

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Vliv cvičení s omezením krevního průtoku na nárůst svalové
síly - meta-analytická studie**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Jiří Baláš, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. et Bc. Dominik Uher

Praha, březen 2021

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

podpis diplomanta

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval doc. Jiřímu Balášovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, odborné rady, konzultace a podporu při zpracování práce.

Abstrakt

- Název:** Vliv cvičení s omezením krevního průtoku na nárůst svalové síly
- Cíle:** Cílem této práce bylo na základě systematické rešerše posoudit velikost efektu cvičení s omezením krevního průtoku na nárůst svalové síly, a determinovat hlavní faktory, které moderují tento nárůst.
- Metody:** Primární zdroje byly vyhledány ve vědeckých databázích Academic Search Ultimate, Web of Science a Taylor and Francis. V zařazených studiích byly vyhledány jednotlivé tréninkové intervence. Z tréninkových intervencí byly vymezeny možné moderující faktory velikosti účinku na rozvoj svalové síly horních nebo dolních končetin. Z výsledků studií byla vypočtena velikost účinku Cohenova d a Hedgesova g . Vliv parametrů aplikace vaskulární okluze a cvičení s omezením krevního průtoku na velikost účinku byl hodnocen na základě korelační analýzy.
- Výsledky:** Do této diplomové práce bylo celkem zařazeno 27 studií, ve kterých bylo vyhledáno a následně zařazeno 39 rozdílných tréninkových intervencí s využitím BFR cvičení. Na základě korelační analýzy nebyl nalezen přímý vztah mezi parametry cvičení a velikostí vlivu (ES) na nárůst svalové síly. Průměrná hodnota velikosti účinku všech zařazených studií byla pro ES (d) 0,642 (0,00-2,378) a ES (g) 0,5 (0,002-1,821). Nejvyšší hodnoty korelačního koeficientu byly shledány mezi parametrem počet intervencí a ES (d) 0,38. Korelační koeficienty pro další parametry byly ve srovnání s ES (d) následující: délka intervence 0,27; počet cviků 0,22; maximální tlak manžety 0,19; intenzita cvičení 0,07; šířka manžety 0,00.
- Závěr:** Na základě zjištěných hodnot ES můžeme cvičení s omezením krevního průtoku považovat za středně až velmi účinné na nárůst svalové síly. Faktory, které nejvíce moderovaly nárůst síly během BFR cvičení byly počet intervencí a délka intervence. Ostatní vybrané faktory měly velmi nízké hodnoty účinku.

Klíčová slova: okluze, síla, trénink, manžeta, horní končetina, dolní končetina

Abstract

Title: The effect of exercise with blood flow restriction on the development of muscle strength

Objectives: The aim of this work was to assess the magnitude of the effect of exercise with blood flow restriction on the development of muscle strength on the basis of a systematic research and to determine the main factors that moderate this increase.

Methods: Primary sources were searched in the scientific databases Academic Search Ultimate, Web of Science and Taylor and Francis. Individual training interventions were found in the included studies. Based on the training interventions, possible moderating factors of the magnitude of the effect on the development of muscular strength of the upper or lower limbs were defined. From the results of the studies, the effect size values of Cohen's d and Hedge's g were calculated. The influence of concrete parameters of application of the vascular occlusion and blood flow restriction exercise on the magnitude of the effect was evaluated on the basis of correlation analysis.

Results: A total of 27 studies were included in this diploma thesis, in which 39 different trainings using blood flow restriction exercises were found and included. Based on the correlation analysis, no direct relationship was found between the exercise parameters and the magnitude of the effect. The mean ES (d) value of all included studies was 0,642 (0,000-2,378) and the mean ES (g) value was 0,5 (0,002-1,821). The highest values of the correlation coefficient were found between the parameter number of interventions and ES (d) 0,38. The correlation coefficients for other parameters compared to ES (d) were following: intervention length 0,27; number of exercises 0,22; maximum cuff pressure 0,19; exercise intensity 0,07; cuff width 0,00.

Conclusion: Based on the ES values we can consider the exercise with blood flow restriction to be from moderately to very effective for strength gain. Factors, which have moderated the strength gain the most during the BFR exercise, were the number of interventions and the length of the intervention. The other selected factors had very low ES values.

Keywords: occlusion, strength, training, cuff, upper limb, lower limb

OBSAH

ÚVOD	10
1 MOŽNOSTI VYUŽITÍ BFR CVIČENÍ	12
1.1 Využití BFR cvičení v rehabilitaci	13
1.2 Bezpečnost používání BFR	14
2 MECHANISMUS ÚČINKU BFR CVIČENÍ	17
2.1 Ovlivnění organismu na lokální úrovni	17
2.1.1 Ovlivnění svalové hypertrofie	17
2.1.2 Ovlivnění angiogeneze	19
2.1.3 Ovlivnění zapojení svalových vláken	19
2.2 Ovlivnění organismu na systémové úrovni	20
3 VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY A BFR TRÉNINK	21
3.1 Ovlivnění svalové síly	21
3.2 Ovlivnění růstu svalové hmoty	22
3.3 Ovlivnění vytrvalosti	22
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	23
CÍL PRÁCE	24
5 METODIKA	25
6 VÝSLEDKY	28
6.1 Charakteristika zařazených studií	28
6.2 Velikost účinku	29
6.3 Moderující efekt vybraných parametrů na velikost ES	29
7 DISKUZE	33
7.1 Porovnání studií	33
7.2 Doporučení pro aplikaci manžety a provádění BFR cvičení	41
7.3 Směr výzkumu	44
ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	58
SEZNAM PŘÍLOH	59
PŘÍLOHY	60

ÚVOD

Cvičení s vaskulární okluzí poprvé popsal Yoshiaki Sato na konci 19. století. Sato představil cvičení s omezením krevního průtoku (Blood flow restricted – BFR) jako tréninkovou metodu schopnou vyvolat svalovou hypertrofii a podpořit hojící procesy. Vaskulární okluze jako součást cvičení o nízké intenzitě získala v posledních letech značnou pozornost vědecké obce. Cvičení s omezením krevního průtoku se začíná uplatňovat ve zdravotnictví především v rehabilitaci. U pacientů, kteří nejsou schopni vyvinout dostatečné úsilí potřebné pro vyvolání růstu svalové hmoty a síly, umožňuje tohoto cíle dosáhnout nebo alespoň zamezit svalové atrofii. Cvičení s omezením krevního průtoku lze využít rovněž u sportovců, kteří nejsou vlivem zranění schopni trénovat s vysokými intenzitami. Neschopnost cvičit s vysokou intenzitou se u těchto skupin projeví snížením svalové síly. U pacientů to může znamenat snížení mobility, snížení soběstačnosti a pomalejší návrat do běžného života. U sportovců se snížení svalové síly projeví především na snížení výkonnosti. Při cvičení o nízké intenzitě s omezením krevního průtoku je dosahováno podobných výsledků jako při cvičení s vysokou intenzitou bez vaskulární okluze. Dle vědeckých studií využití vaskulární okluze u cvičení o nízké intenzitě vyvolalo zvýšení svalové hypertrofie, svalové síly, lokální a kardiovaskulární vytrvalosti. Při cvičení s omezením krevního průtoku se vaskulární okluze dosahuje aplikací manžety na proximální části posilované končetiny. Při vaskulární okluzi dochází k zamezení žilního návratu krve při současném zachování arteriálního zásobování končetiny, dochází tedy k hromadění krve distálně od manžety. V současné době se vědecká obec neshoduje na přesném mechanismu účinku vaskulární okluze. Nicméně výzkum v této oblasti dále pokračuje a je zřejmé, že cvičení s omezením krevního průtoku způsobuje zvýšení svalové síly a dalších parametrů fyziologickými mechanismy, které se na výsledném efektu cvičení podílejí v různé míře. Jednotlivé studie uvádějí značně odlišné přístupy k aplikování vaskulární okluze při cvičení, a také různé přístupy ke cvičení samotnému. Dle našeho názoru je tedy nutné stanovit jasné parametry tréninku s omezením krevního průtoku a parametry aplikace vaskulární okluze, jako jsou například šířka manžety, velikost tlaku manžety, intenzita cvičení, tréninková zátěž a další, aby bylo dosaženo co nejvyššího efektu cvičení.

V této práci se budeme zabývat vlivem cvičení s omezením krevního průtoku na rozvoj síly horních a dolních končetin. Rozhodli jsme se zhodnotit a porovnat výsledky studií a najít možnou spojitost mezi efektem zvoleného tréninku na rozvoj svalové síly a faktory, které ho ovlivňují. Toto srovnání by mohlo přispět ke stanovení parametrů aplikace a cvičení s omezením krevního průtoku pro dosažení vysokého efektu. Jasně dané parametry by pak mohly sjednotit a zjednodušit používání cvičení s omezením krevního průtoku v praxi a rovněž sjednotit aplikační přístupy v budoucím výzkumu.

1 MOŽNOSTI VYUŽITÍ BFR CVIČENÍ

U osob, které mají kontraindikováno provádění cvičení s vysokou intenzitou, můžeme jako náhradu použít k dosažení podobných výsledků s menším úsilím cvičení s omezením krevního průtoku (Slysz, Stultz a Burr, 2015). Mezi tyto osoby mohou například patřit pacienti s chronickým onemocněním, staří jedinci, ale také sportovci po zranění. Je dobře známo, že inaktivita jedince má s průběhem času za následek snížení svalové síly a svalové hmoty (Correa et al., 2013). Toto snížení svalové síly nevyhnutelně vede dle Sousy et al. (2020) ke snížení výkonnosti, což je problémem zejména u sportovců. Nicméně snížení výkonnosti u starších jedinců nebo u pacientů může vést například ke zhoršení jejich zdravotního stavu, snížení mobility a zpomalení rehabilitace. Pro lidi, kteří nemohou cvičit ani s nízkou zátěží, jako například pacienti po operačních zákrocích nebo imobilní pacienti, může aplikování vaskulární okluze zpomalit úbytek svalové hmoty. Pro nárůst svalové hmoty a zvýšení svalové síly je běžně doporučováno odporové cvičení s vysokou intenzitou se zátěží 70 až 85% jednoho opakovacího maxima (Ratamess et al., 2009). Avšak při cvičení s omezením krevního průtoku je možné dosáhnout významného zvýšení svalové síly při nízkých intenzitách (Loenneke et al., 2011). Výhodou je také menší mechanické zatížení kloubů při využití cvičení o nízké intenzitě (Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas, 2015).

Cvičení s omezením krevního průtoku, někdy nazývané také jako Kaatsu training, poprvé praktikoval Yoshiaki Sato v období sedmdesátých a osmdesátých let 19. století v Japonsku. Byl to rovněž on, kdo vytvořil základ metodiky BFR cvičení (Sato, 2005). Při této metodě cvičení je mechanickým stlačením končetiny (například pomocí manžety na měření krevního tlaku nebo elastických pásů) omezen návrat žilní krve se současně částečně zachovaným prouděním arteriální krve do končetiny. Vzniklá komprese způsobuje hromadění krve v kapilárním řečišti distálně od místa zaškrcení. Samotné omezení krevního průtoku bez cvičení může zamezit svalové atrofii nebo dokonce vést k svalové hypertrofii a zvýšení svalové síly (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). V dosavadních výzkumech byla vaskulární okluze aplikována s různými druhy cvičení, například extenzí v kolenním kloubu, plantární flexi, chůzí, jízdou na kole a dalšími. BFR cvičení u všech typů cvičení vedlo ke zvýšení svalové síly, svalové hypertrofii a ke zlepšení lokální a kardiorespirační vytrvalosti (Pope,

Willardson a Schoenfeld, 2013). Autoři Spitz et al. (2020) uvádějí, že BFR cvičení je spojováno s větším diskomfortem během cvičení než u běžného odporového cvičení.

1.1 Využití BFR cvičení v rehabilitaci

Omezení krevního průtoku může mít pozitivní přínos pro rehabilitaci pacientů po nejružnějších zákrocích. Bylo dokázáno, že pouhá aplikace vaskulární okluze bez cvičení omezila svalovou atrofii po operativním zákroku (Takarada, Takazawa a Ishii, 2000). Zároveň můžeme dosáhnout pozitivních adaptačních změn, pokud je pacientovi umožněno cvičení o nízké intenzitě spolu s vaskulární okluzí (Loenneke, Thiebaud a Takashi, 2013). U starších pacientů bylo dokázáno, že aerobní aktivita v podobě chůze na páse s vaskulární okluzí způsobila nárůst svalové hmoty a síly bez negativního ovlivnění tepenné compliance (Ozaki, Miyachi, Nakajima a Abe, 2010). Z těchto poznatků vyplývá, že i běžné denní aktivity, jako například chůze, může s využitím BFR být dostatečným stimulem pro růst svalové hmoty a zvýšení svalové síly.

Gualano et al. (2010) zkoumali využití BFR cvičení u pacientů se zánětlivou idiopatickou myopatií. Autoři zjistili, že odporové BFR cvičení o nízké intenzitě bylo efektivnější než chůze s vaskulární okluzí pro nárůst svalové hmoty a zvýšení svalové síly. U pacientů s myopatií je cvičení o vysoké intenzitě potřebné pro nárůst svalové hmoty nemožné, proto je pro tyto pacienty cvičení nebo chůze s vaskulární okluzí vhodnou náhradou, při které rovněž dochází ke zlepšení kvality života. Kruithof, Thomas a Tripp (2018) použili BFR cvičení u pacienta po artroplastické operaci. U pacienta došlo k jeho časnějšímu zapojení do sportovní činnosti než při běžné rehabilitaci. Také u pacientů po totální endoprotéze kolenního kloubu bylo pozorováno zlepšení ve smyslu nárůstu svalové síly m. quadriceps femoris (Gauder, Hawkinson, Tennet a Tubb, 2017). Oba případy poukazují na možnost využití BFR cvičení u ortopedických pacientů s omezenou zátěží. Využití BFR cvičení jako součásti rehabilitace bylo také zkoumáno u pacientů po ruptuře Achillovy šlachy, kde došlo k nárůstu svalové síly, vytrvalosti a zlepšení funkční úrovně za využití nižších intenzit zatížení než při běžné rehabilitaci (Yow et al., 2017). Z přehledové studie Bittara, Pfeiffera, Santose a Cirilo-Sousy (2018) vyplývá, že BFR cvičení má zřejmě pozitivní vliv na metabolismus kostní tkáně, čehož můžeme využít při léčbě osteoporózy. Nicméně je třeba tento vliv BFR cvičení na metabolismus kostní tkáně podpořit dalším výzkumem. Pro pacienty s patelofemorální bolestí je důležité posílení m. quadriceps

femoris. Nicméně často u těchto pacientů cvičení o dostatečně vysoké intenzitě vyvolává další bolesti. Při využití BFR jsme schopni zvýšit svalovou sílu a dosáhnout svalové hypertrofie i při intenzitách, které bolest nevyvolávají. Zároveň z výzkumu vyplývá, že po osmitýdenní intervenci s využitím BFR cvičení došlo k výraznějšímu snížení bolesti při běžných denních aktivitách, než u lidí, kteří posilovali m. quadriceps femoris bez využití BFR (Giles, Webster, McClelland a Cook, 2017). Dle Xintonga et al. (2019) se výzkum v oblasti využití BFR cvičení v rehabilitaci zaměřuje na dolní končetiny. Studií, které zkoumají vliv na horní končetiny, je málo.

