a které jsou uvedeny výše v diskuzi. Rozdíly v momentech síly do flexe a extenze byly mezi skupinami při vstupním měření statisticky nevýznamné. Přestože dosáhla BFR skupina lepších výsledků v přírůstku svalové síly jak do extenze, tak do flexe, po zhodnocení výsledků obou skupin pomocí Mann-Whitneyova testu jsme došli k závěru, že statisticky významný rozdíl mezi skupinami je pouze ve zvýšení momentu síly do flexe. To může být způsobeno krátkým trváním intervence, kdy každý proband podstoupil pouze 8 cvičebních jednotek a celá intervence tak trvala pouze 4 týdny. Wengle (2022) uvádí, že pro nárůst svalové síly je třeba alespoň 12 cvičebních jednotek. Je možné, že při delší intervenci by byl rozdíl v nárůstu svalové síly statisticky významný. Při rozdělování probandů do skupin

musely být dvě ženy vysokého věku (70 a 71) přeřazeny kvůli kontraindikacím do standardní skupiny, což vedlo k nerovnoměrnému rozdělení pohlaví (1 žena v BFR skupině a 6 žen ve standardní skupině) i rozdílného průměrného věku (36,9 let v BFR skupině a 51,6 let ve standardní skupině). Jak rozdíl v zastoupení pohlaví, tak rozdílný věkový průměr mohl ovlivnit výsledky nárůstu síly a následně rozdíly mezi skupinami. Bylo popsáno, že různá pohlaví můžou na silový trénink reagovat odlišně (Hudelmaier et al., 2010). V případě, že by nedošlo k přeřazení do standardní skupiny, ale k vyřazení z výzkumu, nebyl by mezi skupinami statisticky významný rozdíl v nárůstu síly do extenze ani do flexe, nicméně BFR skupina by stále dosahovala lepších výsledků. Tento fakt může podporovat tvrzení, že pro statisticky významný rozdíl v nárůstu svalové síly mezi skupinami by byla potřebná delší intervence. Přestože byl rozdíl mezi skupinami v nárůstu síly statisticky významný pouze do flexe, k většímu nárůstu došlo u BFR skupiny do obou směrů. To by mohlo hrát významnou roli v rychlosti návratu probanda k běžným denním aktivitám, ale i sportu rekreační či profesionální úrovně, kde se posouzení možnosti návratu hodnotí mimo jiné i porovnáním svalové síly mezi končetinami. Pro návrat k rekreačnímu sportu by měl proband dosáhnout na operované dolní končetině alespoň 80 % neoperované dolní končetiny, kdežto u profesionálního sportu je tato hranice 90 % (Khalifa et al., 2020). To by mohlo naznačovat, že je využití BFR vhodné také po úrazech ve sportovním prostředí, kdy se sportovec potřebuje vrátit k zátěži co nejrychleji.

Ač nebyl při vstupním měření statisticky významný rozdíl v síle operovaných dolních končetin, u zdravých dolních končetin statisticky významný rozdíl v síle do flexe i extenze v kolenním kloubu nalezen byl, a to ve prospěch BFR skupiny. To by mohlo teoreticky znamenat, že probandi zařazení do BFR skupiny byly před zraněním či operací zvyklí na vyšší zátěž, a teoreticky mohli lépe tolerovat zátěž v cvičebních jednotkách po operaci, což by mohlo dovolit využití vyšší zátěže u těchto probandů a tudíž vést k vyššímu nárůstu svalové síly a hmoty. Pokud by ovšem došlo k vyřazení dvou přesunutých probandů, rozdíl na zdravých dolních končetinách v síle do flexe ani extenze by statisticky významný nebyl. To opět může potvrzovat tvrzení, že při delší intervenci by bylo statisticky významného rozdílu v síle do flexe i extenze v kolenním kloubu mezi skupinami dosaženo ve prospěch využití metody BFR.

Mechanismus účinku je popsán v teoretické části, nicméně rehabilitace pomocí BFR by mohla vést k vyššímu nárůstu síly oproti standardní rehabilitaci také díky tomu, že vyšší hladiny laktátu vedou k signifikantně vyšší aktivitě zatěžovaných svalů na EMG (Yasuda et al., 2014), tudíž by mohla být metoda BFR efektivní při léčbě svalové inhibice čtyřhlavého svalu stehenního, která se objevuje po artroskopické operaci kolene. BFR lze využít i ve fázi, kdy musí být po operaci snížena zátěž, například po sutuře menisku (Jakobsen et al., 2022). Tyto dva

faktory by mohly vysvětlovat větší efekt metody BFR oproti standardní rehabilitaci v prvních týdnech po operaci, který se objevil u pacientů po rekonstrukci LCA (Lu et al., 2020).

Pro měření momentu síly byl využit izokinetický dynamometr Izomed 2000. Pro větší reprodukovatelnost byla využita koncentrická svalová kontrakce (Dirnberger et al., 2012). Přestože je dynamometrie považována za spolehlivý nástroj pro měření momentu síly flexe a extenze v kolenním kloubu (Malik et al., 2018), stále se jedná o maximální volní kontrakci, která může být ovlivněna několika faktory. Mezi tyto faktory patří motivace pacienta, protože musí vyvíjet maximální volní kontrakci po celou dobu pohybu ramene dynamometru. Dále omezení rozsahu pohybu otokem, které může způsobovat, že jsou krajní rozsahy na dynamometru nepříjemné či bolestivé, kineziofobie a bolest.

Otok byl zjišťován měřením obvodu kolene přes patelu a přes tuberositas tibiae. U obou skupin byl zjištěn významný otok při měření přes patelu. Průměrný obvod kolene přes patelu operované dolní končetiny byl u BFR skupiny  $41,3 \text{ cm} \pm 2,45 \text{ cm}$ , což bylo o 2 cm více než na zdravé dolní končetině. U standardní skupiny byl průměrný obvod kolene operované dolní končetiny přes patelu  $42,1 \pm 3,11$ , což je o 3 cm více než u zdravé dolní končetiny. Dle Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné došlo při hladině statistické významnosti  $p < 0,05$  během intervence ke statisticky významnému snížení otoku jak u BFR skupiny o 1 cm (Z-skóre = 2,100420; p-value = 0,035693), tak u standardní skupiny o 1,4 cm (Z-skóre = 2,310462; p-value = 0,020863). Dle Mann-Whitneyova testu pro dvě nezávislé proměnné nebyl mezi skupinami v redukci otoku statisticky významný rozdíl. V oblasti tuberositas tibiae nebyl při vstupním měření zjištěn významný otok, a tak ani snížení nebylo během intervence statisticky významné.

Kineziofobii lze definovat jako nadměrný, iracionální a vysilující strach z pohybu a fyzické aktivity, který vede k pocitu zranitelnosti vůči bolesti nebo strachu z opakovaného zranění a může vést k vyhýbavému chování ve snaze snížit bolest nebo zabránit dalšímu zranění (Machado et al., 2022). U poranění kolene (Hsu et al., 2016) a osteoartrózy kolene (Gunn et al., 2017) bývá strach z pohybu obecně zvýšený. V akutní fázi po úrazu nebo operaci jsou motorické adaptace s cílem vyhnout se dalšímu poškození tkání adaptivní, protože zlepšují regeneraci poškozených tkání. Ochranné motorické chování je však nevhodné, pokud přetrvává na základě přesvědčení souvisejících s bolestí, i když jsou tkáně zhojeny. U osob s bolestmi kolenního kloubu byl zjištěn vztah mezi přesvědčením o bolesti a změněným motorickým chováním, kdy dochází ke snížení rozsahu pohybu a ztuhlosti při vykonávání pohybu, který způsoboval bolest (De Baets et al., 2020). Strach z pohybu by se měl v průběhu rehabilitací snižovat, nicméně může ovlivnit jak vstupní vyšetření, tak i výsledek rehabilitace celkově a vést k pomalejšímu zotavení (Tichonova et al., 2016). U pacientů po rekonstrukci LCA

může strach z pohybu přetrvávat i po roce od operace (Hart et al., 2020). U pacientů po rekonstrukci LCA je důležité chránit v pooperačním období hojící se tkáň, stejně jako u pacientů po rekonstrukcích menisků, což může samo o sobě vyvolávat strach z pohybu. U pacientů, kteří podstoupili menisekomií ovšem žádné takovéto omezení nenacházíme, a tak není jasné, zda může hrát strach z pohybu významnou roli i u těchto pacientů, kteří sice podstoupili operaci kolenního kloubu, ale nemusí se dlouhodobě vyhýbat zátěži ani hlídat omezený rozsah pohybu v kloubu.

