

**Blood Flow Restriction harjoittelume-
netelmänä fysioterapiassa**
Integroiva kirjallisuuskatsaus

Janne Keinänen & Jussi-Akseli Körkkö

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017
Sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala
Fysioterapian koulutusohjelma

Tekijä(t) Keinänen, Janne Körkkö, Jussi-Akseli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2017
	Sivumäärä 104	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Blood Flow Restriction harjoittelumenetelmä fysioterapiassa Integroiva kirjallisuuskatsaus		
Tutkinto-ohjelma Fysioterapian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Helminen, Eeva		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän fysioterapia Bodium Oy		
Tiivistelmä <p>Tuki- ja liikuntaelämistön sairauksiin ja ikääntymiseen liittyy yleensä lihasmassan ja -voiman lasku. Kuntoutujat saattavat olla heikkokuntoisia ja lisäksi operaation jälkeisiin tiloihin liittyy myös kuormitusrajoituksia, joiden takia isoilla kuormilla tehtävää voimaharjoittelua ei voida tehdä. Blood flow restriction -harjoittelu on melko uusi harjoittelumuoto, jossa raajan verenkiertoa rajoitetaan voimaharjoittelun tai aerobisen harjoittelun aikana mansetin tai kuminauhan avulla. Verenkierron rajoitusta käytettäessä saadaan stimuloitua lihasmassan kasvua 30–40 % kuormalla maksimipainosta. Normaalisti lihasmassan kasvun saavuttamiseksi tulee käyttää kuormia jotka ovat 65–85 % maksimikuormasta.</p> <p>Opinnäytetyömenetelmänä käytettiin integroivaa kirjallisuuskatsausta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tutkimustietoon perustuen blood flow restriction -harjoittelun käytömahdollisuudet fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa. Opinnäytetyön tavoitteena oli eritellä tarkemmin, millaisia vaikutuksia Blood Flow Restriction -menetelmällä saadaan tuki- ja liikuntaeläinsairauksien, ikääntyneiden ja muiden kuntoutujaryhmien kuntoutuksessa.</p> <p>Tutkimustulokset viittaavat siihen, että Blood flow restriction -harjoittelua voidaan käyttää 1) Lihasvoiman ja -massan kasvattamiseen tai ylläpitämiseen alaraajojen tuki- ja liikuntaelävammojen kuntoutuksessa, 2) Perusterveiden iäkkäiden henkilöiden ylä- ja alaraajojen lihasvoiman ja -massan kehittämiseen voimaharjoitteluun yhdistettynä, 3) Perusterveiden iäkkäiden henkilöiden alaraajojen voiman ja lihasmassan sekä kävelykyvyn kehittämiseen kävelyharjoitteluun yhdistettynä, 4) Immobilisaation aikaisen lihastrofian ehkäisyyn ja 5) Polymyosiittipotilaiden lihasvoiman- ja massan sekä päivittäisistä toimista suoriutumisen kehittämiseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Blood flow restriction, BFR, voimaharjoittelu, voima, lihashypertrofia, lihasatrofia, fysioterapia, tuki- ja liikuntaelin sairaudet, ikääntyneet, immobilisaatio		
Muut tiedot		

Author(s) Keinänen, Janne Körkkö, Jussi-Akseli	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 104	Permission for web publication: x
Title of publication Blood Flow Restriction as a training method in Physiotherapy Integrative literature review		
Degree programme Degree Programme in Physiotherapy		
Supervisor(s) Helminen, Eeva		
Assigned by Jyväskylän fysioterapia Bodium Oy		
Abstract <p>Musculoskeletal diseases and aging are usually associated with decreases in the skeletal muscle mass and strength. Rehabilitees may be too frail to use heavy loads, and there are usually some load limits after operations that also limit the amount of loading possible to use with the patients. Blood flow restriction training is a relatively new training method where the limb blood flow is restricted with the use of cuffs or elastic bands during strength or aerobic training. By utilizing restrictions on blood flow, it is possible to stimulate skeletal muscle growth and increase strength with loads as small as 30–40 % of the maximum weight. Usually loads of 65–85 % of the maximum are required to elicit increases in muscle mass and strength.</p> <p>The research method used in the thesis was an integrative literature review. The purpose was to investigate the possibilities of using blood flow restriction training in the field of physiotherapy. The goal of the thesis was to determine more accurately what kind of impact blood flow restriction training had in the rehabilitation of those suffering from musculoskeletal disorders as well as with the elderly and other patient groups.</p> <p>The findings suggest that blood flow restriction training can be used as a training method to 1) Increase or maintain muscle mass and strength during rehabilitation of lower limb musculoskeletal disorders, 2) Develop upper and lower limb muscle mass and strength of healthy elderly people when combined with strength training, 3) Develop lower limb muscle strength, muscle mass and walking ability of healthy elderly people when combined with walking, 4) Prevent skeletal muscle atrophy during periods of immobilization and 5) Develop skeletal muscle mass, muscle strength and performance in activities of daily living of patients with polymyositis.</p>		
Keywords/tags (subjects HYPERLINK "http://vesa.lib.helsinki.fi/") Blood flow restriction, BFR, Strength training, Muscle strength, Skeletal muscle hypertrophy, Skeletal muscle atrophy, physiotherapy, Musculoskeletal diseases, Elderly, Immobilization		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	9
2	Terapeuttinen harjoittelu fysioterapiassa	10
3	Lihaksiston anatomia ja toiminta	11
3.1	Lihassolutyypit.....	11
3.2	Luurankolihasen rakenne ja supistuminen	12
4	Lihassoimiharjoittelu	13
5	Lihassoman kasvatuksen fysiologiset perusteet	16
6	Blood flow restriction- harjoittelu.....	19
6.1	BFR-harjoittelun yleisyys ja käyttökohteet kliinisessä työssä maailmalla	19
6.2	Fysiologiset vaikutusmekanismit	22
6.2.1	Lihasoaktivaatio	23
6.2.2	Lihasso-uvauriot	24
6.2.3	Hormonit.....	24
6.2.4	Lihasso-olon turpoaminen	25
6.2.5	Happiradikaalit ja signaalintireittien aktivoituminen	26
6.3	Vaikutukset voimaan ja lihassomaan.....	27
6.3.1	BFR terveiden henkilöiden harjoittelussa.....	27
6.3.2	BFR ja urheilijoiden harjoittelu	29
6.3.3	Käytetyn painon vaikutus.....	30
6.4	Turvallisuus, kontraindikaatiot ja harjoituspaineen valintasuositus	30
6.4.1	Sivuvaikutukset ja kontraindikaatiot kliinisessä työssä	31
6.4.2	BFR ja sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta.....	32
6.4.3	Muut mahdolliset sivuvaikutukset.....	35
6.4.4	Ohjeet harjoituspaineen määrittämiseksi	36
7	Opinnäytetyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset	37
8	Opinnäytetyön toteutus	38
8.1	Tutkimusmenetelmä	38
8.2	Artikkeleiden haku- ja valintaprosessi	39
8.3	Mukaan otetut ja poissuljetut aineistot.....	41
8.4	Aineiston analyysi ja laadun arviointi.....	41
9	Blood flow restriction -menetelmän vaikutukset fysioterapeuttisessa harjoittelussa eri kuntoutujaryhmillä.....	46
9.1	BFR-menetelmän käyttö tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutuksessa	46

9.1.1	Polven postoperatiivinen kuntoutus	47
9.1.2	Polven nivelrikon kuntoutus / ennaltaehkäisy	48
9.1.3	Muiden alaraajan vammojen kuntoutus	49
9.1.4	Yhteenvedo BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista tuki- ja liikuntaelin sairauksien kuntoutuksessa	51
9.2	BFR-menetelmän käyttö ikääntyneiden kuntoutuksessa	52
9.2.1	Voimaharjoittelu	52
9.2.2	Kävelyharjoittelu	57
9.2.3	Yhteenvedo BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista ikääntyneiden kuntoutuksessa	58
9.3	BFR-menetelmän käyttö muiden kuntoutujaryhmien kuntoutuksessa.....	59
9.3.1	Lihaskadon ennaltaehkäisy immobilisaation aikana	60
9.3.2	Polymyosiittipotilaiden kuntoutus.....	62
9.3.3	Selkäydinvamman jälkeinen kuntoutus.....	63
9.3.4	Vedessä tapahtuva harjoittelu.....	63
9.3.5	Yhteenvedo BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista muilla kuntoutujaryhmillä	64
10	Kuntoutujaryhmät, joilla Blood flow restriction -menetelmän käyttö on analysoitujen artikkelien mukaan perusteltua fysioterapeuttisessa harjoittelussa	64
11	Pohdinta	66
11.1	Tutkimustulosten luotettavuuden ja sovellettavuuden arviointi	66
11.2	Blood flow restriction -harjoittelun rooli fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa	69
11.3	BFR-menetelmän turvallinen käyttäminen	74
11.4	Kirjallisuuskatsauksen luotettavuus ja eettisyys	76
11.5	Jatkotutkimusehdotukset.....	77
11.6	Loppuyhteenvedo	78
Lähteet	79
Liitteet	87
	Liite 1. BFR-harjoittelun käyttöä tuki- ja liikuntaelinsairauksien terapiassa tarkastelleet tutkimukset	87
	Polven postoperatiivinen kuntoutus	87
	Polven nivelrikko	89
	Muiden polvivammojen kuntoutus	90
	Liite 2. BFR-harjoittelun käyttöä ikääntyneiden kuntoutuksessa tarkastelleet tutkimukset	92
	Voimaharjoittelu	92

Kävelyharjoittelu	97
Liite 3. BFR-harjoittelun käyttöä muissa fysioterapiaan liittyvissä tilanteissa tarkastelleet tutkimukset	99
BFR-menetelmän käyttö immobilisaation aikana	99
Myosiittipotilaiden harjoittelu	102
Selkäydinvamman kuntoutus.....	103
Vedessä tapahtuva terapeutin harjoittelu	103

Taulukkuuettelo

Taulukko 1. Voiman eri lajit ja niiden harjoittamisen vertailu.....	16
Taulukko 2. Harjoittelumuuttujien jakautuminen prosentuaalisesti eri BFR- harjoittelumuodoissa kliinisessä työssä.....	20
Taulukko 3. BFR-harjoittelun käyttökohteet ja -tavoitteet kliinisessä työssä kyselytutkimusten pohjalta.....	21
Taulukko 4. BFR-harjoittelun käytön jakautuminen eri ikäryhmien välillä kliinisessä työssä kyselytutkimuksien mukaan	22
Taulukko 5. BFR-harjoittelun yhteydessä esiintyvät sivuvaikutukset.....	31
Taulukko 6. Eri sairauksien ja tilojen käyttö kontraindikaationa BFR-harjoittelulle yleisyysjärjestyksessä kliinisessä työssä tällä hetkellä.....	32
Taulukko 7. Aineistohaun mukaanotto- ja poissulkukriteerit	41
Taulukko 8. PEDro -asteikon arviointikriteerit.....	44
Taulukko 9. Analysoitujen tutkimuksien PEDro-pistemäärät	45
Taulukko 10. Analysoitujen tutkimuksien koehenkilömäärien jakautuminen	46
Taulukko 11. Polven postoperatiivista kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.....	48
Taulukko 12. Polven nivelrikon kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.....	49
Taulukko 13. Muiden alaraajan vammojen kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.....	51
Taulukko 14. Ikääntyneiden alaraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.....	54
Taulukko 15. Ikääntyneiden yläraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.....	56

Taulukko 16. Ikääntyneiden kävelyharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen	58
Taulukko 17. Lihaskadon ennaltaehkäisyä käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen	61
Taulukko 18. Polymyosiittipotilaiden kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen	63
Taulukko 19. Yleisimmät BFR-kuormitusmallit voimaharjoittelun ja immobilisaation yhteydessä analysoiduissa tutkimuksissa	76

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Terapeuttisen harjoittelun osa-alueet	11
Kuvio 2. Voimaharjoittelun lihahypertrofiaa aiheuttavat vaikutusmekanismit.....	18
Kuvio 3. BFR-harjoittelun ja raskailla painoilla tehdyn voimaharjoittelun fysiologisten vaikutusten vertailu.	23
Kuvio 4. Analysoitavien artikkeleiden valintaprosessin vaiheet.....	40
Kuvio 5. Aineiston jakautuminen teemoihin ja alateemoihin	43

Käsite-/ lyhenneluettelo

1RM	One Repetition Maximum = Yhden toiston maksimikuorma
6MWT	6 minute walking test = kuuden minuutin kävelytesti
ACL	Anterior Cruciate Ligament = Eturistiside
ACSA	Anatomical Cross Sectional Area = Anatominen poikkipinta-ala
ADL	Activities of Daily Living = Päivittäiset toimet
Akt/mTOR	Akt/Mammalian target of rapamycin = Tärkeä signalointireitti lihasproteiinisynteesin käynnistyksessä
BFR	Blood Flow Restriction
DBP	Diastolic Blood Pressure = Diastolinen verenpaine
HRreserve	Heart Rate Reserve = Sykereservi
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score = Kyselylomake, jota käytetään polven kivun ja kunnan arvointiin
LOP	Limb Occlusive Pressure = mansetin painetaso, joka salpaa raajan verenkierron kokonaan
MAP	Mean Arterial Pressure = Keskiverenpaine
mCSA	Muscle Cross Sectional Area = Lihaksen poikkipinta-ala
mmHg	Elohopeamillimetri = verenpaineen mittayksikkö
MVC	Maximal Voluntary Contraction = maksimi tahdonalainen lihassupistus/-voima
N	Koehenkilöotos
NMES	Neuromuscular Electrical Stimulation
NPRS	Numeric Pain Rating Scale = Kivun tason arviointiin käytettävä jana
Rad/s / °/s	Kulmanopeus = radiaania sekunnissa / asteita sekunnissa
RCT	Randomized Controlled Trial = Satunnaistettu kontrolloitu tutkimus
RFD	Rapid Force Development = Nopea voiman tuotto
SBP	Systolic Blood Pressure = Systolinen verenpaine
TUG-testi	Timed Up and Go-testi = liikkumiskykyä ja toiminnallista tasapainoa arvioiva testi
VAS	Visual Analogic Scale = Kivun ja rasituksen tason arviointiin käytettävä jana
VO ₂ max	Maksimihapenottokyky
VO ₂ maxpeak	Maksimihapenottokyvyn huippuarvo
VR-12	Elämänlaatua arvioiva kyselytesti

1 Johdanto

Blood flow restriction -menetelmä (jatkossa BFR) on melko uusi harjoittelumuoto, jossa raajan verenkiertoa rajoitetaan voimaharjoittelun tai aerobisen harjoittelun aikana mansetilla tai kuminauhalla. BFR-menetelmää voidaan käyttää myös itsenäisesti ilman harjoittelua. Menetelmää on tutkittu jo vuodesta 1966 lähtien ja erityisen paljon 2000-luvulla, etenkin suorituskyvyn ja lihasmassan kasvun näkökulmasta. Verenkierron rajoitusta käytettäessä saadaan stimuloitua lihasmassan kasvua 20–40 % kuormalla maksimipainosta. Normaalisti lihasmassan kasvun saavuttamiseksi käytetään kuormia jotka ovat 65–85 % maksimikuormasta (Schoenfeld 2010). Tutkimusten perusteella menetelmä on toimiva voiman- ja lihasmassan kasvattamiseksi terveillä henkilöillä sekä urheilijoilla (Ozaki ym. 2016; Scott ym. 2016). Viime aikoina on alettu tutkimaan myös sen soveltamista fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa sekä erityisryhmillä. Tutkimusten mukaan tulokset ovat tältäkin osalta lupaavia. (Hughes ym. 2017.) Kliinisessä työssä menetelmä on laajassa käytössä jo USA:ssa, Iso-Britanniassa (Patterson & Brandner, 2017) ja Japanissa (Nakajima ym. 2006), mutta Suomeen menetelmä ei ole vielä rantautunut laajempaan käyttöön.

Tuki- ja liikuntaelämistön sairauksiin ja ikääntymiseen liittyy yleensä lihasmassan ja -voiman laskua (Libardi ym. 2014; Hughes ym. 2017). Kuntoutujat saattavat olla heikkokuntoisia, jonka takia normaalisti lihasvoiman kasvuun vaadittavat kuormat saattavat olla heille liian raskaita. Operaation jälkeisiin tiloihin liittyy usein kuormitus- ja painorajoituksia, joiden takia isoilla painoilla tehtävää voimaharjoittelua ei voida tehdä ennen kuin paraneminen on riittävällä tasolla. Kuntoutuja saattaa olla myös traumaperäisestä loukkautumisesta kärsivä urheilija, jolle olisi ehdottoman tärkeää päästä mahdollisimman nopeasti takaisin lajinsa pariin. Kuntoutusta saataisiin tehostettua, jos olisi käytössä menetelmä, jolla lihasvoimaa ja -massaa voitaisiin kehittää kevyttä vastusta käyttämällä.

Opinnäytetyö on integroiva kirjallisuuskatsaus, joka tarjoaa laajan teoriataustan BFR-menetelmän fysiologisista vaikutusmekanismeista sekä huomioon otettavista turvallisuustekijöistä. Kirjallisuuskatsauksen tulososio keskittyy tarkastelemaan, millaisia vaikutuksia BFR-menetelmällä on saatu aikaan eri kuntoutujaryhmillä erityisesti lihasvoimassa, -massassa, kestävyyskunnossa sekä toiminnallisissa testeissä. Tutkimustulosten pohjalta anne-

taan myös tämän hetkiseen tutkimusnäyttöön pohjautuen ohjeistus, minkä kuntoutu-
jaryhmien harjoittelussa BFR-menetelmän käyttö on perusteltua. Lopuksi pohditaan BFR-
menetelmän soveltuvuutta käytännön kliiniseen työhön.

Tämä opinnäytetyö on työn tekijöiden tietämyksen mukaan ensimmäinen suomen kielellä
tehty tutkielma blood flow restriction- harjoittelusta ja sen käytöstä fysioterapeuttisessa
kuntoutuksessa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Jyväskylän fysioterapia Bodium oy, josta myös
opinnäytetyön aihe on peräisin. Yhteyshenkilönä ja sisällön kommentoijana heiltä toimi
OMT-fysioterapeutti Jari Rautiainen.