BFR cvičení má v rehabilitaci využití především tam, kde nemůžeme aplikovat cvičení o vysoké intenzitě. Je velice důležité, abychom při aplikaci BFR cvičení u pacientů brali v potaz bezpečnostní rizika.

1.2 Bezpečnost používání BFR

Ačkoliv je cvičení s vaskulární okluzí považováno za prospěšné pro trénink svalové síly i vytrvalosti, je nutné zvážit vnější a vnitřní faktory ovlivňující efektivitu a bezpečnost. Mezi takové vnější faktory můžeme dle Popa, Willardsona a Schoenfelda (2013) zařadit tlak, šířku a tvar manžety. Vnitřními faktory, ovlivňujícími efektivitu a bezpečnost, mohou být antropometrické charakteristiky končetiny, historie pacienta, a rovněž srdeční, cévní, metabolické a nervové potíže (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). Za potenciální bezpečnostní rizika při BFR cvičení považují autoři Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) mechanické poškození kůže, svalů a periferních nervů, žilní trombózu a zvýšení arteriálního tlaku.

Manžeta dle Kacina, Rosenblatta, Žargiho a Biswase (2015) může svým tlakem, nechtěným posunem a špatným upevněním způsobovat nekrózy a třecí popáleniny. Autoři jako řešení uvádí vhodnost podložení manžety, aby k výše uvedeným poškozením nedocházelo.

K poškození muskuloskeletálního systému může docházet vlivem nadměrné zátěže při BFR cvičení, což pozorovali Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015). Tyto důsledky cvičení však můžeme dle autorů do jisté míry považovat za znaky dostatečného stimulu důležitého pro adaptaci na zátěž. Kacin a Strazar (2011) uvádí známky atrofie v místě manžety po čtyřtýdenním tréninku s využitím BFR. Autoři použili při aplikaci manžety tlak ve výši $\geq 230\text{mmHg}$, což výrazně převyšuje

doporučené hodnoty tlaku dle Loennekeho et al. (2014), a poukazuje na chybnou aplikaci manžety při cvičení BFR. Iversen a Rostad (2010) popisují případ vzniku rhabdomyolýzy, která vznikla sníženou perfúzí a extrémní fyzickou námahou po jednom cvičení s vaskulární okluzí. Dle Kacina, Rosenblatta, Žargiho a Biswase (2015) je nutné vzít v úvahu další příčiny vzniku rhabdomyolýzy, jako jsou omezený přísun kalorií, vážné popáleniny v minulosti, nedávné svalové trauma nebo zranění a u osob se zvýšeným rizikem vzniku rhabdomyolýzy cvičení s využitím BFR neprovádět. Rovněž je nutno brát v úvahu nepřipravenost osoby na zátěž vyvolanou cvičením. Dle Sieljackse et al. (2015) může u takových pacientů dojít k výraznému poškození svalů. Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) zaznamenali zhoršení po využití BFR cvičení u pacientů s pooperační synovitidou a hemartrózou. Zmiňují také možnost negativního vlivu u pacientů s pooperačně oteklými klouby, zánětlivou artropatií a septickou artritidou.

Dle Jesseho et al. (2017) je při BFR cvičení s nízkou intenzitou vliv na kardiovaskulární odpověď srovnatelný s cvičením o vysoké intenzitě bez vaskulární okluze. Zvýšením relativního zatížení nebo tlaku manžety dochází dle Jesseho et al. (2017) ke zvýšení kardiovaskulární odpovědi. BFR cvičení nezpůsobuje hypotenzi po cvičení jako je tomu u cvičení o vysoké intenzitě bez vaskulární okluze. Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) doporučují především u pacientů s hrozcí kardiovaskulární příhodou během cvičení mezi sety reperfuzi tkáně po dobu 45 až 60 sekund. Také by tito pacienti měli být během cvičení monitorováni a cvičení by nemělo být prováděno do vyčerpání. Cvičení prováděné do svalového selhání zvyšuje srdeční frekvenci, ať už je využito vaskulární okluze nebo nikoliv (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013).

Ačkoliv Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) považují za potenciální riziko BFR cvičení vznik žilních trombů, není BFR cvičení spojováno se vznikem žilní trombózy. Dále autoři upozorňují na možnost komprese cév a změny proudění krve.

Kompresí tkáně pod manžetou může dojít k útlaku nervu a možnosti vzniku parestézií v oblastech distálně od místa komprese (Kacin a Strazar, 2011). Takto vzniklé akutní komprese nervů však nemají dlouhodobý negativní dopad u zdravých jedinců. Vzhledem k možnosti poškození periferních nervů považují Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) za rizikové osoby diabetiky, pacienty s předešlým porušením

periferního nervu, paralympioniky s poškozením míchy, pacienty s přímým poraněním periferního nervu a pacienty s komplexním regionálním bolestivým syndromem.

BFR cvičení je považováno za relativně bezpečnou techniku a její rizika jsou srovnatelná s riziky při cvičení o vysoké intenzitě. Nicméně musíme brát v úvahu zejména výše popsané rizika BFR cvičení spojované s aplikací manžety a vyvolanou ischemií. Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) vytvořili dotazník pro hodnocení rizika před vlastní aplikací BFR cvičení viz Příloha 1. Abychom byli schopni BFR cvičení správně aplikovat u pacientů a sportovců, musíme znát mechanismy, kterými dochází vlivem BFR cvičení k adaptačním změnám organismu.

2 MECHANISMUS ÚČINKU BFR CVIČENÍ

V této kapitole uvedeme dosavadní poznatky ohledně mechanismu působení BFR cvičení na organismus na lokální a systémové úrovni.

2.1 Ovlivnění organismu na lokální úrovni

Metabolický stres a změna v působení mechanických sil během BFR cvičení patří mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující adaptační mechanismy v organismu při tomto cvičení. Metabolický a mechanický stres současně zprostředkovávají mnohé sekundární mechanismy, které způsobují adaptační změny ve svalech při BFR cvičení (Pearson a Hussain, 2015). Mezi adaptační změny na BFR cvičení řadíme svalovou hypertrofii, angiogenezi a změny v zapojení svalových vláken.

2.1.1 Ovlivnění svalové hypertrofie

Mechanismus účinku BFR cvičení na růst svalové hmoty není doposud jednotně a důkladně popsán. Loenneke, Wilson a Wilson (2009) za hlavní mechanismy účinku BFR cvičení na růst svalové hmoty považují: akumulaci metabolitů vlivem omezeného žilního návratu, aktivaci rychlých svalových vláken vlivem sníženého přístupu kyslíku, zvýšení syntézy proteinů, zvýšení proteinu teplotního šoku, zvýšení syntézy oxidu dusnatého a snížení uplatnění myostatinu.

Vlivem BFR cvičení se zvyšuje koncentrace krevního laktátu v příslušné lokalitě. Zvýšená koncentrace laktátu je spojována s poklesem pH. Kyselé intramuskulární prostředí stimuluje zvýšení koncentrace růstového hormonu (Takarada et al., 2000). Dle Yarasheskiho et al. (1992) nejsou důkazy o tom, že při běžném cvičení způsobuje vyšší hladina růstového hormonu nárůst syntézy proteinů ve svalech. Je možné, že tohle tvrzení neplatí u BFR cvičení, při kterém Takarada et al. (2000) zaznamenali přechodné zvýšení laktátu i růstového hormonu, kdy hodnoty koncentrace růstového hormonu dosahovaly až dvěstědevadesáti násobku klidových hodnot. Ovšem Loenneke, Wilson a Wilson (2009) uvádí, že zvýšená koncentrace krevního laktátu nemusí být vždy spojená se zvýšením koncentrace růstového hormonu. Reeves et al. (2006) pozorovali u skupiny s vaskulární okluzí větší nárůst koncentrace růstového

hormonu oproti skupině bez vaskulární okluze. Přitom obě skupiny měly stejnou koncentraci krevního laktátu po cvičení. Autoři považují za možné vysvětlení obtížnější difuzi laktátu ze svalové tkáně vlivem okluze, a tedy výraznější akumulaci laktátu ve svalové tkáni, což má za následek snížení pH ve svalové tkáni. Pope, Willardson a Schoenfeld (2013) konstatují, že akutní systémová hormonální odpověď na BFR cvičení je srovnatelná se cvičením o vysoké intenzitě, nicméně připouští možné zvýšení koncentrací vyplavovaných hormonů.

Zvýšená proteosyntéza podporuje svalovou hypertrofii (Wang a Proud, 2006). Přenašeč signálu ribozomální S6 kináza 1 (S6K1) zajišťuje iniciaci translace mRNA (Fujita et al., 2007). Baar a Esser (1999) zjistili, že zvýšení fosforylace S6K1 šest hodin po cvičení je v korelaci s procentním vyjádřením nárůstu svalové hmoty po šestitýdenním tréninku, což dle autorů naznačuje, že fosforylace S6K1 by mohla být markerem pro dlouhodobé zvýšení svalové hmoty. Fujita et al. (2007) zaznamenali zvýšené hodnoty S6K1 po cvičení s vaskulární okluzí, které zůstaly zvýšené po dobu tří hodin po cvičení. Autoři uvádí, že S6K1 má vliv na zvýšení svalové hypertrofie a svalové síly.

Proteiny teplotního šoku působí proti agregaci proteinů a zabraňují jejich nesprávnému skládání. Protein teplotního šoku 72 (HSP-72) zabraňuje degradaci proteinů během období snížené kontraktility svalů (Loenneke, Wilson a Wilson, 2009). Trénink BFR ve studii Kawady a Ishiiho (2005) na krysách zvýšil hodnoty HSP-72. Zvýšená koncentrace HSP-72, produkovaného vlivem hypoxie, ischemie, tepla a volných radikálů, může být dle autorů mechanismem, jež BFR cvičení zajišťuje ochranu vůči atrofii svalu, a rovněž podporuje svalovou hypertrofii.

Syntáza oxidu dusnatého je enzym odpovědný za přeměnu L-argininu na oxid dusnatý (NO). NO je malá a elektricky neutrální molekula, schopná snadného pohybu tkáněmi. Neuronální syntáza oxidu dusnatého (nNOS) se nachází v dystrofinovém proteinovém komplexu kosterního svalu. V klidovém stavu nNOS nepřetržitě produkuje nízkou hladinu NO, která udržuje klidový stav satelitních buněk. Během kontrakcí vyvolané cvičením je nNOS aktivován mechanickými smykovými silami, stejně jako zvýšením intracelulární koncentrace Ca^{2+} . Během BFR cvičení je hladina nNOS zvýšena (Loenneke, Wilson a Wilson, 2009). Dle Andersona (2000) náhlé zvýšení produkce NO způsobuje uvolnění hepatocytového růstového faktoru do svalu, kde aktivuje satelitní buňky, které produkují nová svalová vlákna.

Myostatin je považován za záporný regulátor svalového růstu. Působení myostatinu na myogenezi dospělých je spojováno s inhibicí proliferace svalových satelitních buněk (Loenneke, Wilson a Wilson, 2009). Při BFR cvičení byly naměřeny snížené hodnoty myostatinu (Kawada a Ishii, 2005).

Loenneke et al. (2011) považují za jeden z mechanismů účinku otékání buněk (cell swelling), vyvolané reaktivní hyperémií. Autoři zaznamenali nárůst svalové síly a hmoty, aniž by došlo ke hromadění metabolitů či zvýšení hladiny růstového hormonu nebo zapojení rychlých svalových vláken. Z těchto závěrů vyvodili, že otékání buněk je běžným mechanismem účinku různých podob cvičení BFR.

2.1.2 Ovlivnění angiogeneze

Angiogeneze je proces tvorby nových kapilár ze stávajících kapilár. Zvýšený počet kapilár vede ke zlepšení přívodu kyslíku, živin a odvodu odpadních metabolitů z tkání (Ferguson et al., 2018). Fyziologickou aktivitou k vyvolání angiogeneze je cvičení (Prior, Yang a Terjung, 2004). Angiogeneze je stimulována několika fyziologickými signály, zahrnující smykové tření, pasivní protažení tkáně, snížený přísun kyslíku a metabolismus svalové tkáně (Egginton, 2011). BFR cvičení může angiogenezi vyvolat skrze snížení přísunu kyslíku do tkáně a zvýšení metabolismu (Ferguson et al., 2018). V tomto se BFR cvičení shoduje se cvičením o vysoké intenzitě. BFR cvičení také zvyšuje smykové tření během a po cvičení. Vaskulární endoteliální růstový faktor (VEGF) představuje ukazatel potenciálu angiogeneze (Ferguson et al., 2018). Zvýšení hodnot hypoxií indukovaného faktoru 1 α (HIF-1 α) vlivem BFR cvičení se podílí na aktivaci VEGF (Larkin et al., 2013). Také zvýšené hodnoty NO během BFR cvičení způsobují přes endoteliální syntázu oxidu dusnatého vyplavení VEGF z kosterních svalů (Ferguson et al., 2018).

