

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

MOŽNOSTI POUŽITÍ METODY BLOOD FLOW RESTRICTION VE  
FYZIOTERAPII  
Diplomová práce  
(Bakalářská)

Autor: Martin Radina, obor fyzioterapie  
Vedoucí práce: PhDr. David Smékal, Ph.D.  
Olomouc 2021

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Martin Radina

**Název bakalářské práce:** Možnosti použití metody Blood Flow Restriction ve fyzioterapii

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

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

**Rok obhajoby:** 2021

**Abstrakt:** Bakalářská práce shrnuje dostupné informace o metodě Blood Flow Restriction a jejím možném využití ve fyzioterapii. V úvodu práce je popsána anatomie, neurofyziologie a částečně patologie svalového systému jenž s metodou BFR souvisí. Další část práce se poté věnuje mechanismům účinků metody, indikacím metody, kontraindikacím, pomůckám potřebným pro realizaci metody a výhodám a nevýhodám metody BFR.

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

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

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

**Title of the thesis:** The Possibilities of Using Blood Flow Restriction Method in Physical Therapy

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

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

**The year of presentation:** 2021

**Abstract:** This bachelor's thesis summarises available information on the Blood Flow Restriction method and its potential use in physiotherapy. The introduction to this work describes the anatomy, neurophysiology and partial pathology of the muscular system related to the BFR method. The next part of this paper is devoted to the mechanism of the effects of this method, indication methods and contraindication aids necessary for realisation of the method, and the advantages and disadvantages of the BFR method.

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

I agree with the thesis being lent within the library service.

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

V Olomouci dne 30. 4. 2021

.....

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

## SEZNAM ZKRATEK

AKT (Protein kinase B) – Proteinkináza B

ATP – Adenosintrifosfát

ADP – Adenosindifosfát

BFR – Blood Flow Restriction

FOXO (Forkhead Box O) – O podskupina FOX transkripční

FSHD – Facioscapulohumerální dystrofie

GH (Grow Hormon) – růstový hormon

HIF-1 $\alpha$  (hypoxia inducible factor-1 alpha) – hypoxií zvýšený faktor-1 alfa

HSP (Heat Shock Proteins) – Proteiny teplotního šoku

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

KOK – kolenní kloub

LGMD – z anglického Limb Girdle Muscular Dystrophies

LKOK – levý kolenní kloub

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

M.P.T. – Master of Physical Therapy

mRNA (messenger RNA) – mediátorová RNA

mTOR (mammalian target of rapamycin) – savčí cíl rapamycinu

nm – nanometer

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

PNF – Proprioceptivní neuromuskulární facilitace

REDD1 (regulated in development and DNA damage responses) – regulace v reakci na vývoj a poškození DNA 1

ROS (reactive oxygen spesies) – reaktivní formy kyslíku

S6K1 (Ribosomal S6 kinase beta-1) – Ribozomální S6 kináza beta-1

SA uzel – Sinoatriální uzel

SF-36 (z anglického Short Form of Health Survey) – Krátká forma dotazníku k hodnocení zdravotního stavu

VAS – Vizuální analogová škála

WOMAC (z anglického Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) – Dotazník hodnotící bolestivost váhonosných kloubů

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
2.1 ANATOMIE SVALOVÉHO SYSTÉMU .....	11
2.1.1 <i>Vývoj svalů</i> .....	11
2.1.2 <i>Základní stavba svalu</i> .....	13
2.1.3 <i>Druhy svalů v lidském těle</i> .....	16
2.1.4 <i>Funkce svalů</i> .....	18
2.1.5 <i>Svalová mechanika</i> .....	18
2.1.6 <i>Růst svalové hmoty</i> .....	19
2.1.7 <i>Regenerace svalů</i> .....	20
2.1.8 <i>Pomocná zařízení svalů</i> .....	21
2.1.9 <i>Cévní zásobení a výživa svalů</i> .....	22
2.1.10 <i>Atrofie svalů</i> .....	23
2.2 NEUROFYZIOLOGIE SVALOVÉHO SYSTÉMU .....	24
2.2.1 <i>Nervové zásobení svalů</i> .....	24
2.2.2 <i>Nervosvalové spojení</i> .....	26
2.3 PATOLOGIE SVALOVÉHO SYSTÉMU .....	27
<b>3 SPECIÁLNÍ TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>29</b>
3.1 METODA BLOOD FLOW RESTRICTION .....	29
3.1.1 <i>Mechanismus působení</i> .....	31
3.1.2 <i>Indikace metody</i> .....	35
3.1.3 <i>Kontraindikace a rizika metody</i> .....	35
3.1.4 <i>Pomůcky pro použití metody</i> .....	36
3.1.5 <i>Výhody a nevýhody metody BFR</i> .....	39
<b>4 KAZUISTIKA.....</b>	<b>40</b>
<b>5 DISKUZE .....</b>	<b>50</b>
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>

<b>7 SOUHRN .....</b>	<b>59</b>
<b>8 SUMMARY .....</b>	<b>60</b>
<b>9 REFERENČNÍ SEZNAM.....</b>	<b>61</b>
<b>10 PŘÍLOHY.....</b>	<b>70</b>



# 1 ÚVOD

Z historického pohledu se ve fyzioterapii a rehabilitačním ošetřovatelství využívalo při svalových oslabeních analytické cvičení. Postupem času došlo k rozvoji syntetických metod jako je například PNF či senzomotorická stimulace, které se přidaly, k již známému analytickému cvičení. V neposlední řadě se může použít na ovlivnění svalového oslabení postupů z oblasti fyzikální terapie (elektrogymnastika). V dnešní době se však hledají způsoby, jak oslabené svaly posilovat či regenerovat rychleji a efektivněji pomocí fyziologických mechanismů, jež jsou tělu vlastní.

Mezi tyto nové přístupy z oblasti rehabilitace, potažmo fyzioterapie, můžeme zařadit metodu Blood Flow Restriction (BFR), která se snaží využívat jak metody z minulosti, tak fyziologických mechanismů vytváření zátěžového stresu na svalová vlákna.

Cílem této bakalářské práce je vyhledání a zpracování dostupných informací o metodě BFR a jejich implementace do oboru fyzioterapie. V úvodní části této práce shrnu základní informace z anatomie, fyziologie a patologie svalové soustavy. V další části poté dojde k rozebrání a popsání metody BFR. Třetí část práce bude o kazuistice pacienta a implementaci metody. V poslední části práce se budu věnovat výsledkům a závěrům vyvozených z teoretického přehledu a kazuistiky pacienta.

Hwang a Willoughby (2019) definují BFR jako zavedení zevní manžety na nejproximálnější místo nad svalová oslabení. Říkají, že existuje mnoho mechanismů, kterými může trénink BFR stimulovat hypertrofii kosterního svalstva a zapříčinit růst svalové síly. Mezi tyto mechanismy může patřit zvýšení hormonálních koncentrací, zvýšení v rámci intracelulárních složek signalizačních drah pro svalové bílkoviny (například mTOR), ale také zvýšení v rámci biomarkerů označující aktivitu satelitních buněk.

V nedávné literatuře se ukázalo, že cvičení nízké intenzity s omezeným průtokem krve (BFR) může vyvolat hypertrofické účinky podobné tradičnímu cvičení s vysokou intenzitou odporu. Trénink BFR, který je z dřívějších dob znám také jako „Kaatsu“, lze použít k posílení svalstva u sportovců, ale také ho můžeme zařazovat do rehabilitačních postupů u různých komorbidních faktorů, jako jsou cerebrovaskulární onemocnění, ortopedická onemocnění, obezita, srdeční onemocnění, neuromuskulární onemocnění, metabolické onemocnění a onemocnění dýchacích cest. Tento v naší zemi neznámý

cvičební postup se provádí při velmi nízkých intenzitách se středním omezením krevního průtoku (Hwang & Willoughby, 2019).

Z výše uvedeného se předpokládá, že zvýšení svalové síly a svalového objemu pomocí cvičení BFR s malými váhami je stejně efektivní jako cvičení, kdy se používají střední a velké váhy (Cook, Scott, Hayes, & Murphy, 2018).

V posledních letech byla tedy metoda BFR přijata jako doplněk k tradiční terapii u poranění pohybového aparátu a traumat související s ortopedickými zákroky. Za popularizaci a rozvoj metody vděčíme především Johnnymu Owensovi, M.P.T., který začal využívat BFR u vojáků, kteří utrpěli zranění ve válečném konfliktu. Během několika následujících let byl rozpoznán potenciál metody i v jiných oblastech zdravotnictví (DePhillipo et al., 2018).

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Anatomie svalového systému

V lidském těle se nachází přibližně 600 svalů, jež jsou tvořeny různými svalovými vlákny. Celková hmotnost svalové hmoty je u mužské populace průměrně odhadována na 36 %, zatímco u ženské populace je odhadováno, že svaly váží přibližně 32 % z celkové hmotnosti těla. Když se na to podíváme z pohledu hmotnosti svalů, tak více než polovinu tvoří svalstvo dolních končetin (přibližně 56 %), horních končetin zhruba 28 % a okolo 16 % poté tvoří svalstvo trupu a hlavy (Čihák, 2016).

Základ svalové soustavy je tvořen smršťeníschopnou příčně pruhovanou svalovou tkání, jež je tvořena jednotlivými svalovými vlákny. Tato tkáň je spojena s kosterním aparátem člověka a společně vytváří nervově řízený pohybový aparát (Čihák, 2016).

Svaly se v dnešní době obecně dělí na tři druhy: kosterní, srdeční a hladké. V lidském těle tvoří největší skupinu svaly kosterní, také známe jako příčně pruhované. Tento druh svalstva lze ovládat vůlí. Druhou největší skupinu v těle tvoří hladká svalovina, která nemá příčné pruhování. Tento typ svaloviny, jež je obsažena ve většině dutých orgánů je funkčním syncytiem (soubuním – více spojených buněk dohromady), které obsahuje pacemakery a kde se kontrakce šíří postupně skrze sval. Třetí skupinou je sval srdeční, který je stejně jako kosterní svalstvo tvořen příčně pruhovanou svalovinou, kterou však není možné ovládat vůlí. Tento sval stejně jako hladká svalovina obsahuje pacemakery, v tomto případě specializované buňky, jež zabezpečují rytmické kontrakce bez zevního podnětu (Ganong, 2005c).

#### 2.1.1 Vývoj svalů

Svalstvo kosterní, hladké i srdeční se vyvíjí z materiálu středního zárodečného listu. Paraaxiální mesoderm je místem, kde vzniká kosterní svalovina. Tento paraaxiální mesoderm vytváří somity od okcipitální do křížové krajiny. Hladké svaly vznikají z mesodermu splanchopleury, která je součástí střeva a jeho derivátů a z ektodermu. Hladká svalovina, která je součástí obličeje a přední strany krku pochází z neurální lišty. Místem vzniku srdeční svaloviny je kardiogenní mesoderm splanchopleury, která pochází z okolí srdeční trubice (Sadler, 2011).

Příčně pruhované kosterní svaly vznikají ze somitů a z nesegmentovaného hlavového paraaxiálního mesodermu. Jedná se převážně o svaly skeletu, tělní stěny, hlavy a končetin. Kaudálně od okcipitální krajiny dochází k utváření somitů, jež se odlišují ve sklerotom, dermatom a dvě oblasti pro svaly. Ventrolaterální okraj dermomyotomu je

tvořen jednou z těchto oblastí. Buňky tohoto dermomyotomu přispívají k postupnému utváření myotomu a stěhují se do základů, které vytvářejí končetiny nebo tělní stěnu (hypometrické, hypoxiální svalstvo). Dorsomediální okraj je druhou oblastí dermomyotomu. Buňky tohoto okraje doplňují vytváření myotomu a následně tvoří hluboké zádové svalstvo – epaxiální svaly (Sadler, 2011).

V dalším kroku vývoje dochází k bujení myogenních buněk a následné proliferaci v myoblasty. Délku dělicího období těchto buněk řídí myostatin (Čihák, 2016). Splýváním dochází k vytváření dlouhých, mnohojaderných buněk, kterým říkáme myotuby, a z nich poté vznikají myofibrily. Koncem třetího měsíce je na myofibrilách viditelné příčné pruhování. Svalová vlákna typická pro kosterní sval vznikají migrací jader k povrchu. K podobnému ději dochází v paraaxiálním mesodermu v hlavové krajině, a to kraniálně od okcipitálních somitů (Sadler, 2011).

První svalová vlákna označujeme jako primární. Sekundární svalová vlákna se začínají tvořit okolo primární vláken zhruba v době, kdy dochází k vytváření nervosvalových spojení. Po vzniku jsou primární svalová vlákna většinou pomalý typ svalových vláken. Sekundární vlákna jsou poté spíše vlákna rychlá. V době okolo narození člověka je vytvořený téměř konečný počet svalových vláken. Jak organismus poté roste, tak dochází k nárůstu vláken do délky na svých koncích fúzí s dalšími myoblasty (Čihák, 2016).

Utváření svalů je regulováno pomocí pojiva, do kterého vstupují myoblasty. Toto pojivo vzniká v oblasti hlavy z buněk neurální lišty, kdežto v okcipitální a krční krajině se diferencují ze somitů. V tělní stěně a v končetinách tyto buňky pocházejí ze somatopleury (Sadler, 2011).

Samotné kosterní svaly vznikají z nakupení svalových buněk (svalových blastemů), které jsou rozloženy okolo kostry člověka. Svalové blastemy se rozdělí na několik vrstev a teprve po tomto rozdělení dochází k osamostatnění základů pro jednotlivé svaly. Poté dochází k připojení těchto základů svalů pomocí vaziva ke kostře v místech budoucích začátků a úponů svalu. Tento proces nazýváme vývoj svalu. Spolu s tímto procesem probíhá paralelně proces diferenciací svalové tkáně. Oba tyto procesy jsou řízeny samostatně. Myogenní buňky se obklopují buňkami mesenchymu, které se dále dělí ve vazivové stroma svalu, šlachy a fascie. Vazivové stroma přivádí cévy a nervy ke svalovým vláknům. Z různých studií vyplývá, že nosičem svalově specifické morfogenetické informace je mesenchymová složka svalu. Tato mesenchymová složka

udává, v jakém uspořádání budou svalová vlákna, jaký tvar sval bude mít a kde se bude nacházet (Čihák, 2016).

### 2.1.2 Základní stavba svalu

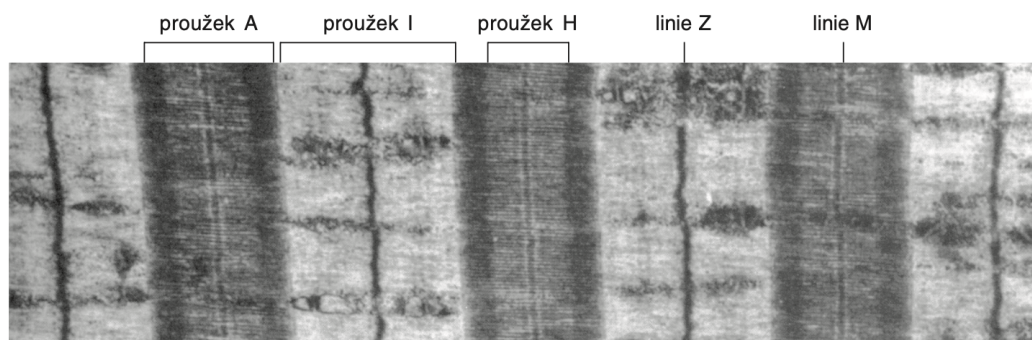
Architektura svalu se vyznačuje velmi konkrétním uspořádáním svalových vláken a přidružené pojivové tkáně (Frontera & Ochala, 2015).

Samotná svalová buňka je relativně velká, protáhlá a cylindricky tvarovaná. Velikost této buňky se pohybuje od 10 mikrometrů do 100 mikrometrů v průměru a do délky od 750 mikrometrů do 71 centimetrů. Kosterní svaly jsou tvořeny spojením velkého množství menších buněk, jež jsou nazývány myoblasty. Pozoruhodným rysem svalové buňky je, že obsahuje více jak jedno jádro. Dále obsahuje mitochondrie, což jsou organely, jež jsou generátorem energie pro pracující sval (Sherwood, 2016).

Vlastním kontraktilním aparátem svalové buňky jsou myofibrily. Myofibrily jsou dlouhé protáhle buňky, jež jsou složeny z velkého množství aktinu a myozinu. Aktin a myozin jsou uloženy v sarkoplazmě (Rokyta, 2016).

Aktinová a myozinová vlákna jsou hlavním kontraktilním aparátem svalové buňky. Jedná se o vysoce polymerizované proteiny, které díky specifickému postavení způsobují proužkování myofibril. Díky tomuto specifickému postavení vzniká proužkování svalových vláken, které je viditelné pod mikroskopem (Rokyta, 2016).