2 Terapeuttinen harjoittelu fysioterapiassa

Fysioterapia -termi muodostuu kreikan kielen sanoista physis (suom. luonto) ja therapeia
(suom. parannus). Sillä tarkoitetaan hoitomuotoa, joissa hyödynnetään erilaisia fysikaali-
sia hoitokeinoja. Fysioterapiassa näitä fysikaalisia hoitokeinoja käytetään sairauksien ja
oireiden ennaltaehkäisemiseksi, parantamiseksi ja lievittämiseksi. Fysioterapiassa ja sitä
tutkivassa tieteessä ollaan kiinnostuneita ihmisten toimintakyvystä, liikkumisesta sekä
näihin negatiivisesti vaikuttavista tekijöistä. Siksi fysioterapeuttisen kuntoutuksen keskei-
senä tavoitteena on kuntoutujan toimintakyvyn parantaminen ja ylläpitäminen. Yleisim-
piä kuntoutuja- /asiakasryhmiä ovat alentuneesta toimintakyvystä kärsivät ihmiset, kuten
tuki- ja liikuntaelinsairaat, ikääntyneet, synnynnäisiä sairauksia sairastavat ja tapaturmai-
sesti vammautuneet. Fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa käytettyjä menetelmiä ovat
mm. neuvonta, ohjaus, terapeuttinen harjoittelu sekä manuaalinen terapia. (Kauranen K
2017, 10–11.)

Terapeuttisiin päämääriin tähtäävää liike- ja liikuntaharjoittelua kutsutaan terapeuttiseksi
harjoitteluksi. Terapeuttisen harjoittelu on keskeisessä roolissa fysioterapeuttisessa kun-
toutuksessa. Sen tarkoituksena on sairaudesta tai vammasta johtuvien fyysisten oireiden
lievittäminen ja/tai ennaltaehkäisy aktiivisilla ja toiminnallisilla harjoittelumenetelmillä.
Harjoittelun sisältö määräytyy henkilön oireiden ja tarpeiden mukaan. Se voi sisältää mm.

nivelliikkuvuutta, lihasvoimaa, aerobista kestävyyskuntoa, tasapainoa ja koordinaatiota kehittävää harjoittelua. Terapeuttisen harjoittelun päätavoite on tukea terveyttä ja toimintakykyä. Terapeuttisen harjoittelun yksilöllisinä tavoitteina voi olla mm. leikkauksesta palautumisen tehostaminen (postoperatiivinen kuntoutus) sekä vuodelevon aiheuttaman liikkumattomuuden (immobilisaation) tuottaman lihasheikkouden ehkäiseminen. (Kauranen 2017, 579) Kuviossa 1 on esitelty terapeuttisen harjoittelun osa-alueet. Tässä opinäytetyössä keskitytään erityisesti lihasvoimaharjoitteluun.



Kuvio 1. Terapeuttisen harjoittelun osa-alueet

3 Lihaksiston anatomia ja toiminta

3.1 Lihassolutyypit

Ihmiskehossa on kolme erilaista lihassolutyyppeä: luuranko-, sydän- ja sileälihassolukkoa. Suurin osa luurankolihasista kiinnittyy nimensä mukaan luurangon luihin ja mahdollistavat luiden liikkeen. Sydänlihassolukkoa löytyy ainoastaan sydäimestä. Luuranko- ja sydänlihas määritellään poikkijuovaisiksi lihaksiksi, koska niistä pystytään erottamaan vaaleita

ja tummia juovia valomikroskoopilla tarkasteltaessa. Sileää lihassolutyyppeä löytyy pääasiassa sisäelinten ja kehon putkimaisten rakenteiden, kuten verisuonien, virtsarakon ja ruoansulatuskanavan ympäriltä. Sileästä lihassolusta ei löydy selkeästi havaittavaa poikkijuovaista rakennetta. (Silverthorn D 2010, 407.)

Luurankolihasrakennetta määritellään usein tahdonalaiseksi, kun taas sileää lihassolukkoa ja sydänlihassolukkoa tahdosta riippumattomiksi. Luurankolihakset supistuvat vain somaattisen eli tahdonalaisen hermoston välityksellä. Luurankolihas ei pysty itsenäisesti käynnistämään supistumistaan ja hormoneilla ei ole suoranaista vaikutusta supistumiseen. Sydänlihassolulla ja sileällä lihassolulla on useita aktiivisuuden säätelytasoja. Pääsääntöisesti sydänlihassolun ja sileän lihassolun aktiivisuutta säätelee autonominen hermosto, mutta jotkin sydän- ja lihassolutyypit voivat supistua ilman keskushermostosta tulevaa signaalia (esim. sydänlihas ja sinussolmuke). Lisäksi veren hormonipitoisuuksilla on vaikutusta joidenkin sydän- ja sileiden lihassolutyypien aktiivisuuteen. (Silverthorn D 2010, 407.)

3.2 Luurankolihasrakenteen rakenne ja supistuminen

Luurankolihakset muodostavat ison osan kehon kokonaismassasta: n. 40%. Ne ylläpitävät luurangon asentoa painovoimaa vastaan sekä saavat aikaan liikkeen luita yhdistävissä nivelissä. Keskivartalon luurankolihakset osallistuvat myös sisäelinten suojaamiseen. (Silverthorn D 2010, 408.)

Luurankolihas muodostuu joukosta yksittäisiä lihassoluja. Lihassolut taas muodostuvat joukosta supistuvia komponentteja, myofibriileitä. Myofibriilin supistuminen tapahtuu, kun lihassolua hermottavasta motoneuronista tuleva aktipotentiaali leviää lihassolun sisälle ja saa aikaan kalsium-ionien vapautumisen lihassolun sarkoplastisesta retikkelistä. Kalsiumin vapautuminen mahdollistaa myofibriilin supistuvien proteiinien; myosiinin ja aktiinin, kiinnittymisen toisiinsa. Myosiinifilamentti ”vetää” aktiinifilamenttia kohti myofibriilin keskiosaa, jolloin myofibriili supistuu. Tämän tapahtuu samanaikaisesti lihassolun jokaisessa myofibriilissä, jolloin lihassolu supistuu eli lyhenee. (Silverthorn D 2010, 408–419.)

Jokaista lihassolua hermottaa motoneuroni. Yksi motoneuroni hermottaa samanaikaisesti useampaa lihassolua. Motoneuronia ja sen hermottamia lihasoluja kutsutaan yhdessä motoriseksi yksiköksi. Kaikki motorisen yksikön lihasolut supistuvat yhtäaikaaisesti niitä hermottavan motoneuronin käskytyksestä. Motoriset yksiköt ja lihasolut jaetaan niiden supistumisnopeuden ja väsymisen sietokyvyn mukaan pääsääntöisesti kolmeen ryhmään: hitaisiin (tyyppi I), nopeisiin oksidatiivisiin (tyyppi IIA) sekä nopeisiin glykolyttisiin soluihin (tyyppi IIB tai IIX). Nopeat lihasolut supistuvat 2–3 kertaa nopeammin verrattuna hitaisiin lihasoluihin, mutta ne tuottavat energiansa pääasiassa anaerobisesti, jolloin ne väsyvät nopeammin kuin aerobisesti suuremman osan energiasta tuottavat hitaat lihasolut. Lihasvoimantuottoa säädellään lisäämällä tai vähentämällä aktiivisten motoristen yksiköiden määrää. Hitaita lihasoluja hermottavien motoneuroneiden aktivointiherkkyys on suurin, jolloin ne aktivoituvat ensimmäisenä jo pienestä stimuluksista. Päinvastoin nopeita lihasoluja hermottavien motoneuroneiden aktivointiherkkyys on pieni, jolloin niiden aktivoimiseksi tarvitaan suurempi stimulointi. (Silverthorn 2010. 422 & 426–427.)

4 Lihasvoimaharjoittelu

Lihasvoimaharjoittelulla tarkoitetaan kehon luurankolihasiston maksimi-, kesto- tai nopeusvoiman harjoittamista lihastyömuotojen avulla. Lihastyömuotoja ovat isometrinen, konsentrinen ja eksentrinen lihastyö.

Isometrisen eli staattisen lihastyön aikana lihaksen ulkoinen pituus ei muutu eikä nivelkulma muutu supistumisen aikana. Tämän takia lihasvoima kehittyy pääasiassa vain sillä nivelkulmalla, jossa harjoittelu tapahtuu. Tästä syystä isometristä lihasvoimaa harjoitettaessa tulisi jännityksiä suorittaa useilla eri nivelkulmilla. Lihasvoimaan vaikuttavat tekijät isometrisessä lihastyössä ovat jännitystaso, jännitysaika ja toistomäärät. Isometrinen lihasvoimaharjoittelu ei välttämättä sovi esimerkiksi ikääntyneille tai sydän- ja verisuonitauteja sairastaville, sillä voimakkaat isometriset supistukset rajoittavat hetkellisesti verenkiertoa ja kasvattavat sykettä sekä verenpainetta. Isometrinen lihastyö on perusteltua

fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa lihasvoiman ylläpitämiseksi varsinkin silloin, kun nivelten liikuttaminen ei onnistu mm. leikkausten, nivelartroosin tai kivun aiheuttaman immobilisaation takia. (Kauranen K 2017, 581–583)

Konsentrisella lihastyöllä tarkoitetaan lihastyötä, jossa lihaksen ulkoinen pituus lyhenee dynaamisen eli liikettä aikaan saavan lihasjännityksen aikana. Konsentrista lihastyötä voidaan kutsua myös positiiviseksi lihastyöksi, jossa lihaksen tuottaman voima voittaa vastuksen massan, jolloin lihastyö liikuttaa niveltä supistuvan lihaksen origoa eli lähtökohtaa kohden. *Eksentrisen lihastyö* tarkoittaa puolestaan jarruttavaa lihastyötä, jossa työtä tekevän lihaksen ulkoinen pituus kasvaa. Eksentrisessä lihastyössä liike tapahtuu supistuvan lihaksen insertiota eli kiinnityspistettä kohden. Tästä syystä eksentristä lihastyötä kutsutaan myös negatiiviseksi lihastyöksi, koska supistuva lihas ei pysty tuottamaan voimaa riittävästi ja liike tapahtuu vastakkaiseen suuntaan kuin konsentrisessä lihastyössä. (Kauranen K 2017, 582–583.)

Isokineettisellä voimalla tarkoitetaan konsentrista tai eksentristä lihastyötä, jossa nivelen kulmanopeus on vakio (Baechle & Earle, 2008, 78). Tämän saavuttamiseksi tarvitaan erityisesti tätä tarkoitusta varten kehitetty kuntosalilaitte, eikä isokineettinen harjoittelu onnistu käyttämällä vapaita painoja tai tavallisia kuntosalilaitteita (Kauranen K, 2017, 583–584). Tutkimusten kautta on saatu selville, että isokineettisessä konsentrisessä lihastyössä luurankolihasen voimantuottokyky heikkenee kulmanopeuden kasvaessa. Päinvastoin isokineettisessä eksentrisessä työssä luurankolihasen voimantuottokyky kasvaa kulmanopeuden kasvaessa aina 90 °/s nopeuteen asti. Tästä kulmanopeudesta suuremmalla nopeudella voimantuottokyky heikkenee myös eksentrisessä työssä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että eksentrisessä lihastyössä pystytään tuottamaan suurempia voimia kuin konsentrisessä tai isometrisessä työssä. (Baechle & Earle, 2008 78.)

Eri lihastyömuodoilla voidaan harjoittaa erilaisia voiman lajeja. *Maksimivoimalla* tarkoitetaan suurinta voimakynnystä, minkä lihakset supistuessaan tuottavat. Maksimivoimaan alalajeja ovat hypertrofinen maksimivoima sekä maksimivoima. Hypertrofista maksimivoimaa harjoitetaan noin 60–90 % kuormilla maksimaalisesta voimantuottokyvystä, kun taas maksimivoiman harjoittamiseen vaaditaan noin 80–100 %:n kuormia. (Kauranen K 2017,

588). Maksimaalista voimantuottokykyä arvioidaan yleisimmin kolmella eri tapaa: 1) Suurimpana voimana, joka pystytään tuottamaan isometrisen supistuksen aikana (Maximal voluntary contraction, jatkossa isometrinen MVC), 2) Suurimpana kuormana, jolla pystytään tekemään yksi toisto (One repetition maximum, jatkossa 1RM) ja 3) tai maksimivoimantuottona isokineettisen lihastyön aikana (jatkossa isokineettinen MVC). (Enoka, 2008, s.349.)

Maksimivoimasta poiketen, lihaskestävyyteen ja voimakestävyyteen jaettavaa *kestovoimaa* harjoitetaan yleensä 0–50 % kuormilla 1 RM:stä (Kauranen K. 2017, 589). Kestovoiman harjoitusvaikutuksena ei yleensä saada aikaan lihasvoiman kasvua, ellei sarjoja tehdä väsymykseen asti (Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn DI & Krieger J. 2017)

Lihassoimaharjoittelussa tärkeitä muuttujia ovat: harjoittelun intensiteetti, sarja- ja toistomäärät sekä palautusajat harjoitteiden välillä. Harjoitteluintensiteetillä tarkoitetaan harjoittelussa käytetyn rasituksen määrää tai harjoittelussa käytettyä vastusta. Harjoitusintensiteetti kuvataan maksimivoimaan verrattuna prosenttilukuna esim. 30 % 1RM:stä, joka tarkoittaa 30 prosentin voimantuottoa yhden hyväksyttävän toiston maksimaalisesta vastuksesta. (Kauranen K 2017, 588.) Lihassoimaharjoittelussa sarjalla tarkoitetaan harjoitusliikkeiden, eli toistojen, ryhmää, jotka suoritetaan peräkkäin ennen lyhyttä taukoa, jota kutsutaan lepo- tai palautumisajaksi. Toisto- ja sarjamäärät sekä palautumisaika ovat yksilöllisiä kullekin lihasvoima muodolle. (Kauranen K 2017, 587) Voimaharjoittelun kokonaisvolyymillä tarkoitetaan harjoituksen aikana nostettua kilomäärää. Kokonaisvolyymi lasketaan kertomalla sarjamäärä toistomäärällä ja tämä arvo sarjoissa käytetyllä painolla (esim. kokonaisvolyymi kahdelle, kymmenen toiston sarjalle 50 kilolla takakyykky-harjoitteessa on: $2 \times 10 \times 50\text{kg} = 1000\text{kg}$). (Baechle & Earle, 2008, 405.)

Riippuen siitä, mitä voimalajia halutaan harjoittaa, tulisi harjoitteluintensiteetti, sarja- ja toistomäärät valita voiman lajin harjoittamiseen soveltuviksi (Kauranen K. 2017, 589). Taulukossa 1 on vertailtu kesto- ja maksivoiman voiman harjoitusvaikutuksia, toisto- ja sarjamääriä sekä harjoituskuormia.

Taulukko 1. Voiman eri lajit ja niiden harjoittamisen vertailu (Mukaien Kauranen, 2017 s. 589)

Harjoituspara- metri	Kestovoima		Maksimivoima	
	Alalajit		Alalajit	
	Lihaskestävyys	Voimakestävyys	Hypertrofinen maksimivoima	Maksimivoima
Harjoitusvaikutus	Aerobinen kestä- vyys ↑	Anaerobinen kes- tävyys ↑	Lihasmassa ↑	Lihaksen hermo- tus ↑
Harjoituskohde	I-tyyppin lihassolut	I-, Ila -tyypin lihas- solut	I-, Ila ja Iix-tyyppin lihassolut	Neuraalinen kudosis
Kuorma maksi- mista	0–30 %	20–50 %	60–90 %	90–100 %
Toistoja sarjassa	30–50	10–30	4–12	1–3
Sarjojen määrä /liike	3–5	2–4	3–5	5–6
Toistomäärä / harjoitus	500–1500	300–500	150–200	20–60
Palautus sarjojen välillä	30–120 sekuntia	30–45 sekuntia	30–90 sekuntia	180–300 sekuntia
Liikenopeus	Hidas	Nopea	Nopea	Nopea

5 Lihasmassan kasvatuksen fysiologiset perusteet

Lihasmassan kasvaminen eli lihashypertrofia on riippuvaista mm. henkilön geeniperimästä, iästä ja sukupuolesta. Kuitenkin oikeanlaisella harjoittelulla lähes jokainen voi saada aikaan lihaskasvua. Lihashypertrofia jaotellaan myofibriiliseen hypertrofiaan eli supistuvien komponenttien poikkipinta-alan kasvuun tai sarkoplastiseen hypertrofiaan, jossa lihasmassan kasvu aiheutuu lihasten ei-supistuvien komponenttien pinta-alan ja lihaksen nestemäärän kasvusta. Harjoittelu voi vaikuttaa siihen kumman tyyppistä lihashypertrofiaa aiheutuu. Esimerkiksi kehonrakentajilla on havaittu enemmän sidekudosta sekä suuremmat lihasten glykogeenivarastot luurankolihasissa verrattuna voimannostajiin. Kehonrakentajilla havaitaan siis enemmän sarkoplastista hypertrofiaa ja voimannostajilla myofibriilistä hypertrofiaa. Hyperplasiaksi kutsutaan ilmiötä, jossa luurankolihasolujen lukumäärä kasvaa. Tätä on kuitenkin saatu tutkimuksissa näkyviin ainoastaan eläinkokeissa. Ihmisillä tämän uskotaan olevan vähäistä, eikä merkityksellinen osa harjoittelusta seuraavaa lihashypertrofiaa (Schoenfeld B, 2010.)

Lihassmassan kasvamiseksi uusien lihasproteiinien rakennuksen, eli proteiinisynteesin, tason tulee olla pitkällä aikavälillä suurempaa kuin lihasproteiinien hajotuksen. Voimaharjoittelun uskotaan aiheuttavan proteiinisynteesin kasvua kahden eri päävaikutusmekanismin kautta, nämä ovat: 1) Lihakseen kohdistuvasta voimasta, ja lihaksen venymisestä, seuraava *mekaaninen jännitys* ja 2) harjoittelun myötä lihakseen kertyvät *aineenvaihdunnan tuotteet*. Nämä edellä mainitut tekijät luovat lihassolulle tarpeen korjata ja vahvistaa rakenteitaan lisäämällä proteiinisynteesiä, jotta se kestäisi seuraavan kuormitustilanteen paremmin kuin edellisen. Ne myös aktivoivat ns. sekundaarisia mekanismeja, jotka osaltaan aktivoivat entisestään proteiinisynteesiä. (Pearson & Hussain 2014.)