2.1.3 Ovlivnění zapojení svalových vláken

Loenneke, Wilson a Wilson (2009) uvádí, že při běžném cvičení se pomalá svalová vlákna zapojují jako první a rychlá svalová vlákna se dále aktivují s rostoucí intenzitou cvičení. Avšak při BFR cvičení dochází i při nízkých intenzitách k zapojování rychlých svalových vláken, které mají oproti pomalým svalovým vláknům podstatně vyšší potenciál k hypertrofii (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). Moritani

et al. (1992) uvádí, že při sníženém zásobení kyslíkem během vaskulární okluze, dochází ke zvýšenému náboru motorických jednotek, jako kompenzace deficitu v rozvoji síly. Zvýšený nábor motorických jednotek s vyšším prahem dráždivosti při cvičení o nízké intenzitě s vaskulární okluzí tedy poukazuje na fakt, že nábor těchto motorických jednotek není podmíněn pouze silou a rychlostí kontrakce, ale také přísunem kyslíku (Loenneke, Wilson a Wilson, 2009).

2.2 Ovlivnění organismu na systémové úrovni

Cvičení s omezením krevního průtoku nezpůsobuje pouze změny ve svalech, které jsou při cvičení pod vaskulární okluzí, ale rovněž způsobuje adaptační mechanismy na úrovni celého organismu. Jedním ze systémových mechanismů ovlivněných BFR cvičením je tzv. vzdálená ischemická předpříprava (RIP - remote ischemic preconditioning). RIP funguje především jako kardioprotektivní mechanismus, ale je také prospěšná pro další orgány, jako například játra, plíce, mozek, střeva a ledviny (Tapuria et al., 2008). Tapuria et al. (2008) uvádí, že při krátké ischemii předloktí byly vyvolány kardioprotektivní změny na srdci. RIP stimulus pravděpodobně způsobuje uvolňování biochemických posílů, kteří krevním řečištěm nebo neurogení cestou způsobí snížení oxidačního stresu a zachování mitochondriální funkce. Larkin et al. (2013) uvádí, že při BFR cvičení jsou zachovány nebo dochází ke zvýšení hodnot HIF-1 α , což je dle Gleadleho a Mazzoneho (2016) významný faktor podílející se na mechanismu RIP.

V přehledové studii Bittara, Pfeiffera, Santose a Cirilo-Sousy (2018) autoři shromáždili dosavadní informace o vlivu BFR cvičení na metabolismus kostí. Autoři našli celkem čtyři studie, které prokázaly zvýšení exprese markerů pro formování kosti a snížení markerů resorpce kostní hmoty po aerobním i anaerobním BFR cvičením. Dle autorů má BFR cvičení pozitivní efekt na metabolismus, formaci a resorpci kostí.

3 VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY A BFR TRÉNINK

Z výše uvedených mechanismů účinku BFR cvičení je zřejmé, že tuto metodu můžeme použít pro zvýšení výkonnostních parametrů jako je vytrvalost a svalová síla, spojovaná především se svalovou hypertrofií. Zařazením BFR cvičení do dlouhodobého tréninkového procesu můžeme vyvolat adaptační změny na systémové i lokální úrovni. Sportovní trénink můžeme dle Periče a Dovalila (2010, p. 12) definovat jako „složitý a účelně organizovaný proces rozvíjení specializované výkonnosti sportovce ve vybraném sportovním odvětví nebo disciplíně“. Trénink však nemusí být pouze zaměřený na sportovní odvětví nebo disciplínu, ale také například na obecný rozvoj silových schopností.

3.1 Ovlivnění svalové síly

K ovlivnění svalové síly dochází při využití BFR již při cvičení o nízkých intenzitách a aerobním cvičení, jež za normálních okolností nepovažujeme za prostředky ke zvýšení svalové síly. Účinek BFR cvičení na nárůst svalové síly můžeme pozorovat zejména u odporových cvičení, ale i u aerobních cvičení. Autoři Slysz, Stultz a Burr (2015) uvádí, že po aerobním tréninku se svalová síla zvýšila průměrně o 0,4 Nm, ale při využití vaskulární okluze se zvýšila o 5 až 8 Nm.

Přírůstky svalové síly po BFR tréninku se přisuzují rychlému nárůstu svalové hmoty, ale nepřisuzují se neurální adaptaci. V tomto se BFR trénink odlišuje od odporového tréninku o vysoké intenzitě, při kterém je nárůst svalové síly připisován jak svalové hypertrofii, tak neurální adaptaci (Scott, Loenneke, Slattery a Dascombe, 2014). Autoři Fatela et al. (2018) zkoumali vliv BFR cvičení a cvičení s vysokou intenzitou na neuromuskulární adaptaci. Bylo zjištěno, že ačkoliv oba typy cvičení způsobily srovnatelné snížení maximální volní kontrakce po cvičení, byla neuromuskulární únava výraznější po cvičení s vysokou intenzitou oproti BFR cvičení. Nicméně autoři uvádí, že neuromuskulární aktivace, stejně jako únava, je oběma typy cvičení podstatně ovlivněna. Avšak cvičení s vysokou intenzitou vyvolává silnější neuromuskulární adaptaci. Dle autorů je BFR cvičení vhodné pro sportovce v tréninkové fázi regenerace, kdy umožňuje odlehčení svalu od fyzické námahy, a zároveň potencuje jeho neuromuskulární výkon.

3.2 Ovlivnění růstu svalové hmoty

Autoři studií Dankel, Jessee, Abe a Loenneke (2016) a Lowery et al. (2014) se shodují na tvrzení, že BFR cvičení zvyšuje svalovou hypertrofii ve stejné míře jako cvičení o vysoké intenzitě. Ke svalové hypertrofii dochází vlivem BFR cvičení ve svalech pod místem zaškrcení, ale i nad ním (Dankel, Jessee, Abe a Loenneke, 2016). Odporové cvičení s vaskulární okluzí má dle výsledků Slysze, Stultze a Burra (2015) za následek výraznější zvětšení příčného průřezu svalu než aerobní cvičení s vaskulární okluzí. Ozaki, Loenneke a Abe (2017), pozorovali vliv vyplavených hormonů během chůze s BFR na svalovou hypertrofii. Autoři konstatují, že zvýšená hladina růstového hormonu, inzulinu a noradrenalinu není v korelaci se zvýšením svalové hypertrofie vlivem BFR tréninku. Z výsledků studie Bjørnsena et al. (2019), kteří zkoumali efekt BFR cvičení na svalová vlákna a svalovou hypertrofii, vyplývá, že svalová hypertrofie vyvolaná BFR cvičením je způsobena především hypertrofií pomalých svalových vláken.

3.3 Ovlivnění vytrvalosti

Aerobní cvičení je nedílnou součástí udržení zdraví kardiovaskulárního systému a zároveň hraje klíčovou roli v rozvoji vytrvalosti. BFR cvičení s odporovým tréninkem nebo aerobním cvičením může vyvolávat zvýšení vytrvalosti u trénovaných atletů, starších osob i pacientů (Bennet a Slattery, 2019). BFR cvičení má vliv zejména na následující parametry - koncentrace oxidativních enzymů, velikost kapilárního řečiště, tepový objem, zásoby glykogenu ve svalech a srdeční frekvenci (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). Burgomaster et al. (2003) uvedli, že metabolický stres vedl při dlouhodobém tréninku s využitím BFR ke zvýšení zásob glykogenu ve svalech. Výzkum autorů Corvina et al. (2019) prokázal zrychlení přísunu kyslíku do svalů při BFR cvičení stejně jako u cvičení s vysokou intenzitou. Autoři na základě svých zjištění potvrzují, že jízda na kole s nízkou intenzitou s využitím BFR způsobuje zvýšení svalové oxidativní kapacity.

4 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Cvičení s omezením krevního průtoku můžeme využít u širokého spektra osob. Své opodstatněné využití má BFR cvičení zejména u osob, které nemohou cvičit s vysokou intenzitou, a u imobilních pacientů. Vaskulární okluze je dosaženo aplikací manžety na proximální části končetiny. Cvičení s vaskulární okluzí je považováno za relativně bezpečné, avšak je nutné brát v potaz zejména bezpečnostní rizika spojená s aplikací manžety. Na přesném mechanismu účinku BFR cvičení se autoři vědeckých studií doposud neshodli. Avšak z dosavadního výzkumu vyplývá, že BFR cvičení ovlivňuje organismus na lokální i systémové úrovni. BFR cvičení má vliv na svalovou trofiku, angiogenezi, zapojení svalových vláken a kardiovaskulární systém, což má za následek zvýšení svalové síly, trofiky a vytrvalosti.

Většina studií, které doposud zkoumaly vliv BFR cvičení na nárůst svalové síly, se liší parametry BFR cvičení a způsobem aplikace manžety. Zatím není jasné, který z těchto faktorů má na zvýšení svalové síly největší vliv. Pochopením těchto faktorů bude možné dosáhnout vyšší efektivity tohoto cvičení.

CÍL PRÁCE

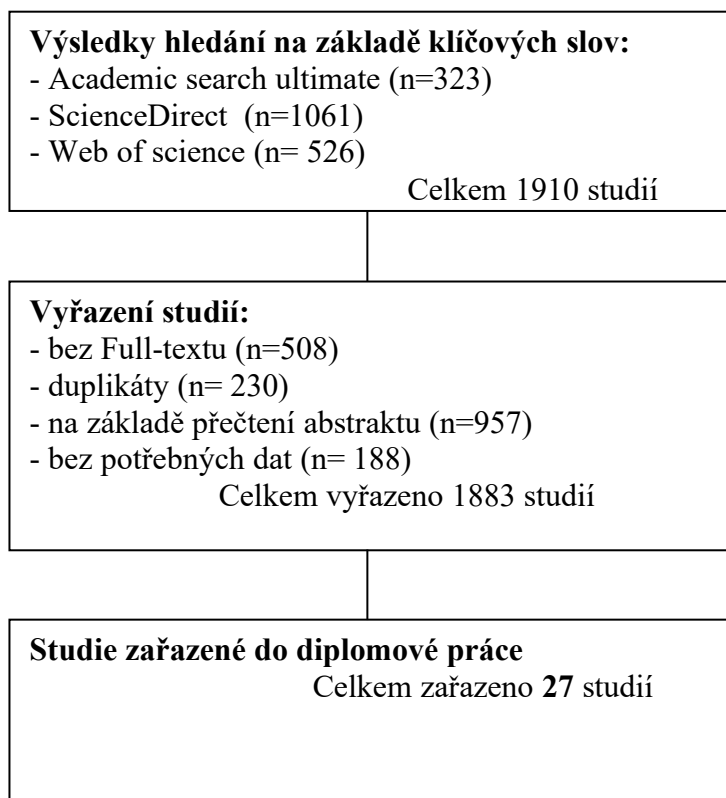
Na základě systematické rešerše posoudit velikost efektu cvičení s omezením krevního průtoku na nárůst svalové síly, a determinovat hlavní faktory, které moderují tento nárůst.

5 METODIKA

V období od března do června 2020 byly prohledány vědecké databáze za účelem nalezení studií zabývajících se vlivem BFR tréninku na sílu horních nebo dolních končetin. Byly prohledány následující databáze: Academic Search Ultimate, Web of Science a Taylor and Francis. Klíčová slova použitá pro vyhledávání studií byla: blood flow, restriction, occlusion, exercise, training, strength. Další studie byly hledány v citacích primárních a přehledových studií. Z nalezených studií byly zařazeny pouze ty, které splňovaly výběrová kritéria.

Výběrová kritéria:

- Studie zkoumala trénink BFR a jeho vliv na svalovou sílu horních nebo dolních končetin.
- Studie ve výsledcích uváděla data pro výpočet velikosti účinku (effect size - ES) Hedgesovo g nebo Cohenovo d.



V zařazených studiích byly vyhledány parametry vhodné pro porovnání studií vzhledem k cíli této diplomové práce. Mezi hodnocené parametry byla zařazena šířka manžety, maximální tlak manžety, délka intervence, počet intervencí, intenzita cvičení a počet cviků. Veškerá práce s daty byla provedena v programu Microsoft Excel 2007. V zařazených studiích byly rozlišeny jednotlivé tréninkové intervence a byly do výpočtů zařazeny zvlášť. Ze získaných dat byl u jednotlivých studií vypočítán ES. ES (g) byl vypočten u studií, které obsahovaly výsledky kontrolní skupiny. U všech studií byl vypočten ES (d).

Výpočet ES (d) byl proveden dle následujícího vzorce (Cohen 1988)

$$ES (d) = \frac{(M_{\text{post,tr}} - M_{\text{pre,tr}})}{\sqrt{\frac{SD_{\text{pre,tr}}^2 + SD_{\text{pre,con}}^2}{2}}}$$

kde $M_{\text{pre,tr}}$ a $M_{\text{post,tr}}$ jsou průměrné hodnoty svalové síly před a po intervenci u tréninkové skupiny. $SD_{\text{pre,tr}}$ a $SD_{\text{pre,con}}$ jsou směrodatné odchylky vypočítané z hodnot před zahájením intervence pro tréninkovou a kontrolní skupinu.

Výpočet ES (g) byl proveden dle následujícího vzorce (Morris 2008)

$$ES (g) = C_p \times \left[\frac{(M_{\text{post,tr}} - M_{\text{pre,tr}}) - (M_{\text{post,con}} - M_{\text{pre,con}})}{SD_{\text{pre}}} \right]$$

kde $M_{\text{pre,con}}$ a $M_{\text{post,con}}$ jsou průměrné hodnoty svalové síly před a po intervenci u kontrolní skupiny. SD_{pre} bylo vypočítáno dle následujícího vzorce (Morris 2008)

$$SD_{\text{pre}} = \sqrt{\frac{(n_{\text{tr}} - 1)SD_{\text{pre,tr}}^2 + (n_{\text{con}} - 1)SD_{\text{pre,con}}^2}{n_{\text{tr}} + n_{\text{con}} - 2}}$$

kde n_{tr} a n_{con} jsou počty probandů v tréninkové a kontrolní skupině. C_p bylo vypočítáno dle následujícího vzorce (Morris 2008)

$$C_p = 1 - \frac{3}{4(n_{\text{tr}} + n_{\text{con}} - 2) - 1}$$

Mezi ES (d), případně ES (g), a parametry šířka manžety, maximální tlak manžety, délka intervence, počet intervencí, intenzita cvičení a počet cvičení, byl vypočítán korelační koeficient (r). Studie, které neuváděly daný parametr nutný pro výpočet korelačního koeficientu, byly vyřazeny. Na základě velikosti korelačního koeficientu dle Hendla (2006) byla hodnocena míra asociace mezi moderujícími

parametry a velikostí ES, viz Tabulka č. 1. U všech studií byl vypočten procentuální rozdíl mezi původním a konečným měřením svalové síly. Na základě stupnice dle Sawilowského (2009) byla hodnocena velikost účinku (d), viz Tabulka č. 2.