Rokyta (2016) říká, že funkční jednotkou příčně pruhovaného svalu je sarkomera. Tato sarkomera je z obou stran ohraničená tmavou Z – linií. Z – linie je tvořena silnou přepážkou, která je tvořena vazivem. Na tuto vazivovou přepážku se poté ukotvují aktinová vlákna. Rovnoběžně s vlákny aktinu jsou uložena myozinová vlákna, která jsou fixována na střed sarkomery a tvoří jemnou M – linii. V tomto komplexu dochází k částečnému překrývání aktinových a myozinových vláken. Z tohoto překrývání poté vychází charakteristické proužkování, jež je typické pro příčně pruhovaný sval. Jako stejnorodé zóny (izotropní, I – proužky) jsou ve svalovém vlákně označována místa, kde se vyskytují pouze aktinová vlákna. Tyto I – zóny jsou uprostřed přepůleny Z – linií. Jako nestejnorodé, anizotropní či A – proužek se ve svalovém vlákně nazývají místa, kde dochází k překrývání aktinových a myozinových vláken. Dále ve svalovém vlákně rozlišujeme H – zónu, což je zóna, kde se vyskytují pouze myozinová vlákna. Tato H – zóna je součástí A – proužku a je dělena M – linií (Obr. 1).



Obrázek 1. Elektromikroskopická fotka lidského m. gastrocnemius – příčné pruhování (Ganong, 2005c)

Samotné aktinové vlákno tvoří komplex aktin, tropomyozin a troponin. Aktin je globulární bílkovina, která má vzhled dvoušroubovice. Každou takovou dvoušroubovici tvoří zhruba 400 kuliček aktinu. Každá takto vzniklá dvoušroubovice je obtočena stejně dlouhým proteinem nebulinem. K tomuto komplexu poté přiléhají svými konci molekuly tropomyozinu. Na tropomyozinovém vláknu leží v pravidelné vzdálenosti molekuly troponinu (Silbernagl & Despopoulos, 2004). Rokyta (2016) označuje troponin jako regulační bílkovinu, jež umožňuje po navázání vápenatých iontů ( $\text{Ca}^{2+}$ ) aktivaci celého komplexu. Tenká aktinová vlákna jsou asi 2x menší než tlustá myozinová vlákna a ve svalovém vláknu se jich nachází více než myozinových vláken (Ganong, 2005c).

Bílkovina myozinu je tvořena svazkem asi 300 molekul myozinu. Každá z nich má charakteristický tvar obsahující hlavu, ohebný krk a tyčinkovitou (vláknitou) část (Silbernagl & Despopoulos, 2004). Myozinové molekuly se do sebe zaplétají a tvoří myozinové vlákno. K reakci s aktinovým vláknem využívá myozin hlavy spolu s krčkem. Někdy se proto můžeme dočíst, že se hlava s krčkem označují jako příčný můstek. Hlava myozinu má schopnost štěpit ATP a je tak schopná zajišťovat energii pro svalový stah (Rokyta, 2016).

Aktin a myozin můžeme označovat jako základní kontraktilní bílkoviny svalu. Díky jejich funkci dochází ke zkracování svalu, jehož důsledkem je samotný pohyb. Sval se umí zkracovat, ale také povolovat (relaxovat) do své původní délky. Na molekulární úrovni tyto funkce zajišťují dvě bílkoviny – titin a nebulin (Rokyta, 2016).

Titin (connectin) je až jeden mikrometr dlouhý protein. Je to jeden z nejdelších známých polypeptidů a jeho váha v samotném svalu představuje zhruba 10 % jeho hmoty. Titin prochází od Z – linie ke které je ukotven svým aminoskupinovým koncem celou sarkomerou až do M – linie, ke které je ukotven koncem karboxylovým (Silbernagl & Despopoulos, 2004). Titin funguje jako „zábradlí“ pro myozinová vlákna, která jsou

tímto zábradlím fixována proti bočnímu posunu při kontrakci. Další funkcí titinu je zabezpečování kontinuity sarkomery při relaxaci a tvorba elastického odporu při protažení svalu (Rokyta, 2016).

Nebulin je bílkovina, která je uložena vedle aktinových myofilament. Jeho funkce ve svalové buňce je stabilizace aktinových myofilament a udržování jejich pravidelného rozložení kolem vláken myozinu. Nebulin stejně jako titin klade v buňce při protažení elastický odpor (Rokyta, 2016).

Sarkolema je buněčná membrána, jež pokrývá sarkoplazmu, buněčná jádra, mitochondrie a myofibrily. Tato buněčná membrána má ve svém povrchu na mnoha místech vychlípeniny, které směřují kolmo dovnitř ke svalovým fibrilám. Tyto kolmo dovnitř směřující vychlípeniny nazýváme transverzální tubuly nebo T – systém. Dále se ve svalové buňce nachází endoplazmatické retikulum, jež má zvláštní tvar a nazývá se sarkoplazmatické retikulum (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Ganong (2005c) říká, že je T – systém pokračováním membrány svalového vlákna, které utváří mřížku pro průnik jednotlivých fibril. Sarkoplazmatické retikulum je charakterizováno jako nepravidelný obal každého vlákna mající zvětšené terminální cisterny. Ty jsou v místě styku proužků A a I ve velmi blízkém vztahu k T systému. Vztah těchto dvou struktur se poté označuje jako tzv. triáda. Funkcí T – systému je co nejrychlejší přenos akčního potenciálu ke všem fibrilám. Funkcí sarkoplazmatického retikula je kontrola pohybu  $Ca^{2+}$  a metabolismus svalu.

Důležitou součástí celé svalové buňky je dystrofin – glykoproteinový komplex. Komplex je tvořen velkou bílkovinou zvanou dystrofin. Dystrofin je protein, díky kterému dochází ke spojení aktinu s  $\beta$  - dystroglykanem v sarkolemě.  $\beta$  - dystroglykan je poté připojen k lamininu  $\alpha$ - dystroglykanem. Čtyři transmembránové glykoproteiny poté tvoří komplex s dystroglykany. Toto spojení je důležité pro poskytnutí strukturální podpory a síly myofibrilám. Tento komplex je pro nás zajímavý ještě z jiného úhlu pohledu. Vrozené vady dystrofin – glykoproteinového komplexu vyvolávají hodně forem svalových dystrofií (Ganong, 2005c).

Obecně však lze napsat, že je sval složen z příčně pruhované kontraktilní svalové tkáně a vaziva. Svalová vlákna jsou pokryta endomysiem (vazivovou vrstvou na povrchu). Desítky svalových vláken vytváří snopce, jež se nazývají primární. Tyto svalové snopce jsou poté znovu kryty vazivem – epimysiem. Z primárních svalových snopců se poté po spojení vytváří sekundární svalové snopce, které jsou již kryty poměrně

silnou vrstvou vaziva – perimysiem. Spojením všech snopců vzniká sval, jenž je charakteristický vazivovým obalem neboli svalovou povázkou, které říkáme fascie (Naňka & Elišková, 2015).

Čihák (2016) dále dodává, že jednou ze základních struktur svalu je svalová šlacha. Tato svalová šlacha je pevné, silné vazivo, jež je složeno z těsně k sobě přiložených kolagenních fibril, mezi kterými jsou zakomponovány šlachové buňky. Stavebními jednotkami šlachy jsou snopce obklopené vmezeřeným vazivem. Množství těchto stavebních jednotek může být různé podle velikosti šlachy. Po spojení se vytvářejí snopce vyšších řádů, které jsou spojovány a obaleny vazivem (peritenoniem internem), jež pak na povrchu vytváří kontinuální obal (peritenonium externum). Ploché šlachy, které jsou rozložené do šířky se nazývají aponeurózy.

Pevnost šlach v lidském těle je značná. Dle Naňky a Eliškové (2015) je šlacha schopná unést od 6 do 12 kg na 1 mm<sup>2</sup>.

Spojení svalů a šlachy je zajištěno myotendinosní junkcí na mikroskopické úrovni. Jedná se o spojení mezi šlachami svalů a jeho svalovými vlákny. Toto spojení zajišťuje pevnost přechodu vláken svalů ve vazivové struktury. Endomysium, perimysium a epimysium se mění v silné vazivové snopce, které poté pokračují ve šlachu (Čihák, 2016).

### **2.1.3 Druhy svalů v lidském těle**

Svaly se skládají z buněk, které na podráždění reagují zkrácením. Jak již bylo ve zkratce zmíněno v úvodní kapitole této teoretické části, tak v lidském těle rozeznáváme tři druhy svalových vláken.

První skupinou je svalstvo kosterní neboli svalstvo příčně pruhované. Tyto svaly jsou hlavním prostředkovatelem lokomoce, ale podílejí se například i na dýchací funkci. Kosterní svaly obsahují motorickou ploténku, která je důležitou součástí, protože na ní dochází k přenosu vzruchu z motoneuronu na svalové vlákno. Svalová vlákna příčně pruhovaných svalů jsou cylindrická tvarovaná dlouhá vlákna, jejichž délka může být až 15 cm. Některé svaly tohoto druhu mohou obsahovat mitochondrie, ale není to pro tento sval podmínkou. Sarkoplazmatické retikulum je u této skupiny velmi vyvinuté. Charakteristickou reakcí na podnět je odstupňovaná odpověď. Další charakteristikou tohoto druhu svalu, je že se kosterní svalstvo obsahuje mnoho buněčných jader a může tetanizovat (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Druhou skupinou je sval srdeční, což je také příčně pruhovaný sval, který však není ovladatelný vůlí. Tento sval je součástí oběhové soustavy člověka (Silbernagl &



Despopoulos, 2004). Jak již název napovídá, tento druh svalu můžeme nacházet pouze v srdci. Srdeční svalovina sdílí některé společné znaky se svalovinou kosterní, ale i s hladkou svalovinou. Stejně jako kosterní svaly je srdeční sval příčně pruhovaný. Srdeční sval obsahuje velké množství mitochondrií a myoglobinu (Sherwood, 2016). Silbernagl a Despopoulos (2004) dále dodávají, že srdeční sval neobsahuje motorickou ploténku, vlákna svalu jsou větvená, buněčné jádro je pouze jedno, obsahuje pacemaker – SA uzlík, má hodně mitochondrií, sarkoplazmatické retikulum přiměřeně vyvinuté, odpověď na podráždění je v případě srdečního svalu vše nebo nic a není tetanizovatelný.

Třetí skupinou je hladká svalovina. Ganong (2005c) říká, že se anatomicky tato skupina liší od kosterního a srdečního svalu hlavně tím, že nemá příčné pruhování. Hladká svalovina je obsažena ve většině vnitřních orgánů a krevních cév. Stejně jako srdeční svalovina neobsahuje ani hladká svalovina motorickou ploténku, vlákna v hladkém svalu jsou vřetenovitá a krátká (max. 0,2 mm), obsahují pouze jedno buněčné jádro, má málo mitochondrií, sarkoplazmatické retikulum je velmi málo vyvinuté a je stejně jako kosterní svalstvo tetanizovatelné. Pacemaker je u hladké svaloviny zčásti spontánně rytmicky činný (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Svalstvo v lidském těle je složeno ze 3 druhů svalových vláken. Jednoho pomalého typu a dvou druhů rychlého typu. Červená vlákna ve svalu jsou tvořena pomalými vlákny typu I. Odpověď červených vláken na jeden akční potenciál má dlouhou odezvu a trvá poměrně dlouho (až 200 milisekund). Tento pomalý typ vláken není schopen vyvinout velkou sílu, ale zato dokáže udržovat napětí dlouhou dobu bez toho, aniž by se vyčerpal. Červená svalová vlákna pracují pomocí oxidativního způsobu metabolismu, což znamená, že dochází k neustálé obnově ATP pro pracující sval podmíněné neustálou dodávkou kyslíku a dostatkem glukózy. Vlákna mají velmi bohatou síť kapilár a sarkoplazma obsahuje velké množství mitochondrií a myoglobinu (Kittnar, 2011).

Odpověď rychlých bílých vláken typu II na jeden akční potenciál má krátkou latenci, odpověď trvá krátkou dobu, ale za dosáhnutí větší síly. Specializace těchto vláken je na jemné a přesné pohyby. Rychlá vlákna se dále dělí podle toho, jak jsou odolné proti únavě. Unavitelná rychlá vlákna typu IIB využívají pro svoji kontrakci vysoké zásoby glykogenu, kdy jej dokážou zpracovat na ATP bez přísunu kyslíku. Tyto rychlá svalová vlákna pracují anaerobně a dochází k tvorbě laktátu. Po vyčerpání všech zásob musí regenerovat několik hodin k znovunabytí své funkčnosti. Únavě odolná rychlá vlákna typu IIA jsou kombinací předešlých dvou svalových vláken. Tyto vlákna kombinují

relativně dobrou dynamiku svalové kontrakce a dobrou aerobní kapacitu. Rychlá vlákna typu IIA dokáží odolávat únavě po dobu několika minut (Kittnar, 2011).

#### **2.1.4 Funkce svalů**

Základní svalovou funkcí je stah (kontrakce) a povolení (relaxace). Tyto dvě funkce jsou projevem činnosti svalů. Podmínkou mechanického stahu svalu je podráždění (excitace), v našem případě příchod vzruchu na sarkolemu – membránu svalového vlákna. Pro kosterní svalovinu se vzruch přenáší motorickými vlákny na nervosvalovou ploténku svalu. Poté dochází k vyplavení acetylcholinu, jenž je v našem případě mediátorem svalové kontrakce (Merkunová & Orel, 2008).

Rychlost kontrakce může být dle svalových vláken dvojího typu. Některá svalová vlákna disponují rychlou svalovou kontrakcí a některá zase pomalou svalovou kontrakcí. Kontrakce u rychlých svalových vláken proběhne zhruba do 25 milisekund, zatímco u pomalých vláken se bavíme o rychlosti kontrakce do 75 milisekund (Čihák, 2016).

Naňka a Elišková (2015) říkají, že se v lidském těle nerozeznávají kontrakce jen dle rychlosti, ale mohou se rozeznávat také dle dvou typů svalového stahu:

1. Kontrakce izotonická – tento druh kontrakce je charakteristický tím, že se mění délka svalů, ale současně nedochází ke změně napětí (tonu). Existují dva podtypy, a to kontrakce koncentrická, při níž dochází ke zkrácení svalu. Druhým podtypem je kontrakce excentrická, při níž dochází k prodlužování svalu.
2. Kontrakce izometrická – kontrakce je charakteristická tím, že nedochází ke změně délky svalu, ale mění se napětí – svalový tonus. Sval jako takový má i při úplném klidu určité napětí a poté hovoříme o klidovém napětí svalu.

Tento druh kontrakce, kdy se mění napětí, ale nemění se délka, je charakteristický pro různé výdrže (Čihák, 2016).

#### **2.1.5 Svalová mechanika**

Pohyb části lidského těla je souhrou několika svalů, jež jsou rozprostřeny v okolí kloubů. Tyto svaly jsou následně rozděleny do několika skupin. Sval, který je iniciátorem pohybu, se nazývá agonista. V protilehlém směru proti agonistům působí svaly, které máme nazvané jako antagonisté. Synergistické svaly jsou spoluhráči, kteří nám pomáhají při jednom pohybu. Jestliže však mluvíme o svalové souhře, tak prvním krokem musí být určení svalu, který je agonistou pro daný pohyb. Takový sval nazýváme jako hlavní. Ostatní svaly v dané skupině vykonávající pohyb jsou svaly pomocné (Naňka & Elišková, 2015).

Jestliže probíhá nějaký pohyb, tak je uvolněná jen ta část, která daný pohyb vykonává. Ostatní části jsou fixovány činností ostatních svalů. V takovém případě mluvíme o svalech fixačních. Tyto svaly umožňují pohyb dané části tak, že stabilizují tu část těla, ze které pohyb vychází (Čihák, 2016).

Souhra všech částí nám dává výsledný pohyb. Zároveň je důležité se zmínit o tom, že dohromady jsou svaly, kosti a klouby složitý pákový systém. Sval, který se účastní pohybu v kloubech, bude tedy pracovat na principu jednozvrtné nebo dvojzvrtné páky. Jestliže sval působí pouze na jeden kloub, tak hovoříme o jednokloubovém svalu. V případě že sval bude působit na dva a více kloubů, tak již hovoříme o svalu vícekloubovém (Naňka & Elišková, 2015).

### **2.1.6 Růst svalové hmoty**

Svalstvo v lidské těle má schopnost růstu, jestliže je pravidelně zatěžováno anaerobním, krátkodobým a vysoce intenzivním tréninkem. Výsledný nárůst svalové hmoty poté pochází primárně ze zvětšení průměru rychlých glykolytických vláken. Větší nárůst poté vychází ze zvýšené syntézy myozinových a aktinových vláken, což umožňuje větší interakci mezi svalovými můstky a následně zvýší kontraktilní sílu svalu. Mechanické namáhání vyvolané silovou prací na svalové vlákno aktivuje signální proteiny, které poté spustí geny zodpovědné za zvýšenou syntézu kontraktilních proteinů. V případě intenzivního silového tréninku může dojít až k trojnásobnému nárůstu svalové hmoty (Sherwood, 2016).

V malé míře se u svalového růstu uplatňuje také svalová hyperplazie, což je zmnožení svalových vláken. Důležitou součástí je i možnost nárůstu svalu do délky pomocí vytváření nových sarkomer na začátku i konci svalu. Růst svalu do délky je však podmíněn dlouhodobým a systematickým zatěžováním svalů nad určitou a u každého člověka jinou mez (Kittnar, 2011).

Walters (2017) dodává, že svalový růst je regulován signálními transdukčními cestami. Tyto cesty snímají a vyhodnocují vnější či systémové potřeby, vůči kterým regulují různé buněčné funkce. Kosterní sval má schopnost „rozhodovat se“, zda potřebuje hypertrofovat (růst) v důsledku nové potřeby práce. Poté dochází k integraci těchto potřeb společně s protichůdnými informacemi včetně informace, kolik energie ve svalu zůstává pro jeho růst. Svaly reagují na mechanickou stimulaci, či mechanodestrukci pomocí konfrontačních změn proteinů během svalové kontrakce a relaxace. Díky těmto změnám potom vyhodnocují energetické rezervy pro růst svalu.