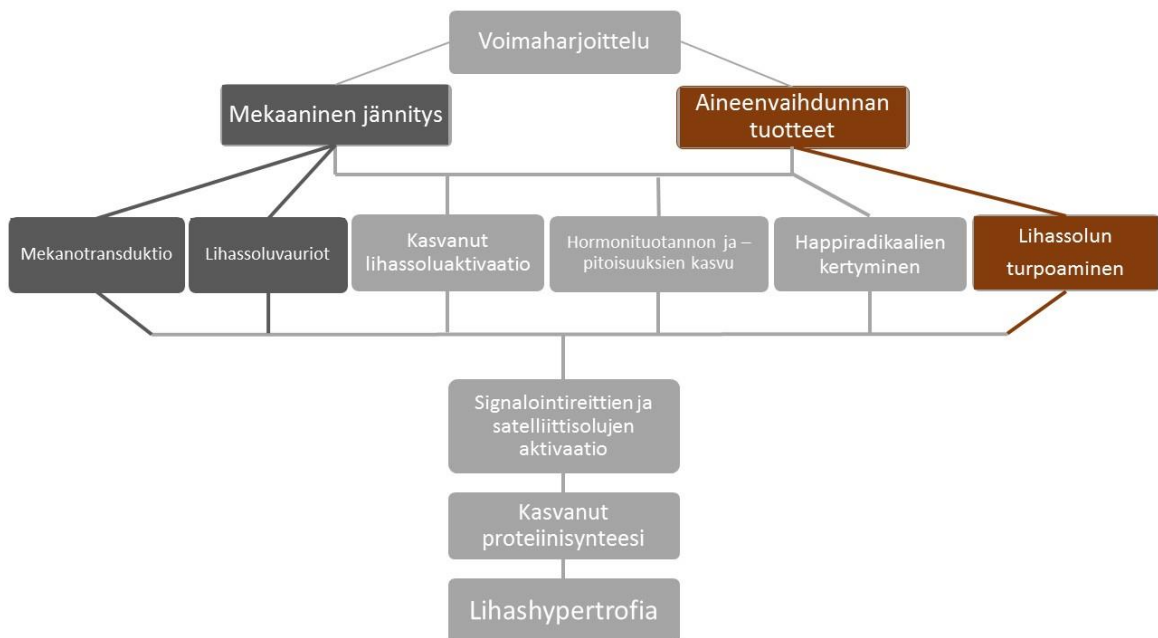
Yhteisiä toissijaisia mekanismeja näille käynnistävälle tekijöille ovat: 1) sekä *nopeiden että hitaiden lihassolujen kasvanut aktivaatio*, 2) *kasvanut hormonituotanto ja -pitoisuus* sekä 3) *happiradikaalien tuotannon kasvu*. Näiden lisäksi mekaanisen jännityksen on havaittu aktivoivan *mekanotransduktioksi* kutsuttua mekanismia, jossa lihassolukalvolla olevat mekanosensorit aktivoituvat niihin kohdistuvan voiman ja venytyksen seurauksena. Mekaaninen jännitys aiheuttaa lisäksi *lihassoluvaurioita*. Aineenvaihdunnan tuotteiden kertyminen aiheuttaa taas mekaanisesta jännityksestä eroten *lihassolujen turpoamista*. Kaikkien näiden toissijaisten tekijöiden on havaittu lisäävän proteiinisynteesiä erilaisten signaalintireittien ja/tai satelliittisolujen aktivoinnin kautta. (Pearson & Hussain, 2014.)

Satelliittisolujen uskotaan olevan tärkeitä lihashypertrofian säätelyssä. Niitä voidaan pitää lihassolujen kantasoluina, joita löytyy lihassolun solukalvon sisä- ja ulkopinnan välistä. Normaalisti satelliittisolut eivät ole aktiivisia, mutta mm. voimaharjoittelun tai muun riittävän suuren kuormituksen seurauksena ne aktivoituvat, ja lisäävät harjoittelusta seuraavien lihasvaurioiden korjaamista ja uusien supistuvien komponenttien rakentamista. (Schoenfeld B, 2010.)

Useat geenisignaalintireitit tehostavat voimaharjoittelusta seuraavaa kasvanutta proteiinisynteesiä ja siitä seuraavaa lihashypertrofiaa. Näistä tärkeimmät signaalintireitit ovat: 1) Akt/mammalian target of rapamycin, eli Akt/mTOR -reitti, 2) mitogen-activated protein kinase, eli MAPK -reitti sekä 3) kalsium (Ca^{2+}) -reitti. Nämä reitit saavat lihassolussa aikaan ns. ketjureaktioita, jotka lisäävät mm. proteiinisynteesiä, solujen proliferaatiota ja DNA:n uudelleen järjestäytymistä. Akt/mTOR -reitit uskotaan olevan tärkein lihashypertrofiaa

säätävä signaalintireitti. Voimaharjoittelun vaikutuksesta tämä reitti aktivoituu, jonka seurauksena lihasproteiinien rakentaminen käynnistyy ja vastaavasti niiden hajotusprosessit inhiboituvat. MAPK -reitin on havaittu aktivoituvan erityisen tehokkaasti, kun harjoittelun aikana lihakseen kohdistuu suuri mekaaninen voima ja harjoittelusta seuraa lihaslukuaurioita. (Schoenfeld B, 2010.)

Hormonien ja sytokiinin vaikutusta lihashypertrofiaan on tutkittu paljon. Sytokiinit ovat pienimolekyylisiä proteiineja, jotka toimivat hormonien tapaan solujen välisinä viestiaineina. Näistä eniten on tutkittu insuliinin kaltaista kasvutekijää (IGF-1), testosteronia ja kasvuhormonia. Voimaharjoittelu nostaa akuutisti edellä mainittujen hormonien pitoisuuksia veressä, sekä näitä pitoisuuksia havaitsevien solureseptorien aktiivisuutta ja määrää. Kasvavilla hormonipitoisuuksilla on havaittu olevan yhteyksiä Akt/mTOR -signaalintireitin aktivoitumisen sekä lihashypertrofian kanssa. (Schoenfeld B, 2010.) Kuitenkin viime vuosina on tehty myös tutkimuksia, joiden mukaan hormonipitoisuuksien nousu ei ole välttämätöntä lihashypertrofia -vasteen aikaansaamiseksi (West & Phillips, 2012; West, Burd, Tang, Moore, Staples, Holwerda, Baker & Phillips 2010). Kuviossa 2 nähdään voimaharjoittelun lihashypertrofiaa aktivoivat mekanismit ja niiden vuorovaikutus keskenään.



Kuvio 2. Voimaharjoittelun lihashypertrofiaa aiheuttavat vaikutusmekanismit

6 Blood flow restriction- harjoittelu

Blood flow restriction -harjoittelu on voima- ja kestävyys harjoittelun tehokeino, jossa raajan (ylä- tai alaraaja) verenkiertoa rajoitetaan mansetin tai kuminauhan avulla. Verenkiertoa rajoitetaan sen verran, että takaisin sydämeen virtaavan veren määrä, eli laskimopainelu rajoittuu. Tavoitteena ei ole käyttää niin suurta rajoituspainetta, että raajan verenkierto salpautuu kokonaan. Tätä menetelmää käyttämällä on lihasmassan kasvua saatu aikaiseksi kevyillä, jopa 10–40 %:n, kuormilla 1RM:sta (Loenneke, Thiebaud, Bemben, 2014.) Tässä kappaleessa käydään läpi BFR-harjoittelun yleisyys ja tämän hetkiset käyttökohteet kliinisessä työssä maailmalla, fysiologiset vaikutusmekanismit, vaikutukset voiman ja lihasmassan kasvuun terveillä henkilöillä ja urheilijoilla, menetelmään liittyvät turvallisuustekijät ja kontraindikaatiot sekä ohjeistus oikean harjoituspaineen määrittämiseksi.

6.1 BFR-harjoittelun yleisyys ja käyttökohteet kliinisessä työssä maailmalla

BFR-harjoittelun yleisyyttä ja sen käyttökelpoisuutta kliinisessä työssä on tutkittu kahdessa kyselytutkimuksessa. Patterson & Brandner (2017) kyselytutkimuksesta selviää, että lähes 50 % kyselyyn vastanneista terveys- ja liikunta-alan ammattilaisista on käyttänyt BFR-menetelmää kliinisessä työssään. Kyselyyn vastasi 250 ammattilaista 20 eri maasta. Näistä 40,4 % oli fysiikkavalmentajia, 23,6 % tutkijoita, 18,8 % fysioterapeutteja, 11,6 % liikuntatieteilijöitä, 3,6 % kuntoutuksen ammattilaisia, 1,2 % lääkäreitä ja 0,8 % personal trainereita. Kyselyyn vastanneista 115 vastasi käyttäneensä tai määränneensä BFR-harjoittelua asiakkailleen. 32,6 % BFR-menetelmää käyttäneistä hyödynsi sitä lihasmassan kasvatuksessa ja 24,2 % loukkaantumisen jälkeisessä harjoittelussa. 99 ammattilaista 115:sta kertoi käyttäneensä BFR-menetelmää voimaharjoittelun yhteydessä, 22 aerobisen harjoittelun yhteydessä ja 30 ilmoitti käyttäneensä BFR-menetelmää itsenäisesti ilman fyysistä harjoittelua. 80 % BFR-menetelmää käyttäneistä arvioi sen tehokkuuden ”very good” tai ”excellent” -tasolle. Taulukossa 2 nähdään kyselytutkimuksen perusteella käyt-

tettyjen sarjamäärien, vastuksen, työsarjojen keston, sarjapalautuksien ja harjoittelufrekvenssin jakautuminen eri BFR-harjoitusmuodoissa kliinisessä työssä. (Patterson & Brandner 2017.)

Nakajima ym. (2006) Japanissa tehdyssä koko valtion laajuudessa kyselytutkimuksen tuloksista selviää, että yhteensä 12 642 henkilölle (miehiä 45,4 % ja naisia 54,6 %) on käytetty BFR-menetelmään yhdistettyä harjoittelua. Kyselyyn osallistui yhteensä 105 eri liikunta- ja terveysalalla toimivaa laitosta. Näistä 27 % oli kuntosaleja, 22 % naprapaatteja, kiropraktikkoja ja osteopaatteja, 22 % sairaaloita ja terveyskeskuksia, 10 % kauneushoitoloita, 3% kuntoutuskeskuksia ja 14 % määrittelemättömiä laitoksia. Näissä laitoksissa BFR-menetelmän käyttö jakautui tasaisesti kaiken ikäisille henkilöille alle 19-vuotiaista (17,8 %) aina yli 70-vuotiaisiin (14,6 %). BFR-menetelmään yhdistettyä harjoittelua käytettiin moniin käyttötarkoituksiin, joita olivat mm. lihasvoiman kehittäminen, lihasatrofian ehkäisyminen, halvauspotilaiden kuntoutus, luuston vahvistaminen ja ylipainon vähentäminen. BFR-menetelmää käytettiin yleisimmin itsenäisenä tai yhdistettynä venyttelyyn, kävelyyn, pyöräilyyn tai voimaharjoitteluun. Suurimassa osassa laitoksissa yksi BFR-harjoituskerta kesti 5–30 minuuttia, sitä tehtiin 1–3 kertaa viikossa ja harjoittelujakson kokonaiskesto oli 3–12 kuukautta. (Nakajima, Kurano, Iida, Takano, Oonuma, Morita, Meguro, Sato, Nagata 2006.) Taulukkoon 3 on koottu BFR-harjoittelun yleisimpiä käyttökohteita kyselytutkimusten pohjalta. Taulukossa 4 nähdään BFR-harjoittelua harjoitteluinterventioksi saaneiden henkilöiden ikäjakauman vertailua kyselytutkimusten välillä.

Taulukko 2. Harjoittelumuuttuijen jakautuminen prosentuaalisesti eri BFR-harjoittelumuodoissa kliinisessä työssä. (Mukaiillen Patterson & Brandner, 2017)

	BFR-Voimaharjoittelu (n=99)	BFR-Aerobinen harjoittelu (n=22)	BFR-Itsenäisenä (ei yhdistettynä harjoitteluun) (n=30)
Sarjamäärä			
1	2,3 %	30,8 %	18,4 %
2	3,0 %	11,5 %	5,3 %
3	30,1 %	19,2 %	31,6 %
4	45,9 %	23,1 %	21,1 %
5	13,5 %	11,5 %	21,1 %
>5	5,3 %	3,8 %	2,6 %

Taulukko 2 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 2 jatkoa edelliseltä sivulta

	BFR-voimaharjoittelu (n=99)	BFR- aerobinen harjoittelu (n=22)	BFR itsenäisenä (ei yhdistettynä harjoitteluun (n=30)
Käytetty kuorma (% 1-RM:stä)			
10	3,6 %	-	-
20	23,6 %	-	-
30	31,8 %	-	-
40	15,9 %	-	-
50	11,3 %	-	-
60	5,6 %	-	-
70	4,6 %	-	-
80	3,1 %	-	-
90	0,5 %	-	-
Työjaksojen pituus			
0-1min	-	13,3 %	15,6 %
1-2min	-	20,0 %	6,3 %
2-3min	-	23,3 %	21,9 %
3-4min	-	10,0 %	15,6 %
4-5min	-	13,3 %	40,6 %
muu	-	20,0 %	-
Sarjapalautus			
ei palautusta	-	21,7 %	-
<15s	1,8 %	4,3 %	11,1 %
15,5-30s	35,1 %	26,1 %	14,8 %
30,5-60s	45,0 %	26,1 %	7,4 %
>60s	18,0 %	21,7 %	44,4 %
3min	-	-	11,1 %
5min	-	-	11,1 %
Harjoittelufrekvenssi			
1-2 päivää / viikko	44,1 %	40,0 %	31,0 %
3-4 päivää / viikko	35,4 %	36,7 %	23,8 %
5-6 päivää / viikko	8,7 %	10,0 %	11,9 %
Päivittäin	7,1 %	3,3 %	16,7 %
Kahdesti päivässä	4,7 %	10,0 %	16,7 %

Taulukko 3. BFR-harjoittelun käyttökohteet ja -tavoitteet kliinisessä työssä kyselytutkimusten pohjalta (Nakajima ym. 2006; Patterson & Brandner, 2017).

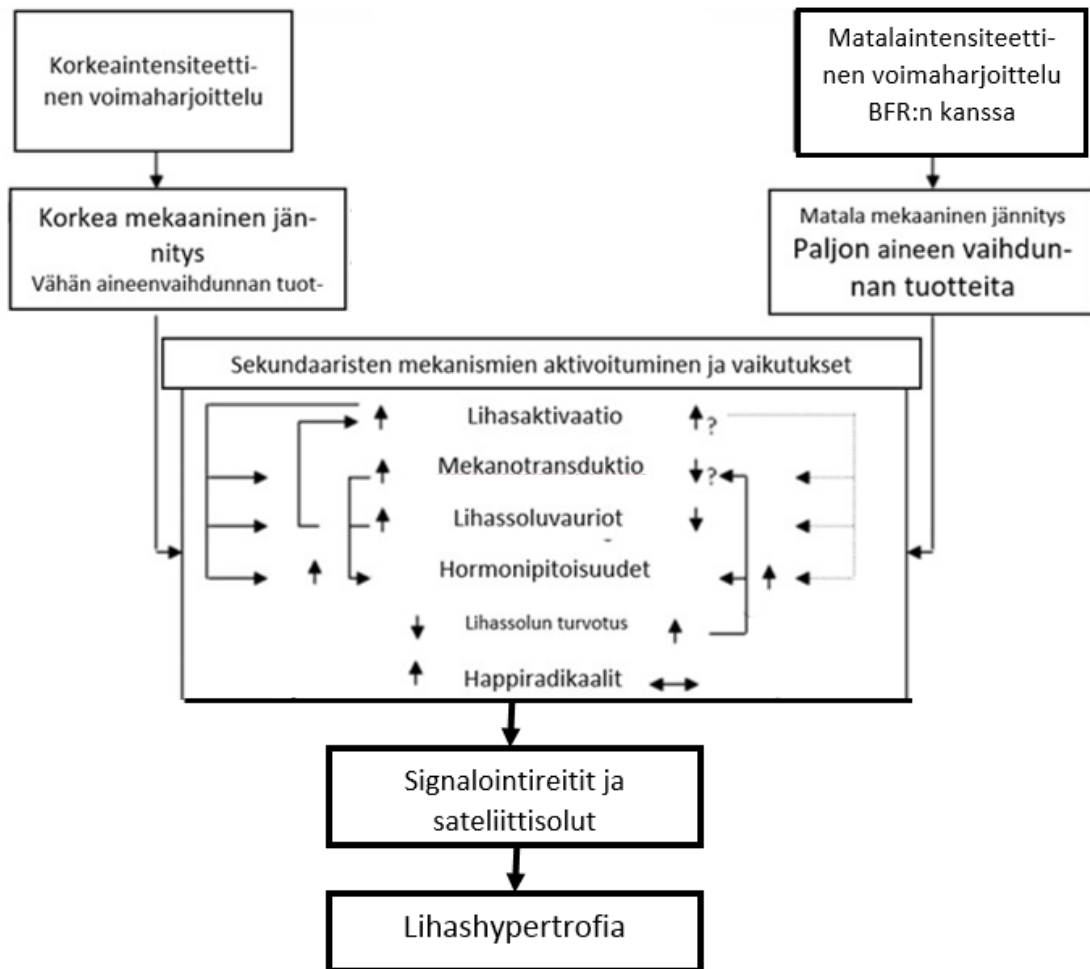
Tutkimus	Käyttökohteet /- tavoitteet
Patterson & Brandner, 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Lihasmassan kasvatus - Loukkaantumisen jälkeinen kuntoutus - Lihasatrofian välttäminen loukkaantumisen aikana - Nivelrakenteen suojaaminen - Lihasvoiman ja luuston terveyden parantaminen - Aerobisen kunnan parantaminen - Vaskulaaristen adaptaatioiden aikaansaaminen
Nakajima ym. 2006	<ul style="list-style-type: none"> - Lihasvoiman kasvattaminen - Lihasatrofian ehkäisy - Ylipainoisuuden vähentäminen - Aivohalvauspotilaan kuntoutus - Luuston vahvistaminen - Korkean verensokerin hallinta - Korkean verenpaineen hoito - Vuodelepotilaan hoito

Taulukko 4. BFR-harjoittelun käytön jakautuminen eri ikäryhmien välille kliinisessä työssä kyselytutkimuksien mukaan (Mukaiillen Nakajima ym. 2006; Patterson & Brandner, 2017).