Bolest může být označena jako etiologický faktor posttraumatické hypotrofie čtyřhlavého svalu stehenního. Hypoteticky je pravděpodobné, že bolest vznikající v určité kloubně-svalové jednotce ovlivňuje moment síly vyvíjený touto jednotkou, což bude mít vliv na výsledky měření (Lysholm, 1987). Bolest může vést k jemné změně svalové koordinace, ale také až k úplné inhibici funkce svalu a svalové aktivity, která může vést ke snížení síly, amplitudy či rychlosti pohybu (Hodges & Smeets, 2015). Bylo zjištěno, že po epidurální anestezii došlo až k 30násobnému zvýšení aktivity na EMG (Lysholm, 1987). Vlivem bolesti může dojít ke ztrátě schopnosti udržet či vyvinout maximální sílu (Hodges & Smeets, 2015), což bylo mimo jiné potvrzeno i na maximálním momentu síly kolenního kloubu do flexe a extenze (Merkle et al., 2020).

## **6.2 Diskuse k hypotéze H3**

Mezi svalovou silou a množstvím svalové hmoty existuje silná korelace (Hudelmaier et al., 2010; Mühlenfeld et al., 2022; Schoenfeld, 2010). Proto může mít hypotrofie svalů stehna, zejména čtyřhlavého svalu stehenního, zásadní vliv na funkci celé dolní končetiny. V naší práci jsme zjistili, že BFR vedlo po čtyřech týdnech ke statisticky významnému nárůstu obvodu stehna 10 cm nad patelou, zatímco u skupiny standardní rehabilitace statisticky významný rozdíl nebyl. Při využití Mann-Whitneyova testu pro dvě nezávislé proměnné jsme ovšem zjistili, že rozdíl nárůstu obvodu stehna nebyl mezi skupinami statisticky významný. To by opět mohlo být způsobeno příliš krátkým trváním naší intervence, protože téměř všechny studie porovnávající hypertrofickou odezvu BFR a odporového tréninku s nízkou intenzitou bez BFR se shodují, že BFR vede k významnějšímu nárůstu svalové hmoty, který je shodný s odporovým tréninkem vysoké intenzity (Hughes et al., 2017; Li et al., 2021; Lixandrão et al., 2018; Nitzsche et al., 2021; Wengle et al., 2022). Některé studie naznačují, že první hypertrofické změny se objevují právě po 4 (Weiss et al., 2000), někdy až 8 (Vivekanantha et al., 2023) týdnech silového tréninku a pro významnější nárůst je potřeba delšího časového



horizontu. Obvod v nejširším místě bérce se dle Wilcoxonova testu významně nezměnil ani u BFR, ani u standardní skupiny.

Bylo prokázáno, že genetická výbava, věk, pohlaví a další faktory zprostředkovávají hypertrofickou odezvu na tréninkový protokol a ovlivňují jak rychlost, tak celkové množství přírůstků svalové hmoty (Schoenfeld, 2010). To by teoreticky mohlo vysvětlovat, proč BFR skupina, která měla celkově nižší průměrný věk a byla tvořena majoritně muži, dosahovala významnější hypertrofie v porovnání se standardní skupinou. Na druhou stranu, i v případě, že by z výzkumu byly vyřazeny dvě dříve zmiňované ženy, které byly přesunuty do standardní skupiny, a rozdíl v průměrném věku by se snížil, průměrný přírůstek obvodu by se významně nezměnil a stále by byl statisticky nevýznamný. I při této změně by ovšem standardní skupina měla větší zastoupení žen v porovnání s BFR skupinou.

Přírůstek svalové hmoty byl hodnocen pomocí měření obvodu stehna 10 cm nad patelou. Je třeba poznamenat, že měření obvodu stehna pomocí metru je metoda, která naznačuje změny svalové hmoty, ale neurčuje její nárůst jednoznačně. Změna v obvodu stehna nemusí být dána pouze přírůstkem nebo úbytkem svalové tkáně, ale například i tkáně tukové, jejíž množství se může rychle změnit (Yoshii et al., 2019). Zároveň může na operované dolní končetině dojít ke snížení svalového tonu, což může také vyústit ve snížení obvodu stehna (Gerber et al., 1985). Na druhou stranu je měření obvodu rychlé, lehké proveditelné, finančně nenáročné neinvazivní vyšetření. Zlatým standardem pro posouzení objemu a příčného průřezu svalu je trojrozměrná magnetická rezonance (Hudelmaier et al., 2010). MRI poskytuje validní a reliabilní přímé zhodnocení příčného průřezu svalu a vysoký kontrast mezi tukem, ligamenty, cévami a svaly (Housh et al., 1995). Využití magnetické rezonance by ovšem bylo finančně i časově náročné a vyžadovalo by zapojení pracoviště, které magnetickou rezonancí disponuje, a těch je malé množství. Zároveň by bylo nutné, aby každý pacient podstoupil vstupní vyšetření v laboratoři dynamometrie, a pro spolehlivost výsledků se ve stejný den dopravil na pracoviště s magnetickou rezonancí, což by bylo u některých probandů velmi obtížně proveditelné.

### **6.3 Diskuse k hypotézám H4, H<sub>01</sub> a H<sub>02</sub>**

Pro zhodnocení funkčního stavu operované dolní končetiny jsme využili Lysholmův skórovací dotazník. Dotazník obsahuje 8 bodovaných položek: kulhání, blokování kolene, bolest, chůze do schodů, nutnost podpory, nestabilita, otok a dřep. Došli jsme k závěru, že jak BFR, tak standardní rehabilitace vede dle Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné ke statisticky významnému zlepšení a mezi skupinami není dle Mann-Whitneyova testu pro dvě

nezávislé proměnné statisticky významný rozdíl. Většího zlepšení dosáhla skupina standardní terapie, a to o 1,1 bodu ze 100 celkově možných bodů. Obě skupiny dosáhly dle hodnotící škály Lysholmova skórovacího dotazníku dobrých výsledků. Dle předchozích studií vede BFR k výraznějšímu nárůstu síly než trénink s nízkou zátěží (Bobes Álvarez et al., 2020; Centner et al., 2019; Patterson et al., 2019; Wengle et al., 2022), což by mohlo mít vliv na chůzi po schodech, provedení dřepu, pocit stability a kulhání. Při využití 80 % LOP vede BFR k největšímu snížení bolesti až na 24 hodin v porovnání s tréninkem vysoké i nízké intenzity (Hughes & Patterson, 2020). Protože tyto položky tvoří v Lysholmově skórovacím dotazníku až 75 bodů ze sta, předpokládali jsme, že povede využití BFR k lepším výsledkům oproti standardní rehabilitaci, což bylo vyvráceno. Stejného výsledku mohlo být dosaženo, protože BFR i standardní rehabilitace vedla ke statisticky významnému snížení otoku v oblasti kolenního kloubu a zvýšení rozsahu pohybu kolenního kloubu do flexe. Aktivní pohyb do flexe se u BFR skupiny zvětšil o 22,5°, zatímco u skupiny standardní rehabilitace o 28°. Pasivní pohyb do flexe se u BFR skupiny zvětšil o 24,5°, zatímco u skupiny standardní rehabilitace o 29,5°. Mírně lepších výsledků tak dosáhla skupina standardní rehabilitace, nicméně rozdíl mezi skupinami v pasivním ani aktivním rozsahu pohybu do flexe nebyl dle Mann-Whitneyova testu pro dvě nezávislé proměnné statisticky významný, což bylo předpokládáno. Oba tyto faktory mohly výrazně ovlivnit výsledný počet bodů, protože otok je samostatnou bodovanou položkou, a vyšší bezbolestný rozsah pohybu mohl vést k lepším výsledkům při hodnocení bolesti, dřepu i chůze do schodů. Rozdíl v rozsahu pohybu byl u vstupního i výstupního vyšetření mezi skupinami minimální.

#### **6.4 Diskuse k terapii**

Obě skupiny podstoupily 8 cvičebních jednotek po 30 minutách. Ve skupině BFR byly zařazeny tři cviky, a to předkopávání, podřepy a výstupy na stoličku. Tyto cviky byly použity, protože byla prokázána jejich efektivita v kombinaci s BFR (Spada et al., 2022; Wengle et al., 2022). Vyšší efektivita tréninku s nízkou intenzitou s BFR oproti samotnému tréninku s nízkou intenzitou již byla ve studiích prokázána (Hughes et al., 2017; Li et al., 2021; Nietzsche et al., 2021). Naším cílem proto nebylo porovnat stejný protokol s BFR a bez, ale porovnat trénink s nízkou intenzitou s BFR se standardní rehabilitací, se kterou se můžeme v běžném provozu setkat u postižení kolenního kloubu. Probandi, kteří byli zařazeni do standardní skupiny, tak vykonávali izometrické kontrakce, cviky v otevřeném i uzavřeném kinematickém řetězci, které zahrnovaly i cviky použité u BFR skupiny. Dále byla využita proprioceptivní neuromuskulární facilitace – 1. diagonála pro dolní končetinu, rytmická stabilizace, zvrát