Předpokládá se, že za růst svalové hmoty mohou tři primární faktory. Jedná se o mechanickou stimulaci, svalové poškození a metabolický stres (Schoenfeld, 2010). První dva zmíněné jsou již popsány v předešlých odstavcích této kapitoly.

Mnoho studií podporuje anabolickou roli metabolického stresu, jenž bývá vyvolán svalovou prací. V některých z těchto studií se dokonce domnívají, že akumulace metabolitů může mít větší význam při hypertrofii svalu než silový trénink. Ačkoliv se metabolický stres nejeví jako podstatná součást svalového růstu, tak existuje mnoho důkazů, že může mít významný hypertrofický účinek (Schoenfeld, 2010).

Metabolický stres je projevem svalové práce, která se spoléhá při produkci ATP na anaerobní glykolýzu, což má za následek tvorbu a hromadění metabolitů, jako jsou laktát, vodíkové ionty, anorganické fosfáty, kreatin a mnoho dalších. Bylo také prokázáno, že svalová ischemie vytváří značný metabolický stres a potenciálně vytváří přídavný hypertrofický účinek v kombinaci s tréninkem ve střední či velké intenzitě. Stresem vyvolané mechanismy, které vyvolávají hypertrofickou odpověď, zahrnují změny v hormonálním prostředí, produkci volných radikálů a zvýšenou aktivitu transkripčních faktorů zaměřených na růst svalové hmoty. Rovněž se předpokládá, že vyšší kyselé prostředí spolu s glykolytickým zatížením může vést ke zvýšené degradaci vláken a větší stimulaci sympatiku, čímž se zvýší adaptivní hypertrofická odpověď (Schoenfeld, 2010).

### **2.1.7 Regenerace svalů**

Regenerační schopnosti svalů jsou velmi omezeny. Množství svalových elementů se celý život nemění. Přesto však lze navodit regenerační schopnosti (Čihák, 2016).

Když dojde k poškození svalu, tak je dle Sherwoodové (2016) možná omezená oprava i přesto, že se svalové buňky nemohou mitoticky dělit, aby mohlo dojít k nahrazení buněk poškozených. Malá populace neaktivních svalově specifických buněk, které nazýváme satelitní, leží v těsné blízkosti povrchu svalu. Jestliže dojde k poškození svalového vlákna, tak zároveň s tímto poškozením dochází k lokálnímu uvolnění faktoru, jenž aktivuje satelitní buňky. Po aktivaci satelitních buněk dochází k dělení satelitních buněk, jenž vytvářejí myoblasty. Tyto nově vytvořené myoblasty jsou stejné nediferencované buňky, které v lidském těle formovaly sval během embryonálního vývoje. Skupina těchto nově vytvořených myoblastů fúzuje a vytváří velkou vícejadernou buňku, která okamžitě začíná vytvářet intracelulární aparát, jenž je charakteristický pro sval. Intracelulární aparát poté diferencuje na zralé svalové vlákno. Jestliže však dojde k rozsáhlému poranění, není tento mechanismus dostačující k úplnému nahrazení všech

poškozených svalových vláken. V takovém případě svalová vlákna reagují spíše mechanismem hypertrofie.

Čihák (2016) dodává, že je tento mechanismus možný jenom za předpokladu, že nedojde k poškození stroma svalu, nervového zásobení a cévního zásobení. Pokud jsou poškozeny všechny složky svalu, tak je hlavním systémem opravy proliferace vaziva a poškozené místo je zhojeno jizvou.

Transplantace satelitních buněk nebo myoblastů může představovat jeden z mála záblesků naděje pro pacienty trpící svalovou dystrofií (Sherwood, 2016).

### **2.1.8 Pomocná zařízení svalů**

Pomocná zařízení svalů je velmi široký pojem, jenž zahrnuje svalové fascie, tíhové váčky, šlachové pochvy a svalové kladky (Čihák, 2016).

Fascie je vazivová blána (různé tloušťky) obalující svaly. K svalům je přichycena pomocí řídkého vaziva. Úkolem samotné fascie je jednak fixace samotného svalu, ale také zajištění klouzavého pohybu v obalu. Fascie je tvořena kolagenními vlákny probíhajícími příčně k svalovým snopcům. Ke skeletu fixují fascie osteofasciální septa, která díky svému průběhu oddělují jednotlivé svalové skupiny (Naňka & Elišková, 2015).

Stecco a Schleip (2016) popisují svalovou fascii jako plášť, list či seskupení pojivových tkání, jenž bývají pod kůží za účelem upevnění a oddělení svalů a vnitřních orgánů. Toto anatomické pojetí slouží převážně k orientaci při popisu jednotlivých fasciálních listů, či při provádění jednotlivých histologických a morfologických analýz.

Bursae synoviales (tíhové váčky) jsou váčky velikosti nejčastěji okolo 1 až 3 cm připomínající stavbou šlachové pochvy. Tíhové váčky jsou uvnitř vyplněny synoviální membránou, která má na zevním povrchu vazivovou vrstvu. Vnitřní prostředí této synoviální membrány je vyplněno tekutinou. Nejčastější uložení tíhových váček je okolo kloubů nebo mezi kloubním pouzdrem a svalem či šlachou. Jejich uložení mezi těmito strukturami usnadňuje pohyb a tření okolních orgánů a struktur (Naňka & Elišková, 2015).

Dalším pomocným zařízením samotného svalu jsou šlachové pochvy (vaginae tendinum). Tyto pochvy jsou místa, či prostory vystlané synoviální membránou nacházející se podél šlach. Nacházejí se převážně tam, kde musí dlouhá šlacha svalu procházet úzkým kanálem (např. canalis carpi). Tuto šlachovou pochvu tvoří dva plynule přecházející synoviální listy. Vnitřní list (epitonium) naléhá přímo na šlachu. Vnější list (peritenonium) obaluje jak samotnou šlachu, tak i ke šlaše přiléhající vnitřní list. Mezi

oběma listy je mizivé množství synoviální tekutiny, která usnadňuje klouzavý pohyb. Přechod mezi oběma listy zajišťuje dvojitá podélná řasa (mesotenonium) (Čihák, 2016).

K připojení šlach ke kosternímu podkladu je využíváno svalových kladek (trochleae musculares). Svalové kladky jsou krátké fibrosní šlachové pochvy, díky nimž se může šlacha úhlovitě ohýbat. V podstatě se jedná o očko vaziva, jež je spojeno s kostí. Synoviální tekutina zmírňuje tření mezi očkem a šlachou (Čihák, 2016).

### **2.1.9 Cévní zásobení a výživa svalů**

Svalová hmota lidského těla je velmi bohatě protkána cévami (tepny, žilami, lymfatickými cévami). Všechny tyto cévy vstupují a vystupují do a ze svalu v místě, které známe jako nervosvalový hilus. Společně s cévami vstupují a vystupují stejnou cestou do a ze svalu i nervy. Nervosvalový hilus však není jediné místo, kudy do svalu cévy vstupují. Po vstupu cév do svalu dochází k velmi rozsáhlému rozvětvení a dalšímu pokračování těchto rozvětvených cév (vlásečnic) podél svalových vláken. V klidovém stavu svalu je část vlásečnic uzavřena a k jejich otevření je potřeba svalové práce. Krev protéká svalem při práci mnohonásobně více, a to až devítinásobně (Naňka & Elišková, 2015).

Šlacha jsou oproti svalům zásobeny poměrně chudě. Šlacha má své krevní i mízní cévy. Určitá část cév přicházející ke šlachám má však společné zásobení s periostem kostí a se svaly v místě úponu šlacha. Pro dlouhé šlacha přichází cévní zásobení z výše zmíněných šlachových pochev (Čihák, 2016).

Výživa svalů je spojená se svalovou prací. Aby mohl sval pracovat potřebuje energii. Prvním využitelným zdrojem energie pro sval je ATP. Zásoba ATP ve svaly při jeho práci vydrží zhruba na 1 až 2 sekundy. ATP však může být a je doplňováno pomocí reakcí ADP s kreatinfosfátem. Lidské tělo má zásobu kreatinfosfátu přibližně na 7 až 8 sekund. Poté musí být doplňován, a to především odbouráváním volných mastných kyselin z krve. Při krátkodobých výkonech je však mnohem důležitějším zdrojem glukóza. Při dlouhodobé svalové činnosti je zdrojem energie aerobní fosforylace, kdy dochází ke štěpení za přítomnosti kyslíku. Štěpení zdrojů energie pro sval je však možný i bez přítomnosti kyslíku, kdy je proces rychlejší, ale z glukózy vznikne mnohem méně ATP než za přítomnosti kyslíku (anaerobní glykolýza) (Rokyta, 2016).

Nevýhoda vytváření zdrojů energie pro sval bez přítomnosti kyslíku je, že současně s energií vzniká kyselina mléčná (laktát), která musí být ze svalu transportována. Takto vytvořená kyselina mléčná slouží poté jako zdroj energie pro srdeční sval. Jestliže dojde k extrémnímu zatížení svalu, tak začíná sval využívat jako

zdroj energie vlastní glykogen, kdy v celém svalovém systému je glykogenu uloženo zhruba 300 až 400 gramů (Rokyta, 2016).

#### **2.1.10 Atrofie svalů**

Svalová atrofie je velmi rozšířená, protože je komplikací mnoha nemocí. Ding, Dai, Huang, Xu, & Zhong (2018) rozděluje ve svém článku dělí atrofie svalů na tyto typy:

- Difuzně dekondiční atrofie
- Mikrogravitační nebo imobilizační atrofie
- Atrofie z důvodu stárnutí nebo chronických onemocnění

Podvýživa, svalová inaktivita, stárnutí a v podstatě jakékoli vážné onemocnění nebo zranění způsobují atrofii vláken kosterního svalstva, což vede ke ztrátě svalové hmoty. Tento chorobný proces, který se nazývá atrofie, je velmi rozšířený zejména u starší populace a může výrazně narušit zdraví i kvalitu života, způsobovat slabost a únavu, narušovat celotělový metabolismus, zpomalit zotavení z akutního stavu nemoci či úrazu, zvýšit nemocnost a úmrtnost na chronická onemocnění, zvýšit riziko pádů a taktéž prodloužit pobyty v nemocnici a ztrátu soběstačnosti (Ebert, Al-Zougbi, Bodine, & Adams, 2019).

Svalová tkáň, jak již bylo popsáno výše, zaujímá v lidském těle přibližně 40 % celkové hmotnosti. Je to největší úložiště aminokyselin, které mohou být za určitých podmínek využívány i jinými orgány. V reakci na fyzické nebo patologické podněty mění svalová tkáň obsah vlákniny, kapilární distribuci a složky intracelulární pojivové tkáně. Všechny tyto změny mohou vést k patologickým následkům jako je hypotrofie nebo atrofie. Svalový metabolismus je důležitý pro dynamickou rovnováhu odbourávání a syntézy bílkovin (Ding, Dai, Huang, Xu, & Zhong, 2018).

Lepley L. K., Davi, Burland a Lepley A. S. (2020) píšou, že je svalová hmota udržována prostřednictvím regulované rovnováhy mezi syntézou a rozkladem svalových bílkovin. V tomto procesu však může být narušena jakákoliv strana této rovnováhy. Většina atrofických stavů je považována za kombinaci snížené syntézy svalových bílkovin a zároveň zvýšeného odbourávání bílkovin ze svalu. Při sníženém používání svalů se zdá být příčinou úbytku svalové hmoty snížená syntéza svalových proteinů. Vyjádříme-li se konkrétněji, tak nepoužívání svalů vede k anabolické rezistenci, která snižuje schopnost kosterního svalstva účinně zvyšovat syntézu bílkovin v reakci na příjem potravy. V určitých scénářích, kdy jedinec například přestane být fyzicky aktivní, ale zachová si stejné stravovací návyky, dochází k pozvolnému narůstání anabolické rezistence. Zároveň s nárůstem anabolické rezistence dochází k zvýšené rezistenci

kosterních svalů přijímat a zabudovávat bílkoviny a aminokyseliny. V důsledku těchto pochodů dojde k rozvoji atrofie.

Za rovnováhu mezi syntézou a odbouráváním bílkovin jsou zodpovědné dvě různé signální dráhy proteinkinázy B (AKT). Syntéza svalového proteinu je řízená cestou AKT/mTOR (cíl rapamycinu u savců). Dráha AKT/FOXO (O podskupina FOX transkripčních faktorů) reguluje proces degradace. Klíčovým faktorem zapojeným do vzájemné interakce mezi těmito dvěma dráhami proteinkinázy je myostatin. Nadměrná exprese myostatínu indikuje svalovou atrofii snížením regulace fosforylace AKT a FOXO transkripčních faktorů. Když je syntéza nižší, než degradace vzniká atrofie následovaná sníženou svalovou silou a funkcí (Ding et al., 2018).

## 2.2 Neurofyziologie svalového systému

Pohyb člověka je velmi složitý, ale zároveň jeden z nejzákladnějších procesů těla. Schopnost pohybu se vyvíjí již v brzkém nitroděložním období a zároveň dochází k současnému vývoji nervové soustavy. Činnost motorického systému se projevuje svalovou aktivitou, díky které dochází u člověka k zajištění vzpřímené polohy, umožňující provádění pohybů potřebných k přesunu člověka, k získání potravy, rozmnožování, ale i k práci (Ambler, Bednařík, & Růžička, 2010).

Kosterní svalstvo je inervováno motorickými nervy. Po podráždění motorického nervu následuje podráždění svalu a jeho následná kontrakce. Excitovaná buňka přenáší podráždění pomocí axonů na jinou buňku, která je v kontaktu se svalovým vláknem. Místo takového kontaktu mezi buňkou a svalovým vláknem se nazývá nervosvalová nebo motorická ploténka. Samotný proces přenosu poté nazýváme jako nervosvalový přenos (Keynes, Huang, & Aidley, 2011).

### 2.2.1 Nervové zásobení svalů

**Motorickou inervaci** svalů zajišťují nervová vlákna, která začínají jako výběžky motorických neuronů vycházejících z míchy a mozkového kmene. Ke svalu putují nervová vlákna ve smíšeném nervu, pronikají jeho sarkoplazmou a dohromady vytvářejí specializovaný útvar (motorickou ploténku), kde dochází ke změně nervového vzruchu na svalový (Naňka & Elišková, 2015).

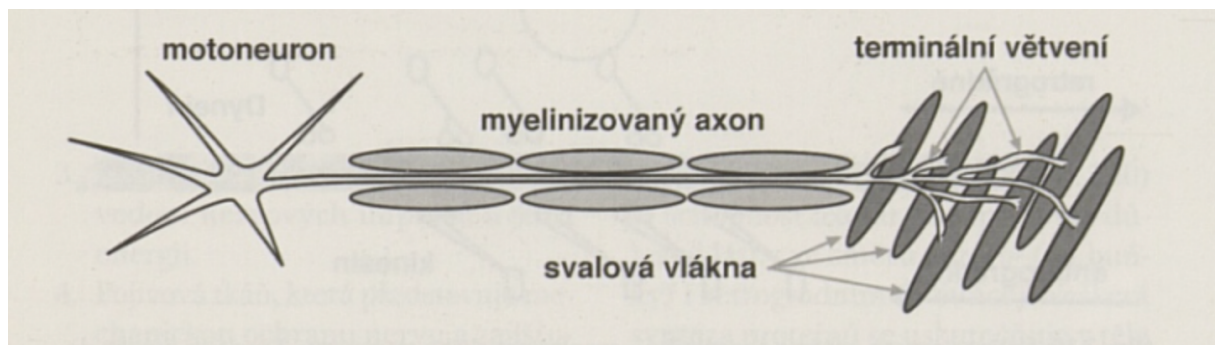
Keynes, et. al. (2011) píšou, že každý jeden motorický neuron větví své axony tak, aby zásobovaly vzruchy určitý počet svalových vláken (Obr. 2). Axony ztrácí v místě kontaktu se svalovou buňkou myelinovou pochvu, větví se na jemné koncovky, které poté probíhají na krátkou vzdálenost po povrchu dané buňky.



Naňka a Elišková (2015) doplňují, že se jedno nervové vlákno může větvit až k 150 svalovým vláknům a dohromady vytváří funkčně nervový celek – motorickou jednotku. Svalovou sílu poté určuje množství aktivovaných motorických jednotek.

Počet svalových vláken inervovaných jednou motorickou jednotkou je variabilní. U svalů zajišťující přesné a jemné pohyby (například. svaly oka) je v motorické jednotce 3 až 6 svalových vláken. Na druhou stranu se popisuje, že některé zádové svaly mohou mít více než 165 svalových vláken v jedné motorické jednotce (Ganong, 2005c).

Motorická jednotka obsahuje vždy svalová vlákna jednoho typu. Motorické jednotky se vzájemně prolínají, překrývají a jsou prostorově rozloženy. Díky tomuto postavení je celý sval aktivní i při činnosti malého počtu motorických jednotek (Čihák, 2016).



Obrázek 2. Motorická jednotka (Ambler et al., 2010).