	Patterson & Brandner 2017	Nakajima ym. 2006
≤20v	20,5 %	17,8 %
21–30v	46,0 %	12,4 %
31–40v	15,6 %	12,7 %
41–50v	3,6 %	13,1 %
51–60v	5,8 %	15,5 %
61–70v	5,4 %	14,0 %
71–80v	3,1 %	10,2 %
≥80v	-	4,4 %

6.2 Fysiologiset vaikutusmekanismit

Kuten aikaisemmassa kappaleessa (kappale 5) käytiin läpi, lihashypertrofiaa stimuloivina päätekijöinä voidaan pitää *mekaanista jännitystä* ja harjoittelun seurauksena lihakseen kertyviä *aineenvaihdunnantuotteita*. Näistä tekijöistä blood flow restriction -harjoittelu aiheuttaa erityisesti aineenvaihdunnantuotteiden kertymistä lihaksiin sekä lihassolun turpoamista. Koska BFR-harjoittelussa käytetään kevyitä kuormia, jää lihakseen kohdistuva mekaaninen jännitys pieneksi. Aineenvaihdunnan tuotteiden kertyminen aktivoi sekundaarisia mekanismeja jotka tehostavat lihasmassan kasvua BFR-harjoittelua käytettäessä. Näiden mekanismien osuus BFR-harjoittelusta seuraavassa lihasmassan kasvussa kuvataan lyhyesti seuraavissa kappaleissa. Kuviossa 3 on eritelty raskailla kuormilla tehdyn voimaharjoittelun sekä matalakuormaisen BFR-voimaharjoittelun aikaansaamien fysiologisten vaikutusten yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. (Pearson & Hussein, 2014.)



Kuvio 3. BFR-harjoittelun ja raskailla painoilla tehdyn voimaharjoittelun fysiologisten vaikutusten vertailu. ↑= sekundaarisen mekanismin kasvanut aktivaatio, ↓= sekundaarisen mekanismin pienentynyt aktivaatio, ↔= ei vaikutusta sekundaariseen mekanismiin (mukaillen, Pearson & Hussain, 2014)

6.2.1 Lihasktivaatio

Yasudan ym. (2009) tutkimuksessa BFR:n käytön matalakuormitteisessa (20–30 prosenttia 1RM-kuormasta) harjoittelussa havaittiin lisäävän lihasten aktivaatiotasoa verrattuna samaan harjoitukseen ilman verenkierron rajoittamista. BFR:n avulla kevyellä kuormalla saadaan mahdollisesti tehokkaammin aktivoitua niin hitaita kuin nopeita lihassoluja. Sama ulkoisen vastuksen liikuttaminen vaatii lihakselta siis enemmän BFR:n käytön aikana. (Yasuda, Brechue, Fujita, Shirakawa, Sato & Abe 2009.) Tämän uskotaan johtuvan lihassolujen riittämättömästä hapensaannista sekä aineenvaihdunnan tuotteiden kertymisestä työtä tekeviin lihaksiin. Tämä aiheuttaa lihassolujen väsymistä, joka pakottaa elimistön aktivoimaan uusia lihassoluja vaaditun voimatason ylläpitämiseksi. Vaikka kaikissa tutkimuksissa

BFR-harjoittelun aikana ei ole havaittu suurempaa lihasaktivaatiota kuin vastaavalla kuormalla tehdyssä harjoittelussa ilman BFR-menetelmää, uskotaan kasvaneen lihassoluaktivaation olevan osaltaan vastuussa BFR-harjoittelusta seuraavasta lihasmassan kasvusta. (Pearson & Hussein, 2014.)

6.2.2 Lihassoluvauriot

Yleisen käsityksen mukaan BFR-harjoittelu ei aiheuta merkittävästi lihassoluvaurioita. Thiebautd ym. (2013a) tutkimuksessa eksentrisen BFR-hauiskääntöharjoittelu 30 %:n kuormalla 1RM:sta aiheutti lihaskipuja 24 tuntia kuormituksen jälkeen. Konsentrisen BFR-harjoittelu samalla kuormalla ei aiheuttanut lihaskipuja. (Thiebautd, Yasuda, Loenneke & Abe, 2013a.) Myös Wilson ym. (2013) tutkimuksessa BFR-harjoittelu sai aikaan akuutisti lihashypertrofiaa stimuloivia vasteita (lihassolun turvotus ja kasvanut lihasten aktivaatio-taso) ilman merkkejä lihassoluvaurioista (Wilson, Lowery, Joy, Loenneke & Naimo, 2013). Toisaalta mm. Umbel ym. (2009) tutkimuksessa havaittiin lihassoluvaurioita konsentrisen ja eksentrisen BFR-polvenojennusharjoittelun seurauksena usean päivän ajan harjoittelun jälkeen. Tässä tutkimuksessa käytettiin raskaampaa painoa suhteutettuna 1RM-kuormaan ja harjoitusprotokolla oli raskaampi verrattuna Thiebautdin ym. (2013a) tutkimukseen. (Umbel, Hoffman, Dearth, Chleboun, Manini & Clark, 2009.) Erot tutkimustuloksissa johtuvatkin luultavasti erilaisista koeasetelmista, käytetystä harjoitusintensiteetistä, harjoitusten kestosta sekä verenkierron rajoituksen kestosta ja voimakkuudesta. Näyttääkin sille, että BFR-harjoittelu voi aiheuttaa lihassoluvaurioita erityisesti harjoitteluun tottumattomalla henkilöllä, jos käytetään riittävän raskasta voimaharjoitteluprotokollaa, jossa harjoittelua tehdään yli 30 %:n kuormalla 1RM:sta ja voimaharjoitesarjat tehdään väsymykseen asti. (Pearson & Hussein 2014.)

6.2.3 Hormonit

BFR:n käyttö matalakuormitteisessa harjoittelussa lisää akuutisti veren kasvuhormonipitoisuutta nuorilla 20–22 vuotiailla miehillä, verrattuna samalla kuormitusintensiteetillä ja

määrällä tehtyyn harjoitukseen ilman verenkierron rajoitusta. Edellä mainittu kasvuhormonipitoisuuden kasvu saatiin aikaiseksi ilman lihasvaurioihin liittyvien veriarvojen nousua. Tässä tutkimuksessa kasvuhormonipitoisuuden nousu oli jopa suurempaa, kuin mitä ollaan saatu aikaiseksi aikaisemmissa tutkimuksissa raskailla painoilla ja lyhyillä palautuksilla suoritetuilla harjoituksilla. (Takarada, Nakamura, Aruga, Onda, Miyazaki & Ishii, 2000a.)

Patterson ym. (2012) tutkimuksessa keskityttiin selvittämään matalakuormitteisen BFR-harjoittelun akuutteja vaikutuksia veren hormonipitoisuuksiin. Tutkimuksessa todettiin, että yksittäinen matalakuormitteinen BFR-harjoittelukerta lisäsi verenkierron kasvuhormoni- ja VEGF-pitoisuuksia ikääntyneillä miehillä. BFR-harjoittelun seurauksena myös kortisolipitoisuus nousi verrattuna harjoitteluun ilman BFR-käyttöä. IGF-1 ja IL-6 pitoisuuksiin harjoittelulla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta. Tutkimuksen mukaan akuutisti nousseet kasvuhormoni- ja VEGF-pitoisuus saattavat olla BFR-menetelmän osatekijöitä hypertrofisten vaikutusten taustalla. (Patterson, Leggate, Nimmo & Ferguson, 2012.) Muistutuksena sanottakoon, että viime vuosina on tehty tutkimuksia, joiden mukaan hormonipitoisuuksien nousu ei ole välttämätöntä lihashypertrofia -vasteen aikaansaamiseksi (West & Phillips, 2012; West, Burd, Tang, Moore, Staples, Holwerda, Baker & Phillips 2010).

6.2.4 Lihassolun turpoaminen

Poiketen voimaharjoittelusta, BFR:n käyttö kävelyharjoittelun tai immobilisaation aikana ei lisää merkittävästi aineenvaihdunnan tuotteiden kertymistä lihaksiin. BFR-kävely ei myöskään lisää anabolisten hormonien tuotantoa ja määrää veressä samalla tavalla kuin BFR-voimaharjoittelu. Siksi aineenvaihdunnan tuotteiden kertymistä työtä tekevään lihakseen ei voida pitää ainoana merkittävänä tekijänä, joka aktivoisi sekundaarisia tekijöitä, ja sitä kautta lihassolun kasvua BFR-harjoittelun yhteydessä. (Loenneke, Thrower, Balapur, Barnes & Pujol, 2012.) BFR-harjoittelun uskotaan aiheuttavan akuutisti lihassolun turpoamista niin voima- kuin kävelyharjoittelun aikana. Kävelyharjoittelun tai immobilisaation aikana tämä turpoaminen tapahtuu ilman merkittävää aineenvaihdunnan tuotteiden ker-

tymistä lihakseen. Laskimopaluun rajoittaminen aiheuttaa veren ”seisahtumista” lihakseen, joka voi aiheuttaa epätasapainon solunsisäisen ja solunulkoisen nestetasapainon välille. Lihassolun ulkopuolelle kasautuva veri ja plasma lisäävät nesteen siirtymistä lihassolukalvon läpi solu sisälle. Myös jo pieni aineenvaihdunnan tuotteiden kertyminen lihassolun sisälle tehostaa edelleen lihassolun nesteen sisäänottoa. Näillä toimilla elimistö pyrkii tasapainottamaan solunulkoisen ja –sisäisen nesteen välistä koostumusta. Verenkierron rajoituksen poistaminen aiheuttaa voimistuneen verenvirtauksen lihakseen. Tämä nopeasti lisääntyvä verenvirtaus saa osan lihakseen virtaavasta nesteestä siirtymään lihassolun sisälle. Tämä voimistaa lihassolun turvotusta edelleen. Edellä kuvatun tapahtumaketjun myötä aiheutuva lihassolun turvotus itsessään voi aktivoida mTOR-signalointireittiä ja sitä kautta lisätä proteiinisynteesin määrää. (Pearson & Hussein, 2014; Loenneke, Fabs, Rossow, Abe & Bembem, 2012.)

6.2.5 Happiradikaalit ja signalointireittien aktivoituminen

Rasituksen myötä akuutisti seuraavan happiradikaalien tuotannon on havaittu aktivoivan lihasmassan kasvua. Lihaksen osittaisen hapenpuutteen on luultu lisäävän happiradikaalien tuotantoa BFR-harjoittelun aikana. Tutkimuksissa tätä ei ole kuitenkaan saatu todistettua ja tulokset ovatkin ristiriitaisia. Tutkimuksien mukaan raskailla painoilla harjoiteltaessa lihaksiin kohdistuva korkea mekaaninen jännitys, lisää happiradikaalien tuotantoa enemmän, kuin kevyemmällä painoilla pidempiä sarjoja tehtäessä seuraava aineenvaihdunnan tuotteiden kertyminen. BFR-harjoiteluun liittyvässä happiradikaalien tuotannon kasvussa olennaisessa osassa uskotaan olevan BFR-stimulaation kesto. Mitä pitempi hypoksinen altistus, sitä enemmän happiradikaalien määrän uskotaan nousevan ja sitä kautta niiden merkitys lihashypertrofian aktivoijina myös kasvaa. (Pearson & Hussein, 2014.)

BFR-harjoittelun on havaittu aktivoivan lihashypertrofian kannalta tärkeimmäksi uskottua mTOR-signalointireittiä. Fry ym. (2010) tutkimuksessa 20 %:n painolla 1RM-painosta tehty polvenojennusharjoittelu verenkierron rajoituksen kanssa aktivoi mTOR-signalointireittiä

ja sitä kautta proteiinisynteesiä verrattuna samaan harjoitukseen ilman verenkierron rajoitusta iäkkäillä miehillä (keski-ikä: 70 v). BFR-harjoittelu kasvatti proteiinisynteesiä 56 prosenttia perustasolta, ilman verenkierron rajoitusta nousua ei tapahtunut (Fry, Glynn, Drummond, Timmermann, Fujita, Abe, Dhanani, Volpi & Rasmussen, 2010). Satelliittisolujen aktivaatiossa mekaanisella jännityksellä uskotaan olevan suurin aktivoiva rooli. silti BFR-harjoittelun on todettu lisäävän satelliittisolujen proliferaatiota, harjoittelulle ominaisesta matalasta mekaanisesta jännityksestä huolimatta. (Pearson & Hussein, 2014.)

6.3 Vaikutukset voimaan ja lihasmassaan

Hughesin ym. (2017) review-artikkelin meta-analyysiosion tuloksista selviää, että blood flow restriction -harjoittelu lisää voimaa ja lihasmassaa tehokkaammin kuin kevyellä kuormalla tehty voimaharjoittelu ilman BFR-menetelmää, mutta ei yhtä paljon kuin raskailla painoilla tehty voimaharjoittelu. Heidän review-artikkelinsa käsitteli BFR-harjoittelun käyttöä tuki- ja liikuntaelämistön sairauksien kuntoutuksessa. (Hughes ym. 2017.) BFR-harjoittelun vaikutuksia on tutkittu kuitenkin myös terveillä ihmisillä sekä urheilijoilla.

6.3.1 BFR terveiden henkilöiden harjoittelussa

Esimerkiksi Yasudan ym. (2011a) tutkimuksen mukaan nuorilla miehillä (22–32 vuotta, N=40) raskaalla voimaharjoittelulla saadaan kuuden viikon harjoittelulla aikaan suuremmat lihasvoiman ja –massan kasvut yläraajoissa verrattuna pelkkään kevyellä kuormalla tehtävään BFR-harjoitteluun. Kolmas ryhmä, joka teki yhdistettynä raskasta voimaharjoittelua ja BFR-harjoittelua kevyillä painoilla (kerran viikossa raskasta voimaa ja kahdesti viikossa kevyt voima BFR:n kanssa) kehittyi yläraajojen voimassa ja lihasmassassa samalla tavalla pelkkää raskasta voimaharjoittelua tehneen ryhmän kanssa. Myös pelkkää BFR-harjoittelua tehnyt ryhmä kehittyi voimassa ja lihasmassassa, mutta merkitsevästi vähemmän kuin ryhmät, joiden harjoitteluun kuului raskasta voimaharjoittelua. BFR-harjoittelua voi-

daan siis tarvittaessa käyttää lihasmassan ja voiman kasvattamiseen itsenäisesti tai yhdistettynä raskaan voimaharjoittelun kanssa nuorilla miehillä. (Yasuda, Ogasawara, Sakamaki, Ozaki, sato & Abe, 2011a.)

Lixandrao ym. (2015) tutkimuksessa vertailtiin viiden erilaisen harjoitusprotokollan vaikutuksia alaraajojen lihasmassaan ja voimaan mieskoehenkilöillä (N=35, keski-ikä 28 v). Protokollat jaettiin BFR-paineen (suhteutettuna raajan verenkierron kokonaan salpaavaan paineeseen = LOP) ja käytetyn kuorman (suhteutettuna 1RM-kuormaan) mukaan. Jokaisen koehenkilön yksi alaraaja jaettiin yhteen viidestä harjoitusprotokollasta. 12 viikon harjoittelun jälkeen havaittiin, että suurempi verenkiertoa rajoittava paine tehosti lihasmassan kasvua ainoastaan kevyellä kuormalla harjoiteltaessa (20 % 1RM:sta). Korkeammalla harjoitusintensiteetillä harjoiteltaessa (40 % 1RM:sta) isommasta rajoituspaineesta ei ollut hyötyä lihasmassan kasvun kannalta verrattuna pienempään rajoituspaineeseen. Kaikki harjoitusprotokollat lisäsivät polven ojennusvoimaa, mutta raskas voimaharjoittelu oli BFR-protokollia tehokkaampaa ojennusvoiman kasvattamisessa. (Lixandrao, Ugrinowitsch, Laurentino, Libardi, Aihara, Cardoso, Tricoli & Roschel, 2015).

Matalakuormitteista (20–30 % 1RM:stä) BFR-harjoittelua on verrattu raskaaseen voimaharjoitteluun naiskoehenkilöillä Ellefsen ym. (2015) tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin näiden harjoittelumuotojen vaikutusta 12 viikon mittaisella interventiojaksolla (N=12, keski-ikä 22 v). Koehenkilöt harjoittivat toisen alaraajan polven ojentajalihaksistoa BFR-menetelmän avulla ja toisen alaraajan polven ojentajalihaksistoa korkeakuormitteisen voimaharjoittelun avulla. Tutkimuksen mukaan polven ojennuslihaksiston harjoittaminen BFR-menetelmän ja raskaiden painojen avulla saivat aikaan samankaltaista kasvua 1RM-kuormassa, reiden ojentajalihaksen poikkipinta-alassa, sekä lihassolutyypin muutoksissa. (Ellefsen, Hammarström, Strand, Zacharoff, Whist, Rauk, Nygaard, Vegge, Hanestadhaugen, Wernbom, Cumming, Rønning, Raastad & Rønnestad. 2015.)

Fahs ym. (2015) tutkimuksessa keski-ikäiset koehenkilöt (N=18) harjoittelivat toisella raajalla BFR-menetelmällä kevyellä kuormalla ja toisella raajalla kevyellä kuormalla ilman BFR:ää. Molemmille raajoille tehtiin polvenojennusharjoitetta 3–4 sarjaa väsymykseen asti 30% kuormalla 1RM:sta. Kuuden viikon harjoittelun jälkeen molemmat harjoitteluta-

vat kehittivät etureiden paksuutta ja voimaa. BFR-harjoittelu saavutti nämä tulokset kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitsevästi pienemmällä harjoitteluvolyymillä (paino x tehdyt toistot). BFR-jalalle kertyi harjoitteluvolyymiä kuuden viikon aikana keskimäärin $8844 \pm 3704\text{kg}$ ja vastaavasti ilman BFR:ää harjoitelleelle jalalle $13857 \pm 7030\text{kg}$. (Fahs, Loenneke, Thiebaud, Rossow, Kim, Abe, Beck, Feedback, Bemben & Bemben. 2015.)

6.3.2 BFR ja urheilijoiden harjoittelu

BFR-menetelmää on käytetty myös urheilijoiden harjoittelussa. Yamanaka ym. (2012) tutkimuksessa tarkasteltiin normaalin harjoittelukauden aikaisen harjoittelun lisäksi tehtävän BFR-voimaharjoittelun vaikutusta 1-divisioonatason amerikkalaisen jalkapallon pelaajien ylä- ja alaraajojen voimaan ja lihasmassaan. 32 koehenkilöä jaettiin joko BFR-ryhmään tai kontrolliryhmään. BFR-ryhmä teki normaalin harjoittelunsa lisäksi $1 \times 30 + 3 \times 20$ toiston sarjat 20% kuormalla 1RM-kuormasta kyykky- ja penkkipunnerrusharjoitteessa. Raajojen verenkiertoa rajoitettiin elastisten nauhojen avulla näiden harjoitteiden aikana. Kontrolliryhmä teki saman harjoitusprotokollan ilman verenkierron rajoitusta. Neljän viikon harjoittelun seurauksena BFR-ryhmän maksimivoima penkkipunnerruksessa ja kyykyssä kasvoivat merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä. Myös yläraajojen lihasmassa kasvoi BFR-ryhmällä merkitsevästi enemmän kontrolliryhmään verrattuna. (Yamanaka, Farley & Caputo, 2012.)