Tabulka č. 1: Síla asociace podle korelačního koeficientu dle Hendla (2006)

Korelační koeficient r	Síla asociace
0,1-0,3	Malá
0,3-0,7	Střední
0,7-1,0	Velká

Tabulka č. 2: Hodnocení ES (d) dle Sawilowského (2009)

Hodnota ES (d)	Hodnocení velikosti účinku
0,01	Velmi malý
0,2	Malý
0,5	Střední
0,8	Velký
1,2	Velmi velký
2	Enormní

6 VÝSLEDKY

6.1 Charakteristika zařazených studií

V celkovém počtu 27 zařazených studií bylo vyhledáno 39 rozdílných tréninkových intervencí s využitím BFR cvičení. Přehled zařazených studií uvádíme v Tabulce č. 5. Ze zařazených studií se 19 studií zabývalo vlivem BFR tréninku na sílu dolních končetin a 8 studií na sílu horních končetin. Celkem bylo zařazeno 679 probandů, z toho patřilo 263 do kontrolní skupiny. Osm studií nepoužilo ke kontrole výsledků kontrolní skupinu, další dvě studie porovnávaly výsledky se skupinou cvičící s vysokou intenzitou. Dalších 9 studií porovnávaly výsledky se skupinou, která cvičila s nízkou intenzitou bez BFR. Kontrolní skupinu, která necvičila, použilo 8 studií. Pouze ve 3 studiích byl použit intermitentní způsob aplikace BFR, kdy manžeta byla v pauze mezi cvičením sundána. V ostatních studiích byla manžeta aplikována po celou dobu intervence. Čtyři studie zkoumaly vliv BFR tréninku na ženách, 12 studií hodnotilo efekt na mužích a zbylých 11 studií nerozlišovalo pohlaví probandů.

Ze studií, zabývajících se vlivem BFR tréninku na sílu horních končetin, se pouze jedna studie zaměřila na hodnocení síly stisku, dvě studie hodnotily sílu benchpressu a ostatní studie hodnotily sílu flexe v loketním kloubu. Do studií zabývajících se horními končetinami bylo zahrnuto celkem 130 probandů.

Ze studií, zabývajících se vlivem BFR tréninku na sílu dolních končetin, se pouze jedna studie zaměřila na hodnocení síly dřepu. Ostatní studie hodnotily sílu extenze v kolenním kloubu. Do studií zabývajících se dolními končetinami bylo zahrnuto celkem 286 probandů.

Šířka manžety se v zařazených studiích pohybovala od 3 cm do 18 cm. Průměrná hodnota šířky manžety byla 9,2 cm. Maximální tlak manžety se pohyboval v rozmezí hodnot 55 až 270 mmHg. Průměrná hodnota maximálního tlaku manžety byla 148,4 mmHg. Délka intervence se pohybovala od šesti dnů až po 16 týdnů. Průměrná délka trvání intervence byla u zařazených studií 7,4 týdne. Četnost jednotlivých cvičebních jednotek za týden byl v rozmezí 2 až 6 cvičení. Celkový počet intervencí se pohyboval v rozmezí 6 až 48 cvičebních jednotek. Průměrný počet intervencí dosahoval 18,5 cvičebních jednotek. Intenzita cvičení se v zařazených studiích pohybovala od 15

% do 40 % jednoho opakovacího maxima. Průměrná intenzita cvičení činila 26 % jednoho opakovacího maxima. Dvě studie, používající pro trénink bicyklového ergometru, udávaly intenzitu cvičení v odlišných parametrech. První studie udávala intenzitu cvičení jako procento maximální tepové rezervy, kdy při cvičení autoři použili 30 % této rezervy. Druhá studie udávala intenzitu cvičení jako procento maximální spotřeby kyslíku, kdy při cvičení autoři použili 40 % maximální spotřeby kyslíku. Počet cviků za jednu cvičební jednotku se pohyboval v rozmezí jednoho až čtyř cviků. Průměrná hodnota počtu cviků dosahovala hodnot 1,6 cviku.

6.2 Velikost účinku

Průměrná hodnota ES (d) všech zařazených studií byla 0,642 a průměrný procentuální nárůst svalové síly byl 9,9 %. Největšího ES (d) dosáhla studie H. Madarameho et al. (2007) s hodnotou 2,378 a procentuálním nárůstem o 19,5 %, nicméně největší procentní nárůst síly měli probandi ze studie T. Yasudy et al. (2014) o 28 %. Nejnižší hodnota ES (d) byla zjištěna ve studii A. N. Jorgensena et al. (2018), která byla 0.

Průměrná hodnota ES (g) všech zařazených studií je 0,5. Největšího ES (g) dosáhla studie Letieriho et al. (2007) s hodnotou 1,821 a procentuálním nárůstem o 27,8 %. Nejnižší hodnota ES (g) byla zjištěna ve studii Jorgensena et al. (2018), která byla 0.

Průměrná ES (d) pro studie zabývajících se zvýšením síly dolních končetin pomocí BFR tréninku je 0,638, průměrný nárůst svalové síly činil 10,6 %. Průměrná ES (d) pro studie zabývajících se zvýšením síly dolních končetin pomocí BFR tréninku je 0,665, průměrný nárůst svalové síly činil 8,4%.

6.3 Moderující efekt vybraných parametrů na velikost ES

Korelační analýza ES (d) s intervenčními parametry zařazených studií neprokázala velkou asociaci mezi vybranými parametry a ES (d), viz Tabulka č. 3. Nejvyšší korelace dosahoval parametr počet intervencí s hodnotou korelačního koeficientu 0,38. Nejnižší hodnota korelačního koeficientu byla mezi ES (d) a šířkou manžety a činila -0,00.

Tabulka č. 3: Korelace effect size (d) a parametrů intervence

Korelace effect size (d) a parametrů intervence					
Šířka manžety	Maximální tlak manžety	Délka intervence	Počet intervencí	Intenzita cvičení	Počet cviků
-0,00	0,19	0,27	0,38	0,07	0,22

Korelační analýza ES (g) s intervenčními parametry zařazených studií neprokázala velkou asociaci mezi vybranými parametry a ES (g), viz Tabulka č. 4. Nejvyšší korelace dosahoval parametr počet intervencí s hodnotou korelačního koeficientu 0,62. Nejnižší hodnota korelačního koeficientu byla mezi ES (g) a maximálním tlakem manžety a činila -0,01.

Tabulka č. 4: Korelace effect size (g) a parametrů intervence

Korelace effect size (g) a parametrů intervence					
Šířka manžety	Maximální tlak manžety	Délka intervence	Počet intervencí	Intenzita cvičení	Počet cviků
-0,12	-0,01	0,47	0,62	-0,03	0,20

Tabulka č. 5: Souhrn zařazených studií

Studie	Probandi BFR + CG (n)	ES (d)	ES (g)	Končetiny	Manžeta (cm)	Maximální tlak (mmHg)	Délka intervence (týdny)	Počet intervencí	Intenzita	Počet cvičení
Manimmanakorn et al. (2013)	10 + 10	0,400		DK - KE	5	230	5	15	20%	2
Jorgensen et al. (2018)	11 + 11	0,000	0,002	DK - KE	10	110	12	24	35%	3
Weatherholt et al. (2013)	25 + 15	1,210	1,060	HK - EF	3	180	8	24	20%	2
Clark et al. (2011)	9 + 0	0,956		DK - KE	6	X (130% SBP)	4	12	30%	1
Laurentino et al. (2016)	11 + 0	0,430		HK - EF	10	137	12	24	20%	1
Laurentino et al. (2016)	11 + 0	0,460		HK - EF	5	185	12	24	20%	1
Madarame et al. (2008)	8 + 7	2,378		DK - KE	4	240	10	20	30%	3
Ozaki et al. (2013)	10 + 9	1,421	1,304	HK - BP	3	160	6	18	30%	1
Kim, Lang, Pilania a Franke (2017)	9 + 10	0,637	0,610	HK - Stisk	16	160	4	12	20%	1
Kim, Lang, Pilania a Franke (2017)	8 + 10	1,246		HK - Stisk	16	150	4	12	20%	1
Nielsen et al. (2012)	10 + 8	0,857		DK - KE	15	100	3	15	20%	1
Martín-Hernández (2013)	10 + 8	0,342	0,219	DK - KE	14	100	5	10	20%	1
Martín-Hernández (2013)	10 + 8	0,489	0,339	DK - KE	14	100	5	10	20%	1
Ampomah et al. (2019)	14 + 16	0,373	0,288	DK - KE	5	206	10	20	25%	3
Kim et al. (2016)	11 + 10	0,303	0,122	DK - KE	5	180	6	18	30%HRR	1
Jessee et al. (2018)	20 + 0	0,077		DK - KE	10	X (40% AOP)	8	16	15%	1
Jessee et al. (2018)	20 + 0	0,538		DK - KE	10	X (80% AOP)	8	16	15%	1
Lixandrão et al. (2015)	11 + 0	0,420		DK - KE	17,5	56	12	24	20%	1
Lixandrão et al. (2015)	8 + 0	0,527		DK - KE	17,5	55	12	24	40%	1
Lixandrão et al. (2015)	10 + 0	0,566		DK - KE	17,5	105	12	24	40%	1
Lixandrão et al. (2015)	14 + 0	0,687		DK - KE	17,5	108	12	24	20%	1

Legenda: BFR – skupina s BFR cvičením, CG – kontrolní skupina, SBP – systolický krevní tlak, AOP – tlak plně arteriální okluze, HK – horní končetina, DK – dolní končetina, KE – extenze v kolenním kloubu, EF – flexe v loketním kloubu, BP – benchpress, HRR – maximální tepová rezerva.

Tabulka č. 5: Souhrn zařazených studií (pokračování)

Studie	Probandi BFR + CG (n)	ES (d)	ES (g)	Končetiny	Manžeta (cm)	Maximální tlak (mmHg)	Délka intervence (týdny)	Počet intervencí	Intenzita	Počet cvičení
Oliveira, Caputo, Corvino a Denadai et al. (2016)	10 + 7	0,452	0,527	DK - KE	18	200	4	12	30%	1
Sakamaki, Yasuda a Abe (2012)	5 + 5	0,312	0,397	HK - EF	3	100	0,86	6	30%	1
Sakamaki, Yasuda a Abe (2012)	8 + 8	0,323	0,305	HK - EF	3	100	0,86	6	30%	1
Sakamaki, Yasuda a Abe (2012)	8 + 8	0,423	0,511	HK - EF	3	100	0,86	6	30%	1
Luebbers ,Witte, Oshel a Butler (2019)	8 + 8	0,553	0,523	DK - Dřep	7,6	X	6	12	30%	1
Fitschen et al. (2014)	10 + 10	0,112	0,061	DK - KE	5	160	5	15	30%	4
Fitschen et al. (2014)	10 + 10	0,124	0,040	DK - KE	5	160	5	15	30%	4
Ferraz et al. (2018)	16 + 0	0,860		DK - KE	17,5	97	12	24	30%	2
Ferraz et al. (2018)	11 + 12	1,178	1,182	DK - KE	x	105	16	48	30%	4
Letieri et al. (2018)	11 + 12	1,833	1,821	DK - KE	x	X	16	48	30%	4
Cook, Scott, Hayes a Murphy (2018)	6 + 6	0,579	0,463	DK - KE	5,4	200	6	18	20%	2
Sousa et al. (2017)	10 + 0	1,020		DK - KE	18	142	6	12	30%	1
Abe et al. (2010)	9 + 10	0,229	0,177	DK - KE	5	210	8	24	40%VO ₂ max	1
Yasuda et al. (2010)	5 + 5	0,277	0,336	HK - BP	x	160	2	12	30%	1
Yasuda et al. (2011)	10 + 10	0,426	0,332	HK - BP	x	160	6	18	30%	1
Yasuda et al. (2014)	9 + 10	0,604	0,450	DK - KE	5	270	12	24	30%	2
Yasuda, Loenneke, Thiebaud a Abe (2012)	10 + 10	0,404		HK - EF	3	160	6	18	30%	1
Yasuda, Loenneke, Thiebaud a Abe (2012)	10 + 10	0,993		HK - EF	3	160	6	18	30%	1

Legenda: BFR – skupina s BFR cvičením, CG – kontrolní skupina, SBP – systolický krevní tlak, AOP – tlak plně arteriální okluze, HK – horní končetina, DK – dolní končetina, KE – extenze v kolenním kloubu, EF – flexe v loketním kloubu, BP – benchpress, HRR – maximální tepová rezerva.

7 DISKUZE

V této části diplomové práce budou porovnány výsledky s již známými fakty ohledně cvičení s omezením krevního průtoku pro zvýšení svalové síly. Dále uvedeme možnosti využití výsledků této práce v praktickém použití BFR cvičení, a v neposlední řadě uvedeme, kterým směrem by dle našeho názoru měl směřovat další výzkum s ohledem na výsledky této diplomové práce.

7.1 Porovnání studií

Studie, zařazené do této diplomové práce, používaly různé typy kontrolních skupin, což zamezilo u většiny studií vypočítat ES (g). Bylo by vhodné, aby více studií používalo kontrolní skupiny, které necvičí, pro porovnávání výsledků na základě ES (g). Nicméně při korelaci ES (g) a ES (d) u studií s kontrolní skupinou, která necvičí, byl korelační koeficient 0,98, což můžeme považovat za vysokou korelaci. Můžeme tedy považovat ES (d) jako rovnocenný parametr pro porovnávání studií.