**Senzitivní inervace** zajišťuje vedení dvou modalit. První modalitou je propriocepce (hluboké čítí), kdy se jedná o informace o poloze a napětí (Naňka & Elišková, 2015). Propriocepce je vedena  $A\alpha$  vlákny, která jsou silná myelizovaná. Tyto vlákna vedou vzruch rychlostí přibližně 70 až 120 m/s (Ganong, 2005c). Druhou modalitou je nocicepce, kdy mluvíme o vlastních senzitivních podnětech a bolesti (Naňka & Elišková, 2015).

Většina senzitivních vláken vede informaci o síle kontrakce a napětí svalových vláken a šlachových snopců. Takto specializované útvary na svalových vlákních se nazývají svalová vřeténka a šlachová tělíska (Čihák, 2016).

Naňka a Elišková (2015) píšou, že je propriocepce realizována velmi malými útvary, které začínají na částech svalových vláken – svalové vřeténko. Podobný útvar můžeme nalézt také ve šlaše – šlachové tělísko (Golgiho šlachové tělísko). Svalová vřeténka jsou drážděna protažením svalu a svalovým tonem (napětím). Informace o aktuálním protažení jsou poté předávána do míchy a vyšších mozkových center. Svalová vřeténka mají tedy ochranný charakter proti přetažení svalových vláken. Jestliže

má dojít k nadměrnému protažení, tak věténko na daná svalová vlákna působí inhibičně, a naopak na antagonistu (protihráče) aktivačně.

Nociceptivní vlákna začínají na povrchu svalových vláken a přenášejí převážně pocity bolesti, tepla a tlaku.

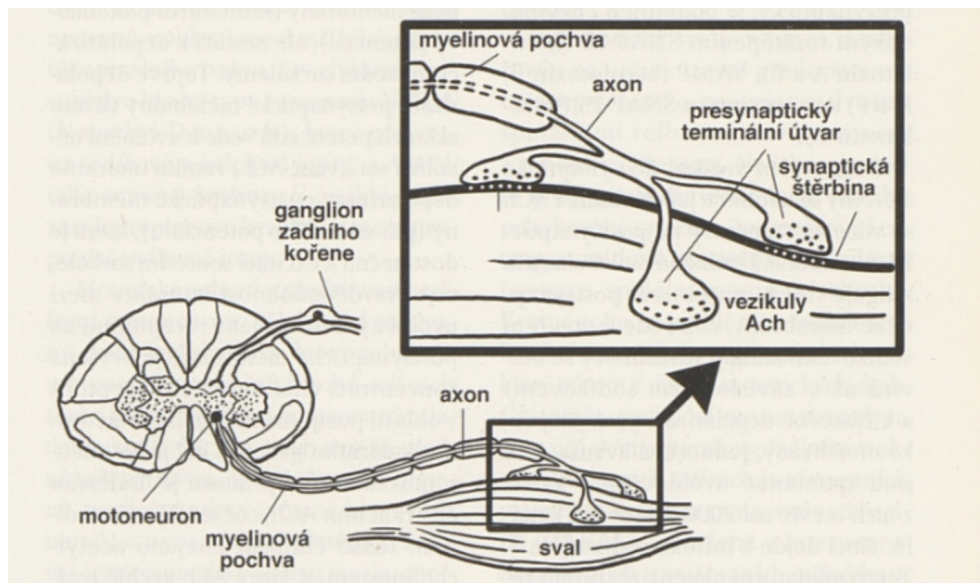
**Autonomní vlákna** neinervují přímo svalová vlákna jako takové. Tyto vlákna inervují především stěny krevních cév, dokážou měnit jejich průsvit a tím regulovat průtok krve svalem (Čihák, 2016).

### 2.2.2 Nervosvalové spojení

Transfer informací z nervu na sval probíhá pomocí specializovaného spojení na tzv. nervosvalové ploténce (Obr. 3) (Ambler et al., 2010).

Nervová buňka je oddělená od svalové buňky mezerou o šířce přibližně 50 nm mezi dvěma buněčnými membránami. Tato mezera se nazývá synaptická štěrbinu. Axonový konec obsahuje většinou velké množství malých kuliček (váčků) vázaných na membránu a také značné množství mitochondrií. Membrána svalových buněk nalézající se pod koncem axonu obsahuje velké množství zářezů. Celý tento komplex je držen pospolu a v poloze kolagenovými vlákny (Keynes et al., 2011).

Chemickým neurotransmiterem je acetylcholin, který je vytvářen v koncovém neuronu z acetyl-koenzymu A a cholinu a bývá skladován v synaptických váčcích, které vznikají vchlípením membrány na konci axonu. Po doputování vzruchu na nervosvalové spojení dochází k uvolnění acetylcholinu, který cestuje skrz synaptickou štěrbinu na postsynaptické receptory. Aby došlo k uvolnění acetylcholinu musí být přítomné kalcium (Ambler et al., 2010).



Obrázek 3. Nákres nervosvalového spojení (Ambler et al., 2010).

Po doputování acetylcholinu na postsynaptickou membránu reaguje acetylcholin s receptory na této membráně a dochází k otevření sodíkových kanálků a k parciální depolarizaci postsynaptické membrány. Jednotlivé dávky acetylcholinu jsou samovolně uvolňovány a každý z nich otevírá zhruba 2000 iontových kanálků. Tento proces má následně za následek částečnou depolarizaci postsynaptické membrány. Částečná depolarizace však nemá takovou sílu, aby došlo k depolarizaci sousední sarkolemy. Teprve až dojde k úplné depolarizaci presynaptické membrány a uvolnění velkého množství acetylcholinu dochází k depolarizaci i postsynaptické membrány, která je dostatečně velká k stimulaci sousední sarkolemy. Pravděpodobnost toho, že acetylcholin nalezne svůj receptor, se zvyšuje díky značnému množství cholinergních receptorů na postsynaptické membráně v místě postjunktčních záhybů (Ambler et al., 2010).

### **2.3 Patologie svalového systému**

Kosterní svalstvo a nervový systém jsou mezi sebou velmi úzce strukturálně i funkčně spjaty. Díky pevnosti vazby dochází k projevům tohoto vztahu i v oblasti patologie. Vývoj svalu i jeho normální funkce závisí na periferní a centrální nervové soustavě. Strukturální i funkční relaci vyjadřuje motorická jednotka. Podle úrovně etáže, ve které došlo k postižení či poškození, můžeme svalové choroby klasifikovat jako neurogenní, které postihují některou z vyšších etáží motorické jednotky, tedy postižení motoneuronu, míšních kořenů, periferních nervů nebo jako poruchy nervosvalového spojení. Samotný sval postihují primárně myogenní léze, jako jsou myozitidy (Povýšil & Šteiner, 2007c). Dalším onemocněním postihující přímo svalstvo lidského organismu je sarkopenie.

Sarkopenie je progresivní a generalizovaná porucha kosterního svalstva, která zahrnuje zrychlenou ztrátu svalové hmoty a funkce. S touto zrychlenou ztrátou svalové hmoty a funkce jsou často spojeny nežádoucí projevy jako například pády, fraktury, tělesná postižení a smrt (Cruz-Jentoft et al., 2019). Onemocnění se vyskytuje běžně jako součást procesu stárnutí. Často je jeho průběh však ovlivněn spojením několika faktorů. Mezi tyto faktory řadíme genetický faktor, životní styl a jiné přidružené rizikové faktory (počasí, jiné nemoci ad.). Není však pravidlem, že sarkopenií trpí pouze starší pacienti, ale může se vyskytovat za určitých podmínek vyskytovat i u lidí ve středním věku. Mezi tyto podmínky se řadí špatné stravování, sedavý způsob života, různá onemocnění (například rakovina, onemocnění jater a ledvin, metabolické nemoci nebo onemocnění kloubů a kostí aj.) nebo při iatrogenních příčinách (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019).

Charakteristickými znaky sarkopenie je ztráta svalové hmoty a zároveň funkce. Historicky termín sarkopenie označoval jen úbytek svalové hmoty bez odkazu na funkci. Od roku 2019 se uvádí, že u všech osob s nízkou svalovou silou, snížením celkové svalové hmoty nebo změněnou kvalitou svalů, může být diagnostikována sarkopenie (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019).

### 3 SPECIÁLNÍ TEORETICKÁ ČÁST

V každodenní fyzioterapeutické praxi, a někdy možná i několikrát za den, se terapeuti věnují pacientům, kteří potřebují nějakou formu silového tréninku. Takové cvičení může být součástí rehabilitačního postupu například po sportovních zraněních, chirurgických zákrocích, různých frakturách, nebo čistě z důvodu stárnutí a vzniku degenerativních změn na kloubech. Jakákoliv příčina nečinnosti, bolesti nebo imobilizace vede ke ztrátě svalové hmoty a funkce. Hlavní starostí fyzioterapeutů je pomocí terapie minimalizovat riziko opakovaného zranění a zkrácení doby zotavení (Thomas, 2019).

Dlouhodobé studie prokázaly, že je odporované cvičení vysoce účinné k předcházení ztráty svalové hmoty a funkce. U pooperačních nebo zraněných pacientů se však tento druh terapie nedoporučuje z důvodu zvýšeného rizika vzniku nového poranění nebo zhoršení stavu v místě poškození (Lambert, Hedt, Moreno, Harris, & McCulloch, 2018).

Z praxe víme, že se u nás v rehabilitační péči po operaci nebo zraněních používá pro posílení oslabeného svalstva převážně analytické cvičení, syntetické metody (PNF), nebo elektrogymnastika z oblasti fyzikální terapie. V této kapitole se pokusím shrnout informace o metodě BFR a jejím možném využití v léčebné rehabilitaci.

#### 3.1 Metoda Blood Flow Restriction

Blood Flow Restriction je technika, která v kombinaci s rezistovaným tréninkem nízké intenzity dosahuje zvýšení svalové síly a hypertrofie podobně, jako je tomu u vysoce intenzivního tréninku (Rossow et al., 2012).

Koncept metody BFR se objevil v Japonsku začátkem roku 1960. Tato forma cvičení, při které dochází k omezování průtoku krve k pracujícím svalům se historicky nazývá „Kaatsu“ (z japonštiny „natlakování“). Úplně první vědecká studie popisující dnešní podobu Blood Flow Restriction byla publikována až roku 1998. (DePhillipo et al., 2018; Hwang & Willoughby, 2019; Karabulut, Abe, Sato, & Bembem, 2007).

Historicky způsob snižování průtoku krve nebyl vůbec sofistikovaný. Používalo se převážně nekontrolované zaškrcení pomocí různých lan a pásků. V roce 1984 byl vynalezen první elektronicky kontrolovaný systém omezující průtok krve. První přesný a bezpečný manžetový systém na metodu BFR byl vynalezen až kolem roku 2000. Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, tak za popularizaci metody Blood Flow Restriction

vděčíme Johnymu Owensovi, M.P.T., který používal tuto metodu k rehabilitaci zraněných vojáků na své klinice (DePhillipo et al., 2018).

Tradičně se při BFR cvičení využívají specifické pásy nebo manžety, vybavené vnitřním vakem na vzduch, který bývá připojen na zařízení, jenž dokáže kontrolovat tlak v manžetě. Metodicky tedy dochází k tomu, že se manžeta nafoukne tak, aby docházelo k omezení průtoku krve ke svalům (Karabulut et al., 2007; Loenneke et al., 2013).

Metoda tedy jinými slovy snižuje průtok krve k pracujícím svalům aplikací těchto manžet, jako je například manžeta na měření krevního tlaku, kolenní bandáže nebo specializované a patentované restriktivní pásy (Loenneke et al., 2013).

Jakmile dojde k nafouknutí manžety na předem nastavený tlak, tak pacient zahájí cvičení o nízké intenzitě. Aplikovaný tlak by měl být natolik velký, aby zamezil žilnímu návratu z pracujícího svalu, ale zároveň neomezil přítok arteriální krve (Loenneke et al., 2013; Yasuda et al., 2012).

Autoři se v otázce optimálního natlakování omezující průtok krve, při kterém dochází k zvyšujícím se účinkům na hypertrofii svalů, velmi rozcházejí. V mnoha případech používají autoři článků při metodě BFR velmi vysoké tlaky přesahující hodnotu 180 mmHg. Zároveň však z velké většiny podotýkají, že je použití takových vysokých tlakových hodnot asociované s bolestí (Hwang & Willoughby, 2019).

Ve studii od Sumideho, Sakaraba, Sawakiho, Ohmura a Tamury (2009) zkoumali účinky metody BFR při využití různých hodnot tlaku (0 mmHg, 50 mmHg, 150 mmHg a 250 mmHg). Výsledkem studie bylo, že došlo ke zvýšení svalové síly u všech pacientů s omezeným průtokem krve k pracujícím svalům. Celková svalová práce byla dle článku nejvíce zvýšena v tlakových úrovních 50 mmHg a 150 mmHg, což odhalilo, že tyto tlakové hladiny mohou být v BFR efektivnější než vysoké tlaky.

Takano et.al. (2005) ve své studii zjistili, že tlak 160 až 180 mmHg s 33 mm širokou manžetou vyústil zhruba v 30% redukci průtoku arteriální krve. Dále bylo prokázáno, že s rostoucí šířkou manžety se snižují požadavky na dosažení daného procenta omezení průtoku krve.

Požadovaný tlak ke snížení průtoku krve je ovlivněn řadou faktorů, jako je šířka manžety, obvod končetiny a krevní tlak. Všechny tyto faktory stěžují standardizaci tlaků k dosažení snížení průtoku krve (Loenneke et al., 2015).

Tlak, který je potřeba na úplné uzavření toku arteriální krve na požadované končetině, zkoumali ve své práci Hughes et al. (2018). Výzkum probíhal ve třech pozicích (na zádech, v sedě a ve stoji) s pneumatickou manžetou 11.5 cm x 86 cm x 5 cm. Vyšlo

jim, že pro úplné uzavření krevního toku je potřeba 187 mmHg v pozici na zádech, 204 mmHg v sedě a 241 mmHg ve stoji. Tyto hodnoty by mohly být brány jako částečná výchozí pozice pro určité standardizování, ale zároveň zdůrazňují, že by každému cvičení mělo předcházet měření aortálního tlaku na dané končetině. Dále píší, že by se tlak měl nastavovat v pozici, ve které bude cvičení prováděno, a poloha by se neměla měnit, jelikož by jedinec mohl být vystaven větší uzavěře toku krve, než je nutné.

Zatímco v otázce tlaku nejsou autoři článků jednotní, v otázce intenzity cvičení ano. Pro BFR se ukazuje jako nejvýhodnější, když pacienti cvičí s nízkým odporem zhruba na 20 až 30 % zatížení z maxima jednoho opakování. Standardní objem jedné cvičební jednotky je 75 opakování. Začíná se obvykle třiceti opakováními, po kterých následují tři série po patnácti opakováních s třiceti sekundovými přestávkami po sérii. Standardní praxí je udržovat manžetu nafouknutou skrz všechny série i odpočinky s následným vyfouknutím po cvičení. Před následujícím cvikem dochází k opětovnému nafouknutí manžety na požadovanou hodnotu tlaku. Doporučuje se pacientům absolvovat terapie tohoto druhu maximálně dvakrát až třikrát týdně (Anderson, Owens, Patterson, Dickens, & LeClere, 2019).

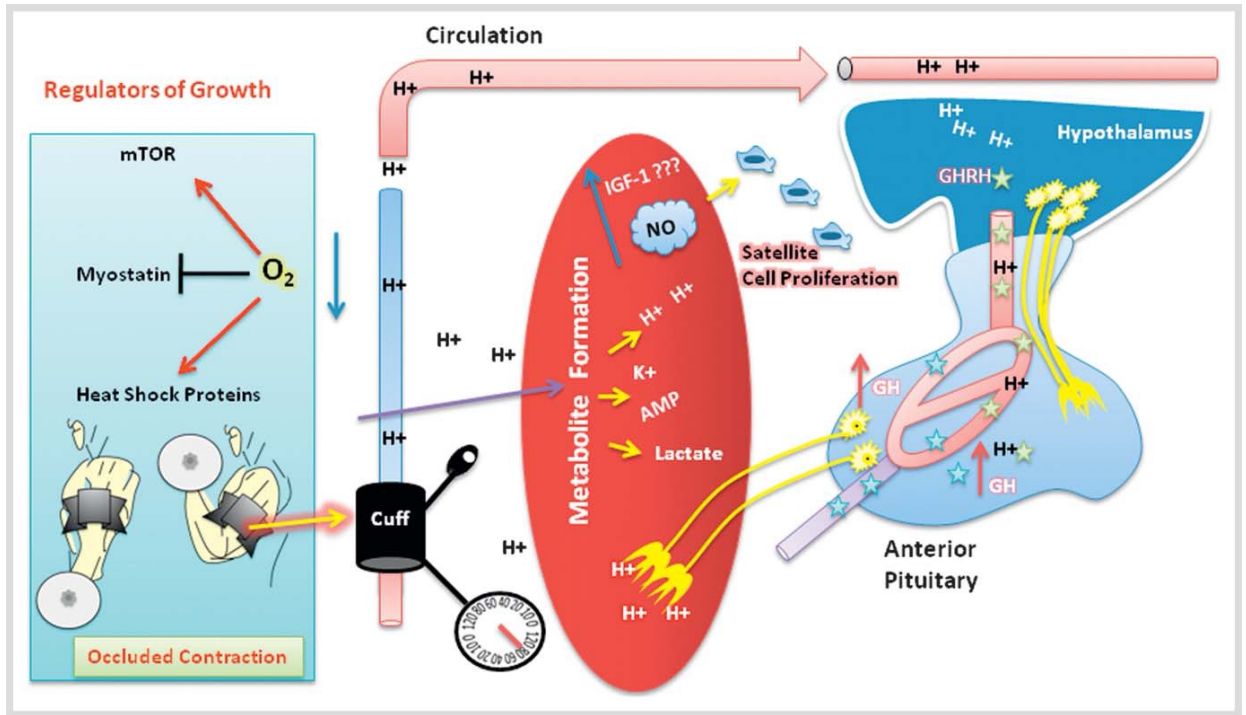
### **3.1.1 Mechanismus působení**

Mezi primární mechanismy, kterými BFR stimuluje růst svalové hmoty, je podle Loennekeho, G. J. Wilsona a J. M. Wilsona (2010) zvýšení akumulace metabolitů, a na to navázaná zvýšená stimulace anabolických růstových faktorů, zvýšené zapojení rychlých svalových vláken a zvýšená syntéza bílkovin prostřednictvím cesty savčího cíle rapamycinu (mTOR). Dále bylo pozorováno přibývání proteinů teplotního šoku (HSP), navyšování syntázy oxidu dusnatého-1 (NOS-1) a snížení exprese myostatinu (Obr. 4).