Vastaavalla BFR-harjoitteluprotokollalla on saatu myös yliopistotason amerikkalaisen jalkapallon pelaajilla tehostettua maksimivoiman kehittymistä takakyykkyharjoitteessa verrattuna ryhmiin jotka tekivät: 1) raskasta voimaharjoittelua, 2) pelkkää BFR-harjoittelua ilman raskasta voimaharjoittelua sekä 3) kevyen kuorman harjoittelua ilman BFR:ää raskaan voimaharjoittelun lisäksi. (Luebbbers, Fry, Kriley & Butler, 2014.) Vaikuttaa siis sille, että BFR-harjoittelua voidaan käyttää voimaharjoittelun tehokeinoina lihasmassan ja voiman kasvattamiseksi myös urheilijoilla tai muille harjoitustaustaa omaaville ryhmille/henkilöille (Yamanaka ym. 2012; Luebbbers ym. 2014).

6.3.3 Käytetyn painon vaikutus

BFR-harjoittelu kevyellä vastuksella (20–30 % 1RM:sta) aiheuttaa hypertrofiaa mansetin distaalipuolella olevien lihasten lisäksi myös mansetin proksimaalipuolen lihaksissa. BFR-penkkipunnerrusharjoittelulla on saatu aikaan hypertrofiaa niin kolmipäisessä ojentajalihasessa kuin isossa rintalihaksessa nuorilla aikuisilla. Tässä tutkimuksessa ilman BFR:ää tehty kevyt voimaharjoittelu ei aiheuttanut hypertrofiaa ko. lihaksissa. (Yasuda, Fujita, Ogasawara, Sato & Abe, 2010.) Toisaalta raskaalla kuormalla tehdyllä penkkipunnerrusharjoittelulla on saatu aikaan suurempi lihasmassan kasvu distaaliin (kolmipäinen ojentajalihas) ja proksimaaliin lihaksiin (isoon rintalihakseen) verrattuna kevyellä kuormalla tehtyyn BFR-harjoitteluun (Yasuda, Ogasawara, Sakamaki, Bemben, Abe, 2011b).

Tutkimusnäytön mukaan näyttäisi sille, että jos BFR-harjoittelulla halutaan aiheuttaa lihasmassan kasvua mansetin proksimaalipuolella oleviin lihaksiin, tulisi harjoitteluintensiteetin olla vähintään 20 % maksimaalisesta isometrisestä supistusvoimasta. Esimerkiksi kävelyn aikana, ison pakaralihaksen aktivaatio ei ylitä 20 prosentin tasoa, jolloin BFR-harjoittelu yhdistettynä kävelyharjoitteluun ei lisää ison pakaralihaksen lihasmassaa. Toisaalta BFR-harjoitteluun yhdistetyssä matalakuormaisessa jalkakyykky-harjoittelussa 20 %:n aktivaatiotaso ylittyy, jolloin ison pakaralihasten lihasmassa kasvaa. Tutkimusnäytön mukaan mansetin distaalipuolella olevien lihasten hypertrofian aikaansaamiseksi riittäisi jopa niinkin matala kuin 10%:n intensiteetti maksimimaalisesta isometrisestä supistuksesta. (Abe, Loenneke, Fahs, Rossow, Thiebaud & Bemben, 2012.)

6.4 Turvallisuus, kontraindikaatiot ja harjoituspaineen valintasuositus

Koska blood flow restriction -harjoittelussa rajoitetaan ja vaikutetaan raajojen verenkiertoon, on selvää, että sen käyttöön liittyy potentiaalisia turvallisuusriskejä. Tutkimusnäytön pohjalta ei ole luotu selkeitä vasta-aiheita menetelmän käytölle. Tässä kappaleessa tarkastellaan tutkimusnäytön pohjalta BFR-menetelmän turvallisuutta ja mahdollisia kontraindikaatioita sen käytölle. Lopuksi annetaan myös ohjeistus sopivan verenkierron rajoituspaineen määrittämiseksi.

6.4.1 Sivuvaikutukset ja kontraindikaatiot kliinisessä työssä

Edellisessä kappaleessa kuvatuissa kyselytutkimuksissa selvitettiin BFR-menetelmään liittyviä sivuvaikutuksia ja kontraindikaatioita, joita on esiintynyt kliinisessä työssä. Nakajiman ym. (2006) ja Pattersonin & Brandnerin (2017) kyselytutkimuksista nähdään BFR-harjoitteluun liittyviä yleisimpiä sivuvaikutuksia kliinisessä työssä. Nämä vaikutukset on listattu taulukossa 5. (Nakajima ym. 2006; Patterson & Brandner 2017.) Pattersonin & Brandnerin (2017) kyselytutkimuksessa selvisi myös millaisia sairauksia ja tiloja ammattilaiset pitävät kontraindikaatioina BFR-harjoittelun käytölle. Käytetyt kontraindikaatiot on lueteltu taulukossa 6. (Patterons & Brandner, 2017.) Kacin ym. (2015) ovat myös kehittäneet kyselylomakkeen, jota voidaan käyttää kliinisessä työssä BFR-harjoittelun kannalta riskiryhmässä olevien henkilöiden tunnistamiseen (Kacin, Rosenblatt, Grapar Zargi & Biswas, 2015).

Taulukko 5. BFR-harjoittelun yhteydessä esiintyvät sivuvaikutukset Nakajima ym. (2006) ja Patterson & Brandner (2017) mukaan.

BFR-harjoitteluun liittyvät sivuvaikutukset Nakajiman ym. (2006) ja Patterons & Brandner (2017) mukaan	
Nakajima ym. 2006. esiintyvyys hoidetuissa henkilöissä n= 12 642	Patteron & Bradner 2017
1) Mustelmat 13,1 %	1) Harjoittelun jälkeinen lihasarkuus
2) Tunnottomuus/puutuminen 1,3 %	2) Tunnottomuus/Puutuminen
3) Cerebraalinen anemia 0,3 %	3) Huimaus/pyörtyminen
4) Kylmyyden tunne 0,1 %	4) Mustelmat
5) Laskimotukos 0,06 %	5) Kylmyyden tunne
6) Kipu 0,04 %	6) Rhabdomyolyyysi
7) Kutina 0,02 %	7) Kova kipu harjoittelun aikana
8) Iskeemisen sydänsairauden pahentuminen 0,02 %	8) Ihonalainen verenvuoto
9) Pahoinvointi 0,02 %	9) Antagonistilihaksen kireys
10) Verenpaineen nousu 0,02 %	10) Laskimotukkotulehdus
11) Voimakas väsymys 0,02 %	
12) Huimaus 0,02 %	
13) Keuhkoveritulppa 0,008 %	
14) Rhabdomyolyyysi 0,008 %	
15) Tuntemus sydämen nopeasta, voimakkaasta tai epäsäännöllisestä sykinnästä 0,008 %	
16) Nenäverenvuoto 0,008 %	
17) Diabeettisen retinopatian pahentuminen 0,008 %	
18) Pyörtyminen 0,008 %	
19) Aivoinfarkti 0,008 %	
20) Hypoglykemia 0,008 %	
21) Ödeema 0,008 %	
22) Hankauma 0,008 %	

Taulukko 6. Eri sairauksien ja tilojen käyttö kontraindikaationa BFR-harjoittelulle yleisyysjärjestyksessä kliinisessä työssä tällä hetkellä. (Patterson & Brandner (2017) mukaan)

Eri sairauksien ja tilojen käyttö kontraindikaationa yleisyysjärjestyksessä kliinisessä työssä tällä hetkellä Patterson & Brandner (2017) mukaan	
1)	Riski saada tai aiemmin saatu laskimoveritulppa
2)	Veren hyytymisongelmat
3)	Korkea verenpaine
4)	Sydän- ja verenkiertoelimistön sairaus
5)	Hermolihasjärjestelmän sairaudet
6)	Diabetes
7)	Hengityselimistön sairaudet
8)	Ylipaino
9)	Tupakointi
10)	Korkea ikä

6.4.2 BFR ja sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta

Koska BFR-harjoittelussa vaikutetaan raajojen verenkiertoon, on selvää, että erityisesti sen rasittavuus ja turvallisuus sydän- ja verenkiertoelimistöä kohtaan nousee kysymykseksi. BFR-harjoittelun vaikutusta perifeeriseen verenkiertoon on tutkittu jonkin verran. Tutkimusnäytön pohjalta näyttää sille, että akuutisti BFR-harjoittelu heikentää perifeeristä verenkiertoa, mutta pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa BFR-harjoittelu tehostaa perifeeristä verenkiertoa yhtä tehokkaasti tai jopa tehokkaammin kuin harjoittelu ilman BFR:ää. Mahdollisiksi mekanismeiksi tämän takana on arveltu mm. seuraavia tekijöitä:

- Kasvanutta valtimoiden myötäävyyttä
- Vasoaktiivisten (verisuonten laajenemista aiheuttavien) aineenvaihdunnan tuotteiden kertymistä lihaksiin
- Vascular Endothelial Growth Factorin, eli verisuonten seinämien kasvutekijän (VEGF) aktivoituminen aineenvaihdunnantuotteiden kertymisen seurauksena
- Hiusuonien venyminen hetkellisen kasvaneen verenvirtauksen myötä verenkierron rajoituksen poistamisen jälkeen
- Lihaksen hiussuonituksen lisääntyminen BFR-harjoittelun seurauksena.

(Loenneke, Wilson, Wilson, Pujol & Bemben, 2011.)

Kun tarkastellaan harjoittelun vaikutusta sydän- ja verenkiertoelimistön toiminnan sentraalisiin tekijöihin, käytetään mittareina yleisesti verenpainetta, sydämen iskutilavuutta ja

sydämen lyöntitiheyttä. Normaalin dynaamisen tai aerobisen harjoittelun aikana perifeerinen vastus pienenee, ja samalla sydämen lyöntitiheys ja iskutilavuus kasvavat. Perifeerisen vastuksen pieneneminen vähentää sydämeen kohdistuvaa rasitusta, jota mitataan ns. keskipaineella (Mean arterial Pressure = MAP). Raskaan voimaharjoittelun aikana (70–100 % 1RM:sta) voidaan saada aikaan lihaksen verisuonien täydellinen sulkeutuminen, jolloin perifeerinen vastus ja sitä kautta MAP ja sydämen kuormittuminen kasvaa suureksi. Korkean vastuksen jalkaprässiharjoittelussa onkin mitattu jopa 480/350 mmHg verenpainearvoja sekä MAP arvojen kaksinkertaistumista (MAP: 114–212 mmHg). (Loenneke ym. 2011.)

Suurin osa BFR-tutkimuksesta on tehty perusterveillä henkilöillä. Viime vuosina BFR-harjoittelun vaikutuksia ja turvallisuutta on alettu tutkia verenpainetaudista kärsivillä henkilöillä. Pinton & Politon (2016) ja Pinton ym. (2016) tutkimuksissa verrattiin kevyen BFR-voimaharjoittelun ja raskaan voimaharjoittelun akuutteja vaikutuksia verenpaineeseen ja sydämen iskutilavuuteen verenpainetautia sairastavilla naisilla. Tutkimuksissa harjoitettiin alaraajojen voimaa bilateraalisesti joko jalkaprässi- tai polven ojennus-harjoitteilla. Jalkaprässiharjoitteessa BFR-harjoittelu (3x8x20%:n kuormalla 1RM:sta) tuotti isommat verenpainearvot, korkeamman sykkeen ja sydämen iskutilavuuden verrattuna raskaaseen voimaharjoitteluun (3x15x65%:n kuormalla 1RM:sta) (Pinto & Polito, 2016). Polven ojennusharjoitteessa BFR-harjoittelu (3x10x20%) aiheutti akuutisti vastaavat vasteet sydän- ja verenkiertoelimistölle raskaan voimaharjoittelun (3x10x65%) kanssa, mutta sarjojen palautustauoilla BFR-harjoittelu aiheutti suuremmat verenpainearvot verrattuna raskaaseen voimaharjoitteluun. BFR-mansettien paine pidettiin yllä palautustaukojen aikana (Pinto, Karabulut, Poton & Polito, 2016). Näyttäisi siis sille, että työtä tekevän lihasmassan kasvaessa (polven ojennus < jalkaprässi), kasvaa sydän- ja verenkiertoelimistön rasitus akuutisti voimakkaammin BFR-voimaharjoittelun yhteydessä kuin raskaan voimaharjoittelun yhteydessä (Pinto & Polito, 2016; Pinto ym. 2016).

Spranger ym. (2015) muistuttavat metaborefleksin huomioon ottamisesta sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksista kärsivillä henkilöillä. Metaborefleksillä tarkoitetaan keskushermoston aiheuttamaa verenpaineen nousua tilanteissa, joissa lihaksiin kertyy aineenvaihdunnan tuotteita. Tämä refleksi on yksi osa elimistön säätelyjärjestelmää, jolla

verenvirtausta, ja sitä kautta eri kudosten hapensaantia säädellään mm. fyysisen rasituksen aikana. Sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksiin liittyy tämän refleksin häiriintyminen ja mahdollinen yliaktiivisuus, jolloin jo pieni aineenvaihdunnan tuotteiden kertyminen voi saada aikaan merkittävän nousun verenpaineessa. BFR-harjoitteluun liittyy merkittävä aineenvaihdunnantuotteiden kertyminen lihakseen, joka voi sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksista kärsivällä saada aikaan odottamattoman suuren nousun verenpaineessa. Vaikka BFR-harjoittelulla on viimeaikaisissa tutkimuksissa havaittu olevan verenpainetta laskeva vaikutus, tarvitaan lisätutkimuksia menetelmän käytön turvallisuuden takaamiseksi sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia sairastavilla. (Spranger, Krishnan, Levy, O'Leary & Smith. 2015.)

Ferreira ym. 2016 interventiossa tutkittiin erilaisten aerobisten harjoittelumuotojen vaikutuksia autonomiseen hermostoon ja verenkiertoon ikääntyneillä henkilöillä (N=21, keski-ikä 63 v). Koehenkilöt suorittivat yhden harjoittelusession ilman BFR-menetelmää kevyellä rasituksella (40 % VO₂max:sta), BFR-menetelmän kanssa kevyellä rasituksella (40 % VO₂max:sta) ja ilman BFR-menetelmää raskaalla rasituksella (70 % VO₂max:sta). Tutkimuksen mukaan BFR-menetelmällä toteutettu kevyt aerobinen harjoittelu aiheutti vähemmän kardiovaskulaarista rasitusta kuin raskas aerobinen harjoittelu. Tästä syystä tutkijoiden mukaan, BFR-harjoittelu on potentiaalinen vaihtoehto harjoittelun jälkeisen kardiovaskulaarisen rasituksen vähentämiseen ikääntyneillä henkilöillä. (Ferreira, Sardeli, De Souza, Bonganha, Santos, Castro, Cavaglieri & Chacon-Mikahil. 2016.)

Verenvuodon tyrehtymiseen tai verenhyytymiseen vaikuttaa tasapaino koagulaation ja fibrinolyysin välillä elimistössä. Koagulaatio tarkoittaa veren muuttumista kiinteäksi, kun nesteessä olevat valkuaisaineet muuttuvat liukenemattomiksi (Duodecim, 2017 a). Fibrinolyysillä tarkoitetaan puolestaan veressä olevan hyytymän liukenemistä (Duodecim, 2017 b). Liikunnan on havaittu vaikuttavan näihin molempiin mekanismeihin. Säännöllinen harjoittelu lähtökohtaisesti aktivoi enemmän fibrinolyysiä, mutta erittäin raskas harjoittelu voi kasvattaa veren koagulaation määrää ja edesauttaa veritulppien syntymistä. Täysi verisuonien sulkeutuminen ja verenkierron salpautumien voivat aiheuttaa verihyytymän muodostumisen. Toisaalta osittainen verenkierron rajoitus on yhdistetty fibrinolyttisen aktiivisuuden nousuun. Näyttääkin sille, että BFR-harjoittelu ei lisää koagu-

laatio markkereiden määrää veressä akuutisti harjoittelun jälkeen tai kroonisesti pitempikäisen harjoittelujakson jälkeen. (Loenneke ym. 2011.) Nakajima ym. (2006) kyselytutkimuksessa 300 000 BFR-harjoitussessioista vain 0,06 %:ssa aiheutui laskimoverihyytymä. Tämä on pienempi esiintyvyys kuin japanilaisilla yleisesti (0,2–0,26 %). (Nakajima ym. 2006.)

6.4.3 Muut mahdolliset sivuvaikutukset

Tutkimusnäytön mukaan blood flow restriction -harjoittelu ei lisää happiradikaalien muodostumista tai aiheuta merkittävästi lihasoluvaurioita (Pearson & Hussein, 2014). BFR-harjoitteluun liittyy kuitenkin kaksi raportoitua case-tapausta, joissa BFR-menetelmän käyttö on johtanut rabdomyolyysin muodostumiseen (Clark & Manini, 2017; Tabata, Suzuki, Azuma & Matsumoto, 2015). Rabdomyolyysi on lihaskudoksen äkillinen vaurio, jossa lihasolun sisältö vapautuu verenkiertoon ja voi sinne joutuessaan vahingoittaa mm. munuaisia. Rabdomyolyysi voi seurata raskaasta lihaksen kuormittamisesta, lihaksen kohdistuvasta pitkäkestoisesta paineesta tai traumaattisesta iskusta. Hoitamattomana tila voi johtaa munuaisten vajaatoimintaan ja lihasten kuolioon. Tila hoidetaan tehohoidossa ja hoitoon liittyy tarvittaessa leikkaustoimenpiteitä. Ajoissa aloitettu hoito johtaa yleensä täydelliseen paranemiseen. (Atula, 2015; Clark & Manini, 2017.)