agonistů a senzomotorická cvičení s využitím balančních ploch (Culvenor et al., 2022; Kolář et al., 2009; Shen et al., 2022; Smékal et al., 2006; Spada et al., 2022). Rehabilitace po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu vychází z rehabilitace po artroskopické operaci předního zkříženého vazů a její prvky mohou být téměř totožné (Kolář et al., 2009). Dle systematické review s meta-analýzou z roku 2023 ovšem stále není jasné, které cviky a jaká specifika rehabilitačních programů by měly být zařazeny, aby došlo u pacientů po parciální menisektomii k co nejlepším výsledkům (Vivekanantha et al., 2023). Kromě pohybové terapie může být do rehabilitace zařazena také neuromuskulární elektrická stimulace (NMES), kryoterapie, celotělové vibrace, ortézy a kontinuální pasivní pohyb. Existuje střední úroveň důkazů, že by mohlo přidání NMES ke standardní rehabilitaci vést ke zvýšení síly čtyřhlavého svalu stehenního v prvních 4 – 12 týdnech po operaci kolenního kloubu. Existuje nízká úroveň důkazů, že by mohlo přidání kryoterapie 1 až 2 dny po operaci vést ke snížení bolesti. Dále existuje střední úroveň důkazů, že přidání ortézy k běžné rehabilitaci po artroskopické operaci kolene nevedlo k žádným benefitům na fyzické funkce. Nízká až velmi nízká úroveň důkazů popisuje pozitivní vliv celotělové vibrace v kombinaci se silovým tréninkem na sílu flexorů i extenzorů kolene. Velmi nízká úroveň důkazů popisuje nulový pozitivní efekt pasivních kontinuálních pohybů v porovnání s aktivními pohyby. Kvůli nedostatku dostupné literatury byla ovšem většina těchto terapeutických postupů zkoumána u pacientů po rekonstrukci LCA (Culvenor et al., 2022). Nicméně protože rehabilitace po artroskopické operaci menisků vychází právě z rehabilitace po rekonstrukci LCA (Kolář et al., 2009), lze předpokládat, že by měly zkoumané postupy podobný vliv i po operacích menisků, s možným rozdílem v časových údajích.

Protože všichni probandi účastníci se našeho výzkumu podstoupili parciální menisektomii, mohly být, s výjimkou jedinců s přidruženým poraněním vazů, využity rychlejší, agresivnější rehabilitační postupy, protože poškozené části menisku byly odstraněny a nedocházelo tak k jejich hojení. Plná zátěž byla probandům povolena od druhého pooperačního týdne. Rozsah pohybu v operovaném kolenním kloubu nebyl omezen a intenzivní posilovací, proprioceptivní a balanční cvičení byla zařazena od třetího pooperačního týdne, jak je doporučováno v literatuře (Frizziero et al., 2012; Koch et al., 2020). Protože se našeho výzkumu účastnili probandi až po extrakci stehů, která byla obvykle provedena asi 2 týdny po operačním zákroku, mohla být intenzivní cvičení do rehabilitačního plánu zařazena ihned.

## 6.5 Vedlejší účinky metody Blood Flow Restriction

Ačkoli jsou v literatuře vedlejší účinky uváděny ve výjimečných případech a bylo prokázáno, že využití BFR nepředstavuje vyšší riziko než tradiční způsoby (Hughes et al., 2017), stále existují obavy z rizik, která by mohlo používání BFR přinášet. Byly hlášeny zcela výjimečné případy rhabdomyolýzy po využití BFR. Jeden z případů byl u obézního japonského muže vykonávajícího mnoho let sedavé zaměstnání. U tohoto případu nebyl zaznamenán způsob, velikost okluze ani velikost zátěže, pouze že vykonal tři série po 20 opakováních dřepu. Po těchto třech sériích BFR pokračoval dále v tréninku bez BFR (Tabata et al., 2016). Vzhledem k tomu, že se jednalo o zátěž po dlouhém období inaktivity, mohla být rhabdomyolýza způsobená právě pro tohoto jedince neobvyklou zátěží, která představovala nadměrnou fyzickou námahu a BFR nemuselo být hlavním důvodem pro vznik tohoto onemocnění. Zároveň mohlo při úvodních třech sériích BFR dojít k přílišné okluzi nebo příliš velké intenzitě cvičení, což by mohl být teoreticky rovněž faktor podporující vznik rhabdomyolýzy. Druhý případ rhabdomyolýzy po využití BFR se týká 31letého hráče ledního hokeje 11 měsíců po resekci chrupavky v kolenním kloubu, který trpěl opakovaným otokem kolenního kloubu po silovém tréninku se 70 % 1RM. Pacient při úvodním sezení provedl 1 sérii extenzí kolene po 30 opakováních následovanou 4 sériemi po 15 opakováních. Odpor byl 12 kg, pauza byla 45 s mezi sériemi a byla využita 14 cm široká manžeta s udržovaným tlakem 100 mm Hg. Dva dny po úvodním sezení byl pacient hospitalizován pro rhabdomyolýzu, po třech dnech byl propuštěn. 18 dní po incidentu se tento pacient vrátil k BFR tréninku 2x týdně a s týmem trénoval 4x týdně na ledě. Tento pacient měl v anamnéze hlubokou žilní trombózu po operaci kolene (Iversen & Røstad, 2010). Ani u jednoho z těchto pacientů nebylo pravděpodobně využito stanovení okluzního tlaku na základě LOP, a tak není známa míra okluze. Stejně tak neznáme ani u jednoho z těchto dvou pacientů míru relativního zatížení vzhledem k 1RM. Anderson (2022) uvádí ve svém review dalších 8 dostupných případů rhabdomyolýzy. Nakajima (2006) uvádí riziko rhabdomyolýzy při BFR jako 0,008 %, nicméně neuvádí žádné další informace. Průzkum z roku 2016, kterého se zúčastnilo 12 827 participantů ve věku 19 – 80 let, nezaznamenal žádné závažné vedlejší účinky BFR, mezi které by patřila například rhabdomyolýza, plicní embolie, krvácení do mozku či paralýza. Méně závažné nežádoucí účinky zahrnovaly pocit chladu, necitlivost, podkožní krvácení, ospalost, bolest, nevolnost, svědění, bolest hlavy (Yasuda et al., 2017). V randomizovaných kontrolovaných studiích, kde jsou přísně dodržovány protokoly a odchylky musí být hlášeny, nebyly pozorovány žádné vedlejší účinky (Anderson et al., 2022). Z toho může plynout, že vedlejší účinky, i když mírného charakteru, mohou být způsobeny právě odchýlením od vhodného protokolu.

Obavy z využívání metody BFR jsou způsobeny především nekonzistentností literatury, a to zejména v oblasti využití okluzních tlaků a metod okluze. Je využíváno různých manžet či škrtidel lišících se šířkou a materiálem. V současné době je již nejobvyklejší systém od firmy Delfi Medical, který jsme využívali i v naší práci a který dovoluje nastavit přesnou okluzi na základě procent LOP. To se jeví být nejbezpečnější metodou, která zabraňuje neúmyslnému způsobení úplné okluze (Patterson et al., 2019; Wengle et al., 2022). V dalších studiích byly okluzní tlaky stanoveny na základě subjektivního pocitu stažení, případně na základě procenta ze systolického krevního tlaku, který se ovšem bude při zátěži významně měnit (Murray et al., 2021). V největším množství v současnosti dostupných studií byly využity tonometry s předem nastaveným absolutním okluzním tlakem u všech pacientů (Murray et al., 2021; Wengle et al., 2022), což nerespektuje variabilitu v konstituci a antropometrických parametrech, stejně jako v rozdílném krevním tlaku mezi jednotlivými účastníky těchto studií a vede k zcela odlišným stupňům okluze mezi těmito účastníky. Různého stupně okluze bude také dosaženo, pokud proběhne úvodní stanovení okluzního tlaku s jinou manžetou, než která bude následně využita při terapiích a tlak nebude stanoven na základě LOP. Širší manžeta totiž vyžaduje k úplné okluzi nižší absolutní tlak než manžeta úzká. Při aplikaci úzké manžety tak bude aplikován vyšší tlak na menší jednotku plochy, což by mohlo být pro pacienty nepříjemné. To by mohlo vysvětlovat, proč některé studie uvádí odstoupení účastníků z výzkumu kvůli tupé bolesti po BFR (Lu et al., 2020), což je ale rovněž výjimečné. Na druhou stranu nesmí být manžeta příliš široká, aby neomezovala rozsah pohybu potřebný pro provedení stanoveného cviku.