Pearson a Hussain (2015) dělí mechanismy působení u metody BFR na primární a sekundární. Mezi primární řadí mechanické napětí a metabolický stres. Mezi ty sekundární, navazující na primární, řadí poté mechanodestrukci, poškození svalů, systémové a lokalizované hormony, buněčné poškození, reaktivní formy kyslíku (ROS), syntázy oxidu dusnatého, proteiny teplotního šoku a větší zapojování svalových vláken.

Prvním z hlavních mechanismů, o kterém se uvažuje, že je hlavním zdrojem hypertrofie svalstva u námi popisované metody, je akumulace metabolitů a zvýšená produkce růstového hormonu. Loenneke et al. (2010) píší, že hladina krevního laktátu, laktátu z plazmy a laktátu ze svalových buněk je významně zvýšena v reakci na cvičení s omezeným průtokem krve. Zjištění, že dochází k takovému zvýšení hodnot laktátu, je významné, protože se ukázalo, že právě kyselé intramuskulární prostředí stimuluje tvorbu

růstového hormonu. Studie naznačují, že nízké pH stimuluje aktivitu sympatického nervu prostřednictvím chemoreceptivního reflexu, zprostředkovaného intramuskulárními receptory a aferentními vlákny skupiny tři a čtyři. Stejná cesta se uplatňuje v regulaci sekrece růstového hormonu z hypofýzy.



Obrázek 4. Mechanismy, kterými metoda BFR zvyšuje svalovou sílu a hypertrofii. Šipky označují stimulaci a blokové linie inhibici. HSP = Heat shock proteins, GH = Growth Hormon, IGF-1 = Insuline like growth factor, GHRH = Grow Hormon Releasing Hormon, NO = Nitric oxide (Loenneke et al., 2010).

Metoda Blood Flow Restriction zvyšuje produkci růstového hormonu (GH) do hodnot, kterých při normálním cvičení není možné dosáhnout (Loenneke et al., 2010). V jedné studii došlo k hodnotám 290krát vyšším, než při základním měření (Takarada et al., 2000). Není však zcela objasněno, jestli má či nemá růstový hormon nějakou spojitost s následnou hypertrofií. Mnoho vědců se domnívá, že v procesu hypertrofie svalstva je funkcí GH pomoc při postupném uvolňování inzulinového růstového faktoru 1 (IGF-1) (Schoenfeld, 2013).

Výzkum dokázal, že zvýšené hladiny GH zvyšují jaterní izoformní IGF-1 a mechano-růstový faktor (MGF) ve svalu. IGF-1 je známý jako růstový faktor, který lze produkovat lokálně v periferní svalové tkáni, ale i systémově v játrech jako reakci na růstový hormon. Na kosterní svalovou hmotu má inzulinový růstový faktor-1 anabolické účinky (Hwang & Willoughby, 2019). Abe et al. (2005) ve své studii pozorovali nárůst



v cirkulujících hladinách IGF-1 a jaký vliv mají tyto zvýšené hladiny na zvětšení svalového objemu při cvičení se sníženým průtokem krve. Nicméně i přes toto zjištění není v dnešní době stále jasné, jestli má metoda BFR vliv na zvýšené hodnoty IGF-1 a jedná se pouze o hypotézu (Hwang & Willoughby, 2019).

Druhým mechanismem, který hraje zásadní roli v hypertrofii svalů při metodě BFR, je zvýšené zapojování svalových vláken. Zvýšená zátěž a zapojení svalových vláken II typu při metodě BFR je považováno za kritický faktor při hypertrofii svalové tkáně (Loenneke, Fahs, Wilson, & Bembien, 2011). Dle zákonů neuromotorické kontroly jsou rychlá svalová vlákna aktivována při vyšších intenzitách zatížení. Je však prokázáno, že k zapojení rychlých svalových vláken dochází i při nízkých intenzitách cvičení, které využívá metoda BFR, a to pravděpodobně z důvodu sníženého přísunu kyslíku pro pomalá svalová vlákna a zvýšeného množství vytvářených metabolitů (Hwang & Willoughby, 2019; Meyer, 2006).

Snížení množství kyslíku a zvýšené množství metabolitů může stimulovat aferentní vlákna skupiny tři a čtyři společně s inhibicí alfa motoneuronů. Následně dochází ke zvýšenému náboru motorických jednotek a rychlých svalových vláken k udržení svalové síly a ochraně před selháním svalu (Loenneke et al., 2011; Yasuda et al., 2010).

V literatuře je zvýšený nábor motorických jednotek a zároveň vyšší aktivace rychlých svalových vláken při metodě BFR oproti stejnému protokolu bez snížení průtoku krve dokládán pomocí elektromyografie (EMG) (Loenneke et al., 2011; Takarada et al., 2000; Takarada, Sato & Ishii, 2002; Yasuda et al., 2009).

Zvýšená elektrická aktivita v oblasti svalových vláken při metodě BFR by mohla stimulovat syntézu svalových proteinů s následnou hypertrofií prostřednictvím kinázových transkripčních drah (Pearson & Hussain, 2015).

Růst objemu svalu a svalové síly se vědečtí pracovníci snaží kromě již zmíněného vysvětlit také pomocí mTOR cesty. Zvýšená rychlost syntézy proteinů pomáhá řídit proces hypertrofie kosterního svalstva (Takarada, Takazawa & Ishii, 2000). V článku od Fujity et al. (2007) bylo prokázáno, že u cvičení se sníženým průtokem krve roste S6K1 (Ribozomální S6 kináza beta-1) fosforylace, jež je kritickým faktorem zátěží vyvolané syntézy svalových proteinů. Fosforylace S6K1 byla zvýšena bezprostředně po cvičení metodou BFR o trojnásobek původní hodnoty, a stejně zvýšená zůstala i při kontrolním měření tři hodiny poté.

Výzkum navíc ukazuje, že REDD1 (regulace v reakci na vývoj a poškození DNA 1) gen, který je obvykle vyjádřen ve stavech hypoxie, se nezvyšuje v reakci na cvičení se sníženým průtokem krve, přestože dochází ke zvýšení u faktoru-1 alfa (HIF-1 $\alpha$ ), jenž je přítomen při hypoxii. V normálních případech by však mělo docházet ke korelaci zvýšení HIF-1 $\alpha$  mRNA (messenger RNA) a REDD1 (Drummond et al., 2008). Nedostatečné zvýšení exprese mRNA REDD1 genu se může ukazovat jako důležitý prvek při cvičení metody BFR, protože REDD1 snižuje syntézu svalových proteinů prostřednictvím inhibice savčího cíle rapamycinu (mTOR), který je zodpovědný za regulaci iniciace translace (Drummond et al., 2008). V současné době však neexistuje úplně jasné vysvětlení tohoto paradoxu, ale z výzkumů je jasné, že dochází při metodě BFR ke zvýšení vědcům neznámého faktoru, který ovlivňuje transkripci HIF-1 $\alpha$  a REDD1 s následnou hypertrofií svalové hmoty (Loenneke et al., 2010).

Dalším mechanismem, o kterém spekulují autoři článků ve spojitosti s metodou BFR je ovlivnění proteinů teplotního šoku (HSP). Za fyziologických podmínek působí HSP jako chaperony, tedy jako proteiny pomáhající při shromažďování a přemísťování dalších proteinů (Pearson & Hussain, 2015).

V případech, kdy je tělo vystaveno stresu, se předpokládá, že se role HSP mění a fungují jako modulátory účinku stresu k udržení homeostázy (omezení oxidačního poškození způsobeného produkcí reaktivních forem kyslíku) (Simar, Malatesta, Badiou, Dupuy, & Caillaud, 2007).

HSP jsou v lidském těle vyvolávány působením tepla, hypoxií, acidózou a ischemickou reperfuzí, což může naznačovat, že stres může regulovat jejich aktivitu (Kregel, 2002). Ve výzkumu metody BFR na myších uvedli Kawada a Ishii (2005), že došlo k významnému zvýšení HSP72 po dvoutýdenním cyklu cvičení. Měření u myši probíhalo tak, že bylo 24 myší rozděleno do 2 skupin, kdy jedna měla po celých 14 dní snížený tok krve do končetiny. Poté 14 dnech došlo k usmrcení myši a následné pitvě daných svalových skupin, které byly nebo nebyly ovlivněny BFR. Zvýšení tohoto proteinu bylo spojeno s výrazným přírůstkem svalové tkáně, což by mohlo naznačovat, že HSP mohou určitou částí přispívat k hypertrofickým adaptacím při odporovém cvičení se sníženým průtokem krve.

Na druhou stranu ve výzkumu Frye et al. (2010) nedošlo k žádnému významnému zvýšení koncentrací HSP70 po protokolu metody BFR s nízkou intenzitou cvičení (20 % maxima jednoho opakování) a tlakem manžety 200 mmHg. Tyto protichůdné výsledky

by dle Pearsona a Hussaina (2015) mohly být způsobeny jiným druhem zkoumaných proteinů teplotního šoku, kdy jediný rozdílem mezi HSP70 a HSP72 je molekulární hmotnost. Je možné, že při cvičení metody BFR dochází ke zvýšení pouze některých druhů HSP (například HSP72), kdy tyto druhy by poté mohli hrát významnější roli při hypertrofii svalové tkáně.

Posledním významným mechanismem, jakým může docházet k ovlivnění hypertrofie svalové tkáně v lidském těle pomocí metody BFR, je ovlivnění syntézy myostatinu. Myostatin je známý jako negativní regulátor růstu kosterního svalstva. Studie na myších zjistila, že exprese myostatinu inhibovala dělení satelitních buněk, protože u myši se sníženým množstvím myostatinu pozorovali významný nárůst svalové tkáně (Hwang & Willoughby, 2019). Ke snížení regulace exprese genu myostatinu dochází především v období po cvičení se sníženým průtokem krve (Hwang & Willoughby, 2019; Kawada & Ishii, 2005). Proto se předpokládá, že cvičení se sníženým průtokem krve může vyvolávat hypertrofii svalů z důvodu potlačení exprese myostatinu podmíněného hypoxií nebo akumulací metabolitů doprovázející metodu BFR (Loenneke et al., 2010).

### **3.1.2 Indikace metody**

V dnešní době nabývá metoda BFR na oblibě hlavně v oblasti sportovní medicíny. Indikační možnosti této metody jsou však velmi široké. Na dolní končetině se může cvičení se sníženým průtokem krve uplatnit při zranění vazů, náhradách kloubů, zraněních šlach (například Achillovy šlachy) či u patelofemorálních bolestí. Na horní končetině se BFR uplatňuje z totožných důvodů. Obecně lze však metodu využít u nespočetného množství svalových zranění, onemocnění způsobených stářím (například sarkopenie), aerobního tréninku, jako předoperační rehabilitační opatření, u pacientů trpících osteoporózou či u určitých neurologických postižení, vyznačující se zvýšenou svalovou slabostí nebo ubýváním svalové hmoty (Thomas, 2019).

### **3.1.3 Kontraindikace a rizika metody**

Metoda Blood Flow Restriction, stejně jako další metody z oblasti léčebné rehabilitace, má určité kontraindikace. Pacienti s možným rizikem nežádoucích účinků jsou dle DePhillipa et al. (2018) pacienti s jakýmkoliv postižením srdce, lidé trpící obezitou, cukrovkou, kalcifikací tepen, srpkovitou anémií, těžkou hypertenzí či poruchou ledvin. Možné kontraindikace, které je třeba vždy vzít v úvahu před aplikací metody jsou dle DePhillipa et al. (2018):

1. Trombembolická nemoc

2. Periferní cévní nemoc
3. Srpkovitá anémie
4. Infekce končetin
5. Lymfadenektomie
6. Nádor či rakovinné onemocnění
7. Léky podněcující zvýšenou srážlivost krve
8. Těhotenství
9. Hypertenze
10. Otevřené zlomeniny

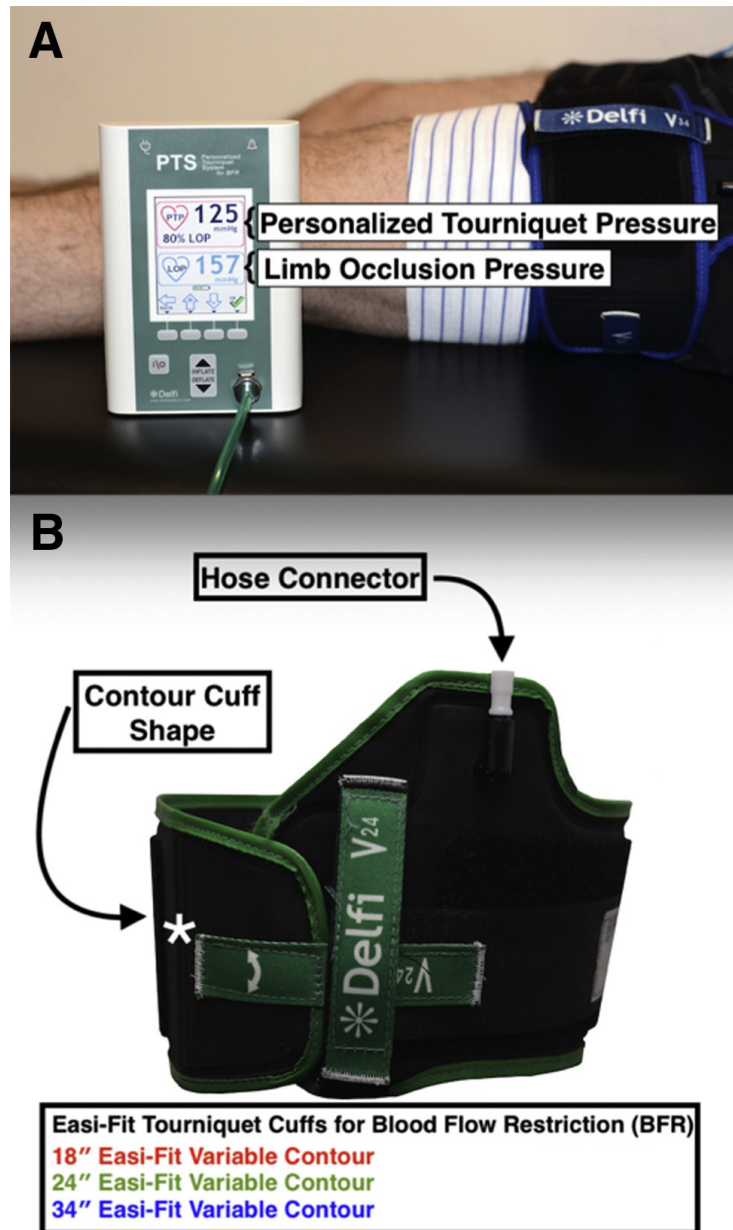
Ačkoli nejsou známy žádné komplikace při provádění námi popisované metody, existují obavy z účinků na koagulační kaskádu s následnou venózní stagnací na končetinách nebo z možného poškození endotelu. V některých případech došlo po cvičení BFR ke zlepšení vaskulárních endoteliálních funkcí a průtoku periferní krve s výrazným snížením von Willebrandova faktoru (glykoproteinu účastnícího se hemokoagulace). Bylo zjištěno, že množství krevní plazmy, jehož snížení jako následek použití metody BFR by značilo riziko vzniku trombů, je po cvičení naopak zvýšeno. Tento fakt by mohl naznačovat, že u „zdravých“ pacientů neaktivuje cvičení se sníženým průtokem krve koagulační systém (Lambert et al., 2018).

Ojedinele dochází při cvičení metody BFR k hlášení případů rhabdomyolýzy (prevalence výskytu rhabdomyolýzy u metody BFR je 0,008 %). Dalšími potenciálními vedlejšími účinky, vyskytujícími se u cvičení se sníženým průtokem krve, jsou dle Andersona et. al. (2019) tyto:

1. Opožděný nástup bolesti svalů
2. Necitlivost
3. Závratě
4. Podlitiny pod manžetou
5. Zvýšená bolestivost svalů při cvičení

### **3.1.4 Pomůcky pro použití metody**

Pomůcek, kterých může být využito u metody BFR, je hned několik. Současné nejmodernější postupy využívají automatickou pneumatickou manžetu PTS od firmy Delfi (Obr. 5). Jedná se o poslední generaci manžetového systému, který má v manžetě zabudovaný Doppler (ultrazvuk) a tím kontroluje a přizpůsobuje průtok krve v arteriích s případnou korekcí dle polohy, zátěže a samotného pacienta (DePhillipo et al., 2018).