Molemmat rabdomyolyysi tapaukset sattuivat miehille. Toinen henkilöistä oli 20-vuotias perusterve mies, joka teki 3 sarjaa bilateraalista polven ojennusta 25%:n vastuksella 1RM-kuormasta väsymykseen asti (Clark & Manini, 2017). Toinen henkilö oli 30-vuotias ylipainoinen mies, joka teki yhden takakyökkysarjan BFR:ää käyttäen ja tämän jälkeen lopun harjoituksesta ilman BFR:ää (Tabata ym. 2015). Tutkijat eivät löytäneet selkeää yhteyttä BFR-harjoittelulla ja kyseisillä case-tapauksilla. Tabata ym. (2015) toteavat, että rabdomyolyysin muodostuminen on usein monen tekijän summa, johon vaikuttaa mm.: huono fyysinen kunto, tottumattomuus harjoitteluun, bakteeri- tai virusinfektiot sekä erilaiset lääkitykset (Tabata ym. 2015). Myös Clark & Manini (2017) toteavat, että rabdomyolyysi on seurausta yleisesti raskaasta kuormituksesta, eikä ole riippuvainen vain BFR-harjoittelusta. Rabdomyolyysitapausten välttämiseksi onkin tärkeää, että taulukossa

6 luetellut riskitekijät otetaan huomioon BFR-harjoittelun suunnittelussa. Harjoittelun kuormittavuus tulee olla aluksi riittävän matala, ja sitä tulee nostaa pikkuhiljaa progressiivisesti, aivan kuten muidenkin harjoittelumuotojen yhteydessä. (Clark & Manini 2017.) Nakajima ym. (2006) kyselytutkimuksessa vain yhdelle henkilölle yli 12 000 BFR-harjoittelea tehneistä henkilöistä raportoitiin seuranneen rabdomyolyysi (Nakajima ym. 2006).

Molemmissa kyselytutkimuksissa (Patteron & Brandner 2017; Nakajima ym. 2006) raajan puutuminen oli yleisimpiä BFR-harjoittelun haittavaikutuksia. Tutkimuksissa ei ole kuitenkaan havaittu, että BFR-harjoittelu aiheuttaisi pitempiaikaisia häiriöitä raajojen hermotuksessa terveillä henkilöillä. (Loenneke ym. 2011.)

6.4.4 Ohjeet harjoituspaineen määrittämiseksi

Jotta blood flow restriction -menetelmän käyttö olisi turvallista, on käytetyn verenkiertoa rajoittavan paineen oikea valinta tärkeässä roolissa. Tämä on haastavaa, koska siihen vaikuttavat monet tekijät. Tutkimukset osoittavat, että käden ympärystä ja yläraajan systolinen verenpaine korreloivat hyvin valtimoverenkierron salpaavan paineen kanssa yläraajoissa. Myös alaraajoissa reiden ympärystä on verenkierron salpaava painetta voimakkaimmin ennustava muuttuja. Siksi siis yksilöllisiä paineita määritettäessä tulee raajojen ympärystä ottaa huomioon. (Loenneke, Allen, Grant Mouser, Thiebaud, Kim, Abe & Bemben 2015; Loenneke, Fahs, Rossow, Sherk, Thiebaud, Abe, Bemben & Bemben 2012.)

Käytännön tasolla on annettu suositus, jossa käytetty BFR-paine olisi n. 50 % valtimoverenkierron kokonaan salpaavasta paineesta (Limb Occlusive Pressure = LOP). Tämän paineen määrittämiseksi tutkimuksissa on käytetty verenkierron dopplermittausta alaraajoissa nilkkavaltimosta ja yläraajoissa vastaavasti kyynär- tai varttinävaltimosta. (Loenneke ym. 2014.) Kenttäolosuhteissa paineen määrittämisen voi tehdä myös manuaalisesti palpoimalla tai stetoskoopin avulla niin ylä- kuin alaraajoista. Ensin etsitään paine, jolla pulssi häviää ko. valtimoista. Tämän jälkeen lasketaan painetasoksi 50 % LOP:sta, joka on lopullinen harjoittelupaine. (Loenneke, 2017.)

Paineen tarkka määrittäminen manuaalisesti tai stetoskoopin avulla voi olla vaikeaa. Loenneke ym. (2015) tutkimuksessa 171 hengen koehenkilöjoukosta on määritetty laskukaavat, joilla voidaan määrittää raajan valtimoverenkierron salpaava paine. Laskukaavoissa käytetään yläraajoista mitattua systolista ja diastolista verenpainetta sekä olkavarren tai reiden ympäröimittua. Olkavarren ympäröimittua laskukaavoihin mitataan acromionin ja olecranonin puolesta välistä olkavarresta. Reiden ympäröimittua mittauspaikka on proksimaalinen 1/3-osa nivustaipeen ja patellan väliltä. Laskukaavat on tehty 5cm leveille manseteille. (Loenneke ym. 2015.)

Laskukaava yläraajan valtimoverenkierron salpaavan paineen määrittämiseksi:

Salpaava paine (mmHg) = (0,514 x (SBP)) + (0,339 x (DBP)) + (1,461 x (olkavarren ympäröimittua senttimetreinä)) + 17,236. (Loenneke ym. 2015)

Laskukaava alaraajana valtimoverenkierron salpaavan paineen määrittämiseksi:

Salpaava paine (mmHg) = (5,893 x (reiden ympäröimittua senttimetreinä)) + (0,734 x (DBP)) + (0,912 x (SBP)) – 220.046. (Loenneke ym. 2015.)

Jessee ym. (2016) ovat tehneet myös kattavamman laskukaavan rajoituspaineen määrittämiseksi, jossa otetaan yläraajan verenpaineen ja raajan ympäröimittua lisäksi huomioon henkilön sukupuoli, rotu, sekä raajan pituus. Lukijaa pyydetään perehtymään alkupe-
räisartikkeliin laskukaavan tarkempaa tarkastelua varten. (Jessee, Buckner, Dankel, Counts, Abe & Loenneke, 2016.)

7 Opinnäytetyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää tutkimustietoon perustuen blood flow restriction- harjoittelun käyttömahdollisuudet fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa. Opinnäytetyön tavoitteena on eritellä tarkemmin, millaisia vaikutuksia blood flow restriction- menetelmällä saadaan fysioterapeuttisessa harjoittelussa tyypillisillä kuntoutujaryhmillä. Katsauksen tarkoituksen ja tavoitteen määrittäminen antaa suunnan koko prosessille

(Stolt, Axelin & Suhonen, 2015, 24–25). Opinnäytetyön lopputuotteen on kirjallinen raportti, jolla tarjotaan toimeksiantajalle Jyväskylän fysioterapia Bodium Oy:lle, ja muille aiheesta kiinnostuneille, opinnäytetyön sisältämä tieto.

Tutkimuskysymyksiä tehtäessä ja tuloksia analysoitaessa tutkijoiden tulee pyrkiä puolueettomaan toimintaan, eikä ennakoida tuloksia tai vastauksia tutkimuskysymyksiin. Ennakko-oletukset voivat vääristää aineiston valintaa, tulosten tulkintaa, johtopäätösten tekoa ja täten koko kirjallisuuskatsausprosessia. Tutkimuskysymys ei saa olla liian laaja, mutta ei myöskään liian suppea. Tutkimuskysymyksiä voi olla useampia kuin yksi. Tutkimuskysymykset voivat myös muuttua opinnäytetyöprosessin aikana. (Stolt ym. 2015, 24–25.) Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymykset muokkaantuivat prosessin aikana. Aluksi kysymykset olivat liian laajoja ja niitä tarkennettiin, sitä mukaa kun tutkimusaineistoon tutustuminen eteni. Tarkemman aineistoon ja teoriaan perehtymisen jälkeen tutkimuskysymyksiksi nousivat:

Ensimmäinen tutkimuskysymys: Mitkä ovat Blood flow restriction -menetelmän vaikutukset fysioterapeuttisessa harjoittelussa eri kuntoutujaryhmillä?

Toinen tutkimuskysymys: Millaisilla kuntoutujaryhmillä blood flow restriction -harjoittelun käyttö on analysoitujen tutkimusten mukaan perusteltua fysioterapeuttisessa harjoittelussa?

8 Opinnäytetyön toteutus

8.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä käytettiin integroivaa kirjallisuuskatsausta. Integroivan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on kerätä uutta tietoa yhdistelemällä ja kriittisesti arvioimalla tutkimusaineistoa. Tässä kirjallisuuskatsausmenetelmässä yhdistyvät erilaiset tutkimusmenetelmät tuloksineen ja teoreettisine viitekehysineen. Integroiva kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen, joita ovat: tutkimusongelman ja –

kysymysten määrittäminen, aineistohaku, aineiston laadun arviointi, aineistoanalyysi ja tulosten raportointi. (Stolt ym. 2015, 13.) Integroivaan kirjallisuuskatsaukseen päädyttiin, koska menetelmä mahdollistaa monipuolisten ja erilaisten tutkimusasetelmien ja lähteiden käytön. Näin työssä saatiin kuvattua tarkasteltua kohdetta (Blood flow restriction – harjoittelua) mahdollisimman tarkasti ja monipuolisesti.

8.2 Artikkeleiden haku- ja valintaprosessi

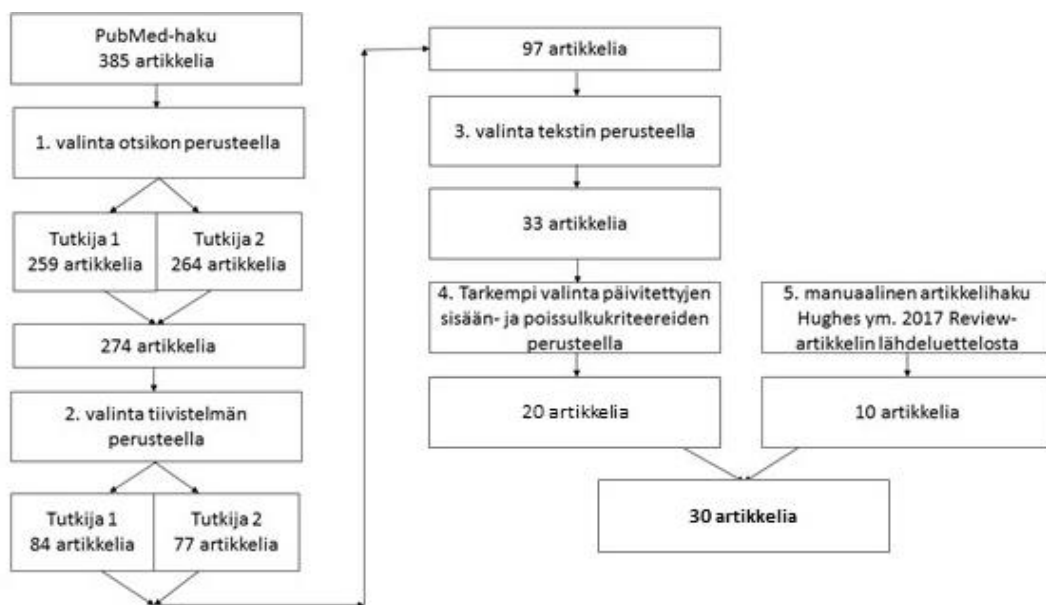
Kirjallisuuden hakuprosessi on lopullisen työn laadun kannalta erittäin ratkaiseva vaihe, sillä tässä vaiheessa ilmennyt huolimattomuus johtaa työn luotettavuuden heikkenemiseen. Pääasiallisena lähteenä on hyvä käyttää alkuperäistutkimuksia, joiden löytämiseksi sähköisiin tietokantoihin tulee muodostaa sopivat hakulausekkeet. (Stolt ym. 2015, 25–28.). Työn tekijät tekivät koehakuja kolmeen tietokantaan (Pubmed, PEDro ja Clinahl). PEDro- ja Clinahl-tietokannoista ei alustavissa hauissa löytynyt aiheeseen liittyen kuin muutamia artikkeleita ja nämä artikkelit olivat saatavilla myös Pubmedin kautta. Tämän takia aineistohaussa päädyttiin käyttämään vain Pubmed-tietokantaa.

Aineistohaku suoritettiin Pubmed-tietokantaan 5.6.2017. Alustavien vapaahakujen perusteella hakusanoiksi muodostuivat: ”blood flow restriction”, ”Occlusion training”, ”kaatsu” ja ”restricted blood flow”. Hakulausekkeeksi muodostui: (”blood flow restriction” OR ”occlusion training” OR ”kaatsu” OR ”restricted blood flow”). PubMed-tietokanta antoi kyseisellä hakulausekkeella 385 osumaa. Aineistohaun monipuolisuuden ja luotettavuuden kasvattamiseksi, kaksi työntekijää kävivät nämä artikkelit läpi itsenäisesti ja suorittivat aineiston sisäänoton ja poissulun ensimmäisen vaiheen toisistaan riippumatta artikkelien otsikoiden perusteella (Stolt ym. 2015, 26). Työntekijät kokosivat yhdessä valitsemansa artikkelit yhteen 10.6.2017. Yhteen kokoamisen jälkeen artikkeleita oli valittuna 274 kappaletta.

Toinen tarkempi rajaaminen suoritettiin tutkimusaineistojen tiivistelmien pohjalta (Stolt ym. 2015, 26). Tämän vaiheen tutkijat suorittivat myös itsenäisesti ja toisistaan riippumatta. Tiivistelmän perusteella valitut artikkelit koottiin yhteen 20.6.2017. Tiivistelmien

tarkastelun jälkeen artikkeleita oli valittuna 97 kappaletta. Kolmannessa vaiheessa aineiston rajaus tehtiin koko teksteihin perehtymällä (Stolt ym. 2015, 26). Työntekijät lukivat artikkelit itsenäisesti ja kokosivat ne yhteen 20.7.2017. Tämän jälkeen artikkeleita oli valittuna 33 kappaletta.

33 artikkelista karsiutui pois vielä 13 artikkelia tarkentuneiden sisäänotto- ja poissulkukriteereiden seurauksena. Systemaattisen haun lisäksi aineistohakua täydennettiin manuaalisella artikkelihaualla Hughes ym. (2017) review-artikkelin lähdeluettelosta 10 artikkelilla, jotka olivat jääneet alkuperäisen PubMed-haun ulkopuolelle (Stolt ym. 2015, 27). Lopulliseksi artikkelimääräksi analyysiin muotoutui siis 30 artikkelia. Nämä toimet tehtiin 22.7.2017. Hakuprosessin kulusta tehtiin tarkat muistiinpanot ja hakuprosessi onkin hyvä esittää kirjallisuuskatsauksessa niin tarkasti kuin mahdollista, jotta aineistonhaun läpinäkyvyys säilyy korkeatasoisena (Stolt ym. 2015, 28). Artikkeleiden valintaprosessi on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Analysoitavien artikkeleiden valintaprosessin vaiheet

8.3 Mukaan otetut ja poissuljetut aineistot

Mukaan otetut artikkelit valittiin ennakkoon suunniteltujen mukaanotto- ja poissulkukriteereiden mukaan. Mukaanottokriteerit määritettiin riittävän laajoiksi, jotta kirjallisuushaussa löydettäisiin mahdollisimman hyvin tutkimuskysymyksiin vastaavat artikkelit. Toisaalta poissulkukriteerit pyrittiin määrittämään sellaisiksi, että ne helpottivat kirjallisuuskatsauksen aiheessa pysymistä. (Stolt ym. 2015, 26.) Poissulkukriteereitä jouduttiin tiu- kentamaan vielä artikkelihaun jälkeen analysoitavien artikkeleiden suuresta määrästä joh- tuen. Poissulkukriteereitä muutettiin niin, että mukaan analysoitavaksi otettiin vain tutki- mukset, joissa oli mitattu muutoksia voimassa, lihasmassassa, kestävyyskunnossa tai toi- minnallisissa testeissä. Myös sydän- ja verenkiertoelimistönsairauksia sairastavat pудо- tettiin pois mukaan otettavista kohderyhmistä. Lopulliset artikkelien mukaanotto- ja pois- sulkukriteerit on esitelty taulukossa 7.

Taulukko 7. Aineistohaun mukaanotto- ja poissulkukriteerit

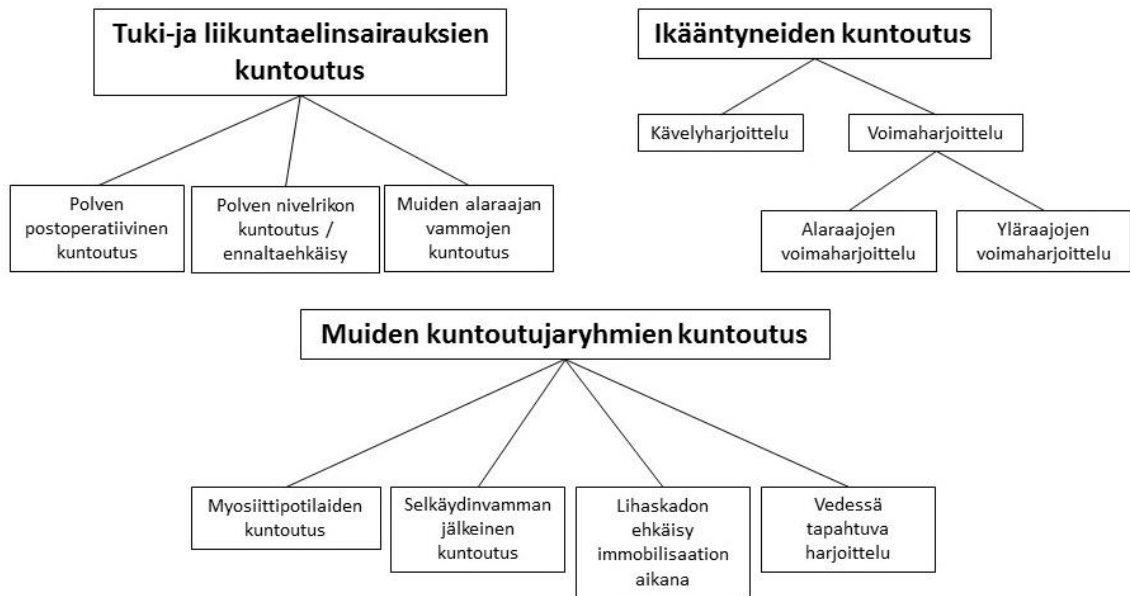
Tarkastelun kohde	Mukaanottokriteeri	Poissulkukriteeri
Tutkimuskysymys	Aineisto vastaa tutkimuskysymykseen tai -kysymyksiin	Aineisto ei vastaa tutkimuskysy- mykseen tai -kysymyksiin
Kohderyhmä	Ihmisillä tehdyt tutkimukset. Tuki- ja liikuntaelinsairaat, ikääntyneet henki- lö, selkäydinvammat, neurologiset sairaudet, lihassairaudet, immobilisaa- tio	Eläimille, ja muille kuin mu- kaanottokriteerien ihmisryh- mille, tehdyt tutkimukset
Interventio	Blood flow restriction-menetelmän hyödyntäminen voima- tai kestä- vyysharjoittelun aikana tai immobili- saation yhteydessä	Muiden menetelmien hyödyntä- minen
Mitatut muuttujat	Mitattu lihasmassaa, lihasvoimaa, kes- tävyyskuntoa ja/tai toiminnallisia tes- tejä (ADL)	Pelkkiä fysiologisia muuttujia mi- tattuna (kuten hormoni pitoi- suudet yms.)
Kieli	Suomi tai englanti	Muu kieli
Saatavuus	Full text-versio saatavilla artikkelista Jyväskylän ammattikorkeakoulun tai Jyväskylän yliopiston tietokantojen kautta	Full text-versiota ei saatavilla ar- tikkelista

8.4 Aineiston analyysi ja laadun arviointi

Aineiston analyysissä käytettiin teorialähtöistä sisällön analyysiä, jonka tavoitteena on luoda aineistosta teoreettinen kokonaiskuva. Analyysi ja aineiston sisällön tulkitseminen

alkoivat jo tutkimusten valintavaiheessa niiden sisältöön tutustumisella. Pohjana tälle analyysille käytettiin alustavia tutkimuskysymyksiä, jotka ohjasivat etsimään oleellisia asioita aineiston teoriasta. Ensimmäiseksi koottiin yhteen tutkimusten oleellinen sisältö taulukkomuotoon. Näitä oleellisia tietoja olivat: kirjoittajat, julkaisuvuosi, tutkimusasetelma, tutkimuksen tarkoitus/kohderyhmä, koehenkilömäärä, harjoittelun/intervention kuvaus ja päätulokset. Seuraavaksi artikkeleihin tutustuttiin tarkemmin ja niiden väliltä etsittiin yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia, joiden mukaan ne teemoiteltiin. Lopullisessa vaiheessa yksittäisten aineistojen tulokset ja johtopäätökset koottiin kokonaisuuksiksi, joiden avulla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin. (Stolt ym. 2015 30–32.)