Nevyšší hodnoty ES (d) dosáhla studie Madarameho et al. (2008). Hodnota ES (d) 2,378 poukazuje na enormní velikost účinku zvolené tréninkové intervence. V rozmezí velmi velké až enormní velikosti účinku se pohybovaly tréninkové intervence autorů Weatherholta et al. (2013), Kima, Langa, Pilania a Frankeho (2017) s využitím nižšího tlaku, Ozakiho et al. (2013) a Letieriho et al. (2018). V rozmezí velké až velmi velké velikosti účinku se pohybovaly tréninkové intervence autorů Clarka et al. (2011), Nielsena et al. (2012), Ferraze et al. (2018), Sousy et al. (2017) a Yasudy, Loennekeho, Thiebauda a Abeho (2012) s využitím koncentrické kontrakce při cvičení. V rozmezí střední až velké velikosti účinku se pohybovaly tréninkové intervence autorů Kima, Langa, Pilania a Frankeho (2017) s využitím vyššího tlaku, Jesseho et al. (2018) s využitím vyššího tlaku, Lixandrão et al. (2015) s využitím vyššího tlaku a vyšší intenzity cvičení, Luebberse, Witta, Oshela a Butlera (2019), Cooka, Scotta, Hayese a Murphyho (2018) a Yasudy et al. (2014). V rozmezí malé až střední velikosti účinku se pohybovaly tréninkové intervence autorů Manimmanakorna et al. (2013), Laurentina et al. (2016), Martín-Hernándeze (2013), Ampomaha et al. (2019), Kima et al. (2016), Lixandrão et al. (2015) s využitím nízkého tlaku a nízké intenzity, Oliveira, Caputa, Corvina a Denadaie et al. (2016), Sakamakiho, Yasudy a Abeho (2012), Abeho et al. (2010), Yasudy et al. (2010), Yasudy et al. (2011) a Yasudy, Loennekeho, Thiebauda

a Abeho (2012) s využitím excentrické kontrakce při cvičení. Malé velikosti účinku dosáhly tréninkové intervence autorů Fitschena et al. (2014) a Jesseho et al. (2018) s využitím nízkého tlaku. Tréninková intervence autorů Jorgensena et al. (2018) dosáhla jako jediná velmi malé velikosti účinku.

Pouze tři studie použily ve svém výzkumu intermitentní způsob aplikace BFR cvičení. Dle našeho výpočtu dosáhly tyto studie podprůměrných hodnot ES (d). Průměrná hodnota ES (d) byla stanovena na 0,642. Autoři intermitentních studií dosáhli hodnot ES (d) v rozmezí malé až střední velikosti účinku. Hodnoty ES (d) autorů byly následující: Martín-Hernandez et al. (2013) 0,342; Oliveira, Caputo, Corvino a Denadai (2016) 0,452; Fitschen et al. (2014) 0,112. Tyto výsledky mohou poukazovat na správnost tvrzení autorů Popa, Willardsona a Schoenfelda (2013), že intermitentní cvičení s vaskulární okluzí o nízké intenzitě, kdy byla manžeta během odpočinku mezi sety uvolněna, nezpůsobovalo významné zvýšení metabolického stresu ve tkáni, oproti cvičení s vaskulární okluzí s nepřetržitě aplikovanou manžetou. Pouze nepřerušovaná aplikace BFR cvičení s nízkou intenzitou způsobila metabolický stres, srovnatelný s tím po cvičení s vysokou intenzitou (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). Metabolický stres považuje Loenneke, Wilson a Wilson (2009) za jeden z hlavních mechanismů účinku BFR cvičení. Nicméně rozhodně nemůžeme z těchto hodnot vyvozovat závěry, protože tři studie nepředstavují dostatečný soubor dat. A navíc i některé studie s nepřetržitou vaskulární okluzí dosáhly podprůměrných hodnot ES (d).

Netrénované jedince ve svých studiích pozorovali autoři Madarameho et al. (2007), s nejvyšší hodnotou ES (d) 2,378 ze zařazených studií a přírůstkem svalové síly o 19,5 %, a dále studie Yasudy et al. (2014) s největším přírůstkem svalové síly o 28 % a hodnotou ES (d) 0,64. Madarame et al. (2007) zkoumali mladé jedince s průměrným věkem 21,6 let. Oproti tomu Yasuda et al. (2014) zkoumali jedince s průměrným věkem 71,3 let. Madarame et al. (2007) a Yasuda et al. (2014) použili ve svém výzkumu velice podobných protokolů, co se týká frekvence cvičení, intenzity, šířky manžety a aplikace tlaku. Zdá se, že věk při cvičení s vaskulární okluzí nehraje významnou roli, pokud se jedná o netrénované jedince. Kim, Lang, Pilania a Franke (2017) také došli k závěru, že BFR cvičení je efektivní pro zvýšení svalové síly u mladých i starších jedinců. Studie autorů Jorgensena et al. (2018) měla nejnižší hodnotu ES ze zařazených studií. Tito autoři se jako jediní zabývali staršími pacienty s myositidou s inkluzními tělísky. Nicméně studie měla značně odlišný protokol od studií Madarameho et al. (2007)

a Yasudy et al. (2014). Autoři Jorgensen et al. (2018) použili širší manžetu, širokou 10 cm, a hodnotu tlaku manžety 110 mmHg, stejnou pro všechny probandy. Autoři použili oproti Madarameho et al. (2007) a Yasudy et al. (2014) mírně vyšší intenzitu cvičení, nicméně snížili počet opakování jednotlivých cviků, kdy v jednom ze čtyř setů prováděli probandi pouze 25 opakování. Je tedy dle našeho názoru možné, že snížení efektu BFR cvičení může být způsobeno skupinou probandů s myositidou s inkluzními tělísky nebo celkově nižším počtem opakování a aplikování manžety uniformě bez individuálního přizpůsobení.

Sakamaki, Yasuda a Abe (2012) nepozorovali rozdíly ve změnách svalové trofiky a svalové síly mezi muži a ženami po BFR tréninku. Z tohoto důvodu nebyl parametr pohlaví v naší práci zařazen do korelační analýzy. Vliv pohlaví na aplikaci nebo účinek BFR cvičení zkoumalo doposud velice málo autorů. Spitz et al. (2019) při zkoumání vlivu tlaku, šířky manžety a pohlaví na vnímaný diskomfort během BFR cvičení nepozorovali žádné rozdíly mezi pohlavími. Novější výzkum Spitze et al. (2021) nicméně poukázal na rozdíl ve vnímání diskomfortu při BFR cvičení. Muži měli větší toleranci vůči bolesti a pociťovali menší diskomfort než ženy. Sakamaki, Yasuda a Abe (2012) zkoumali vliv BFR tréninku na muže a ženy. U žen dále rozlišovali luteální a folikulární fázi menstruačního cyklu. Z výsledku autorů vyplývá, že zvýšení svalové trofiky a svalové síly po šestidenním BFR tréninku je výraznější v luteální fázi menstruačního cyklu než ve folikulární fázi. S tímto tvrzením souhlasí výsledky studie Gila et al. (2017). Autoři Mendonca et al. (2018) zkoumali vliv BFR cvičení na únavu při cvičení u mužů a žen. Autoři dospěli k závěru, že cvičení flexe v loketním kloubu s BFR vyvolává stejnou míru vyčerpání u mužů i žen. K opačnému závěru došli autoři Labarbera, Murphy, Laroche a Cook (2013), kteří pozorovali menší únavu u žen než u mužů. Autoři zkoumali extenzi v kolenním kloubu s BFR, kdy ženy dosáhly většího počtu opakování než muži. Autoři naznačují, že při BFR cvičení dolních končetin je u žen vhodné zvýšit počet opakování, aby došlo ke stejnému efektu jako u mužů. Ovšem když vezmeme v potaz výsledky Mendoncy et al. (2018), tak toto doporučení nemusí platit pro horní končetiny. Jako jeden z možných mechanismů účinku BFR cvičení je dle Loennekeho, Fahse, Rossowa a Bembena (2012) otékání svalových buněk, podpořené dále zvýšenou akumulací metabolitů po BFR cvičení. Wong et al. (2019) pozorovali rozdíly v otékání svalových buněk po BFR cvičení mezi muži a ženami. Autoři zaznamenali zvýšené otékání buněk u mužů oproti ženám. Nicméně

při porovnání změn relativních hodnot bylo otékání svalových buněk po BFR cvičení stejné u obou pohlaví. Dosavadní studie naznačují možný rozdíl ve vnímání diskomfortu během BFR cvičení mezi muži a ženami, kdy muži byli vůči tomuto diskomfortu tolerantnější. Při BFR cvičení dolních končetin u žen je z dosavadního výzkumu doporučeno zvýšit počet opakování, aby bylo dosaženo stejné odpovědi na zátěž jako u mužů. V rozdílu účinku BFR cvičení nezaznamenali autoři dosavadních studií rozdíl.

Druhým nejnižším ES z vybraných studií dosáhli Jessee et al. (2018). Autoři se ve svém protokolu liší především nízkou intenzitou cvičení, která byla stanovena na 15 % jednoho opakovacího maxima, a počtem opakování cvičení, které bylo určeno vyčerpáním a neschopností dále daný cvik provést v plném rozsahu. Nicméně tréninkový objem, určený počtem opakování cvičení do vyčerpání, použili i další autoři Clark et al. (2011); Kim, Lang, Pilania a Franke (2017); Nielsen et al. (2012); Ampomah et al. (2019). Tito autoři dosáhli zvýšení svalové síly v rozmezí 6,4-15,6 % oproti autorům Jessee et al. (2018), kteří dosáhli zvýšení pouze o 0,3 %. Dle našeho názoru je intenzita cvičení 15 % jednoho opakovacího maxima natolik nízká, že nestačí k vyvolání požadované odpovědi svalové tkáně, bez ohledu na počet opakování. Autoři Slysz, Stultz a Burr (2015) uvádí, že intenzita cvičení větší než 20 % jednoho opakovacího maxima měla za následek významné zvýšení svalové síly. Takarada et al. (2000) uvádí horní hranici intenzity BFR cvičení, kdy intenzita menší než 50 % jednoho opakovacího maxima je dle autorů efektivní pro zvýšení svalové síly. Dle Scotta, Loennekeho, Slatteryho a Dascomba (2014) by se měla potřebná intenzita cvičení pro zvýšení svalové trofiky a nárůst svalové síly pohybovat v rozmezí 20 až 40 % jednoho opakovacího maxima nebo maximální volní kontrakce. Všechny zařazené studie, které hodnotily intenzitu cvičení jako procento jednoho opakovacího maxima, se v tomto doporučeném rozmezí pohybovaly, až na již zmiňovanou studii Jesseeho et al. (2018).

Intenzita cvičení u studií zkoumajících vliv BFR cvičení na zvýšení svalové trofiky se rovněž pohybovala v rozmezí 20-40 % jednoho opakovacího maxima. Farup et al. (2015) zkoumali změnu objemu svalu po šestitýdenní intervenci. Probandi cvičili flexi v loketním kloubu třikrát týdně s intenzitou 40 % jednoho opakovacího maxima vždy do vyčerpání. Svalový objem se po intervenci zvýšil o 12 %. Manimmanakorn et al. (2013) zkoumali vliv pětítýdenního BFR tréninku na svalovou trofiku. Během tréninku probandi posilovali extenzi a flexi v kolenním kloubu s využitím BFR

a intenzitou 20 % jednoho opakovacího maxima. Autoři pozorovali zvýšení objemu svalu o 7,6 %. Také Yasuda, Loenneke, Ogasawara a Abe (2015) pozorovali po šestitýdenní intervenci BFR cvičení zvýšení svalové trofiky. Martín-Hernández et al. (2013) rovněž pozorovali zvýšení svalové trofiky po odporovém BFR tréninku, trvajícím 5 týdnů. Autoři rovněž udávají, že zdvojnásobení objemu cvičení nevedlo ke zvýšení účinku BFR cvičení na růst svalové hmoty. Lowery et al. (2014) pozorovali zvýšení svalové trofiky již po čtyřtýdenní intervenci.

Nakajima et al. (2010) hodnotili vliv BFR cvičení na vytrvalostní parametry. Autoři aplikovali odporové BFR cvičení u pacientů po operaci srdce. Pacienti trénovali dvakrát týdně po dobu čtyř měsíců s intenzitou 20-30 % jednoho opakovacího maxima. Tedy v doporučeném rozmezí. Autoři pozorovali zvýšení hodnot VO_{2max} o 10,7 %. Výsledky dalších autorů rovněž poukazují na pozitivní vliv BFR cvičení na zvýšení vytrvalostních parametrů. Abe et al. (2010) zkoumali vliv tréninku na bicyklovém ergometru s využitím BFR na vytrvalostní a silové parametry mladých mužů. Autoři zjistili, že po osmi týdnech došlo u probandů s vaskulární okluzí ke zvýšení hodnot VO_{2max} o 6,4 % a oddálení vyčerpání o 15,4 %. K podobným závěrům dospěli i Park et al. (2010), kteří zkoumali chůzi s využitím BFR. Intervence zahrnovala pětkrát chůzi po dobu tří minut s jednodominutovou pauzou. Intervence proběhla dvakrát denně šestkrát týdně po dobu dvou týdnů. Autoři pozorovali zvýšení hodnot VO_{2max} o 11,6 % a maximální minutové ventilace o 10,6 %. Ursprung a Smith (2017) pozorovali po třítýdenní intervenci, zahrnující chůzi s využitím BFR, statisticky významné zvýšení hodnot VO_{2max} u trénovaných atletů. Kim et al. (2016) nepozorovali po šestitýdenním BFR cvičení na bicyklovém ergometru zvýšení aerobní kapacity. Dle autorů to může být způsobeno nesprávným určením intenzity cvičení, při kterém autoři zvolili tepovou rezervu. Tepová rezerva může být dle autorů zkreslená změnou srdeční frekvence při aplikaci manžety.