Velikost okluzních tlaků stanovených pomocí procenta LOP je rovněž nejednoznačná. Jako optimální bylo doporučeno 40 – 80 % LOP. Bylo prokázáno, že při využití zátěže 30 % 1RM vede 40 – 50 % LOP k nejvyšší aktivitě na EMG. Využití vyšších okluzních tlaků může mít opodstatnění u nižších tréninkových zátěžích, kdy zvýšení okluzního tlaku ze 40 % na 80 % vedlo při použití 20 % 1RM k výraznější hypertrofii, ale u 40 % 1RM nikoliv. Využití 80 % LOP u 20 % 1RM zároveň vedlo k výraznějším akutnímu svalovému otoku v porovnání s nižšími okluzními tlaky. Svalový otok je jedním z potenciálních mechanismů, kterým lze vysvětlovat vliv BFR na svalovou hypertrofii. Je-li okluze využita při tréninku s 60 – 80 % 1RM, nevede k významnější hypertrofii než trénink se stejnou zátěží bez BFR (Dankel et al., 2017). Okluzní tlak 80 % LOP může rovněž vést k výraznější inhibici bolesti (Hughes & Patterson, 2020). Na druhou stranu bylo zjištěno, že využití vyšších tlaků způsobuje vyšší vnímání subjektivní zátěže a vyšší diskomfort, takže musí být pacienti dostatečně motivováni (Brandner & Warmington, 2017). Nižší okluzní tlaky na druhou stranu minimalizují diskomfort, zvyšují počet opakování, kterého jsou účastníci schopni dosáhnout a stále jsou dostatečně efektivní, aby vedly k nárůstu

svalové síly a hmoty (Clarkson et al., 2020). Je možné, že se budou vhodné okluzní tlaky lišit v závislosti na charakteristice skupiny, u které bude BFR použito.

Pro určení optimálních okluzních tlaků a tréninkových protokolů pro BFR je nutné, aby budoucí studie dodržovaly obdobné tréninkové protokoly a aby byly využívány okluzní tlaky stanovené na základě procenta LOP. Stanovování okluzních tlaků na základě LOP zajistí shodný stupeň okluze u všech pacientů. Při využití těchto relativních tlaků budou výsledky studií v budoucnu reprodukovatelné, což při udání absolutních tlaků není kvůli variabilitě vzorku pacientů možné.

## 7 ZÁVĚRY

Cílem této diplomové práce bylo posoudit efekt rehabilitace pomocí metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod stehna, funkční stav a rozsah pohybu operované dolní končetiny u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu v porovnání se standardní rehabilitací, se kterou se můžeme v České republice po artroskopických operacích kolene běžně setkat. Po zpracování a vyhodnocení dat získaných při vstupním a výstupním vyšetření jsme dospěli k těmto závěrům:

1. Probandi ve skupině podstupující rehabilitaci pomocí metody Blood Flow Restriction dosáhli dle Wilcoxonova testu statisticky významného nárůstu síly do flexe i extenze v kolenním kloubu. Tento nárůst síly v průměru převyšoval nárůst síly u probandů ve skupině podstupující standardní rehabilitaci, avšak statisticky významný rozdíl mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova testu pouze v pohybu do flexe. Jak BFR, tak standardní rehabilitace vede po operaci menisku k významnému nárůstu síly dolní končetiny.
2. Rehabilitace metodou BFR vedla dle Wilcoxonova testu ke statisticky významnému nárůstu obvodu stehna 10 cm nad patelou, a to o 1,8 cm. Standardní rehabilitace vedla k statisticky nevýznamnému nárůstu o 0,7 cm. Dle Mann-Whitneyova testu však nebyl mezi skupinami statisticky významný rozdíl.
3. Obě skupiny dosáhly dle Wilcoxonova testu statisticky významného zlepšení funkčního stavu vyhodnoceného pomocí Lysholmova skórovacího dotazníku a dle hodnotící škály dosáhly obě skupiny dobrých výsledků. Standardní skupina dosáhla v průměru většího zlepšení, nicméně pouze o 1,1 bodu. Na druhou stranu skončila BFR skupina s vyšším celkovým skóre, a to s 87,8 body oproti 85,5 bodům u standardní skupiny. Rozdíl mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova testu statisticky nevýznamný.
4. U obou skupin došlo dle Wilcoxonova testu ke statisticky významnému zvýšení rozsahu aktivního i pasivního pohybu v kolenním kloubu do flexe. Rozdíl mezi skupinami byl dle Mann-Whitneyova testu statisticky nevýznamný. Při aktivním i pasivním pohybu do extenze byl nárůst rozsahu pohybu statisticky nevýznamný a mezi skupinami rovněž nebyl statisticky významný rozdíl.

## 8 SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývala efektem rehabilitace pomocí metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, obvod stehna, funkční stav operované dolní končetiny a rozsah pohybu v kolenním kloubu u pacientů po arthroscopické operaci menisku kolenního kloubu. Pro zhodnocení momentu síly do flexe a extenze byl využit dynamometr Izomed 2000. Svalový objem byl měřen nepřímo pomocí obvodu stehna 10 cm nad patelou. Funkční stav byl zhodnocen pomocí Lysholmova skórovacího dotazníku. Aktivní i pasivní rozsah pohybu do flexe i extenze byl měřen dvouramenným goniometrem. Výsledky byly porovnány s výsledky, které vykazovala skupina podstupující standardní rehabilitaci po operaci menisků kolenního kloubu.

V teoretické části je nejprve popsána anatomie a kineziologie menisků včetně biomechanických a biochemických vlastností, problematika poranění menisků a možnosti jejich klasifikace, včetně popisu klasifikace ISAKOS. Dále jsou zde popsány možnosti vyšetření těchto poranění včetně klinického vyšetření a vyšetření zobrazovacími metodami, a operační a rehabilitační možnosti jejich řešení. Druhá část teoretické části se zabývá metodou Blood Flow Restriction, jejím původem, potenciálními mechanismy účinku, využitím v rehabilitaci, potenciálními vedlejšími účinky i nastavením vhodného protokolu. Teoretické poznatky o využití metody Blood Flow Restriction byly následně přeneseny do praktické části.

V metodice praktické části je popsán průběh vstupního a výstupního vyšetření včetně metod, kterými byli probandi vyšetřováni a postup jejich vyhodnocení. Výzkumný soubor byl tvořen 20 probandy, kteří byli náhodně rozděleni do skupiny podstupující rehabilitaci metodou BFR a skupiny podstupující standardní rehabilitaci. V případě kontraindikací pro využití metody BFR byl proband přesunut do standardní skupiny. Následně je zde popsán průběh terapií. Obě skupiny podstoupily 8 cvičebních jednotek po 30 minutách. BFR skupina využívala 3 cviky s nastavením okluze 80 % LOP. Cvičební protokol byl nastaven na 30 opakování v první sérii a 15 opakování stejného cviku v následujících 3 sériích. Pauza mezi sériemi byla 60 sekund. Manžeta byla v průběhu všech čtyř sérií daného cviku nafouknutá, po ukončení 4. série došlo k vyfouknutí a pauze před započítáním dalšího cviku. Standardní skupina využívala izometrické kontrakce, cviky v otevřeném i uzavřeném kinematickém řetězci, propioceptivní neuromuskulární facilitaci a senzomotorická cvičení včetně využití balančních ploch. Data byla statisticky vyhodnocena pomocí Wilcoxonova testu pro dvě závislé proměnné a Mann-Whitneyova testu pro dvě nezávislé proměnné.

U obou skupin došlo ke statisticky významnému nárůstu svalové síly operované dolní končetiny do flexe i extenze. BFR skupina vykazovala lepší výsledky oproti standardní skupině, nicméně rozdíl mezi skupinami byl statisticky významný pouze při pohybu do flexe.



BFR skupina dosáhla rovněž statisticky významného nárůstu obvodu stehna 10 cm nad patelou, a to 1,8 cm. Standardní skupina dosáhla statisticky nevýznamného nárůstu 0,7 cm. Mezi skupinami ovšem nebyl nalezen statisticky významný rozdíl. Obě skupiny dosáhly statisticky významného zlepšení funkčního stavu operované dolní končetiny. Funkční stav byl hodnocen pomocí Lysholmova skórovacího dotazníku a obě skupiny dosáhly dle hodnotící škály dobrých výsledků. Mezi skupinami byl minimální rozdíl, který nebyl statisticky významný. Stejně tak dosáhly obě skupiny statisticky významného zvýšení aktivního i pasivního rozsahu pohybu do flexe, který se mezi skupinami statisticky významně nelišil. Aktivní i pasivní rozsah pohybu do extenze se u obou skupin změnil minimálně, tudíž nebyl rozdíl v rámci skupin ani mezi skupinami statisticky významný. Z těchto výsledků lze usoudit, že by mohla mít metoda Blood Flow Restriction výraznější efekt na nárůst svalové síly a svalové hmoty u pacientů po artroskopické operaci menisků kolenního kloubu, pokud by intervence trvala déle než 4 týdny. Efekt metody Blood Flow Restriction na funkční stav operované dolní končetiny a rozsah pohybu v kolenním kloubu je srovnatelný s efektem standardní rehabilitace.

## 9 SUMMARY

This Master's thesis studied the effects of rehabilitation using the Blood Flow Restriction training on muscle strength, thigh circumference, functional state of the operated lower limb and knee joint range of motion in patients after knee arthroscopy for meniscal tear. The Isomed 2000 dynamometer was used to analyse the flexion/extension moment. Muscle volume was measured indirectly using thigh circumference 10 cm above the patella. Functional state was evaluated using the Lysholm knee scoring scale. Active and passive range of motion in flexion and extension was measured with a two-arm goniometer. The results were compared with those of a group undergoing standard rehabilitation after knee meniscus surgery.