Obrázek 5. PTS (Personal Tourniquet Systém) od firmy Delfi. A – tlakoměr, B – manžeta (DePhillipo et al., 2018).

Druhou, finančně méně náročnou variantou, je využití ručních manuálních manžet na měření krevního tlaku (Obr. 6). Tato varianta je však méně přesná než využití automatického systému. Je potřeba vždy ručně měnit tlak při změnách polohy. S touto ruční manžetou je doporučeno mít přenosný ruční Doppler (Obr. 7), který se přikládá na dolních končetinách nejčastěji na arteria tibialis posterior (Loenneke et al., 2013).



Obrázek 6. Manžeta na měření tlaku s možným použitím na metodu BFR ([www.alfarescue.cz](http://www.alfarescue.cz)) [online]



Obrázek 7. Kapesní doppler ([www.bionik.cz](http://www.bionik.cz)) [online]

V neposlední řadě lze pro metodu využít i elastických bandáží v různých stupních pružnosti (Patterson, Hughes, Head, Warmington, & Brandner 2017). Samotné provádění metody však může být ovlivněno i materiálem a šířkou manžety. Nejčastěji jsou manžety na metodu BFR vyrobené z nylonu nebo různých elastických materiálů (Loenneke et al.,

2013). Šířka manžety se pohybuje v rozmezí od 5 do 18 centimetrů (Hughes, Paton, Rosenblatt, Gissane, & Patterson, 2017).

### **3.1.5 Výhody a nevýhody metody BFR**

**Hlavní výhody** metody Blood Flow Restriction jsou dle Thomasové (2019) tyto:

1. Možnost provádět metodu i s indikovaným odlehčením končetiny
2. Využití metody u všech věkových kategorií
3. Využití metody u širokého spektra zranění a onemocnění
4. Možnost využití BFR v předoperační fázi rehabilitace
5. Rychlejší návrat svalové síly
6. Možnost kombinace metody s jinými přístupy
7. Velice dobré zacílení metody na segment, který chceme cvičit
8. Možnost vykonávat cvičení ve všech polohách
9. Jedná se o relativně bezpečnou metodu při dodržení všech pokynů
10. Lze provádět s obyčejnou manžetou na měření krevního tlaku

**Hlavní nevýhody** metody Blood Flow Restriction jsou dle Thomasové (2019) tyto:

1. Nejasnosti v mechanismu účinků
2. Nejasnosti v rámci komplikací, jež mohou nastat při provádění metody
3. Nejasnosti v rámci vedlejších účinků metody
4. Nestandardizovaný postup provádění metody
5. V některých případech zvýšená bolestivost cvičených svalů
6. Pro co nejpřesnější výsledky potřeba specializovaného vybavení
7. Potřeba neustálého hlídání tlaku při změnách polohy pacienta

## 4 KAZUISTIKA

Pro tuto konkrétní práci jsme zvolili pacienta, který podstoupil artroskopickou parciální meniskotomii mediálního menisku levého kolenního kloubu. Pacient souhlasil se všemi podmínkami zařazení do případové studie dle Helsinské deklarace z roku 2008, viz informovaný souhlas pacienta (Příloha 1).

Pohlaví: Muž

Věk: 46

Diagnóza: Stav po parciální meniskotomii 2/3 zadní poloviny mediálního menisku levého kolenního kloubu

Anamnéza:

1. Osobní anamnéza: sutura mediálního menisku pravého kolenního kloubu (2016)
2. Rodinná anamnéza: nevýznamná
3. Pracovní anamnéza: produktový manažer (sedavá práce)
4. Sportovní anamnéza: fotbal (výkonnostně od 6 do 24 let), volejbal, občasný běh a lyže
5. Sociální anamnéza: bydlí v 1. patře bytového domu bez výtahu (16. schodů)
6. Farmakologická anamnéza: pacient nebere žádné léky
7. Alergologická anamnéza: pacient veškeré alergie neguje
8. Abusus: alkohol (příležitostně)

### **Vstupní vyšetření dne 1. 3. 2021 (2. týdny od operace)**

Nynější onemocnění: Dne 13.10.2020 při fotbalovém zápase pacient několikrát upadnul na levý kolenní kloub. Zranění se po zápase projevovalo otokem kolenního kloubu a bolestivostí z vnitřní strany. Pro přetrvávající bolesti v oblasti kolenního kloubu byl pacientem vyhledán fyzioterapeut. Pacient navštěvoval rehabilitaci od 8.12.2020 do 4.2.2021 s cílem stabilizace kolenního kloubu a posílení m. quadriceps femoris. Po vyšetření fyzioterapeutem bylo pacientovi doporučeno kontaktovat lékaře. Lékař diagnostikoval rupturu mediálního menisku s doporučením artroskopické parciální meniskotomie daného menisku. Dne 14.2.2021 byla provedena artroskopická operace mediálního menisku.



#### Aspekční vyšetření:

- Stoj: Pacient zvládá stoj bez FH

Zezadu: pánev v rovině, infraglutéální rýha vpravo delší a hlubší, popliteální rýhy symetrické a v rovině, lehké varózní postavení obou KOK, Achillovy šlachy symetrické, taile asymetrické více vykrojené vlevo, pravá lopatka a pravé rameno mírně výše.

Z boku: pánev držena v mírné anteverzi, hrudní kyfóza oploštěna, ramena držena v mírné protrakci, hlava držena ve fyziologickém postavení

Zepředu: pánev v rovině, hypotonie m. quadratus femoris (hlavně m. vastus medialis) vlevo, postavení umbiliku ve středu, otok levého KOK

- Chůze: pacient na krátké vzdálenosti chodí bez FH, chůze bez FH s viditelným napadáním na zdravou dolní končetinu

#### Palpační vyšetření:

- Napětí měkkých tkání: zvýšené v oblasti levého kolenního kloubu (LKOK)
- Posunlivost jizev: mírně omezená vůči podkoží
- Posunlivost fascií: bez výraznějších patologií
- Teplota měkkých tkání: teplota v oblasti LKOK zvýšená
- Pohyblivost pately: pohyblivost levostranné pately je výrazně omezená oproti druhé straně
- Bolestivost v oblasti hlavičky fibuly: nebolestivá se zachovaným joint play

Antropometrické vyšetření (Tabulka 1):

**Tabulka 1.** Antropometrické vyšetření pravé a levé dolní končetiny.

	Pravá dolní končetina (cm)	Levá dolní končetina (cm)
obvod stehna – 10 cm nad patelou	50	48,5
obvod stehna – těsně nad patelou	41	41,5
obvod přes patelu	39,5	40
obvod přes tuberositas tibiae	36	35,4
obvod lýtku	38,5	38
obvod nad kotníky	23,5	23,5
obvod přes kotníky	25,5	26

Závěr antropometrického vyšetření: Výrazný rozdíl v obvodech levé dolní končetiny je hlavně při měření obvodu stehna 10 cm nad patelou, kdy byl rozdíl mezi levou končetinou a pravou končetinou -1,5 cm. Rozdíl v obvodu stehna měřeného těsně nad patelou byl +0,5 cm na levé dolní končetině stejně jako obvod měřený přes patelu. Další rozdíl poté nalézáme v obvodu měřeného přes tuberositas tibiae, kdy rozdíl mezi levou a pravou končetinou byl -0,6 cm a u obvodu lýtku, kdy rozdíl mezi levou a pravou končetinou byl -0,5 cm.

Goniometrické vyšetření (Tabulka 2):

**Tabulka 2.** Goniometrické vyšetření pravé a levé dolní končetiny.

	Pravá dolní končetina		Levá dolní končetina	
	Aktivní pohyb	Pasivní pohyb	Aktivní pohyb	Pasivní pohyb
Kolenní kloub	Sa: 5-0-110	Sp: 5-0-115	Sa: 0-0-95	Sp: 0-0-100
Hlezenní kloub	Sa: 20-0-25	Sp: 20-0-30	Sa: 10-0-30	Sp: 10-0-35
	Ra: 0-0-10	Rp: 0-0-10	Ra: 10-0-10	Rp: 10-0-10
Kyčelní kloub	Sa: 15-0-100	Sp: 20-0-110	Sa: 15-0-100	Sp: 20-0-110
	Fa: 30-0-35	Fp: 35-0-35	Fa: 35-0-35	Fp: 40-0-30
	Ra: 40-0-15	Rp: 45-0-20	Ra: 35-0-10	Rp: 40-0-15

Závěr goniometrického vyšetření: U levého kolenního kloubu můžeme pozorovat omezení aktivního pohybu do flexe, kdy pacient dosahuje pouze 95°, pasivním pohybem lze nohu pokrčit do 100°. U hlezenního kloubu se může jako problematické jevit omezená dorzální flexe na levé končetině, kdy rozdíl mezi pravou a levou končetinou je 10°. Dále u pacienta můžeme pozorovat výrazné omezení pohybu do everze a inverze v hlezenním kloubu hlavně na pravé, ale i na levé dolní končetině. Pohyblivost v kyčelním kloubu je symetrická s výrazným omezením pohyblivosti do vnitřní rotace.

#### Krátkodobý rehabilitační plán:

- Snížení otoku v oblasti kolenního kloubu
- Zvyšování rozsahu pohybu v kolenním kloubu do flexe
- Stabilizace kolenního kloubu
- Posílení m. quadriceps femoris (hlavně m. vastus medialis)
- Uvolnění měkkých tkání a jizev v oblasti LKOK

#### Dlouhodobý rehabilitační plán:

- Stabilizace KOK na nestabilních plochách
- Navrácení pacienta do sportovních aktivit

#### Terapie:

- Měkké techniky na uvolnění jizev („S“ a „C“)
- Mobilizace kloubu v oblasti levého KOK
- Cvičení na stabilizaci kolenního kloubu
- Cvičení metody Blood Flow Restriction na zvýšení svalové síly (stlačování Overballu pod kolenním kloubem – cvik 1, extendování končetiny v sedě s dolní končetinou z lehátka – cvik 2, podřepy – cvik 3 a senzomotorická stimulace – Posturomed – cvik 4)
- Senzomotorická stimulace (Posturomed a Airex podložka)
- Zvyšování rozsahu pohybu v LKOK

Použitý protokol metody BFR (Tabulka 3):

**Tabulka 3.** Použitý protokol metody BFR – tlak, opakování cviků v sérii, počet cviků v terapii, pauza v sérii mezi a mezi cviky, Borgova škála a poznámky.

Terapie	Tlak manžety (mmHg)	Opakování cviku v sérii	Počet cviků v terapii	Pauza v sérii a mezi cviky	Borgova škála (6-20)	Poznámky
1.	60–80	30–15–15–15 (75)	2	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	11	Proveden cvik 1 a 2
2.	60–80	30–15–15–15 (75)	4	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	13	U cviku 3 provedeno jen 30 opakování 10-10-10
3.	60–80	30–15–15–15 (75)	2	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	11	Proveden jen cvik 1 a 2 z důvodu větší bolestivosti v LKOK po předešlé terapii
4.	80	30–15–15–15 (75)	3	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	12	Provedeny cviky 1, 2 a 3
5.	60–80	30–15–15–15 (75)	3	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	13	Provedeny cviky 1, 2 a 3
6.	80	30–15–15–15 (75)	3	1 minuta v sérii a 2 minuty mezi cvikem	13	Provedeny cviky 1, 2 a 3

## **Kontrolní vyšetření dne 6. 4. 2021 (8. týden od operace)**

Aspekční vyšetření:

- Stoj: Pacient zatěžuje DKK bez potíží a bez použití FH

Zezadu: Pánev v rovině, infraglutální rýhy symetrické, popliteální rýhy symetrické, lehké varózní postavení obou KOK, pravé rameno v lehké elevaci

Z boku: pánev držena v antevertzi, hrudní kyfóza oploštěna, ramena držena v mírné protrakci, hlava držena ve fyziologickém postavení

Zepředu: pánev v rovině, pately symetrické, postavení umbiliku ve středu

- Chůze: Bez patologií

Palpační vyšetření:

- Napětí měkkých tkání: bez patologií a symetrické v oblasti obou KOK
- Posunlivost jizev: bez omezení vůči měkkým tkáním
- Posunlivost fascií: bez patologií
- Teplota měkkých tkání: teplota symetrická na obou KOK
- Pohyblivost pately: patela LKOK pohyblivá a postavení symetrické s druhou stranou
- Bolestivost v oblasti hlavičky fibuly: Hlavička fibuly nebolestivá a pohyblivá

Antropometrické vyšetření (Tabulka 4):

**Tabulka 4.** Výstupní antropometrické vyšetření pravé a levé dolní končetiny.

	Pravá dolní končetina (cm)	Levá dolní končetina (cm)
obvod stehna – 10 cm nad patelou	50	49,5
obvod stehna – těsně nad patelou	41	41
obvod přes patelu	39,5	39,5
obvod přes tuberositas tibiae	36	36
obvod lýtka	38,5	39
obvod nad kotníky	23,5	23,5
obvod přes kotníky	25,5	25,5

Závěr antropometrického vyšetření: V obvodech na dolní končetině se oproti vstupnímu vyšetření již nenacházejí výraznější rozdíly. Jediné rozdíly v obvodu se nacházejí v oblasti 10 cm nad patelou, kde je rozdíl na levé dolní končetině - 0,5 cm a v oblasti lýtka kde je rozdíl mezi pravou a levou končetinou 0,5 cm.

Goniometrické vyšetření (Tabulka 5):

**Tabulka 5.** Výstupní goniometrické vyšetření pravé a levé dolní končetiny.

	Pravá dolní končetina		Levá dolní končetina	
	Aktivní pohyb	Pasivní pohyb	Aktivní pohyb	Pasivní pohyb
Kolenní kloub	Sa: 5-0-110	Sp: 5-0-115	Sa: 0-0-110	Sp: 0-0-115
Hlezenní kloub	Sa: 20-0-25	Sp: 20-0-30	Sa: 10-0-40	Sp: 10-0-40
	Ra: 0-0-10	Rp: 0-0-10	Ra: 10-0-10	Rp: 10-0-10
Kyčelní kloub	Sa: 15-0-100	Sp: 20-0-110	Sa: 15-0-105	Sp: 20-0-110
	Fa: 30-0-35	Fp: 35-0-35	Fa: 35-0-35	Fp: 40-0-30
	Ra: 40-0-15	Rp: 45-0-20	Ra: 35-0-15	Rp: 40-0-15

Závěr goniometrického vyšetření: V levém kolenním kloubu již lze dosáhnout stejných hodnot flexe jako v pravém kolenním kloubu. Ostatní hodnoty se proti původnímu vyšetření výrazně nezměnily.

Borgova škála 6-20 pro hodnocení vnímání intenzity, namáhavosti příslušného zatížení (příloha 2): Pacient udával po celou dobu cvičení metody BFR na Borgově škále zatížení od hodnoty 11 do 13. Porovnání proběhlo s druhostrannou končetinou, na které prováděl stejné cviky.



Krátkodobý rehabilitační plán:

- Stabilizace LKOK
- Zvyšování svalové síly m. quadriceps femoris (hlavně m. vastus medialis)
- Senzomotorická stimulace

Dlouhodobý rehabilitační plán

- Návrat do sportovních aktivit

Terapie

- Měkké techniky na uvolnění jizev („S“ a „C“)
- Mobilizace pately v oblasti levého KOK
- Cvičení metody Blood Flow Restriction na zvýšení svalové síly (stlačování Overballu pod kolenním kloubem – cvik 1, extendování končetiny v sedě s dolní končetinou z lehátka – cvik 2, podřepy – cvik 3 a senzomotorická stimulace – Posturomed – cvik 4)
- Senzomotorická stimulace (Posturomed a Airex podložka)

Závěr kazuistiky: Terapie pomocí metody Blood Flow Restriction dosáhla u pacienta požadovaného nárůstu objemu svalové hmoty. Toto lze usuzovat hlavně z hodnot antropometrických měření, kdy z původního rozdílu mezi pravou a levou dolní končetinou v oblasti 10 cm nad patelou došlo k relativnímu vyrovnání s rozdílem pouhých 0,5 cm. Využití metody BFR mělo u pacienta i neočekávaný efekt zlepšení vnímání dolní končetiny, chůze a snížení bolestivosti bezprostředně po absolvování terapie. Pacient tuto terapii vnímal kladně. Cvičení pro pacienta bylo nebolestivé a náročnost cvičení pomocí metody BFR vnímal na Borgově škále pro zatížení v hodnotách 11 až 13. Dle mého názoru byla terapie oproti standardní terapii vzhledem k nárůstu svalové hmoty výhodnější, a to z důvodu možnosti cíleného zaměření se na hypotrofované svalstvo.

## 5 DISKUZE

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo popsat metodu Blood Flow Restriction a její možnosti použití ve fyzioterapii a celkově rehabilitaci pacientů touto metodou. Jedná se o poměrně mladou metodu, která je podporována celou řadou studií, o které se opírá. BFR je se svým potenciálem velmi slibnou metodou pro ovlivnění růstu a posílení svalové hmoty. Zranění či onemocnění postihující svalový systém ve smyslu ztráty svalové hmoty a síly je velké množství. Mezi takové důvody ztráty svalové síly a hmoty můžeme řadit například: zlomeniny, přetrhané vazy nebo šlachy, přetržení svalů, různé druhy operativních zákroků, degenerativní onemocnění kloubů, ale také svalovou slabost z neurologických důvodů nebo z důvodu stárnutí. V momentě, kdy dojde k úbytku svalové síly a svalové objemu, je velmi důležité využívat metody, které jej umí zbrzdit, nebo v lepším případě zastavit. Mezi takové postupy můžeme zařadit i námi výše zmíněnou metodu.