U studií zařazených do této práce zabývajících se dolními končetinami byla průměrná hodnota ES (d) 0,638. U studií zaměřených na horní končetiny byla průměrná hodnota ES (d) 0,665. Z těchto výsledných hodnot můžeme usuzovat, že cvičení s vaskulární okluzí je stejně účinné při použití u dolních i horních končetin. Rovněž průměrný nárůst svalové síly se při použití cvičení s vaskulární okluzí liší mezi dolními a horními končetinami pouze o 2,2 % ve prospěch dolních končetin. Výsledků zařazených pro výpočet průměrných hodnot ES (d) pro dolní končetiny bylo nicméně

dvakrát více než v případě horních končetin. Bylo by tedy dle našeho názoru vhodné potvrdit tvrzení, že cvičení s vaskulární okluzí má stejný efekt u horních a dolních končetin, dalšími studii zaměřenými zejména na horní končetiny.

Z korelační analýzy vyplývá, že ani jeden parametr není v přímé nebo nepřímé asociaci s výsledným ES. Střední síly asociace dosáhl parametr počet intervencí, s hodnotou korelačního koeficientu 0,38 pro ES (d) a 0,62 pro ES (g). Tento parametr je do značné míry ovlivněn délkou intervence, což je parametr s druhou nejvyšší hodnotou korelačního koeficientu. Korelace mezi těmito dvěma parametry dosahuje hodnoty 0,89. Můžeme tedy asociaci mezi těmito parametry považovat dle Hendla (2006) za velice silnou. Parametrem počet cvičení se žádná meta-analýza výsledků BFR tréninku nezabývala, avšak parametrem délka intervence ano. Slys, Stultz a Burr (2015) uvedli, že při odporovém tréninku s využitím BFR byly studie s délkou intervence 8 týdnů z 60 % stejně účinné jako studie, jejichž intervence byla delší než 8 týdnů. Avšak u studií delších než 8 týdnů došlo k mírnému zlepšení. Při využití aerobního zatížení s BFR byly studie s délkou intervence delší než 6 týdnů významně účinnější z pohledu zvýšení svalové síly, než studie, které trvaly kratší dobu. Můžeme tedy dle našeho názoru usuzovat, že delší intervence s využitím BFR bude mít větší účinek na zvýšení svalové síly. Avšak Abe et al. (2005) došli k závěrům, že pro zvýšení svalové síly je dostatečný i trénink s využitím BFR dvakrát týdně po dobu dvou týdnů. Slys, Stultz a Burr (2015) uvedli, že mezi tréninkem s frekvencí dvakrát týdně a třikrát týdně byly s ohledem na zvýšení svalové síly pouze minimální rozdíly. Scott, Loenneke, Slattery a Dascombe (2014) doporučují u pacientů frekvenci cvičení dvakrát až třikrát týdně. U sportovců je možné cvičení zařadit dvakrát až čtyřikrát týdně spolu s běžným silovým tréninkem. Autoři také uvádí, že je možné cvičit dvakrát denně.

Třetí nejvyšší hodnota korelačního koeficientu byla u korelace mezi ES a počtem cviků během jednoho tréninku. Tato hodnota byla 0,22 pro ES (d) a 0,2 pro ES (g). Takto nízké hodnoty nepoukazují na významnou korelaci mezi těmito parametry. Doposud se žádní autoři tímto parametrem a jeho vlivem na BFR cvičení nezabývali. Z našeho pohledu by to bylo velice vhodné, poněvadž různorodost cvičení a větší objem cvičební jednotky může mít na zvýšení svalové síly vliv. Nicméně autoři Ozaki et al. (2013) prokázali, že šestitýdenní intervence s jedním cvičením stačila pro zvýšení svalové síly o 8,72 % a vysokou hodnotu ES (d) 1,4. Fitschen et al. (2014) oproti tomu pozorovali po pětítýdenní intervenci s čtyřmi cviky zvýšení svalové síly

pouze o 3,99 % a s hodnotou ES (d) 0,1. Madarame et al. (2008) použili během intervence tři cviky a dosáhli zvýšení svalové síly o 19,54 % s hodnotou ES (d) 2,4. Oproti Ozakimu et al. (2013) a Fitschenovi et al. (2014) byla délka intervence ve studii autorů Madarameho et al. (2008) dlouhá 10 týdnů. Dle našeho názoru je nutné pro sestavení efektivního tréninku s využitím BFR dále prozkoumat vliv počtu cvičení během cvičební jednotky na zvýšení svalové síly.

Šířka manžety, maximální tlak manžety ani intenzita cvičení vzhledem k nízkým hodnotám korelačního koeficientu nejsou v korelaci s ES. Z faktu, že šířka manžety ani tlak manžety neměli na výsledné zvýšení svalové síly vliv, můžeme usuzovat, že pokud šířka a tlak manžety vytvoří dostatečný stimul pro vaskulární okluzi, již se dále na modulaci výsledného efektu BFR cvičení nepodílejí. Tlak manžety by dle autorů Scotta, Loennekeho, Slatteryho a Dascomba (2014) měl být takový, aby plně zamezil proudění žilní krve z končetiny, ale neuzavřel arteriální přísun krve do končetiny. To znamená, že aplikované hodnoty tlaku by neměly být univerzální, ale měly by být přizpůsobeny jednotlivci v závislosti na obvodu horní či dolní končetiny a šířce manžety. Pro určení individuálních potřeb jedince na tlak manžety byla vyvinuta metoda určující tlak manžety jako procento z tlaku nutného k plné arteriální okluzi. Z výzkumů Laurentina et al. (2012) a Loennekeho et al. (2014) vyplývá, že za přijatelné rozpětí tlaků při BFR cvičení o nízké intenzitě můžeme považovat 50 až 80 % z tlaku nutného k plné arteriální okluzi. Wilson et al. (2013) určili velikost tlaku při použití elastického pásu na základě vnímaného tlaku na stupnici od 0 do 10. Vnímaný tlak vhodný pro BFR cvičení byl ohodnocen číslem 7, tedy jako střední tlak bez bolesti. Scott, Loenneke, Slattery a Dascombe (2014) však nepozorovali výrazné změny ve vnímání tlaku manžety při cvičení BFR, kdy tlak manžety byl různý. Autoři naznačují, že vnímání nemusí být dostatečné pro určení aplikovaného tlaku. Tlak v manžetě vyšší než 150 mmHg měl dle Slysze, Stultze a Burra (2015) stejný vliv na zvýšení svalové síly jako tlak nižší než 150 mmHg. Bylo zjištěno, že i tlak 50 mmHg byl dostatečný pro stimulaci pozitivní adaptace svalu (Pope, Willardson a Schoenfeld, 2013). Counts et al. (2016) při zkoumání vlivu různých hodnot relativního tlaku při cvičení BFR na zvýšení svalové síly použili hodnoty relativního tlaku 40 % a 90 % úplné arteriální okluze. Autoři dospěli k závěru, že vysoký relativní tlak při cvičení s vaskulární okluzí nemusí být nezbytný. Lixandrão et al. (2015) rovněž zkoumali vliv rozdílného tlaku a intenzity cvičení na zvýšení svalové síly. Autoři dospěli k závěru, že při cvičení s vaskulární

okluzí o nízké intenzitě může mít tlak na úrovni 80 % úplné arteriální okluze větší benefity, než tlak nižší, avšak rozdíly nebyly statisticky významné. Nicméně tlak manžety je dle autorů v porovnání s intenzitou cvičení sekundární. Mouser et al. (2018) uvádí, že při zvýšení tlaku dochází ke snížení hyperémie vyvolané BFR cvičením. Loenneke et al. (2015) zjistili, že pro správné určení tlaku manžety při cvičení s vaskulární okluzí je třeba brát v úvahu obvod končetiny. Obvod pro horní končetinu autoři měřili v polovině vzdálenosti acromionu od olecranonu. Obvod pro dolní končetinu autoři měřili v 33 % vzdálenosti od tříselného záhybu po horní okraj pately. Autoři počítají s tím, že v místech pro měření obvodu bude aplikovaná manžeta.

Vzorce pro výpočet tlaku manžety dle Loennekeho et al. (2015):

- Pro horní končetinu:

Aplikovaný tlak manžety (mmHg) = 0.514 (Systolický krevní tlak) + 0.339 (Diastolický krevní tlak) + 1.461 (Obvod paže) + 17.236

- Pro dolní končetinu:

Aplikovaný tlak manžety (mmHg) = 5.893 (Obvod stehna) + 0.734 (Diastolický krevní tlak) + 0.912 (Systolický krevní tlak) – 220.046

Pouze 8 studií uvedlo aplikovaný tlak jako % úplné arteriální okluze. Lauretntino et al. (2015) uvádí, že při aplikování dostatečného relativního tlaku manžety není podstatná šířka manžety pro zvýšení svalové síly. Pouze jedna z čtrnácti námi zařazených studií, publikovaných od roku 2014, využila parametr obvodu stehna pro výpočet potřebného tlaku manžety. To je dle našeho názoru nedostačující, a tento parametr by měl být v budoucích studiích více využíván. Nicméně všechny zařazené studie splnily podmínku tlaku manžety alespoň 50 mmHg, doporučené autory Popem, Willardsonem a Schoenfeldem (2013). Patnáct studií použilo vyšší tlak než 150mmHg, což dle poznatků autorů Slysze, Stultze a Burra (2015) nemá význam. Dle našeho názoru by budoucí výzkum měl brát při sestavování výzkumných protokolů v potaz všechny známé poznatky ohledně správné volby manžety a jejího tlaku, aby probandí nebyli vystavováni většímu diskomfortu, než je nezbytně nutné.

Mattocks et al. (2018) uvádí, že v dosavadních studiích zabývajících se cvičením s vaskulární okluzí, bylo využito různých šířek manžety. Tyto šířky se pohybují v rozmezí tří až osmnácti centimetrů. Stejně šířky byly použity i v námi zařazených studiích. Loenneke et al. (2011) zjistili, že šířka manžety ovlivňuje velikost potřebného

tlaku k vyvolání vaskulární okluze. Bylo zjištěno, že při šířce manžety 13,5 cm byl potřebný tlak k vyvolání vaskulární okluze dolních končetin nižší než při šířce manžety 5 cm. Stejný fenomén pozorovali Jesse et al. (2016) na horních končetinách. Rossow et al. (2012) porovnali vliv různých šířek manžety se stejným tlakem na kardiovaskulární odpověď. Z výsledků vyplývá, že při šířce 13,5 cm došlo ke větší změně srdeční frekvence a krevního tlaku než u manžety široké 5 cm. Dle Mattockse et al. (2018) je nutné přizpůsobit tlak manžety její šířce, protože by mohlo dojít k nadměrnému zatížení kardiovaskulárního systému při BFR cvičení. Šířka manžety také ovlivňuje normální rozsah pohybu, což může ovlivňovat výkon při cvičení (Scott, Loenneke, Slattery a Dascombe, 2014). Z výsledků studií Ellefsena et al. (2014) a Kacina a Strazara (2011), kteří pozorovali zúžení příčného průřezu svalu po BFR cvičení v místě manžety, vyplývá, že šířka manžety může ovlivnit trofiku svalu. Laurentino et al. (2015) při svém výzkumu zjistili, že při použití relativního tlaku arteriální okluze nedošlo k rozdílům v hypertrofické adaptaci svalu u dvou různých šířek manžety. Mattocks et al. (2018) doporučují při využití BFR cvičení se záměrem svalové hypertrofie používat relativní tlak manžety v závislosti na její šířce. Autoři Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas (2015) uvádí, že na velikost tlaku manžety nemá vliv pouze její šířka, ale také její tvar. U kónických manžet byl potřeba menší tlak k vyvolání vaskulární okluze než u cylindrických manžet. Z dosavadního výzkumu můžeme vyvodit, že šířka manžety ovlivňuje především velikost tlaku, který je potřeba k dosažení vaskulární okluze. Čím širší je manžeta, tím menší je potřebný tlak. Při výběru šířky manžety musíme dbát na možnost atrofie svalu v místě její aplikace. V tomto případě bude vhodnější užší manžeta. Naopak při potřebě co nejmenšího zatížení kardiovaskulárního systému budeme volit manžetu širší. Rovněž by šířka manžety neměla limitovat rozsah pohybu potřebný pro dané cvičení BFR.

7.2 Doporučení pro aplikaci manžety a provádění BFR cvičení

BFR cvičení můžeme použít u většiny osob. Je vhodné toto cvičení zařadit zejména u osob, u kterých je kontraindikováno cvičení o vysoké intenzitě. Věk při cvičení s vaskulární okluzí, zaměřeném na zvýšení svalové síly, zřejmě nehraje významnou roli. Nicméně vyšší věk může být spojován s vyššími bezpečnostními riziky, a je tedy nutné dodržovat zvýšenou opatrnost při cvičení s vaskulární okluzí

u starších jedinců. Je nutné před aplikací BFR cvičení zhodnotit bezpečnostní rizika cvičení. Doporučujeme při určování vhodnosti cvičení postupovat podle dotazníku před aplikací BFR dle Kacina, Rosenblatta, Žargiho a Biswase (2015), viz Příloha 1.

Při výběru manžety doporučujeme brát v potaz především její šířku. Šířka manžety by neměla omezovat rozsah pohybu končetiny, aby neomezila výkon cvičence. Na šířce manžety dále závisí její tlak. Tlak manžety bychom tedy měli určit na základě šířky a tvaru manžety a individuálních charakteristik cvičence. Doporučujeme pro výpočet tlaku manžety použít vzorce, které pro určení výsledné hodnoty tlaku počítají s obvodem končetiny. Při nedodržení individuálního a doporučeného postupu aplikování manžety lze očekávat snížený efekt na nárůst svalové síly.

Při selekci cviků vhodných pro BFR cvičení můžeme vybírat z jednokloubových i vícekloubových cvičení. Jednokloubovými cviky můžeme cílit na specifickou svalovou skupinu. Například při extenzi v kolenním kloubu můžeme očekávat největší nárůst svalové hmoty a síly v m. quadriceps femoris. U komplexních vícekloubových cviků může docházet k rozdílné svalové hypertrofii mezi trupem a končetinami, a musíme dávat pozor na vznik svalových dysbalancí. Dle našich výsledků je efekt cvičení s vaskulární okluzí, zaměřeného na zvýšení svalové síly, srovnatelný u aplikace na horní i dolní končetiny. U horních a dolních končetin musíme tedy dodržet pouze správnou aplikaci manžety, ale parametry zatížení nemusíme rozlišovat.