The theoretical part starts with a description of the anatomy and kinesiology of the menisci including biomechanical and biochemical properties, the problems of meniscal injuries and the possibilities of their classification, including a description of the ISAKOS classification. It also describes the possibilities of examination of these injuries, including clinical examination and imaging techniques, as well as surgical and rehabilitation management methods. The second part deals with the Blood Flow Restriction training, its origin, potential mechanisms of effects, use in rehabilitation, potential side effects and appropriate protocol design. The theoretical knowledge about the use of the Blood Flow Restriction training was then applied to the practical part.

The methodology of the practical part describes the course of the initial and final examination, including the methods used to examine the probands and the procedure for their evaluation. The research group consisted of 20 probands who were randomly divided into a group undergoing rehabilitation using the BFR training and a group undergoing standard rehabilitation. In case of contraindications to the use of the BFR training, the proband was placed in the standard group. Subsequently, the course of therapies is described. Both groups underwent 8 thirty-minute exercise blocks. The BFR group performed 3 exercises with an LOP of 80%. The exercise protocol was set for 30 repetitions in the first set and 15 repetitions of the same exercise in the following 3 sets. There was a 60-second rest between the sets. The cuff was inflated during all four sets of the exercise, then deflated at the end of the fourth set and a break was taken before starting the next exercise. The standard group performed isometric contractions, open and closed kinetic chain exercises, proprioceptive neuromuscular facilitation, and sensorimotor exercises including the use of surface balance tools. Data were statistically evaluated using Wilcoxon test for two dependent variables and Mann-Whitney U-test for two independent variables.

Both groups showed a statistically significant increase in muscle strength of the operated lower limb in flexion and extension. The BFR group showed better results compared to the standard group, however, the difference between the groups was statistically significant only in flexion. The BFR group also achieved a statistically significant increase in thigh circumference 10 cm above the patella, which was 1.8 cm. The standard group demonstrated a statistically insignificant increase of 0.7 cm. However, no statistically significant difference was found between the groups. Both groups achieved a statistically significant improvement in the functional state of the operated lower limb. Functional state was assessed using the Lysholm knee scoring scale and both groups scored well according to the rating scale. There was a minimal difference between the groups that was not statistically significant. Similarly, both groups showed a statistically significant increase in active and passive range of motion in flexion, which did not differ significantly between the groups. Active and passive range of motion in extension changed minimally in both groups, hence the difference within and between the groups was not statistically significant. These results suggest that Blood Flow Restriction could have more significant effects on muscle strength and muscle mass gains in patients after knee arthroscopy for meniscal tear if the intervention lasted longer than 4 weeks. The effects of the Blood Flow Restriction method on the functional state of the operated lower limb and the range of motion of the knee joint is comparable to the effects of standard rehabilitation.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Akima, H., & Furukawa, T. (2005). Atrophy of Thigh Muscles After Meniscal Lesions and Arthroscopic Partial Meniscectomy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 13(8), 632–637. <https://doi.org/10.1007/s00167-004-0602-9>
- Amestoy, J., Pérez-Prieto, D., Torres-Claramunt, R., Sánchez-Soler, J. F., Leal-Blanquet, J., Ares-Vidal, J., Hinarejos, P., & Monllau, J. C. (2021). Patellofemoral Pain After Arthroscopy: Muscle Atrophy Is Not Everything. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(6). <https://doi.org/10.1177/232596712111013000>
- Amestoy, J., Pérez-Prieto, D., Torres-Claramunt, R., Sánchez-Soler, J. F., Solano, A., Leal-Blanquet, J., Hinarejos, P., & Monllau, J. C. (2022). Preoperative Muscle Thickness Influences Muscle Activation After Arthroscopic Knee Surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 30(6), 1880–1887. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06820-4>
- Anderson, A. B., Gaston, J., LeClere, L. E., & Dickens, J. F. (2021). Meniscal Salvage: Where We Are Today. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 29(14), 596–603. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-20-00915>
- 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>
- Anderson, K. D., Rask, D. M. G., Bates, T. J., & Nuelle, J. A. V. (2022). Overall Safety and Risks Associated with Blood Flow Restriction Therapy: A Literature Review. *Military Medicine*, 187(9–10), 1059–1064. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac055>
- 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.0000000000001090>
- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic Synamometry. Applications and Limitations. *Sports Medicine*, 8(2), 101–116. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908020-00003>
- 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., & Pujol, N. (2017). Management of Traumatic Meniscal Tear and Degenerative Meniscal Lesions. Save the Meniscus. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *103*(8), 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.08.003>
- Belgaid, V., Almassri, A., Batailler, C., Lustig, S., & Servien, E. (2021). Surgical Meniscal Lesions in Stable Knee: Topographic Description in a Prospective Series of 1424 Cases. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *107*(2). <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.102812>
- Bittar, S. T., Pfeiffer, P. S., Santos, H. H., & Cirilo-Sousa, M. S. (2018). Effects of Blood Flow Restriction Exercises on Bone Metabolism: A Systematic Review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *38*(6), 930–935. <https://doi.org/10.1111/cpf.12512>
- Bobes Álvarez, C., Issa-Khozouz Santamaría, P., Fernández-Matías, R., Pecos-Martín, D., Achalandabaso-Ochoa, A., Fernández-Carnero, S., Martínez-Amat, A., & Gallego-Izquierdo, T. (2020). Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/jcm10010068>
- Brandner, C. R., & Warmington, S. A. (2017). Delayed Onset Muscle Soreness and Perceived Exertion After Blood Flow Restriction Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(11), 3101–3108. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001779>
- Brelín, A. M., & Rue, J.-P. H. (2016). Return to Play Following Meniscus Surgery. *Clinics in Sports Medicine*, *35*(4), 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2016.05.010>
- 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>
- Burton, I., & McCormack, A. (2022). Blood Flow Restriction Resistance Training in Tendon Rehabilitation: A Scoping Review on Intervention Parameters, Physiological Effects, and

- Outcomes. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.879860>
- Cahalin, L. P., Formiga, M. F., Anderson, B., Cipriano, G., Hernandez, E. D., Owens, J., & Hughes, L. (2022). A Call to Action for Blood Flow Restriction Training in Older Adults with or Susceptible to Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.924614>
- Cahalin, L. P., Formiga, M. F., Owens, J., Anderson, B., & Hughes, L. (2022). Beneficial Role of Blood Flow Restriction Exercise in Heart Disease and Heart Failure Using the Muscle Hypothesis of Chronic Heart Failure and a Growing Literature. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.924557>
- Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(1), 95–108. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0994-1>
- Clarkson, M. J., May, A. K., & Warmington, S. A. (2020). Is There Rationale for the Cuff Pressures Prescribed for Blood Flow Restriction Exercise? A Systematic Review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(8), 1318–1336. <https://doi.org/10.1111/sms.13676>
- Coban, O., Yildirim, N. U., Yasa, M. E., Akinoglu, B., & Kocahan, T. (2021). Determining the Number of Repetitions to Establish Isokinetic Knee Evaluation Protocols Specific to Angular Velocities of 60°/Second and 180°/Second. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 25, 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.12.043>
- Cobian, D. G., Koch, C. M., Amendola, A., & Williams, G. N. (2017). Knee Extensor Rate of Torque Development Before and After Arthroscopic Partial Meniscectomy, With Analysis of Neuromuscular Mechanisms. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 47(12), 945–956. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7310>
- Colapietro, M., Portnoff, B., Miller, S. J., Sebastianelli, W., & Vairo, G. L. (2022). Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients with ACL Reconstruction: A Systematic Review. *SPORTS HEALTH*, 14. <https://doi.org/10.1177/19417381211070834>
- Collins, N. J., Misra, D., Felson, D. T., Crossley, K. M., & Roos, E. M. (2011). Measures of Knee Function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford

- Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care & Research*, 63(11), 208-228. <https://doi.org/10.1002/acr.20632>
- 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: Relative BFR Pressure. *Muscle & Nerve*, 53(3), 438–445. <https://doi.org/10.1002/mus.24756>
- Crawford, R., Walley, G., Bridgman, S., & Maffulli, N. (2007). Magnetic Resonance Imaging versus Arthroscopy in the Diagnosis of Knee Pathology, Concentrating on Meniscal Lesions and ACL Tears: A Systematic Review. *British Medical Bulletin*, 84, 5–23. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm022>
- Culvenor, A. G., Girdwood, M. A., Juhl, C. B., Patterson, B. E., Haberfield, M. J., Holm, P. M., Bricca, A., Whittaker, J. L., Roos, E. M., Crossley, K. M. (2022). Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament and Meniscal Injuries: A Best-Evidence Synthesis of Systematic Reviews for the OPTIKNEE Consensus. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105495>
- Cuyul-Vásquez, I., Leiva-Sepúlveda, A., Catalán-Medalla, O., Araya-Quintanilla, F., & Gutiérrez-Espinoza, H. (2020). The Addition of Blood Flow Restriction to Resistance Exercise in Individuals with Knee Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(6), 465–478. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2020.03.001>
- Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2023). *Moore's Clinically Oriented Anatomy* (Ninth Edition). Wolters Kluwer.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). Are Higher Blood Flow Restriction Pressures More Beneficial when Lower Loads Are Used? *Physiology International*, 104(3), 247–257. <https://doi.org/10.1556/2060.104.2017.3.2>
- De Baets, L., Matheve, T., & Timmermans, A. (2020). The Association Between Fear of Movement, Pain Catastrophizing, Pain Anxiety, and Protective Motor Behavior in Persons With Peripheral Joint Conditions of a Musculoskeletal Origin: A Systematic Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 99(10), 941–949. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001455>
- Deckey, D. G., Tummala, S., Verhey, J. T., Hassebrock, J. D., Dulle, D., Miller, M. D., & Chhabra, A. (2021). Prevalence, Biomechanics, and Pathologies of the Meniscomfemoral Ligaments: A Systematic Review. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 3(6), 2093–2101. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.09.006>

- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L., & LaPrade, R. F. (2018a). Blood Flow Restriction Therapy After Knee Surgery: Indications, Safety Considerations, and Postoperative Protocol. *Arthroscopy Techniques*, 7(10). <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.06.010>
- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L. T., & LaPrade, R. F. (2018b). 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>
- de Queiros, V. S., Dantas, M., Neto, G. R., da Silva, L. F., Assis, M. G., Almeida-Neto, P. F., Dantas, P. M. S., & Cabral, B. G. de A. T. (2021). Application and Side Effects of Blood Flow Restriction Technique. *Medicine*, 100(18), e25794. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025794>
- Dirnberger, J., Kösters, A., & Müller, E. (2012). Concentric and Eccentric Isokinetic Knee Extension: A Reproducibility Study Using the IsoMed 2000 Dynamometer. *Isokinetics and Exercise Science*, 20(1), 31–35. <https://doi.org/10.3233/IES-2012-0437>
- Drosos, G. I., & Pozo, J. L. (2004). The Causes and Mechanisms of Meniscal Injuries in the Sporting and Non-Sporting Environment in an Unselected Population. *The Knee*, 11(2), 143–149. [https://doi.org/10.1016/S0968-0160\(03\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0968-0160(03)00105-4)
- Dungl, P. (2014). *Ortopedie* (2. vydání). Grada Publishing, a.s.
- Ericsson, Y. B., Roos, E. M., Owman, H., & Dahlberg, L. E. (2019). Association between Thigh Muscle Strength Four Years After Partial Meniscectomy and Radiographic Features of Osteoarthritis 11 Years Later. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 512. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2875-7>
- Fairbank, T. J. (1948). Knee Joint Changes After Meniscectomy. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 30B(4), 664–670.
- Feeley, B. T., & Lau, B. C. (2018). Biomechanics and Clinical Outcomes of Partial Meniscectomy. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 26(24), 853–863. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00256>
- Flocco, P., & Bernabei, L. (2022). Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Sciences for Health*. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-00944-x>
- Formiga, M. F., Fay, R., Hutchinson, S., Locandro, N., Ceballos, A., Lesh, A., Buscheck, J., Meanor, J., Owens, J. G., & Cahalin, L. P. (2020). Effect Of Aerobic Exercise Training with and without Blood Flow Restriction On Aerobic Capacity In Healthy Young Adults: A



- Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(2), 175–187. <https://doi.org/10.26603/ijspst20200175>
- Fox, A. J. S., 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. S., 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*, 28(2), 269–287. <https://doi.org/10.1002/ca.22456>
- Freitas, E. D. S., Karabulut, M., & Bembem, M. G. (2021). The Evolution of Blood Flow Restricted Exercise. *Frontiers in Physiology*, 12, 747759. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.747759>
- Frizziero, A., Ferrari, R., Giannotti, E., Ferroni, C., Poli, P., & Masiero, S. (2012). The Meniscus Tear. State of the Art of Rehabilitation Protocols Related to Surgical Procedures. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 2(4), 295–301.
- Gallo, J. (2011). *Ortopedie pro studenty lékařských a zdravotnických fakult* (1. vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Gerber, C., Hoppeler, H., Claassen, H., Robotti, G., Zehnder, R., & Jakob, R. P. (1985). The Lower-Extremity Musculature in Chronic Symptomatic Instability of the Anterior Cruciate Ligament. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 67(7), 1034–1043.
- Giles, L. S., Webster, K. E., McClelland, J. A., & Cook, J. (2015). Atrophy of the Quadriceps Is Not Isolated to the Vastus Medialis Oblique in Individuals With Patellofemoral Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(8), 613–619. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5852>
- Golz, A. G., Mandelbaum, B., & Pace, J. L. (2022). All-Inside Meniscus Repair. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 15(4), 252–258. <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09766-3>
- Grantham, B., Korakakis, V., & O'Sullivan, K. (2021). Does Blood Flow Restriction Training Enhance Clinical Outcomes in Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy in Sport*, 49, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.01.014>
- Gross, J. M., Fetto, J., & Rosen, E. (2005). *Vyšetření pohybového aparátu* (2. vydání). TRITON, s.r.o.
- Gunn, A. H., Schwartz, T. A., Arbeeve, L. S., Callahan, L. F., Golightly, Y., Goode, A., Hill, C. H., Huffman, K., Iversen, M. D., Pathak, A., Taylor, S. S., & Allen, K. D. (2017). Fear of Movement and Associated Factors Among Adults With Symptomatic Knee

- Osteoarthritis. *Arthritis Care & Research*, 69(12), 1826–1833.  
<https://doi.org/10.1002/acr.23226>
- Harput, G., Guney-Deniz, H., Nyland, J., & Kocabey, Y. (2020). Postoperative Rehabilitation and Outcomes Following Arthroscopic Isolated Meniscus Repairs: A Systematic Review. *Physical Therapy in Sport*, 45, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.06.011>
- Hart, H. F., Culvenor, A. G., Guermazi, A., & Crossley, K. M. (2020). Worse Knee Confidence, Fear of Movement, Psychological Readiness to Return-to-Sport and Pain Are Associated with Worse Function after ACL Reconstruction. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 41, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.10.006>
- Hegedus, E. J., Cook, C., Hasselblad, V., Goode, A., & Mccrory, D. C. (2007). Physical Examination Tests for Assessing a Torn Meniscus in the Knee: A Systematic Review With Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(9), 541–550. <https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2560>
- Hodges, P. W., & Smeets, R. J. (2015). Interaction Between Pain, Movement, and Physical Activity: Short-term Benefits, Long-term Consequences, and Targets for Treatment. *The Clinical Journal of Pain*, 31(2), 97–107. <https://doi.org/10.1097/AJP.000000000000098>
- Hoppenfeld, S. (1976). *Physical Examination Of The Spine And Extremities*. Prentice Hall a Division of Pearson Education.
- Housh, D. J., Housh, T. J., Weir, J. P., Weir, L. L., Johnson, G. O., & Stout, J. R. (1995). Anthropometric Estimation of Thigh Muscle Cross-Sectional Area. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 784–791.
- Hsu, C.-J., George, S. Z., & Chmielewski, T. L. (2016). Association of Quadriceps Strength and Psychosocial Factors With Single-Leg Hop Performance in Patients With Meniscectomy. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(12), 2325967116676078. <https://doi.org/10.1177/2325967116676078>
- Hudelmaier, M., Wirth, W., Himmer, M., Ring-Dimitriou, S., Sänger, A., & Eckstein, F. (2010). Effect of Exercise Intervention on Thigh Muscle Volume and Anatomical Cross-Sectional Areas—Quantitative Assessment Using MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 64(6), 1713–1720. <https://doi.org/10.1002/mrm.22550>
- 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. (2019). Low intensity blood flow restriction exercise: Rationale for a Hypoalgesia Effect. *Medical Hypotheses*, 132, 109370. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109370>
- Hughes, L., & Patterson, S. D. (2020). The Effect of Blood Flow Restriction Exercise on Exercise-Induced Hypoalgesia and Endogenous Opioid And Endocannabinoid Mechanisms of Pain Modulation. *Journal of Applied Physiology*, 128(4), 914–924. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00768.2019>
- Hughes, L., Rosenblatt, B., Paton, B., & Patterson, S. D. (2018). Blood Flow Restriction Training in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery: A Review. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 106–113. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000265>
- Charles, D., White, R., Reyes, C., & Palmer, D. (2020). A Systematic Review of the Effects of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Atrophy and Circumference Post Acl Reconstruction. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(6), 882–891. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200882>
- Iversen, E., & Røstad, V. (2010). Low-Load Ischemic Exercise-Induced Rhabdomyolysis. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(3), 218–219. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181df8d10>
- Jakobsen, T. L., Thorborg, K., Fisker, J., Kalleose, 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>
- Jeong, H.-J., Lee, S.-H., & Ko, C.-S. (2012). Meniscectomy. *Knee Surgery & Related Research*, 24(3), 129–136. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2012.24.3.129>
- Jouve, F., Ovadia, H., Pujol, N., & Beaufils, P. (2010). Meniscal Repair: Technique. *The Meniscus*, 119–128. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02450-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02450-4_16)
- Kaijser, L., Sundberg, C. J., Eiken, O., Nygren, A., Esbjörnsson, M., Sylvén, C., & Jansson, E. (1990). Muscle Oxidative Capacity and Work Performance after Training under Local Leg Ischemia. *Journal of Applied Physiology*, 69(2), 785–787. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.2.785>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1015853>