Samotná metoda Blood Flow Restriction je tvořena několika proměnnými. První proměnnou v metodě BFR tvoří tlak používaný k vytvoření částečné ischemie na pracující sval. V otázce tlaku se však autoři popisující a používající metodu BFR neshodují. Yasuda et al. (2012) ve své studii volili progresivně rostoucí tlak, kdy při prvním cvičení byl tlak nastaven za pomoci zkušeností z jejich předešlých studií na 100 mmHg. Následně docházelo každé další cvičení k navýšení o 10 mmHg až na hodnotu 160 mmHg. Cvičení probíhalo 6 týdnů. Hughes et al. (2019) použili oproti předešlé studii tlak, který dosahoval hodnoty 80 % tlaku potřebného pro úplné uzavření toku krve do končetiny. Nastavení tlaku bylo založeno na studii od Lixandrãa et al (2015). Lixandrão et al. (2015) ve své studii porovnávali různé tlaky a nastavení protokolu. Zajímalo je, jak na tyto různé tlaky a protokoly budou reagovat pacienti a jejich svalový systém. Studie porovnávala nastavení jak různých tlaků, tak různých intenzit zatížení pacienta. Skupina 1 měla nastavené zatížení a tlak na 20 % zatížení z jednoho maximálního opakování a tlak na 40 % z tlaku potřebného pro úplné uzavření přítoku a odtoku krve do a z končetiny. Skupina 2 měla nastavené zatížení na 20 % z jednoho maximálního opakování a tlak na 80 % z tlaku potřebného na úplné uzavření přítoku a odtoku krve do a z končetiny. 3 skupina podstoupila zatížení na hodnotě 40 % z jednoho maximálního opakování a tlak byl nastaven na 40 % z tlaku potřebného k uzavření přítoku a odtoku krve do končetiny. Skupina 4 měla nastavené zatížení na hodnotě 40 % a tlak v manžetě byl nastaven na 80 % z tlaku potřebného pro úplné uzavření přítoku a odtoku krve do

a z končetiny. Poslední skupina – skupina 5 - neměla předepsanou metodu BFR, ale pouze cvičení vysoké intenzity dosahující hodnoty 80 % z jednoho maximálního opakování. K výpočtu tlaku byla použita poloha v lehu na zádech a Dopplerovská sonda, která byla přiložena na arteria tibialis.

Výsledkem této studie bylo, že k největšímu nárůstu svalové hmoty a síly došlo při cvičení nízké intenzity (20 % z jednoho maximálního opakování) s použitím poměrně vysokého procenta snížení přítoku a odtoku krve z a do končetiny (80 %). Podobného výsledku v nárůstu svalové hmoty však dosáhla i skupina číslo 5, která měla předepsané pouze cvičení o vysoké intenzitě (80 % z jednoho maximálního opakování).

My jsme u pacienta v případové studii použili tlaky v rozmezí od 60 do 80 mmHg, které jsme určili na základě studie od Sumideho et al. (2009). V této studii autoři popisovali, že k největšímu efektu cvičení se sníženým přítokem a odtokem krve do končetiny dochází při hodnotách tlaku 50 mmHg až 150 mmHg. Zároveň tyto tlaky popisovali jako nejpříjemnější vzhledem k pohodlí pacienta, čímž je myšleno hlavně bolestivost a vedlejší účinky spojené s aplikací manžety.

V některých studiích používali k výpočtu tlaku, který chtějí použít při metodě BFR klidový systolický tlak. Tento postup zvolili ve své studii Kim, Lang, Pilania a Franke (2017), kdy naměřili u pacientů klidový systolický tlak a připočetli 30 % k tomuto tlaku. Tato metoda mně osobně přijde jako nejméně použitelná při cvičení metody BFR, protože je zde použit klidový systolický tlak, ale není vzata v úvahu změna tlaku při provádění pohybové aktivity.

Z výše napsaného je tedy patrné, že se autoři neshodují na tom, jaký tlak by měl být použit při námi zmiňované metodě a že neexistuje úplný metodický postup. Všechny studie se však shodují v tom, že ať byla použita jakákoliv metoda nastavení tlaku, vždy došlo k podobnému výsledku v oblastech navýšení svalové síly a objemu svalů.

Dle mého názoru je velmi důležité zvolit takový tlak, aby v žádném případě nemohlo dojít k poškození pacienta. Na to navazuje i to, jaké možnosti má dané rehabilitační pracoviště vzhledem k vyšetření pacienta. Jestliže se na rehabilitačním pracovišti nachází možnost využití Dopplerovské sondy a s tím spojená kontrola aktuálního průtoku krve do a ze svalu, tak je dle mého názoru bezpečné volit vyšší tlaky. Jestliže však není možnost Doppler využít, tak bych tlaky volil nižší s velmi častou subjektivní zpětnou vazbou od pacienta.

Druhou proměnnou v metodě BFR je intenzita zatížení. Autoři studií se ve většině případů shodují, že je nejlepší kombinovat metodu BFR s cvičením nízké intenzity. Většina studií popisuje, že by cvičení nízké intenzity společně s BFR mělo dosahovat podobných nebo stejných hodnot v oblasti nárůstu svalů a svalové síly jako vysoce intenzivní cvičení. Ve studii od Lixandrãa et al (2015) porovnávali kromě rozdílného používání tlaku při cvičení i rozdílné intenzity cvičení. Intenzity cvičení se v této studii pohybovaly od 20 % do 80 % s metodou BFR a bez BFR z jednoho maximálního opakování maxima. Výsledkem této studie bylo, že cvičení nízké intenzity dosahující 20 % z jednoho maximálního opakování společně s tlakem vyvíjeným na končetinu v hodnotách 80 % dosahovalo velmi podobných výsledků v oblasti nárůstu objemu svalů a svalové síly jako vysoce intenzivní cvičení v hodnotě 80 % z jednoho maximálního opakování.

Tyto výsledky jsou podporovány i ve studii od Ferraz et al. (2018), kde porovnávali, jaký vliv mají různé druhy zatížení na pacienty s gonartrózou. Pacienti byli rozdělení do skupin podstupující vysoce intenzivní zatížení bez metody BFR, které bylo nastaveno na 80 % z jednoho maximálního opakování, cvičení nízké intenzity bez použití metody BFR, které bylo nastaveno na 30 % z jednoho maximálního opakování a cvičení nízké intenzity s použitím metody BFR, kdy intenzita zatížení byla shodná s cvičením o nízké intenzitě bez použití metody BFR. Tyto hodnoty v intenzitě zatížení pro metodu BFR používá většina autorů.

Metoda Blood Flow Restriction je založena na tom, že dochází k vytváření částečné ischemie, rozvratu homeostázy a stresu na svaly, ke kterým je omezen přítok a odtok krve. Proto je dle mého názoru nesmyslné kombinovat metodu BFR s tréninkem o vysoké intenzitě, a to z důvodů většího rizika poškození svalových tkání. Intenzitu zatížení, je tedy dle poznatků z literatury a článků možné určitým způsobem standardizovat. Dále by však bylo vhodné intenzitu zatížení vztáhnout k určité škále, podle které by se dala metoda BFR nastavovat. Jednou z takových škál by mohla být například Borgova škála 6-20 pro hodnocení vnímaní intenzity, namáhavosti příslušného zatížení. Dle mého názoru se zmiňovaných 20 % až 30 % nachází na této škále pod body 11 až 13.

V počtu provedených opakování nebo standardizování určitého cvičebního postupu se autoři taktéž neshodují. Je však možné, že v této oblasti jsou odlišné přístupy cvičení voleny rozdílně záměrně na základě jiných zkoumaných modalit nebo na základě jiných postižení pacientů.

V předešlé studii od Ferraze et al. (2018) použili protokol, kdy od 1. do 5. týdne měli pacienti rehabilitaci dvakrát týdně a cvičili 4 série po 10 opakováních na každý cvik. Následně od 5. do 12. týdne měli pacienti stále rehabilitaci dvakrát týdně, ale cvičili 5 sérií po 10 opakováních na každý cvik. Celá rehabilitační jednotka byla tedy tvořena 40 a následně 50 opakováními cviku.

Yasuda et al. (2012) zato použili ve své studii protokol, který byl tvořen 75 opakováními v jedné sérii. Jedna série byla v této studii tvořena 30 úvodními opakováními cviku, kdy po úvodních 30 opakováních následovaly 3 další minisérie po 15 opakováních stejného cviku. Mezi každou minisérií bylo 30 sekund pauzy a na konci celé série následovala pauza o délce 1 minuty. Celkem se tato série o 75 opakováních v jedné rehabilitační jednotce cvičila třikrát. Poté následoval další cvik ve stejném protokolu.

Stejný protokol zatížení jako Yasuda et al. (2012) zvolil Hughese et al. (2019), kdy ve své studii zkoumali rozdíl v bolestivosti v zatížení při odporovaném cvičení nízké intenzity s použitím metody BFR a vysoce intenzivního odporovaného cvičení po operaci předního zkříženého vazy. Výsledkem této studie bylo, že bolestivost rehabilitace byla nižší než u cvičení vysoké intenzity při stejné dávce opakování.

Úplně jiný přístup k terapii za pomoci metody BFR zvolili ve studii Bryk et al. (2016). Tato studie se zabývala vlivem metody BFR na osteoartrózu u pacientů. Cvičební jednotka se u skupiny s BFR a bez BFR skládala z protahování, posilování hlubokého stabilizačního systému, posilování abduktorů a adduktorů kyčle, lýtkového svalu, senzomotorického tréninku a analytického posilování na čtyřhlavý sval stehenní za pomoci BFR metody. Podobný postup jako zvolil Bryk et al. (2016) jsem zvolil i já v případové studii. Tento postup byl pacientem velmi kladně přijat a došlo k požadovanému nárůstu svalové hmoty v oblasti stehenních svalů.

Indikace metody BFR v rehabilitaci je velmi rozmanitá. Můžeme jí použít od posttraumatických stavů po stavy degenerativní jako je například osteoartróza, sarkopenie nebo obecně zvýšená slabost z důvodu stárnutí. U starších jedinců je dle mého názoru důležitý opatrnější přístup z důvodu větší křehkosti tkání.

Vlivu metody BFR na posttraumatické stavy se věnuje například studie od Kilgase, Lytlové, Druma, a Elmera (2019). Této studii se účastnili pacienti po přetrženém předním zkříženém vazy v kolenním kloubu. Pacienti podstoupili domácí cvičení za pomoci metody BFR. Pacienti cvičili pětikrát týdně po dobu čtyř týdnů. Cvičební jednotka byla tvořena třemi jednoduchými cvičeními (propínáním nohy v kolenu v sedě – třikrát

30 opakování, podřepem – třikrát 30 opakování a chůzí – třikrát 2 minuty). Výsledkem této čtyřtýdenní studie bylo zvýšení objemu svalů na intervenované noze o 10 % a zvýšení síly extenzorů o 20 %. Tento výsledek nijak nevybočuje z řady studií, které udávají vždy navýšení svalové síly a objemu svalů na končetinách, které podstupují intervenci za pomoci metody BFR.

Podobnou studii provedli Hughes et al. (2019), kdy zkoumali jaký je rozdíl v bolestivosti v zatížení při odporovaném cvičení nízké intenzity s použitím metody BFR a vysoce intenzivního odporovaného cvičení po operaci předního zkříženého vazů. Ke stanovení aktuální bolestivosti při provádění cviků v rehabilitaci používali Borgovu škálu bolesti, a to ihned po odcvičení každého cviku, kdy na konci rehabilitační jednotky byl vytvořen průměr bolesti ze všech cviků. Autoři uvádějí, že bolest byla výrazně menší u cvičení nízké intenzity s využitím metody BFR, než u cvičení vysoké intenzity. Autoři tento konkrétní výsledek přikládají tomu, že u postupů, při kterých se používá metoda BFR dochází k nižšímu vytváření pákových sil na kolenní kloub než u vysoce intenzivního odporovaného cvičení. Z vlastní zkušenosti získané na případové studii k této práci vím, že k určitému ovlivnění bolesti může pomoci metoda BFR. Pacient z případové studie podstupující rehabilitaci po operativní meniskotomii mediálního menisku vpravo popisoval po odcvičení lehkost, snížení bolestivosti při chůzi a obecně zlepšené subjektivní vnímání na noze, na kterou byla metoda BFR použita.

Dle některých autorů studií by mohla být metoda BFR využita i při rehabilitaci pacientů trpících osteoartrózou. V již zmíněné studii od Bryka et al. (2016) zkoumali vliv metody BFR u pacientů s gonartrózou. Cílem tohoto výzkumu bylo zjistit, zda ženy, které trpí gonartrózou a podstupující rehabilitační program, jenž se skládal z cvičení nízké intenzity společně s BFR vykazovaly stejné výsledky ve změnách síly v m. quadriceps femoris, úlevě od bolesti a funkčního zlepšení jako ženy, které podstupovaly rehabilitační program založený na konvekčních metodách cvičení společně s cvičením s vysokou zátěží bez BFR. Hodnocení bolesti u pacientek probíhalo na 11 bodové analogové škále bolesti (VAS). Funkční zlepšení bylo hodnoceno pomocí Timed-Up and Go Testu a svalová síla v m. quadriceps femoris byla hodnocena pomocí dynamometrie. Dle autorů došlo k navýšení svalové síly i funkční zdatnosti pacientek v obou případech. Svalová síla u skupiny pacientek podstupující cvičení s BFR zvýšila o 9 % a u skupiny bez BFR o 8 %. Funkční zdatnost byla zlepšena stejně napříč skupinami. Avšak co se týče bolestivosti v kolenním kloubu, tak skupina cvičící metodu BFR pociťovala mnohem menší bolesti při samotném provádění cvičení. Toto zjištění by mohlo korespondovat se

zjištěním ze studie od Hughese et al. (2019), že při cvičení o nízké intenzitě za použití metody BFR dochází k menší bolestivosti z důvodu vytváření menších pákových sil na kloub a na měkké struktury v okolí kloubu.

V návaznosti na předešlé odstavce se někteří autoři zaměřili na to jaký vliv by mohla mít metoda BFR u starších pacientů. Ve staří se začínají objevovat problémy spojené se stárnutím jako jsou například osteoartróza, zvýšené riziko pádů, snížení svalové síly a funkční zdatnosti jedinců.

Clarkson, Conway a Warmington (2017) ve své studii zkoumali vliv metody BFR na chůzi a fyzickou zdatnost u starší populace. Jednalo se o srovnávací studii, kdy byli pacienti rozdělení do skupiny využívající BFR a do skupiny bez BFR. Obě skupiny podstoupily totožný rehabilitační program skládající se z 10minutové chůze na běžeckém oválu. V průběhu 24 terapií v 6 týdnech docházelo průběžně k testování pomocí 4 testů (30sekundový Sit to Stand Test, Timed Up and Go Test, 6minutový chodecký test a modifikovaný Queen's College Step Test). Queen's College Step Test je obdobou Harvard Step Testu s rozdílem ve výšce schodku, na který musí pacienti vystupovat, nižší kadenci výstupů a kratším trváním. Výsledkem této studie bylo, že došlo ke zlepšení v obou skupinách od prvního měření. Mnohem většího zlepšení však došlo u skupiny, která cvičení absolvovala za pomoci metody BFR. Největší zlepšení dosáhli pacienti v modifikovaném Queen's College Step Testu, kdy se skupina s BFR zlepšila oproti prvnímu měření v průměru o 80 % a kontrolní skupina o 21 %. Tyto výsledky však mohou být zavádějící, protože byl vzorek pacientů relativně malý (19). Je však velmi zajímavé, jak taková základní modalita jako je chůze podpořená metodou BFR, může ovlivnit fyzickou zdatnost u starších pacientů.

Co se týče umístění manžety na těle pacienta, tak autoři popisují, že by měla být přiložena na nejproximálnější místo na končetině, kterou chceme metodou ovlivnit (Spitz et al., 2021). Dle mého názoru je však nesmyslné přikládat manžetu až do oblasti třísla, když budeme chtít ovlivnit například m. triceps surae. V takovém případě je dle mého názoru důležité přemýšlet i nad tím, jestli pro nás bude mít nějaký benefit vytvářet ischemii v celé končetině, nebo se zaměřit pouze na určité svalové skupiny, a dle toho poté přikládat manžetu.

Z výše uvedených studií a výsledků je tedy možné dedukovat, že může být metoda BFR přínosem ke stávajícím postupům ovlivňování svalové tkáně ve fyzioterapeutické praxi a rehabilitaci pacientů. Největší její výhoda tkví v tom, že je možné implementovat metodu na velké množství zdravotních problémů díky používání nižších intenzit zatížení

při terapii. Své uplatnění by mohla metoda BFR najít v budoucnu u lidí s ortopedickými problémy, jako jsou například zranění menisků, zkřížených vazů, zlomeniny, osteoartróza, ale také u starší populace trpící například svalovou slabostí. Je však důležité zdůraznit, že je potřebné či dokonce nutné provést velké množství dalších výzkumů k objasnění přesného mechanismus účinků na svalovou tkáň a určitým způsobem standardizovat metodiku aplikace tlaků a cvičebních jednotek.