Intenzita u odporových cvičení by se dle našeho názoru měla pohybovat v doporučeném rozmezí mezi 20 až 40 % jednoho opakovacího maxima nebo maximální volní kontrakce. Z výsledků této práce vyplývá, že intenzita cvičení nižší než 15 % jednoho opakovacího maxima nezpůsobuje v kombinaci s vaskulární okluzí nárůst svalové síly. Při implementaci BFR cvičení do rehabilitačního programu začíná cvičení obvykle bez přidaného závaží či odporu. Dále je zátěž zvyšována postupně s rostoucí silou pacienta. Intenzita cvičení by nikdy neměla přesáhnout 50 % jednoho opakovacího maxima pacienta. U pacientů s myositidou s inkluzními tělísky má cvičení s vaskulární okluzí zejména preventivní efekt v zamezení ztráty svalové hmoty a svalové síly. Doporučení pro intenzitu aerobního cvičení nebyla doposud stanovena. Odvození intenzity cvičení z maximální tepové rezervy není vhodné z důvodu zkreslení srdeční frekvence při aplikaci manžety. Abe et al. (2010) využili pro určení intenzity aerobního cvičení hodnotu VO_{2max} . Použití intenzity 40 % VO_{2max} vedlo ke zvýšení svalové síly o 7,7 % po osmitýdenním tréninku.

Tréninkový objem jedné cvičební jednotky by se měl pohybovat v rozmezí 50-80 opakování, což odpovídá nejčastěji používanému schématu v námi zařazených studiích, které je následující: cvičení zahrnuje čtyři sety, při prvním setu je cvik opakován třicetkrát a ve zbylých setech je opakován patnáctkrát. Při cvičení dolních končetin u žen je vhodné zvýšit počet opakování oproti mužům. Doporučovaná pauza 30 až 45 sekund mezi sety se víceméně shoduje a pauzou v zařazených studiích, která se pohybovala v rozmezí 30 až 60 sekund. Z výsledků této práce dále vyplývá, že nepřetržitá aplikace manžety při cvičení s vaskulární okluzí je mezi autory zařazených studií nejen častěji používána, ale je i potenciálně efektivnější pro zvýšení svalové síly. Při použití aerobního cvičení nebyl doposud stanoven doporučený tréninkový objem. Tréninkový objem aerobního cvičení, použitý v zařazených studiích, byl 15 až 20 minut jízdy na kole.

Z výsledků této práce vyplývá, že počet cviků nemá vliv na výsledný efekt tréninku.

Frekvence tréninku by měla být rozdílná u pacientů a sportovců. U pacientů je za dostačující považováno cvičení dvakrát až třikrát týdně. U sportovců je možné cvičení zařadit dvakrát až čtyřikrát týdně spolu s běžným silovým tréninkem. Je možné zařadit BFR cvičení dvakrát denně.

Délka tréninku s využitím BFR cvičení ovlivňuje jeho výsledný efekt. Vyšší efekt cvičení s vaskulární okluzí můžeme očekávat při déle trvající intervenci. Doporučujeme tedy tréninkové období dlouhé nejméně šest týdnů s využitím BFR cvičení. U sportovců je vhodné v tréninku kombinovat BFR cvičení a cvičení o vysoké intenzitě.

Pokud chceme zabránit svalové atrofii, například u pacientů po operaci, je vhodné používat aplikaci BFR dvakrát denně pětkrát pět minut s tříminutovou pauzou, během které je vaskulární okluze odstraněna. Je možné použít hodnoty tlaku začínajících na 50 mmHg.

7.3 Směr výzkumu

Limitací této diplomové práce byl zejména počet studií s potřebnými daty pro výpočet ES (g), případně ES (d). Všechny studie rovněž neobsahovaly všechny potřebné parametry pro korelační analýzu. S ohledem na tato fakta nemůžeme brát doporučení v této diplomové práci za definitivní, a je nutno závěry této práce podpořit dalším výzkumem.

Budoucí výzkum v oblasti cvičení s omezením krevního průtoku by se dle našeho názoru měl dále zaměřit na některé parametry tréninku, které mohou výsledný efekt cvičení ovlivnit. Mezi tyto parametry patří například počet cviků během jedné cvičební jednotky se zohledněním, zda je cvik zaměřen na horní nebo dolní končetiny. Dále je potřeba potvrdit tvrzení, že cvičení s vaskulární okluzí je stejně efektivní při použití u dolních i horních končetin, tudíž je nutné provést více studií zaměřených na horní končetiny. V neposlední řadě by bylo vhodné, kdyby se sjednotil postup aplikace manžety při cvičení s vaskulární okluzí, aby bylo možné porovnávat ostatní parametry cvičení.

ZÁVĚR

V této diplomové práci byly porovnány výsledky z 27 studií, jež se zabývaly cvičením s omezením krevního průtoku. V zařazených studiích byla vyhledána potřebná data pro výpočet velikosti účinku jednotlivých tréninkových intervencí. Dále byla provedena korelační analýza mezi velikostí účinku a faktory, které moderovaly nárůst svalové síly. Mezi hodnocené faktory byla zařazena šířka manžety, maximální tlak manžety, délka intervence, počet intervencí, intenzita cvičení a počet cviků. Na základě analýzy dat byly určeny faktory mající největší vliv na účinek cvičení s omezením krevního průtoku se zaměřením na zvýšení svalové síly. Na základě zjištěných hodnot velikosti účinku cvičení s omezením krevního průtoku můžeme toto cvičení považovat za středně až velice účinné. Ve velice silném vztahu s efektem cvičení nebyl ani jeden ze zvolených parametrů. Nejvíce moderujícím parametrem byl dle našich výsledků počet intervencí, který souvisí s druhým nejvíce moderujícím parametrem – délkou intervence. Nízká hodnota korelačního koeficientu u parametrů počet cvičení, maximální tlak manžety, intenzita cvičení a šířka manžety, může být dle našeho názoru způsobena malým souborem dat. Na základě porovnání výsledků této práce s dosavadními vědeckými poznatky byla stanovena doporučení pro tvorbu tréninkového programu, zahrnujícího cvičení s omezením krevního průtoku a aplikaci vaskulární okluze.

Informace obsažené v této práci mohou být použity při praktické aplikaci cvičení s omezením krevního průtoku a stavbě či úpravě tréninkových programů využívajících cvičení s omezením krevního průtoku. Pro potvrzení výsledků této práce a stanovení přesných parametrů pro dosažení nejvyšší efektivity u cvičení s omezením krevního průtoku, je nutné provést další výzkum v této oblasti. Doposud se výzkum soustředil především na dolní končetiny. Aplikaci na horních končetinách by bylo vhodné potvrdit dalším výzkumem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ABE, T., et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*, 2005, **1**, 6-12. ISSN 1882-6628.
2. ABE, T., et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2010, **9**, 452-458. ISSN 1303-2968.
3. AMPOMAH, K., et al. Blood Flow-restricted Exercise Does Not Induce a Cross-Transfer of Effect: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, **51**(9), 1817-1827. ISSN 0195-9131.
4. ANDERSON, J. E. A role for nitric oxide in muscle repair: nitric oxide-mediated activation of muscle satellite cells. *Mol Biol Cell*, 2000, **11**(5), 1859-1874. ISSN 1059-1524.
5. BAAR, K., and K. ESSER. Phosphorylation of p70(S6k) correlates with increased skeletal muscle mass following resistance exercise. *Am J Physiol*, 1999, **276**(1), 120-127. ISSN 0002-9513.
6. BENNET, H., and F. SLATTERY. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review. *J Strength Cond Res*, 2019, **33**(2), 572–583. ISSN 1533-4287.
7. BITTAR, S. T., P. S. PFEIFFER, H. H. SANTOS, and M. S. CIRILO-SOUSA. Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2018, **38**, 930-935. ISSN 1475-0961.
8. BJØRNSSEN, T., et al. Type 1 Muscle Fiber Hypertrophy after Blood Flow-restricted Training in Powerlifters. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, **51**(2), 288-298. ISSN 0195-9131.
9. BURGOMASTER, K. A., et al. Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, **35**(7), 1203-1208. ISSN 0195-9131.

10. CLARK, B. C., et al. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports*, 2011, **21**, 653-662. ISSN 1600-0838.
11. COHEN, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. 1988. ISBN 978-1-134-74270-7.
12. COOK, S. B., B. R. SCOTT, K. L. HAYES, and B. G. MURPHY. Neuromuscular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2018, **17**, 66-73. ISSN 1303-2968.
13. CORREA, C. S., et al. Effects of strength training and detraining on knee extensor strength, muscle volume and muscle quality in elderly women. *AGE*, 2013, **35**, 1899-1904. ISSN 1574-4647.
14. CORVINO, R. B., et al. Speeding of oxygen uptake kinetics is not different following low-intensity blood-flow-restricted and high-intensity interval training. *Experimental Physiology*, 2019, **104**, 1858-1867. ISSN 1469-445X.
15. COUNTS, B. R., et al. Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle Nerve*, 2016, **53**, 438-445. ISSN 1097-4598.
16. DANKEL, S. J., M. B. JESSEE, T. ABE, and J. P. LOENNEKE. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Med*, 2016, **46**, 23-33. ISSN 1179-2035.
17. EGGINTON, S. Physiological factors influencing capillary growth. *Acta Physiol (Oxf)*, 2011, **202**(3), 225-239. ISSN 1748-1708.
18. ELLEFSEN, S., et al. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: A within-subject comparison with high-load strength training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2015, **309**(7), 767-79. ISSN 1522-1490.
19. FARUP, J., et al. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*, 2015, **25**, 754-763. ISSN 1600-0838.

20. FATELA, P., et al. Acute neuromuscular adaptations in response to low-intensity blood flow restricted exercise and high intensity resistance exercise: are there any differences? *J Strength Cond Res*, 2018, **32**(4), 902-910. ISSN 1533-4287.
21. FERGUSON, R. A., et al. The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Sport Science*, 2018, **18**(3), 397-406. ISSN 1746-1391.
22. FERRAZ, R. B., et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc*, 2018, **50**(5), 897-905. ISSN 0195-9131.
23. FITSCHEN, P. J., et al. Perceptual effects and efficacy of intermittent or continuous blood flow restriction resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2014, **34**, 356-363. ISSN 1475-0961.
24. GAUNDER, CH. L., M. P. HAWKINSON, D. J. TENNENT, and C. C. TUBB. Occlusion Training: Pilot Study for Postoperative Lower Extremity Rehabilitation Following Primary Total Knee Arthroplasty. *US Army Med Dep J*, 2017, **2**(17), 39-43. ISSN 1524-0436.
25. GIL, A. L. S., et al. Effect of strength training with blood flow restriction on muscle power and submaximal strength in eumenorrhic women. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2017, **37**, 221-228. ISSN 1475-0961.
26. GILES, L., K. E. WEBSTER, J. MCCLELLAND, and J. L. COOK. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *Br J Sports Med*, 2017, **51**, 1688-1694. ISSN 1473-0480.
27. GLEADLE, J. M., and A. MAZZONE. Remote ischaemic preconditioning: closer to the mechanism? *F1000Research*, 2016, **5**, 1-8. ISSN 2046-1402.
28. GUALANO, B., et al. Resistance Training with Vascular Occlusion in Inclusion Body Myositis: A Case Study. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, **42**(2), 250-254. ISSN 0195-9131.
29. HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat*. 2. vyd. Praha: Portál. 2006. ISBN 80-7367-123-9.

30. IVERSEN, E., and V. ROSTAD. Low-Load Ischemic Exercise-Induced Rhabdomyolysis. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2010, **20**(3), 218-219. ISSN 1050-642X.
31. JESSEE, M. B., et al. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Med*, 2016, **46**, 913-921. ISSN 1179-2035.
32. JESSEE, M. B., et al. The Cardiovascular and Perceptual Response to Very Low Load Blood Flow Restricted Exercise. *Int J Sports Med*, 2017, **38**, 597-603. ISSN 0172-4622.
33. JESSEE, M. B., et al. Muscle Adaptations to High-Load Training and Very Low-Load Training With and Without Blood Flow Restriction. *Front Physiol*, 2018, **16**(9), 1-11. ISSN 1664-042X.
34. JORGENSEN, A. N., et al. Blood-flow restricted resistance training in patients with sporadic inclusion body myositis: a randomized controlled trial. *Scand J Rheumatol*, 2018, **47**, 400-409. ISSN 1502-7732.
35. KACIN, A., and K. STRAZAR. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2011, **21**(6), 231-241. ISSN 1600-0838.
36. KACIN, A., B. ROSENBLATT, T. GAPAR ŽARGI, and A. BISWAS. Safety considerations with blood flow restricted resistance training. *Annales kinesiologiae*, 2015, **6**(1), 3-26. ISSN 2335-4240.
37. KAWADA, S., N. ISHII. Skeletal muscle hypertrophy after chronic restriction of venous blood flow in rats. *Med Sci Sports Exerc*, 2005, **37**, 1144-1150. ISSN 0195-9131.
38. KIM, D., et al. Comparative effects of vigorous-intensity and lowintensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity. *J Strength Cond Res*, 2016, **30**(5), 1453-1461. ISSN 1533-4287.

39. KIM, J., J. A. LANG, N. PILANIA, and W. D. FRANKE. Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults. *Experimental Gerontology*, 2017, **99**, 127-132. ISSN 0531-5565.
40. KRUIHOF, E. E., S. A. THOMAS, and P. TRIPP. Blood Flow Restriction Therapy Following Microfracture Surgery for Osteochondritis Dissecans in a Collegiate Athlete. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 2018, **23**, 230-233. ISSN 2157-7277.
41. LABARBERA, K. E., B. G. Murphy, D. P. LAROCHE, and S. B. COOK. Sex differences in blood flow restricted isotonic knee extensions to fatigue. *J Sports Med Phys Fitness*, 2013, **53**(4), 444-452. ISSN 1827-1928.
42. LARKIN, K., et al. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, **44**(11), 2077-2083. ISSN 0195-9131.
43. LAURENTINO, G. C., et al. Strength Training with Blood Flow Restriction Diminishes Myostatin Gene Expression. *Med Sci Sports Exer*, 2012, **44**(3), 406-412. ISSN 0195-9131.
44. LAURENTINO, G. C., et al. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, **48**(5), 920-925. ISSN 0195-9131.
45. LAURENTINO, G. C., et al. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptation after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc*, 2016, **48**(5), 920-925. ISSN 0195-9131.
46. LETIERI, R. V., et al. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*, 2018, **114**, 78-86. ISSN 0531-5565.
47. LIXANDRAO, M. E., et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol*, 2015, **115**, 2471-2480. ISSN 1439-6319.