Aineistoihin tutustuttaessa alkoi niistä nousta selkeitä teemoja, joihin niitä lähdettiin jakamaan. Ensimmäisessä jaossa aineistot jaettiin kolmeen isompaan teemaan koehenkilöjoukkojen mukaan. Pääteemoiksi muodostuivat: 1) Tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutus, 2) Ikääntyneiden kuntoutus ja 3) Muiden kuntoutusryhmien kuntoutus. Näistä teemoista muotoutui alateemoja. Tuki- ja liikuntaelinsairauksia käsittelevät tutkimukset alateemoiteltiin koehenkilöjoukkojen vammojen yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien mukaisesti, jolloin alateemoiksi muodostuivat 1.1) Polven postoperatiivinen kuntoutus, 1.2) Polven nivelrikon kuntoutus ja ennaltaehkäisy ja 1.3) Muiden alaraaja vammojen kuntoutus. Ikääntyneiden kuntoutusta käsittelevät tutkimukset jaettiin alateemoiksi harjoitusmuodon, jonka kanssa BFR-menetelmää oli käytetty, ja harjoitettavan kehon osan mukaan. Näin alateemoiksi muodostuivat: 2.1) Voimaharjoittelu, 2.1.1) Alaraajojen voimaharjoittelu, 2.1.2) Yläraajojen voimaharjoittelu sekä 2.2) Kävelyharjoittelu. Muiden kuntoutusryhmien kuntoutusta käsittelevät artikkelit teemoiteltiin koehenkilöjoukoista tai interventioista nousseiden yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien mukaan seuraaviksi alateemoiksi: 3.1) Lihaskadon ennaltaehkäisy immobilisaation aikana, 3.2) Polymyosiittipotilaiden kuntoutus, 3.3) Selkäydinvamman jälkeinen kuntoutus ja 3.4) Vedessä tapahtuva harjoittelu. Aineiston analyysin seurauksena muototutuneet teemat on esitelty kuviossa 5.



Kuvio 5. Aineiston jakautuminen teemoihin ja alateemoihin

Kirjallisuuskatsaukseen valikoituneiden tutkimuksien uskottavuutta ja laatua arvioitiin PEDro -asteikon mukaisesti. Asteikko on tehty erityisesti fysioterapiatutkimuksien arviointia varten. Laadunarvioinnilla pyritään ehkäisemään virheellisten ja vääristyneiden johtopäätöksien syntyminen. Arvioinnissa on tärkeintä, että jokainen artikkeli arvioidaan samojen kriteerien mukaisesti. Tästä syystä PEDro-asteikko valikoitui arviointityökaluksi, vaikka jokaista asteikon kohtaa ei pystytty soveltamaan kaikkiin analysoitaviksi valikoituneisiin aineistoihin. PEDro-asteikon vahvuus on myös, että se tarkastelee erilaisten tutkimusasetelmien laatua monipuolisesti. Asteikossa arvioitavia kohteita ovat: tutkimusongelmat, otantamenetelmät, satunnaistamismenetelmät sekä aineistonkeruu ja tulosten esittäminen. PEDro -asteikon korkea pistemäärä ei välttämättä tarkoita automaattisesti sitä, että tutkimuksen mukainen hoito tai tulokset olisivat tehokkaampia tai paremmin sovellettavissa käytännön kentille kuin matalan pistemäärän saaneissa tutkimuksissa. Asteikon kokonaispistemäärän perusteella pystytään kuitenkin saamaan suuntaa antava kuva tutkimusten laadusta ja uskottavuudesta. PEDro -asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8. (Physiotherapy Evidence Database PEDro; Stolt ym. 2015 28–30.) Ennen aineiston tutkimusten lopullisen pisteytyksen tekoa työn tekijät harjoittelivat PEDro -asteikon käyttöä arvioimalla itsenäisesti analyysin ulkopuolelle jääneitä tutkimuksia ja tarkastamalla tutkimuksille antamiensa pisteiden oikeellisuuden Physiotherapy evidence database-haun kautta.

Taulukko 8. PEDro -asteikon arviointikriteerit (mukailien Physiotherapy Evidence Database, PEDro)

PEDro-asteikon pisteytyskriteerit	
1.	Tutkimuksen testihenkilöiden sisäänottokriteerit on ilmoitettu: Tämä ehto täyttyy, jos tutkimuksesta käy ilmi, miten ja mistä koehenkilöjoukko on koottu ja millä perusteella heidät on valittu. <u>Tästä kohdasta ei tule pistettä.</u>
2.	Testihenkilöiden jako eri ryhmiin on satunnaistettu: Koehenkilöiden ryhmiin jako on satunnaistettu, jos näin ilmoitetaan tutkimuksessa. Tarkkaa kuvausta satunnaistamismenetelmästä ei kuitenkaan tarvitse kuvata. Kolikon tai nopan heitto ovat hyväksyttäviä keinoja, mutta jako esimerkiksi syntymäajan perusteella ei ole riittävä keino.
3.	Testihenkilöiden jako ryhmiin on salattu: Henkilö, joka on vastuussa testihenkilöiden valitsemisesta, ei saa tietää mihin ryhmään henkilöt jaetaan.
4.	Ryhmät ovat alkutilanteessa samanlaiset tärkeimpien mitattujen muuttujien suhteen: Vähintään kaksi mitattavaa muuttujaa tulee ilmoittaa, joista toisen tulee koskea tilaa johon hoidolla/interventiolla pyritään vaikuttamaan.
5.	Tutkimuksen koehenkilöt ovat sokkoistettuja: Koehenkilöt, tutkijat tai terapeutit eivät tiedä mihin ryhmään koehenkilö on määrätty.
6.	Tutkimuksen tekemisestä vastaava ammattilainen on sokkoistettu: Terapeutti, tutkija tai arvioija ei tiedä testihenkilön ryhmää eikä pysty erottamaan eri ryhmille annettuja hoitoja.
7.	Kaikki arvioijat, jotka mittasivat yhden tai useamman tuloksen, ovat sokkoistettuja: kts. Kohta 6.
8.	Tulokset on saatu vähintään 85 % tutkimukseen osallistuneista koehenkilöistä: Koehenkilöiden ja kaikkien mittaustulosten, alku – loppu- ja mahdollisten välimittaustulosten, määrä tulee olla ilmoitettuna.
9.	Kaikki koehenkilöt ovat saaneet tutkimuksen aikana ryhmänsä mukaisen intervention: Jos näin ei ole käynyt tulee se ilmoittaa.
10.	Ryhmien tuloksia on verrattu keskenään vähintään yhden tutkimusmuuttujan suhteen: Tämä voi olla kahden eri hoidon/intervention vertailua tai hoidon vertailua kontrolliryhmään.
11.	Tutkimus tarjoaa tietoa sekä hoidon/intervention vaikuttavuudesta, että tulosten variabiliteetistä: Tätä voidaan arvioida ryhmien välillä tai ryhmien sisäisesti. Vaikuttavuuden arviointiin esim. effect size, variabiliteetin arviointi esim. keskiahjonta.

PEDro -asteikolla arvioituna tämän opinnäytetyön tutkimusaineiston taso oli vaihtelevaa. Tutkimusten pistearvot vaihtelivat nollan ja seitsemän pisteen välillä (asteikon maksimipistemäärä on 10). Tutkimusaineiston heikkouksiksi PEDro -asteikon kautta nousivat: Yleinen sokkoistamisen vähyyys, harjoitteluintervention ja koehenkilöiden siihen osallistumisen vaihteleva kuvaus sekä tutkimuksen aikaisen koehenkilöpoistuman heikko/epäselvä raportointi. Vahvuuksiksi aineistosta nousivat: 18 tutkimuksessa koehenkilöiden ryhmiin jako oli satunnaistettu, koehenkilöryhmät olivat lähes kaikissa tutkimuksissa vertailukelpoiset alkutilanteessa eivätkä eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi tärkeimpien mitattujen muuttujien osalta, tutkimuksissa myös vertailtiin ryhmien välisiä tuloksia ja annettiin tietoa tutkimustulosten vaikuttavuudesta sekä variabiliteetistä. Taulukossa 9 on esitelty tutkimusten PEDro -kokonaispistemäärät. Analysoitujen tutkimusten pisteiden saanti kriteerikohtaisesti (kriteerit taulukossa 8) on esitelty liitteissä 1-3.

Taulukko 9. Analysoitujen tutkimuksien PEDro-pistemäärät

PEDro-pisteytys	Tutkimus	PEDro-pisteytys	Tutkimus
7/10	Tennent ym. (2016)	4/10	Takarada ym. (2000b)
7/10	Segal ym. (2016)	4/10	Kubota ym. (2008)
7/10	Segal ym. (2015)	4/10	Kubota ym. (2010)
7/10	Fernandes-Bryk ym. (2015)	4/10	Ozaki ym. (2011b)
7/10	Giles ym. (2017)	4/10	Libardi ym. (2014)
6/10	Clarkson ym. (2017)	4/10	Vechin ym. (2015)
6/10	Shimizu ym. (2016)	4/10	Yasuda ym. 2016
6/10	Iversen ym. (2014)	3/10	Yasuda ym. (2015b)
5/10	Patterson ym. (2011)	3/10	Ozaki ym. (2011a)
5/10	Gorgey ym. (2016)	3/10	Ohta ym. (2003)
5/10	Cook ym. (2010)	3/10	Aurajo ym. (2015)
5/10	Yokokawa ym. (2008)	2/10	Jørgensen ym. (2016)
5/10	Yasuda ym. (2015a)	2/10	Mattar ym. (2014)
4/10	Thiebaud ym. (2013b)	2/10	Hyliden ym. 2015
4/10	Abe ym. (2010)	0/10	Loenneke ym. 2012

PEDro-pistemäärän lisäksi myös koehenkilöryhmien koko vaikuttaa analysoitujen tutkimusten laatuun ja luotettavuuteen. Analysoiduista tutkimuksista neljässä oli alle 10, neljässätoista tutkimuksessa 10–20, kahdeksassa tutkimuksessa 20–40, kolmessa tutkimuksessa 40–60 ja yhdessä tutkimuksessa yli 60 koehenkilöä. Yhteensä koehenkilöitä 30 tutkimuksessa oli 676 ja keskimäärin 22,5 tutkimusta kohti. Taulukossa 10 näkyy, mitkä tutkimukset osuivat mihinkin kategoriaan koehenkilömäärän mukaan. Tutkimusten koehenkilömäärä jäi suuressa osassa tutkimuksista melko pieneksi. Tätä voidaan pitää tutkimusten laatua ja luotettavuutta alentavana tekijänä.

Taulukko 10. Analysoitujen tutkimuksien koehenkilömäärien jakautuminen

Koehenkilömäärät analysoiduissa tutkimuksissa				
<10	10–20	21–40	41–60	>60
Gorgey ym. (2016) Hylden ym. (2015) Jørgensen ym. (2016) Loenneke ym. (2012)	Abe ym. (2010) Cook ym. (2010) Clarkson ym. (2017) Kubota ym. (2008) Kubota ym. (2010) Libardi ym. (2014) Mattar ym. (2014) Ozaki ym. (2011b) Patterson ym. (2011) Takarada ym. (2000b) Tennent ym. (2016) Thiebaud ym. (2013b) Yasuda ym. (2015a) Yasuda ym. (2015b)	Araujo ym. (2015) Fernandez-Bryk ym. (2015) Iversen ym. (2014) Ozaki ym. (2011a) Segal ym. (2016) Shimizu ym. (2016) Vechin ym. (2015) Yasuda ym. (2016)	Ohta ym. (2003) Segal ym. (2015) Yokokawa ym. (2008)	Giles ym. (2017)

9 Blood flow restriction -menetelmän vaikutukset fysioterapeuttisessa harjoittelussa eri kuntoutujaryhmillä

Tässä kappaleessa esitetään analysoitujen tutkimusten tulokset ja vastataan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen tutkimustulosten pohjalta. Ensin esitellään tarkemmat tutkimustulokset, jonka jälkeen jokaisen kuntoutusosa-alueen loppuun on sijoitettu yhteenveto, joka tiivistää aihealueen tutkimustulokset.

9.1 BFR-menetelmän käyttö tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutuksessa

Tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutukseen sovellettavissa tutkimuksissa on keskitytty blood flow restriction -harjoittelun vaikutuksiin alaraajojen vammoissa. Suurin osa tutkimuksista on käsitellyt polveen liittyvää kuntoutusta. Seuraavissa kappaleissa kootaan näiden tutkimusten sisältö ja päätutkimustulokset yhteen alateemoittain. Liitteeseen 1 on taulukoihin koottu tarkat tiedot tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutusta käsittelevistä tutkimuksista.

9.1.1 Polven postoperatiivinen kuntoutus

BRF-menetelmän käyttöä eturistisideleikkauksen (jatkossa ACL-leikkaus) jälkeisessä kuntoutuksessa tarkasteli yhteensä kolme tutkimusta. Takarada ym. (2000b) havaitsivat, että kahden viikon ajan leikkauksen jälkeen tehty BFR-menetelmä ilman harjoittelua säilytti etureiden lihasmassan tilastollisesti merkitsevästi paremmin verrattuna harjoittelemattomaan kontrolliryhmään (BFR-ryhmä: $\downarrow 9,4\%$ ja kontrolliryhmä $\downarrow 20,4\%$, $p=0,046$). Taka- reiden lihasmassa väheni molemmilla ryhmillä samalla tavalla (BFR-ryhmä: $\downarrow 9,7\%$ kont- rolliryhmä: $\downarrow 8,6\%$). (Takarada, Takazawa & Ishii, 2000b.) Iversenin ym. (2014) urheilijoilla tehdyssä tutkimuksessa, kahden viikon ajan tehty BFR-menetelmä yhdistettynä isometri- siin harjoitteisiin ei vähentänyt etureiden lihasatrofiaa verrattuna pelkkien isometrinen harjoitteiden tekoon (BFR-ryhmä: $\downarrow 13,8\%$, isometrinen ryhmä: $\downarrow 13,1\%$) (Iversen, Rös- tad, Larmo, 2014). Ohta ym. (2003) tutkimuksessa ACL-leikkauksen jälkeen 16 viikkoa BFR- voimaharjoittelua tehnyt ryhmä säilytti polven ojennus- ja koukistusvoimansa isometri- sestä ja eri kulmanopeuksilla sekä polven ojentajien lihasmassan tilastollisesti paremmin verrattuna kontrolliryhmään, joka teki samat harjoitteet ilman verenkierron rajoitusta. (tarkat tulokset kts. liite 1) (Ohta, Kurosawa, Ikeda, Iwase, Satou & Nakamura. 2003).

Tennentin ym. (2016) tutkimus käsitteli polven tähytysleikkauksen jälkeistä kuntoutusta. Kuusi viikkoa BFR-voimaharjoittelua fysioterapeuttisen kuntoutuksen lisänä tehneen ryh- män reiden ympärysmitta sekä polven ojennus- ja koukistusvoimat kasvoivat enemmän, kuin pelkkää fysioterapeuttista kuntoutusta tehneellä ryhmällä. Polvenojennus- ja koukis- tusvoimat kasvoivat BFR-ryhmällä prosentuaalisesti mitattuna lähes kaksinkertaisesti ver- rattuna kuntoutusryhmään. (Polvenojennusvoima: BFR-ryhmä $\uparrow 77,9\%$, kontrolliryhmä $\uparrow 40,8\%$, Polven koukistusvoima: BFR-ryhmä $\uparrow 39\%$, kontrolliryhmä $15,7\%$) Mitatuissa muuttujissa ei löydetty kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien väliltä. Toimin- nallisista testeistä BFR-ryhmä paransi stair climb-testiin kulunutta aikaa tilastollisesti mer- kitsevästi enemmän verrattuna kuntoutusryhmään (BFR-ryhmä $\downarrow 46,2\%$, kuntoutus- ryhmä $\downarrow 15,8\%$, $p=0,028$) (Tennent, Hylden, Johnson, Burns, Wilken & Owens. 2016.) Tau- lukossa 11 on esitelty polven postoperatiivista kuntoutusta käsitelleiden tutkimustentu- lokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan osalta.