- 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>
- Khandelwal, K., Chaturvedi, V. C., Mishra, V., & Khandelwal, G. (2018). Diagnostic Accuracy of MRI Knee in Reference to Arthroscopy in Meniscal and Anterior Cruciate Ligament Injuries. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 49(1), 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrn.2017.12.003>
- Kim, S. H., Lee, H.-J., Jang, Y.-H., Chun, K.-J., & Park, Y.-B. (2021). Diagnostic Accuracy of Magnetic Resonance Imaging in the Detection of Type and Location of Meniscus Tears: Comparison with Arthroscopic Findings. *Journal of Clinical Medicine*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/jcm10040606>
- Koch, M., Memmel, C., Zeman, F., Pfeifer, C. G., Zellner, J., Angele, P., Weber-Spickschen, S., Alt, V., & Krutsch, W. (2020). Early Functional Rehabilitation after Meniscus Surgery: Are Currently Used Orthopedic Rehabilitation Standards Up to Date? *Rehabilitation Research and Practice*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3989535>
- Kolář, P. & kolektiv autorů (2009). *Rehabilitace v klinické praxi* (první vydání). Galén.
- Li, S., Li, S., Wang, L., Quan, H., Yu, W., Li, T., & Li, W. (2022). The Effect of Blood Flow Restriction Exercise on Angiogenesis-Related Factors in Skeletal Muscle Among Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.814965>
- Li, S., Shaharudin, S., & Abdul Kadir, M. R. (2021). Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Pain in Patients With Knee Injuries: A Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 100(4), 337–344. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001567>
- Liu, Y., Jiang, N., Pang, F., & Chen, T. (2021). Resistance Training with Blood Flow Restriction on Vascular Function: A Meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine*, 42(07), 577–587. <https://doi.org/10.1055/a-1386-4846>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L., & Roos, E. M. (2007). The Long-term Consequence of Anterior Cruciate Ligament and Meniscus Injuries: Osteoarthritis. *The American*

- Journal of Sports Medicine*, 35(10), 1756–1769.  
<https://doi.org/10.1177/0363546507307396>
- Lu, Y., Patel, B. H., Kym, C., Nwachukwu, B. U., Beletksy, A., Forsythe, B., & Chahla, J. (2020). Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(3), 232596712090682. <https://doi.org/10.1177/2325967120906822>
- Luvannyam, 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>
- Lysholm, J. (1987). The Relation Between Pain and Torque in an Isokinetic Strength Test Of Knee Extension. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 3(3), 182–184. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(87\)80062-2](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(87)80062-2)
- Machado, S., Érika Santana, null, Brito, V., Maciel, L., Quintans Júnior, L. J., da Silva Junior, W., de Farias Neto, J., Melo Coutinho, H. D., Kim, B., & de Santana Filho, V. J. (2022). Knee Osteoarthritis: Kinesiophobia and Isometric Strength of Quadriceps in Women. *Pain Research & Management*, 2022, 1466478. <https://doi.org/10.1155/2022/1466478>
- Makris, E. A., Hadidi, P., & Athanasiou, K. A. (2011). The Knee Meniscus: Structure–Function, Pathophysiology, Current Repair Techniques, and Prospects for Regeneration. *Biomaterials*, 32(30), 7411–7431. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.06.037>
- 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). <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i6s.90>
- May, A. K., Russell, A. P., Della Gatta, P. A., & Warmington, S. A. (2022). Muscle Adaptations to Heavy-Load and Blood Flow Restriction Resistance Training Methods. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.837697>
- McDermott, I. D., & Amis, A. A. (2006). The Consequences of Meniscectomy. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 88-B(12), 1549–1556. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B12.18140>
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it Crucial to Use Personalized Occlusion Pressures in Blood Flow Restriction (BFR) Rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(2), 173–177. <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0397-7>
- McLeod, M. M., Gribble, P., Pfile, K. R., & Pietrosimone, B. G. (2012). Effects of Arthroscopic Partial Meniscectomy on Quadriceps Strength: A Systematic Review. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(3), 285–295. <https://doi.org/10.1123/jsr.21.3.285>

- Merkle, S. L., Sluka, K. A., & Frey-Law, L. A. (2020). The Interaction Between Pain and Movement. *Journal of Hand Therapy: Official Journal of the American Society of Hand Therapists*, 33(1), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2018.05.001>
- Meserve, B. B., Cleland, J. A., & Boucher, T. R. (2008). A Meta-Analysis Examining Clinical Test Utilities for Assessing Meniscal Injury. *Clinical Rehabilitation*, 22(2), 143–161. <https://doi.org/10.1177/0269215507080130>
- Messner, K., & Gao, J. (1998). The Menisci of the Knee Joint. Anatomical and Functional Characteristics, and a Rationale for Clinical Treatment. *Journal of Anatomy*, 193(2), 161–178. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1998.19320161.x>
- Milewski, M. D., Sanders, T. G., & Miller, M. D. (2011). MRI-Arthroscopy Correlation: The Knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 93(18), 1735–1745. <https://doi.org/10.2106/JBJS.9318icl>
- Miller, B. C., Tirko, A. W., Shipe, J. M., Sumeriski, O. R., & Moran, K. (2021). The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), 978–990. <https://doi.org/10.26603/001c.25791>
- Minniti, M. C., Statkevich, A. P., Kelly, R. L., Rigsby, V. P., Exline, M. M., Rhon, D. I., & Clewley, D. (2020). The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(7), 1773–1785. <https://doi.org/10.1177/0363546519882652>
- Mühlenfeld, N., Steendahl, I. B., Berthold, D. P., Meyer, T., Hauser, T., Wagner, N., Sander, A.-L., Marzi, I., Kaltenbach, B., Yel, I., Vogl, T., & Eichler, K. (2022). Assessment of Muscle Volume Using Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Football Players after Hamstring Injuries. *European Journal of Sport Science*, 22(9), 1436–1444. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1942226>
- Murray, J., Bennett, H., Boyle, T., Williams, M., & Davison, K. (2021). Approaches to Determining Occlusion Pressure for Blood Flow Restricted Exercise Training: Systematic Review. *Journal of Sports Sciences*, 39(6), 663–672. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1840734>
- Naess, T. C. (2021). Determining the Optimal Blood Flow Restriction Protocol for Maximising Muscle Hypertrophy and Strength, Pressure and Cuff Width: A Mini-Review. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(4), 752–759. <https://doi.org/10.14198/jhse.2021.164.02>
- 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>

- Nepple, J. J., Block, A. M., Eisenberg, M. T., Palumbo, N. E., & Wright, R. W. (2022). Meniscal Repair Outcomes at Greater Than 5 Years: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *104*(14), 1311–1320. <https://doi.org/10.2106/JBJS.21.01303>
- Nitzsche, N., Stäuber, A., Tiede, S., & Schulz, H. (2021). The Effectiveness of Blood-Flow Restricted Resistance Training in The Musculoskeletal Rehabilitation of Patients with Lower Limb Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Rehabilitation*, *35*(9), 1221–1234. <https://doi.org/10.1177/02692155211003480>
- Oatis, C. A. (2017). *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement* (Third Edition). Wolters Kluwer.
- O'Donnell, K., Freedman, K. B., & Tjoumakaris, F. P. (2017). Rehabilitation Protocols After Isolated Meniscal Repair: A Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, *45*(7), 1687–1697. <https://doi.org/10.1177/0363546516667578>
- Ozeki, N., Seil, R., Krych, A. J., & Koga, H. (2021). Surgical Treatment of Complex Meniscus Tear and Disease: State of the Art. *Journal of ISAKOS*, *6*(1), 35–45. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2019-000380>
- Pace, J. L., Inclan, P. M., & Matava, M. J. (2021). Inside-out Medial Meniscal Repair: Improved Surgical Exposure With a Sub-semimembranosus Approach. *Arthroscopy Techniques*, *10*(2), 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2020.10.032>
- Patel, H., Skalski, M. R., Patel, D. B., White, E. A., Tomasian, A., Gross, J. S., Vangsness, C. T., & Matcuk, G. R. (2021). Illustrative Review of Knee Meniscal Tear Patterns, Repair and Replacement Options, and Imaging Evaluation. *Clinical Imaging*, *69*, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.06.045>
- Patil, S. S., Shekhar, A., & Tapasvi, S. R. (2017). Meniscal Preservation is Important for the Knee Joint. *Indian Journal of Orthopaedics*, *51*(5), 576–587. [https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho\\_247\\_17](https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_247_17)
- 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>
- Paxton, E. S., Stock, M. V., & Brophy, R. H. (2011). Meniscal Repair Versus Partial Meniscectomy: A Systematic Review Comparing Reoperation Rates and Clinical Outcomes. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, *27*(9), 1275–1288. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.03.088>