48. LOENEKKE, J. P., et al. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses*, 2012, **78**(1), 151-154. ISSN 0306-9877.
49. LOENEKKE, J. P., R. S. THIEBAUD, and T. ABE. The Application of Blood Flow Restriction Training into Western Medicine: Isn't It About Time?. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2013, **19**(10), 843-844. ISSN 1557-7708.
50. LOENNEKE, J. P., C. A. FAHS, L. M. ROSSOW, and M. G. BEMBEN. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses*, 2012, **78**(1), 151-154. ISSN 0306-9877.
51. LOENNEKE, J. P., et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*, 2012, **112**, 2903-2912. ISSN 1439-6319.
52. LOENNEKE, J. P., et al. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*, 2011, **112**(5), 1849-1859. ISSN 1439-6319.
53. LOENNEKE, J. P., et al. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle Nerve*, 2014, **51**(5), 713-721. ISSN 1097-4598.
54. LOENNEKE, J. P., et al. Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *Eur J Appl Physiol*, 2015, **115**, 397-405. ISSN 1439-6319.
55. LOENNEKE, J. P., G. J. WILSON, and J. M. WILSON. A Mechanistic Approach to Blood Flow Occlusion. *Int J Sports Med*, 2010, **31**, 1-4. ISSN 0172-4622.
56. LOWERY, R. P., et al. Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2014, **34**, 317-321. ISSN 1475-0961.
57. LUEBBERS, P. E., E. V. WITTE, J. Q. OSHEL, and M. S. BUTLER. Effects of practical blood flow restriction training on adolescent lower-body strength. *J Strength Cond Res*, 2019, **33**(10), 2674-2683. ISSN 1533-4287.

58. MADARAME, H., et al. Cross-Transfer Effects of Resistance Training with Blood Flow Restriction. *Med Sci Sports Exerc*, 2008, **40**(2), 258-263. ISSN 0195-9131.
59. MANIMMANAKORN, A., et al. Effects of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 2013, **113**, 1767-1774. ISSN 1439-6319.
60. MARTÍN-HERNÁNDEZ, J., et al. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports*, 2013, **23**, 114-120. ISSN 1600-0838.
61. MATTOCKS, K. T., et al. The Application of Blood Flow Restriction: Lessons From the Laboratory. *American College of Sports Medicine*, 2018, **17**(4), 120-134. ISSN 1537-890X.
62. MENDONCA, G. V., et al. Muscle fatigue in response to low-load blood flow-restricted elbowflexion exercise: are there any sex differences? *European Journal of Applied Physiology*, 2018, **118**, 2089–2096. ISSN 1439-6327.
63. MORGAN, J. E., and T. A. PARTRIDGE. Muscle satellite cells. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 2003, **35**, 1151-1156. ISSN 1357-2725.
64. MORRIS, S. B. Estimating Effect Sizes From Pretest-Posttest-Control Group Designs. *Organizational Research Methods*. 2008, **11**(2), 364-386. ISSN 1094-4281.
65. MOUSER, J. G., et al. Very Low Load Resistance Exercise in the Upper Body with and without Blood Flow Restriction: Cardiovascular Outcomes. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2018, **44**(6), 1-17. ISSN 1715-5320.
66. NAKAJIMA, T., et al. Effects of Low-Intensity KAATSU Resistance Training on Skeletal Muscle Size and Muscle Strength/Endurance Capacity in Patients with Ischemic Heart Diseases. *Int J KAATSU Training Res*, 2010, **6**, 1-7. ISSN 1882-6628.
67. NIELSEN, J. L., et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol*, 2012, **590**(17), 4351-4361. ISSN 1469-7793.

68. OLIVEIRA, M. F. M., F. CAPUTO, R. B. CORVINO, and B. S. DENADAI. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scand J Med Sci*, 2016, **26**, 1017-1025. ISSN 1600-0838.
69. OZAKI, H., et al. Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur J Appl Physiol*, 2013, **113**, 167-174. ISSN 1439-6319.
70. OZAKI, H., J. P. LOENNEKE, and T. ABE. Blood flow-restricted walking in older women: does the acute hormonal response associate with muscle hypertrophy? *Clin Physiol Funct Imaging*, 2017, **37**, 379-383. ISSN 1475-0961.
71. OZAKI, O., M. MIYACHI, T. NAKAJIMA, and T. ABE. Effects of 10 Weeks Walk Training With Leg Blood Flow Reduction on Carotid Arterial Compliance and Muscle Size in the Elderly Adults. *Angiology*, 2010, **62**(1), 81-86. ISSN 1940-1574.
72. PARK, S., et al. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 2010, **109**, 591-600. ISSN 1439-6319.
73. PEARSON, S. J., and S. R. HUSSAIN. A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Med*, 2015, **45**(2), 187-200. ISSN 0112-1642.
74. PERIČ, T. and J. DOVALIL. *Sportovní trénink*. Praha: Grada. 2010. ISBN 978-80-247-2118-7.
75. POPE, Z. K., J. M. WILLARDSON, and B. J. SHOENFELD. Exercise and Blood Flow Restriction. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, **27**(10), 2914-2926. ISSN 1533-4287.
76. PRIOR, B. M., H. T. YANG, and R. L. TERJUNG. What makes vessels grow with exercise training? *J Appl Physiol*, 2004, **97**, 1119-1128. ISSN 1522-1601.
77. RATAMESS, N. A., et al. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2009, **41**, 687-708. ISSN 0195-9131.

78. REEVES, G. V., et al. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 2006, **101**, 1616-1622. ISSN 1522-1601.
79. ROSSOW, L. M., et al. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, **32**, 331-337. ISSN 1475-0961.
80. SAKAMAKI, M., T. YASUDA, and T. ABE. Comparison of low-intensity blood flow-restricted training-induced muscular hypertrophy in eumenorrhic women in the follicular phase and luteal phase and age-matched men. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, **32**, 185-191. ISSN 1475-0961.
81. SATO, A. The history and future of KAATSU Training. *Int. J. Kaatsu Training Res*, 2005, **1**, 1-5. ISSN 1882-6628.
82. SAWILOWSKY, S. S. New Effect Size Rules of Thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 2009, **2**(1), 597-599. ISSN 1538-9472.
83. SCOTT, B. R., J. P. LOENNEKE, K. M. SLATTERY, and B. J. DASCOSBE. Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Medicine*, 2014, **45**(3), ISSN 1179-2035.
84. SCOTT, B. R., J. P. LOENNEKE, K. M. SLATTERY, and B. J. DASCOSBE. Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Med*, 2015, **45**(3), 313-325. ISSN 1179-2035.
85. SIELJACKS, P., et al. Muscle damage and repeated bout effect following blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*, 2016, **116**, 513-525. ISSN 1439-6319.
86. SLYSZ, J., J. STULTZ, and J. F. BURR. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2015, **19**(8), 669-675. ISSN 1440-2440.

87. SOUSA, A. C., et al. Concurrent training and detraining: the influence of different aerobic intensities. *J Strength Cond Res*, 2020, **34**(9), 2565-2574. ISSN 1533-4287.
88. SOUSA, J. B. C., et al. Effects of strength training with blood flow restriction on torque, muscle activation and local muscular endurance in healthy subjects. *Biol Sport*, 2017, **34**, 83-90. ISSN 0860-021X.
89. SPITZ, R. W., et al. The impact of cuff width and biological sex on cuff preference and the perceived discomfort to blood-flow-restricted arm exercise. *Physiol Meas*, 2019, **40**(5). ISSN 1361-6579.
90. SPITZ, R. W., et al. Blood flow restricted exercise and discomfort: A Review. *J Strength Cond Res*, 2020. ISSN 1533-4287.
91. SPITZ, R. W., et al. Blood Flow Restriction Exercise: Effects of Sex, Cuff Width, and Perceived Lower Body Discomfort. *Perceptual and Motor Skills*, 2021, **128**(1), 356-374. ISSN 1558-688X.
92. TAKARADA, Y., et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 2000, **88**, 2097-2106. ISSN 8750-7587.
93. TAKARADA, Y., et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 2000, **88**, 61-65. ISSN 8750-7587.
94. TAKARADA, Y., H. TAKAZAWA, and N. ISHII. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, **32**(12), 2035-2039. ISSN 0195-9131.
95. TAPURIA, N., et al. Remote ischemic preconditioning: a novel protective method from ischemia reperfusion injury--a review. *J Surg Res*, 2008, **150**(2), 304-330. ISSN 1095-8673.
96. TAYLOR, C. W., S. A. INGHAM, and R. A. FERGUSON. Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. *Exp Physiol*, 2016, **101**(1), 143-154. ISSN 1469-445X.

97. TERAMOTO, M., and L. A. GOLDING. Low-intensity exercise, vascular occlusion, and muscular adaptations. *Research in Sports Medicine*, 2006, **14**, 259-271. ISSN 1543-8635.
98. URSPRUNG, W., and J. D. SMITH. The effects of blood flow restriction training on VO₂max and 1.5 mile run performance. *International Journal of Exercise Science*, 2017, **2**(7). ISSN 1939-795X.
99. WEATHERHOLT, A., et al. Modified Kaatsu Training: Adaptations and Subject Perceptions. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, **45**(5), 952-961. ISSN 0195-9131.
100. WILSON, J. M., et al. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res*, 2013, **27**(11), 3068-3075. ISSN 1533-4287.
101. WONG, V., et al. The influence of biological sex and cuff width on muscle swelling, echo intensity, and the fatigue response to blood flow restricted exercise. *Journal of Sports Sciences*, 2019, **37**(16), 1865-1873. ISSN 1466-447X.
102. XINTONG, L., et al. Blood flow restriction training: a new method for accelerating musculoskeletal rehabilitation. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2019, **23**(15), 2415-2420. ISSN 2095-4344.
103. YARASHESKI, K. E., et al. Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth in young men. *Am J Physiol*, 1992, **262**(3), 261-267. ISSN 0002-9513.
104. YASUDA, T., et al. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2010, **30**, 338-343 ISSN 1475-0961.
105. YASUDA, T., et al. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2011, **31**, 347-351 ISSN 1475-0961.

106. YASUDA, T., et al. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*, 2014, **24**, 799-806. ISSN 1600-0838.
107. YASUDA, T., J. P. LOENNEKE, R. OGASAWARA, and T. ABE. Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2015, **35**, 71-75. ISSN 1475-0961.
108. YASUDA, T., J. P. LOENNEKE, R. S. THIEBAUD, and T. ABE. Effects of Blood Flow Restricted Low-Intensity Concentric or Eccentric Training on Muscle Size and Strength. *PLoS ONE*, 2012, **7**(12), 1-7. ISSN 1932-6203.
109. YOW, B. G., et al. Blood Flow Restriction Training After Achilles Tendon Rupture. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 2017, **57**(3), 1-4. ISSN 1067-2516.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

AOP	Tlak úplné arteriální okluze
BFR	Omezení krevního průtoku
BP	Benchpress
CG	Kontrolní skupina
DK	Dolní končetina
EF	Flexe v loketním kloubu
ES	Velikost účinku
H1F-1 α	Hypoxií indukovaný faktor 1 α
HK	Horní končetina
HRR	Maximální tepová rezerva
HSP-72	Protein teplotního šoku 72
KE	Extenze v kolenním kloubu
nNOS	Neuronální syntáza oxidu dusnatého
NO	Oxid dusnatý
RIP	Vzdálená ischemická předpříprava
S6K1	Ribozomální S6 kináza 1
SBP	Systolický krevní tlak
SLE	Systémový lupus erythematoses
VEGF	Vaskulární endoteliální růstový faktor
VO _{2max}	Maximální spotřeba kyslíku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Dotazník před aplikací BFR (Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas 2015)

PŘÍLOHY

Příloha 1 Dotazník před aplikací BFR (Kacin, Rosenblatt, Žargi a Biswas 2015)

MÍRA RIZIKA	ZDRAVOTNÍ HISTORIE NEBO FAKTORY ŽIVOTNÍHO STYLU	ODPOVĚĎ PACIENTA	ROZHODNUTÍ
ABSOLUTNÍ	Máte v rodinné anamnéze poruchy srážení krve (např. SLE, hemofilie, vysoké krevní destičky)?	ANO	Zastavit
		NE	Pokračovat
	Máte hypertenzi 1. úrovně (Systolický tlak \geq 140 mmHg)?	ANO	Zastavit
		NE	Pokračovat
	Máte v anamnéze hlubokou žilní trombózu nebo plicní embolus?	ANO	Zastavit
		NE	Pokračovat
	Měl jste hemoragickou nebo trombotickou mrtvici?	ANO	Zastavit
		NE	Pokračovat
RELATIVNÍ	Máte v rodinné anamnéze poruchy srážení krve (např. SLE, hemofilie, vysoké krevní destičky)?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Kouříte?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Užíváte nějaké léky včetně antikoncepce?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte v anamnéze poranění tepen nebo žil?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte v anamnéze poranění některého z nervů (včetně poranění zad nebo krku)?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte diabetes?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Má jeden z vašich rodičů nebo sourozenců diabetes?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte hypertenzi (Systolický tlak 120 – 140 mmHg)?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte kovové implantáty v těle?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Máte nedidiagnostikovanou bolest v tříselech nebo lýtkách?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Měli jste nebo máte kompartment syndrom?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
	Podstoupili jste operaci za poslední čtyři týdny?	ANO	Vyhledat radu doktora
		NE	Pokračovat
Absolvovali jste cestu nebo let trvající déle než 4 hodiny za posledních 7 dní?	ANO	Vyhledat radu doktora	
	NE	Pokračovat	
Máte nějaké další zdravotní potíže, včetně prodělané synovitidy?	ANO	Vyhledat radu doktora	
	NE	Pokračovat	