Dle mého názoru může být metoda BFR do budoucnosti přínosem, ale bude muset dojít k určitému standardizování postupů. V této chvíli je používání této metody o postupu pokus omyl. V naší případové studii reagoval pacient na metodu BFR velmi dobře a podařilo se nám dosáhnout požadovaných výsledků během 6 terapií. Abych však mohl učinit nějaké závěry, tak by bylo potřeba, abych měl možnost použít metodu BFR na větší množství pacientů, s případným porovnáním s jinou metodou. Z dosavadní zkušenosti však musím konstatovat, že díky metodě BFR došlo u našeho pacienta k požadovanému nárůstu objemu svalů, posílení dolní končetiny a snížení bolestivosti v oblasti kolenního kloubu.



## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce popisuje metodu BFR a její možné použití v rehabilitaci pacientů. I když se jedná o novou metodu, již dnes je jasné, že do oboru fyzioterapie patří a najde uplatnění v rehabilitaci pacientů.

Na základě dostupných článků a poznatků z nich získaných o metodě BFR lze shrnout tyto poznatky následovně:

- 1) Metoda Blood Flow Restriction je potencionálně dalším postupem, který může pomoci k navrácení svalové síly a objemu svalů u pacientů při stavech, kdy dochází k svalovému oslabení a úbytku svalů.
- 2) Na metodu BFR je potřeba mít na rehabilitačním pracovišti v ideálním případě pneumatickou manžetu společně s Dopplerem (ultrazvuková sonda), aby mohl být kontrolován průtok krve, který je omezen manžetou, a nedocházelo tak k příliš velkému přiškrcení.
- 3) Manžeta je aplikována na nejproximálnější místo ke středu těla nad segment, který chceme pomocí cvičení a metody BFR ovlivnit. Tlak použitý v manžetě se určuje na základě tlaku, kdy dochází k úplnému uzavření přítoku a odtoku krve do končetiny, jenž bývá zjišťován pomocí Doppleru. Tlak je však možné nastavit i na základě předešlé zkušenosti s metodou BFR, kdy se volí nižší tlaky a více se pracuje s pocitem pacienta. Poslední možností je nastavení tlaku na základě klidového systolického tlaku.
- 4) Nejpoužívanější intenzita zatížení společně s metodou BFR je od 20 % do 30 % z jednoho maximálního opakování daného cviku.
- 5) Hlavní pozitivita metody BFR je v rozsahu možných indikací, na které je metodu možné aplikovat. Indikace, u kterých může být metoda BFR použita jsou například: pooperační rehabilitace u artroskopických operací, rehabilitace po zlomeninách kostí, po operacích šlach a vazů, ale také u svalových zranění a svalového oslabení. Dalším pozitivem je nižší intenzita zatížení pacienta se zvýšeným nebo stejným nárůstem svalové síly, svalového objemu, zlepšení funkčnosti a snížení bolestivosti

v segmentech, na které je metoda aplikovaná vzhledem ke standardizovaným rehabilitačním metodám.

- 6) Mezi hlavní negativa metody BFR může být zařazeno zvýšené nepohodlí pacienta při cvičení spojené s aplikací pneumatické manžety a s ní spojeného zvýšeného tlaku na oslabenou končetinu. Dalším velkým negativem této metody je dosud nezjištěný přesný mechanismus účinku a nestandardizovaný postup aplikace.
- 7) V rámci případové studie bylo zjišťováno u pacienta pomocí Borgovy škály 6-20, vnímané zatížení při cvičení metody BFR. V průběhu cvičení se zatížení dle subjektivních pocitů pacienta pohybovalo v rozmezí lehká (11) až poměrně namáhavá (13), kdy toto zatížení by mohlo korespondovat s popisovaným zatížením nízké intenzity popisované ve studiích.

## 7 SOUHRN

Cílem této bakalářské práce bylo shrnout dostupné informace o metodě Blood Flow Restriction a možnostech jejího použití ve fyzioterapii na základě článků, studií a vědeckých prací.

Z rešerše dostupných studií a článků je zřejmé, že metoda BFR přináší další možnosti k ovlivnění síly, objemu a funkce svalového systému v rámci rehabilitace pacientů. Metoda se nemusí používat jen u pacientů před nebo po operacích, ale lze ji využít i u pacientů, jenž trpí některým z degenerativních onemocnění. Tento fakt může ovlivňovat následnou volbu léčebně-rehabilitačního postupu u celé řady zranění či onemocnění. Největší překážkou, jenž může ovlivnit úspěšné použití BFR je motivace pacienta a zvýšená nepohoda v důsledku aplikace manžety a tlaku na končetinu. Je důležité zdůraznit, že je potřeba provést další studie a výzkumy, které by objasnily přesné procesy a mechanismy účinku probíhající ve svalové hmotě při aplikaci metody BFR.

## **8 SUMMARY**

The objective of this bachelor's thesis was to summarise available information about the Blood Flow Restriction method and the potential for its use in physiotherapy on the basis of articles, studies and scientific research.

On the basis of research of available studies and papers, it is evident that the BFR method affords additional options for affecting the strength, volume and function of the muscular system within the terms of rehabilitation. This method does not have to be used only on patients before or after surgery, but can also be utilised for patients suffering a degenerative disorder. This fact may affect the subsequent choice of therapeutic-rehabilitation procedure in relation to a range of injuries or illnesses. The greatest obstacle, which may affect successful use of BFR, is the patient's motivation and the increased discomfort as a result of application of the cuff and pressure on the limb. It is important to emphasise that additional studies and research are necessary in order to clarify the exact processes and mechanisms of the effects taking place in muscle mass during application of the BFR method.

## 9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., Koizumi, K., & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12. doi: 10.3806/ijkr.1.6
- Ambler, Z., Bednařík, J., & Růžička, E. (2010). *Klinická neurologie* (1. vyd.). Praha, Česká republika: Triton.
- 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. doi: 10.1097/JSA.0000000000000240
- Bryk, F. F., Dos Reis, A. C., Fingerhut, D., Araujo, T., Schutzer, M., Cury, R., Duarte, A., Jr, & Fukuda, T. Y. (2016). Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: A randomized clinical trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 24(5), 1580–1586. doi: 10.1007/s00167-016-4064-7
- Clarkson, M. J., Conway, L., & Warmington, S. A. (2017). Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(12), 1041–1046. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.04.012>
- Cook, S. B., Scott, B. R., Hayes, K. L., & Murphy, B. G. (2018). Neuromuscular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(1), 66–73. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5844210/>

- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., & Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2 (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, *48*(1), 16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
- Cruz-Jentoft, A. J., & Sayer, A. A. (2019). Sarcopenia. *Lancet (London, England)*, *393*(10191), 2636–2646. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31138-9
- Čihák, R. (2016). *Anatomie* (3. vyd.). Praha, Česká republika: Grada.
- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L. T., & LaPrade, R. F. (2018). The role of Blood Flow Restriction therapy following knee surgery: Expert Opinion. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, *34*(8), 2506–2510. doi: 10.1016/j.arthro.2018.05.038
- DePhillipo, N. N., Kennedy, M. I., Aman, Z. S., Bernhardson, A. S., O'Brien, L., & LaPrade, R. F. (2018). Blood Flow Restriction therapy after knee surgery: indications, safety considerations, and postoperative protocol. *Arthroscopy Techniques*, *7*(10), 1037–1043. doi: 10.1016/j.eats.2018.06.010
- Ding, S., Dai, Q., Huang, H., Xu, Y., & Zhong, C. (2018). An overview of muscle atrophy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, *1088*, 3–19. doi: 10.1007/978-981-13-1435-3\_1
- Drummond, M. J., Fujita, S., Abe, T., Dreyer, H. C., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2008). Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(4), 691–698. doi: 10.1249/MSS.0b013e318160ff84

- Ebert, S. M., Al-Zougbi, A., Bodine, S. C., & Adams, C. M. (2019). Skeletal muscle atrophy: discovery of mechanisms and potential therapies. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 34(4), 232–239. doi: 10.1152/physiol.00003.2019
- Ferraz, R. B., Gualano, B., Rodrigues, R., Kurimori, C. O., Fuller, R., Lima, F. R., DE Sá-Pinto, A. L., & Roschel, H. (2018). Benefits of resistance training with Blood flow restriction in knee osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 897–905.
- Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: A brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183–195. doi: 10.1007/s00223-014-9915-y
- Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., Dhanani, S., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1199-1209. doi: 10.1152/jappphysiol.01266.2009
- Fujita, S., Abe, T., Drummond, M. J., Cadenas, J. G., Dreyer, H. C., Sato, Y., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2007). Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology*, 103(3), 903-910. doi: 10.1152/jappphysiol.00195.2007
- Ganong, W. F. (2005c). *Přehled lékařské fyziologie* (20. vyd.). Praha, Česká republika: Galén.
- Hughes, L., Jeffries, O., Waldron, M., Rosenblatt, B., Gissane, C., Paton, B., & Patterson, S. D. (2018). Influence and reliability of lower-limb arterial occlusion pressure at different body positions. *PeerJ*, 6, e4697. doi: 10.7717/peerj.4697

- Hughes, L., Paton, B., Haddad, F., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2018). Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 33, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.07.002>
- 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. doi: 10.1136/bjsports-2016-097071
- Hughes, L., Patterson, S. D., Haddad, F., Rosenblatt, B., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., & Paton, B. (2019). Examination of the comfort and pain experienced with Blood Flow Restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Physical Therapy in Sport*, 39(9), 90-98. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.06.014
- Hwang, P. S., & Willoughby, D. S. (2019). Mechanisms behind Blood Flow–restricted training and its effect toward muscle growth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 167-179. doi: 10.1519/JSC.0000000000002384
- Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y., & Bembem, M. (2007). Overview of neuromuscular adaptations of skeletal muscle to KAATSU Training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 3(1), 1-9. doi:10.3806/ijktr.3.1
- Kawada, S., & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle hypertrophy after chronic restriction of venous blood flow in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1144–1150. doi: 10.1249/01.mss.0000170097.59514.bb
- Keynes, R. D., Huang, C. L.-H., & Aidley, D. J. (2011). *Nerve and Muscle* (4. vyd.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.



- Kittnar, O. (2011). *Lékařská fyziologie* (1. vyd.). Praha, Česká republika: Grada.
- Kregel, K. C. (2002). Invited Review: Heat shock proteins. *Journal of Applied Physiology*, *92*(5), 2177-2186. doi: 10.1152/jappphysiol.01267.2001
- Lambert, B. S., Hedt, C., Moreno, M., Harris, J. D., & McCulloch, P. (2018). Blood Flow Restriction Therapy for stimulating skeletal muscle growth: practical considerations for maximizing recovery in clinical rehabilitation settings. *Techniques in Orthopaedics*, *33*(2), 89-97. doi: 10.1097/BTO.0000000000000275
- Lepley, L. K., Davi, S. M., Burland, J. P., & Lepley, A. S. (2020). Muscle atrophy after ACL injury: Implications for clinical practice. *Sports Health*, *12*(6), 579–586. doi: 10.1177/1941738120944256
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Laurentino, G., Libardi, C. A., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., Tricoli, V., & Roschel, H. (2015). Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(12), 2471–2480. doi: 10.1007/s00421-015-3253-2
- Loenneke, J. P., Allen, K. M., Mouser, J. G., Thiebaud, R. S., Kim, D., Abe, T., & Bembien, M. G. (2015). Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(2), 397–405. doi: 10.1007/s00421-014-3030-7
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Wilson, J. M., & Bembien, M. G. (2011). Blood flow restriction: The metabolite/volume threshold theory. *Medical Hypotheses*, *77*(5), 748–752. doi: 10.1016/j.mehy.2011.07.029
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bembien, M. G. (2013). Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *33*(4), 325–327. doi: 10.1111/cpf.12035

- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(1), 1–4. doi: 10.1055/s-0029-1239499
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory* (1. vyd.). Praha, Česká republika: Grada.
- Meyer, R. A. (2006). Does blood flow restriction enhance hypertrophic signaling in skeletal muscle? *Journal of Applied Physiology*, *100*(5), 1443-1444. doi: 10.1152/jappphysiol.01636.2005
- Naňka, O., & Elišková, M. (2015). *Přehled anatomie* (3. vyd.). Praha, Česká republika: Galén.
- Patterson, S. D., Hughes, L., Head, P., Warmington, S., & Brandner, C. (2017). Blood flow restriction training: A novel approach to augment clinical rehabilitation. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(23), 1648-1649. doi: 10.1136/bjsports-2017-097738
- 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. doi: 10.1007/s40279-014-0264-9
- Povýšil, C., & Šteiner, I. (2007c). *Speciální patologie* (2. vyd.). Praha, Česká republika: Galén.
- Rokyta, R. (2016). *Fyziologie* (3. vyd.). Praha, Česká republika: Galén.
- Rosow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *32*(5), 331–337. doi: 10.1111/j.1475-097X.2012.01131.x

- Sadler, T. W. (2011). *Langmanova lékařská embryologie* (1. vyd.). Praha, Česká republika: Grada.
- Sherwood, L. (2016). *Human physiology: From cells to systems* (7. vyd.). Boston, MA: Cengage Learning.
- 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine*, 43(3), 179–194. doi: 10.1007/s40279-013-0017-1
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka* (3. vyd.). Praha, Česká republika: Grada.
- Simar, D., Malatesta, D., Badiou, S., Dupuy, A. M., & Caillaud, C. (2007). Physical activity modulates heat shock protein-72 expression and limits oxidative damage accumulation in a healthy elderly population aged 60–90 years. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 62(12), 1413–1419. doi: 10.1093/gerona/62.12.1413
- Spitz, R. W., Chatakondi, R. N., Bell, Z. W., Wong, V., Viana, R. B., Dankel, S. J., Abe, T., Yamada, Y., & Loenneke, J. P. (2021). Blood Flow Restriction Exercise: Effects of Sex, Cuff Width, and Cuff Pressure on Perceived Lower Body Discomfort. *Perceptual and Motor Skills*, 128(1), 353–374. doi: 10.1177/0031512520948295
- Stecco, C., & Schleip, R. (2016). A fascia and the fascial system. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 20(1), 139–140. doi: 10.1016/j.jbmt.2015.11.012

- Sumide, T., Sakuraba, K., Sawaki, K., Ohmura, H., & Tamura, Y. (2009). Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(1), 107–112. doi: 10.1016/j.jsams.2007.09.009
- Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., Hirose, K., Matsumoto, A., Takenaka, K., Hirata, Y., Eto, F., Nagai, R., Sato, Y., & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology*, *95*(1), 65–73. doi: 10.1007/s00421-005-1389-1
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, *88*(1), 61-65. doi: 10.1152/jappl.2000.88.1.61
- Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *86*(4), 308-314. doi: 10.1007/s00421-001-0561-5
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(12), 2035–2039. doi: 10.1097/00005768-200012000-00011
- Thomas, K. (2019). The benefits of Blood Flow Restriction training for rehabilitation. *Co-Kinetic Journal*, (79), 24-31.
- Walters, J. (2017). Muscle hypertrophy and pseudohypertrophy. *Practical Neurology*, *17*(5), 369-379. doi: 10.1136/practneurol-2017-001695

- Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., Kurano, M., Fujita, S., & Nakajima, T. (2010). Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism: Clinical And Experimental*, 59(10), 1510–1519. doi: 10.1016/j.metabol.2010.01.016
- Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Shirakawa, J., Sato, Y., & Abe, T. (2009). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *Journal of Sports Sciences*, 27(5), 479-489. doi: 10.1080/02640410802626567
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2012). Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *PloS one*, 7(12), e52843. doi: 10.1371/journal.pone.0052843

## **10 PŘÍLOHY**

Seznam příloh:

Příloha 1 – Informovaný souhlas pacienta

Příloha 2 – Borgova škála zatížení

Příloha 3 – Potvrzení o překladu bakalářské práce

## Informovaný souhlas

### *Možnosti použití metody Blood Flow Restriction ve fyzioterapii*

Jméno a Příjmení:

Datum narození:

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

Podpis účastníka:

Podpis fyzioterapeuta pověřeného touto studií:

Datum:

Datum:

Příloha 2

Borgova škála **6-20** pro hodnocení vnímání intenzity, namáhavosti příslušného zatížení

<b>6</b>	<b>14</b>
<b>7 velmi, velmi lehká</b>	<b>15 namáhavá</b>
<b>8</b>	<b>16</b>
<b>9 velmi lehká</b>	<b>17 velmi namáhavá</b>
<b>10</b>	<b>18</b>
<b>11 lehká</b>	<b>19 velmi, velmi namáhavá</b>
<b>12</b>	<b>20</b>
<b>13 poněkud namáhavá</b>	



## POTVRZENÍ O PŘEKladu BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení studenta: Martin Radina

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3. ročník

Studijní obor: Fyzioterapie

Akademický rok: 2020/2021

Název bakalářské/diplomové práce:

Možnosti použití metody Blood Flow Restriction ve fyzioterapii

Jméno a příjmení překladatele: Mgr. Zdeňka Lacinová

Datum: 14.4.2021

Razítko a podpis:

  
**Studio Hláska spol. s r.o.**  
Jugoslávská 1809/23  
741 01 Nový Jičín  
IČ: 277 75 755 DIČ: CZ277 75 755  
Tel.: 777 095 292