- 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>
- Pillai, M. M., Gopinathan, J., Selvakumar, R., & Bhattacharyya, A. (2018). Human Knee Meniscus Regeneration Strategies: A Review on Recent Advances. *Current Osteoporosis Reports*, 16(3), 224–235. <https://doi.org/10.1007/s11914-018-0436-x>
- Rayan, F., Bhonsle, S., & Shukla, D. D. (2009). Clinical, MRI, and Arthroscopic Correlation in Meniscal and Anterior Cruciate Ligament Injuries. *International Orthopaedics*, 33(1), 129–132. <https://doi.org/10.1007/s00264-008-0520-4>
- Rice, D., Nijs, J., Kosek, E., Wideman, T., Hasenbring, M. I., Koltyn, K., Graven-Nielsen, T., & Polli, A. (2019). Exercise-Induced Hypoalgesia in Pain-Free and Chronic Pain Populations: State of the Art and Future Directions. *The Journal of Pain*, 20(11), 1249–1266. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.03.005>
- Rossi, F. E., de Freitas, M. C., Zanchi, N. E., Lira, F. S., & Cholewa, J. M. (2018). The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01376>
- Sayegh, E. T., & Matzkin, E. (2022). Classifications in Brief: The International Society of Arthroscopy, Knee Surgery, and Orthopaedic Sports Medicine Classification of Meniscal Tears. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 480(1), 39–44. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000001948>
- Shakoor, D., Kijowski, R., Guermazi, A., Fritz, J., Roemer, F. W., Jalali-Farahani, S., Eng, J., & Demehri, S. (2019). Diagnosis of Knee Meniscal Injuries by Using Three-dimensional MRI: A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Performance. *Radiology*, 290(3), 435–445. Scopus. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018181212>
- Shen, P., Li, L., Song, Q., Sun, W., Zhang, C., Fong, D. T. P., & Mao, D. (2022). Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Improves Symptoms Among Older Adults With Knee Osteoarthritis During Stair Ascending: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 101(8), 753–760. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001906>
- Sherman, S. L., DiPaolo, Z. J., Ray, T. E., Sachs, B. M., & Oladeji, L. O. (2020). Meniscus Injuries A Review of Rehabilitation and Return to Play. *Clinics in Sports Medicine*, 39(1), 165–183. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2019.08.004>
- 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>



- Smékal, D., Kalina, R., & Urban, J. (2006). Rehabilitace po artroskopických náhradách předního zkříženého vazů. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Čechoslovaca*, 73, 421–428.
- Smoak, J. B., Matthews, J. R., Vinod, A. V., Kluczynski, M. A., & Bisson, L. J. (2020). An Up-to-Date Review of the Meniscus Literature: A Systematic Summary of Systematic Reviews and Meta-analyses. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(9), 2325967120950306. <https://doi.org/10.1177/2325967120950306>
- Snoeker, B. A. M., Bakker, E. W. P., Kegel, C. A. T., & 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>
- Song, J. S., Spitz, R. W., Yamada, Y., Bell, Z. W., Wong, V., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2021). Exercise-Induced Hypoalgesia and Pain Reduction Following Blood Flow Restriction: A Brief Review. *Physical Therapy in Sport*, 50, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.04.005>
- Spada, J. M., Paul, R. W., & Tucker, B. S. (2022). Blood Flow Restriction Training Preserves Knee Flexion and Extension Torque Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Journal of Orthopaedics*, 34, 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2022.08.031>
- Spang III, R. C., Nasr, M. C., Mohamadi, A., DeAngelis, J. P., Nazarian, A., & Ramappa, A. J. (2018). Rehabilitation Following Meniscal Repair: A Systematic Review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000212>
- Srimongkolpitak, S., & Chernchujit, B. (2022). Current Concepts on Meniscal Repairs. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 27, 101810. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2022.101810>
- Syed, S., Nagdi Zaki, M., Lakshmanan, J., & Kundra, R. (2022). Knee Meniscal Retears After Repair: A Systematic Review Comparing Diagnostic Imaging Modalities. *Libyan Journal of Medicine*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/19932820.2022.2030024>
- Šimeček, K., Látal, P., Duda, J., & Šimeček, M. (2017). Porovnání artroskopického nálezu kolenního kloubu s magnetickou rezonancí—Retrospektivní studie. *ACHOT*, 84(4), 285–291.
- Tabata, S., Suzuki, Y., Azuma, K., & Matsumoto, H. (2016). Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 2064–2068. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001295>
- Tichonova, A., Rimdeikienė, I., Petruševičienė, D., & Lendraitienė, E. (2016). The Relationship Between Pain Catastrophizing, Kinesiophobia and Subjective Knee Function During

- Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Meniscectomy: A Pilot Study. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 52(4), 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.medic.2016.07.005>
- Vivekanantha, P., Diao, D., Cohen, D., Murphy, B., & de SA, D. (2023). Strength-Based Rehabilitation on Clinical Outcomes in Patients Post-Partial Meniscectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002198>
- 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. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 28(12). <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00347>
- Wadhwa, V., Omar, H., Coyner, K., Khazzam, M., Robertson, W., & Chhabra, A. (2016). ISAKOS Classification of Meniscal Tears—Illustration on 2D and 3D Isotropic Spin Echo MR Imaging. *European Journal of Radiology*, 85(1), 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.10.022>
- Wang, W., Li, Z., Peng, H.-M., Bian, Y.-Y., Li, Y., Qian, W.-W., Weng, X.-S., Jin, J., Yang, X.-Y., & Lin, J. (2021). Accuracy of MRI Diagnosis of Meniscal Tears of the Knee: A Meta-Analysis and Systematic Review. *The Journal of Knee Surgery*, 34(02), 121–129. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1694056>
- Weiss, L. W., Coney, H. D., & Clark, F. C. (2000). Gross Measures of Exercise-Induced Muscular Hypertrophy. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 30(3), 143–148. <https://doi.org/10.2519/jospt.2000.30.3.143>
- 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>
- Wong, M. L., Formiga, M. F., Owens, J., Asken, T., & Cahalin, L. P. (2018). Safety of Blood Flow Restricted Exercise in Hypertension: A Meta-Analysis and Systematic Review With Potential Applications in Orthopedic Care. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 80–88. <https://doi.org/10.1097/BTO.0000000000000288>
- Yang, Q., Li, D. Y., He, J. X., Zhang, Z. Y., Zhu, H. W., Li, G. X., Ding, S. C., Sun, X. N., & Sun, J. (2022). Influence Of Blood Flow Restriction Training on The Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Mens Health*, 18(3). <https://doi.org/10.31083/j.jomh1803062>
- Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Iida, H., Imuta, H., Sato, Y., Yamasoba, T., & Nakajima, T. (2014). Effects of Low-Intensity, Elastic Band Resistance Exercise Combined with Blood

- Flow Restriction on Muscle Activation: Blood Flow Restriction and Elastic Band. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 55–61. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01489.x>
- Yasuda, T., Meguro, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2017). Use and Safety of KAATSU Training: Results of a National Survey in 2016. *International Journal of KAATSU Training Research*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.3806/ijktr.13.1>
- Yoshii, R., Konishi, Y., Ando, D., Ochiai, S., Hagino, T., & Dobashi, S. (2019). Effect of Subcutaneous Tissue on Changes in Thigh Circumference Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *International Journal of Sports Medicine*, 40(08), 544–550. <https://doi.org/10.1055/a-0893-5838>
- Zdanowicz, U., & Smigielski, R. (2017). Meniscus Anatomy. In *The Menisci: A Comprehensive Review of their Anatomy, Biomechanical Function and Surgical Treatment*, 1–8. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53792-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53792-3_1)

## 11 PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha 1	Vzor informovaného souhlasu
Příloha 2	Vyjádření etické komise FTK UP
Příloha 3	Lysholmův skórovací dotazník
Příloha 4	Potvrzení o překladu

## 11.1 Vzor informovaného souhlasu

### Informovaný souhlas

**Název studie (projektu):** Efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, objem a bolest u pacientů 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:

## 11.2 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 15.9. 2022 byl projekt diplomové práce

Autor /hlavní řešitel/: **Bc. Vojtěch Jireček**

s názvem

**Efekt metody Blood Flow Restriction na svalovou sílu, objem a bolest u pacientů po artroskopické operaci menisku kolenního kloubu**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **71/2022**

dne: **31. 10. 2022**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnicemi 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

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 585 636 009  
www.ftk.upol.cz

### 11.3 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 přeskokování	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		

## 11.4 Potvrzení o překladu

Potvrzujeme správnost a úplnost překladu do anglického jazyka.

Express Překlady s.r.o. IČ: 05279461 Dobrušská 880/6 Praha 4 14700.

Dne 24. 04. 2023

Express Překlady s. r. o.  
Dobrušská 880/6  
147 00 Praha  
IČ: 05279461