Taulukko 11. Polven postoperatiivista kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Takarada ym. (2000b)	Etureiden mCSA: BFR-ryhmä ↓9,4 % (p<0,05) kontrolliryhmä ↓20,7 % (p<0,05) Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,046)	Takareiden mCSA: BFR-ryhmä ↓9,7 % (p<0,05) Kontrolliryhmä ↓8,6 % (p<0,05) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Iversen ym. (2016)	Etureiden ACSA (reiden puolivälistä mitattuna): BFR-ryhmä ↓15,1 %, Isometriset harjoitteet -ryhmä ↓13,9 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Etureiden ACSA (40 % reisiluun pituudesta distaalipäästä mitattuna) BFR-ryhmä ↓12,7 % Isometriset harjoitteet -ryhmä: ↓12,4 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Ohta ym. (2003)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓8,6% Kevyt voima -ryhmä ↓32,9 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,001)	Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓ 20,8 % Kevyt voima -ryhmä: ↓ 34,0 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,02)
Tennent ym. (2016)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑ 77,9 % (p=0,001) Kuntoutusryhmä ↑40,8 % (p=0,0078) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Stair Climb-Testin aika: BFR-ryhmä ↓ 46,2 % (p=0,0001) Kuntoutusryhmä ↓15,8 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,028)

9.1.2 Polven nivelrikon kuntoutus / ennaltaehkäisy

Polven nivelrikon kuntoutusta käsiteltiin kolmessa tutkimuksessa. Segalin ym. (2016) naiskoehenkilöillä tehdyssä tutkimuksessa neljä viikkoa BFR-voimaharjoittelua tehnyt ryhmä paransi jalkaprässin 1RM-voimaa (BFR-ryhmä ↑17,4 %, voimaryhmä ↑9,5 %, p=0,0385) sekä polven ojennuksen isokineettistä voimaa (BFR-ryhmä ↑5,4 %, voimaryhmä ↓3,8 %, p=0,0048) tilastollisesti merkitsevästi enemmän kuin ilman verenkierron rajoitusta kevyellä vastuksella harjoitellut ryhmä (Segal, Davis & Mikesky, 2016). Segalin ym. (2015) toisessa tutkimuksessa mieskoehenkilöillä neljän viikon BFR-harjoittelu ei parantanut jalkaprässin 1RM-tulosta (BFR-ryhmä 3,1 %, voimaryhmä ↑4,7 %) tai polven ojennuksen isokineettistä voimaa (BFR-ryhmä ↑0,4 %, voimaryhmä ↑6,7 %) tehokkaammin verrattuna vastaavaan harjoitteluun tehtynä ilman BFR-menetelmää. Ilman BFR-menetelmää harjoitellut ryhmä paransi voimatestien tuloksia prosentuaalisesti jopa enemmän kuin BFR-ryhmä. Erot kehityksissä eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä. (Segal, Williams, Davis, Wallace & Mikesky, 2015.)

Kolmannessa polven nivelrikkoon liittyvässä tutkimuksessa Fernandes Bryk ym. (2016) saivat kuuden viikon harjoittelujakson jälkeen näkyviin suuremmat parannukset nivelrikko-diagnoosin saaneilla naisilla BFR-ryhmän polven ojennusvoimassa verrattuna ryhmään, joka teki raskasta voimaharjoittelua (BFR-ryhmä: ↑72 %, Voimaryhmä: ↑39 %). Ryhmien väliltä ei kuitenkaan löydetty tilastollisesti merkitsevää eroa voiman kehittämisessä. BFR-ryhmä koki harjoittelun aikana tilastollisesti merkitsevästi vähemmän polven kipuoireilua verrattuna ryhmään, joka teki raskasta voimaharjoittelua ($p>0,05$). (Fernandez-Bryk, dos Reis, Fingerhut, Araujo; Schutzer, Leite Cury, Duarte jr. & Fukuda, 2016.) Taulukossa 12 on esitelty polven nivelrikon kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 12. Polven nivelrikon kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Segal ym. (2016)	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑17,4 % ($p<0,0001$) Voimaryhmä ↑9,5 % ($p=0,046$) Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p=0,0385$)	Polven ojennus isokineettinen MVC: BFR-ryhmä ↑5,4 % ($p=0,024$) Voimaryhmä ↓3,8 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p=0,0048$)
Segal ym. (2015)	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑3,1 % ($p=0,003$) Voimaryhmä ↑4,7 % ($p<0,002$) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Polven ojennus isokineettinen MVC: BFR-ryhmä ↑0,4 % Voimaryhmä ↑6,7 % ($p=0,006$) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Fernandez-Bryk. (2016)	Polven ojennus 1RM: BFR-ryhmä ↑72 % Raskas voima-ryhmä ↑39 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	TUG-testin aika: BFR-ryhmä ↓16 % Raskas voima-ryhmä ↓21 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä

9.1.3 Muiden alaraajan vammojen kuntoutus

Muita alaraajavammoja käsitelleet tutkimukset tarkastelivat BFR-harjoittelun käyttöä patellofemoraalikivusta kärsivien harjoittelussa (Giles, Webster, McClelland & Cook, 2017), menetelmän tehokkuutta traumaattisesta vammasta seuranneen alaraajan lihasheikkouden hoidossa (Hylden, Burns, Stinner & Owens. 2015) sekä urheilijalla osteondraalisen murtuman jälkeisessä harjoittelussa (Loenneke, Young, Wilson & Anderson, 2012).

Gilesin ym. (2017) tutkimuksessa kahdeksan viikon harjoittelujakson seurauksena kevyen vastuksen BFR-harjoittelua tehnyt ryhmä paransi polven ojennuksen isometristä maksimi-voimaa (BFR-ryhmä \uparrow 26,9 %, Voimaryhmä \uparrow 17,5 %) sekä etureiden lihasmassaa (BFR-ryhmä \uparrow 1,3 %, voimaryhmä \uparrow 4,0 %) tilastollisesti tarkasteltuna yhtä paljon verrattuna raskasta voimaharjoittelua tehneeseen ryhmään. Koehenkilöillä, joilla manuaalisesti vastustettu polven ojennus tuotti kipua ennen tutkimusta, BFR-harjoittelu kasvatti ojennusvoimaa tilastollisesti merkitsevästi enemmän (\uparrow 37 %) verrattuna raskaaseen voimaharjoitteluun (\uparrow 14,9 %) ($p=0,003$). (Giles ym. 2017.)

Hyldenin ym. (2015) case-tutkimussarjassa traumaattisesta vammasta seuranneesta, kroonisesta reisilihasten heikkoudesta kärsivät koehenkilöt paransivat huomattavasti isokineettistä polven ojennus- ja koukistusvoimaansa BFR-voimaharjoittelun seurauksena. Keskimäärin polven ojennusvoima kasvoi case-henkilöillä 90 °/s-nopeudella 33,4 % ja 300 °/s-nopeudella 16,5 %. Polven koukistusvoima puolestaan kasvoi keskimäärin 90 °/s-nopeudella 28,8 %: ja 300 °/s-nopeudella 21,8 %. Myös isokineettisistä testeistä mitatut keskitehot ja kokonaistyömäärät paranivat vastaavalla tavalla keskimääräisesti case-henkilöillä. (Hylden ym. 2015.)

Loenneke ym. (2012) case-tutkimuksessa kansallisen tason kehonrakentaja oli saanut osteondraalisen murtuman polveensa luultavasti takakyökkyharjoitteen aikana. Ennen tulevia kisoja hän harjoitteli 15 päivää käyttäen BFR-menetelmää. 15 päivän harjoittelun jälkeen MRI:stä löytynyt nivelrustomurtuma oli alkanut kuntoutua. Polven liikeradan olivat palautuneet ja kivuttomat. Koehenkilö koki pystyneensä ylläpitämään alaraajojensa lihasmassan kevyellä kuormalla ja hän pystyi osallistumaan suunnittelemaansa kilpailuun ja sijoittui viiden parhaan joukkoon NPC Northern Natural USA kevyessä- sekä juniorisarjassa. (Loenneke ym. 2012.) Taulukossa 13 on esitelty alaraajojen vammojen kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 13. Muiden alaraajan vammojen kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeim-
män mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Giles ym. (2017)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑26,9 % (p<0,001) Raskas voima-ryhmä ↑17,5 % (p<0,001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	Quadriceps paksuus ultraäänellä mitattuna: BFR-ryhmä ↑1,3 % Raskas voima-ryhmä ↑4,0 % (p=0,018) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä
Hyliden ym. (2015)	Polven ojennus isokineettinen (90 °/s) MVC: ↑33,4 % ±23,8 Ei kontrolliryhmää	Polven koukistus isokineettinen (90 °/s) MVC: ↑28,8 % ±25,6 Ei kontrolliryhmää
Loenneke ym. (2012)	Ei mitattuja muuttujia	Ei mitattuja muuttujia

9.1.4 Yhteenveto BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista tuki- ja liikuntaelin sairauksien kuntoutuksessa

Tutkimustulokset viittaavat siihen, että BFR-menetelmää voidaan käyttää postoperatiivisesti sekä ACL-leikkauksen että polven tähystysleikkauksen jälkeen. Kaksi viikkoa kestänyt BFR-harjoittelujakso voi suojata ACL-leikkauksen jälkeiseltä lihastrofialta (Takarada ym. 2000b), mutta toisaalta urheilijaväestöllä isometriset harjoitteet ilman BFR:ää voivat olla yhtä tehokkaita lihasmassan säilyttämisessä (Iversen ym. 2014). ACL-leikkauksen jälkeinen pidempi, 16 viikon mittainen, BFR-harjoittelu tehostaa etureiden poikkipinta-alan ja reiden lihasten voiman ylläpitämistä verrattuna kevyeen voimaharjoitteluun ilman BFR-menetelmää. (Ohta, Kurosawa, Ikeda, Iwase, Satou & Nakamura. 2003.) BFR-voimaharjoittelua voidaan käyttää normaalin fysioterapeuttisen kuntoutuksen lisänä tehostamaan lihasmassan ja –voiman kasvua sekä suoriutumista toiminnallisissa testeissä polven tähystysleikkauksen jälkeen. (Tennent ym. 2016.)

Polven nivelrikon ennaltaehkäisyä ja kuntoutusta koskien tutkimustulokset viittaavat siihen, että BFR-harjoittelu kevyellä kuormalla (30% 1RM-painosta) kasvattaa polven ojentajien voimaa polven nivelrikon riskiryhmässä olevilla naisilla enemmän kuin vastaava harjoittelu tehtynä ilman BFR-menetelmää (Segal ym. 2016). BFR-voimaharjoittelu kasvattaa näitä muuttujia nivelrikkodiagnoosin saaneilla naisilla yhtä tehokkaasti, mutta vähemmällä kiputuntemuksella harjoittelun aikana, kuin raskaalla kuormalla tehty voimaharjoittelu (Fernandez-Bryk ym. 2016). Toisaalta Polven nivelrikon riskiryhmässä olevilla miehillä

BFR-harjoittelulla ei saatu suurempaa hyötyä verrattuna vastaavalla kevyellä kuormalla tehtyyn voimaharjoitteluun tehtynä ilman BFR-menetelmää (Segal ym. 2015).

BFR-harjoittelu vaikuttaa olevan vähintään yhtä tehokasta polven ojennusvoiman harjoittamiseen patellofemoraalikivusta kärsivillä henkilöillä, kuin raskas voimaharjoittelu. BFR-harjoittelu aiheuttaa tälle kuntoutujaryhmälle vähemmän polven kiputuntemusta harjoittelun aikana verrattuna raskaaseen voimaharjoitteluun. (Giles ym. 2017.) BFR-voimaharjoittelu voi olla hyvä vaihtoehto reisilihasten voiman kasvattamiseen muita alaraajan vammoja saaneille henkilöille, jotka eivät pysty harjoittelemaan raskailla painoilla tai henkilöille, joilla on merkittävää lihasheikkoutta alaraajojen lihaksissa. (Hylden ym. 2015.) BFR-menetelmää voidaan käyttää myös lihasmassan ylläpitämiseen loukkaantumisten aikana urheilijoilla (Loenneke ym. 2012).

9.2 BFR-menetelmän käyttö ikääntyneiden kuntoutuksessa

Blood flow restriction -menetelmän yhdistämistä iäkkäiden harjoitteluun käsitteli yhteensä 13 artikkelia. Näistä BFR:n käyttöä voimaharjoittelun kanssa käsitteli yhdeksän tutkimusta ja kävelyharjoittelun kanssa neljä tutkimusta. Voimaharjoittelututkimuksista kuusi artikkelia keskittyi alaraajojen voimaharjoitteluun, kolme artikkelia yläraajojen voimaharjoitteluun ja lisäksi yhdessä tutkimuksessa tarkasteltiin sekä ylä- että alaraajojen adaptaatioita BFR-harjoittelun seurauksena. Ikääntyneiden kuntoutusta käsittelevien tutkimuksien tarkat kuvaukset on koottu taulukkomuotoon liitteessä 2.

9.2.1 Voimaharjoittelu

9.2.1.1 Alaraajojen voimaharjoittelu

Shimizun ym. (2016) tutkimuksessa neljän viikon ajan ylä- ja alaraajoille tehty kevyen vastuksen BFR-harjoittelu sai aikaan suuremman voiman kasvun iäkkäillä henkilöillä (keski-ikä: 71 ± 4 v) ylä- ja alaraajojen voimassa verrattuna ryhmää, joka teki vastaavat harjoitteet ilman verenkierron rajoitusta. BFR-ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi enemmän

jalkaprässin 1RM-tulosta (BFR-ryhmä \uparrow 11 %, voimaryhmä \downarrow 2,3 %, $p < 0,01$) ja polven ojennuksen 1RM-tulosta (BFR-ryhmä \uparrow 19 %, voimaryhmä \uparrow 3,5 %, $p < 0,05$). Yläraajojen voimamittaustulokset esitellään seuraavassa kappaleessa (9.2.1.2 Yläraajojen voimaharjoittelu) (Shimizu, Hotta, Yamamoto, Matsumoto, Kamiya, Kato, Hamazaki, Kamekawa, Akiyama, Kamada, Tanaka & Masuda, 2016.)

Libardin ym. (2014) tutkimuksessa 12 viikon BFR-voimaharjoittelu ja raskas voimaharjoittelu paransivat tilastollisesti merkitsevästi, ja yhtä paljon, etureiden poikkipinta-alaa (BFR-ryhmä \uparrow 7,6 %, voimaryhmä \uparrow 7,3 %) sekä jalkaprässin 1RM-kuormaa (BFR-ryhmä \uparrow 35,4 %, voimaryhmä \uparrow 38,1 %) iäkkäillä henkilöillä (keski-ikä $64 \pm 4,1$ v). BFR-ryhmän voimaharjoittelun kokonaisvolyyymi oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää voimaryhmään verrattuna (Viikot 1–6: BFR-ryhmä 10014 kg vs. voimaryhmä 18830 kg, $p < 0,05$; viikot 7–12: BFR-ryhmä 17704 kg vs. voimaryhmä 27611kg, $p < 0,05$) Molemmat ryhmät tekivät myös kestävyysharjoittelua kävellen tai juosten voimaharjoittelun rinnalla samanlaisilla ohjelmilla. Maksimihapenottokyky parani molemmilla ryhmillä yhtä paljon (VO₂maxpeak: BFR-ryhmä \uparrow 10,3 %, voimaryhmä \uparrow 9,5 %). (Libardi, Chacon-Mikahil, Cavaglieri, Tricoli, Roschel, Vechin, Conceicao & Ugrinowitsch, 2014.)

Vechinin ym. (2015) iäkkäillä koehenkilöillä (keski-ikä: 64 vuotta) tehdyssä tutkimuksessa 12 viikon harjoittelun jälkeen raskasta voimaharjoittelua tehnyt ryhmä paransi jalkaprässin 1 RM-tulosta enemmän, kuin BFR-ryhmä (raskas voima: 50,3 %, BFR-ryhmä: 15,3 %), mutta ryhmien välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. BFR-ryhmä taas paransi prosentuaalisesti enemmän etureiden poikkipinta-alaa (BFR-ryhmä: 16,9 %, raskas voima: 7,4 %), mutta tämänkään muuttuja osalta ryhmien välinen ero ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä. (Vechin, Libardi, Conceicao, Damas, Lixandrao, Berton, Tricoli, Roschel, Cavaglieri, Chacon-Mikhail & Ugrinowitsch, 2015.)

Pattersonin & Fergusonin (2011) tutkimuksessa iäkkäiden henkilöiden (62–73 vuotta) BFR-harjoittelua tehneen alaraajan plantaarifleksion 1RM-tulos (BFR-raaja \uparrow 14 %, kevyt voima \uparrow 4 %, $p > 0,05$), isometrinen maksimivoima (BFR-raaja \uparrow 18 %, kevyt voima \uparrow 4%) sekä isokineettinen maksimivoima (BFR-raaja \uparrow 15,6 %, kevyt voima 0 %) kasvoivat merkitsevästi enemmän verrattuna raajaan, jolla tehtiin sama harjoitusohjelma ilman verenkierron rajoitusta. (Patterson & Ferguson, 2011.)

Yasudan ym. (2016) tutkimuksessa 12 viikon harjoittelujakson jälkeen BFR-harjoittelua tehnyt ryhmä paransi enemmän polven ojennuksen 1RM-tulosta (BFR-ryhmä 7,6 %, raskaan voimaharjoittelun ryhmän tuloksia ei ilmoitettu tarkasti muuttujan osalta), polven ojennuksen isometristä maksimivoimaa (BFR-ryhmä 13,7 %, raskaan voimaharjoittelun ryhmän tuloksia ei ilmoitettu tarkasti muuttujan osalta) ja etureiden poikkipinta-alaa (BFR-ryhmä 6,9 % vs. raskasvoima 1,5 %) verrattuna raskaan voimaharjoittelun ryhmään. Raskaan voimaharjoittelun ryhmä taas paransi enemmän jalkaprässin 1RM-tulosta (Raskas voima 17,6 %, BFR-ryhmä 16,4 %). Mittatuissa muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä. (Yasuda, Fukumura, Tomaru & Nakajima, 2016.)

Yokokawa ym. (2008) tutkimuksessa selvitettiin kahdeksan viikon aikana toteutetun BFR-voimaharjoittelun (BFR-ryhmä, n=24, keski-ikä 72,3) ja tasapainoharjoittelun (tasapainoryhmä, n=27, keski-ikä 71,0) vaikutuksia ikääntyneiden fyysiseen toimintakykyyn. BFR-ryhmä paransi prosentuaalisesti enemmän puristusvoimaa oikeassa ja vasemmassa kädessä sekä polven ojennuksen isometristä maksimivoimaa vasemmassa ja oikeassa alaraajassa verrattuna tasapainoryhmään. Myös reaktioaika vertikaalihyppyyn, TUG-testiin käytetty aika sekä eteenpäin kurotus -testi paranivat BFR-ryhmällä prosentuaalisesti enemmän kuin tasapainoryhmällä. Tasapainoryhmä paransi prosentuaalisesti enemmän askeleen maksimipituutta ja yhdellä jalalla seisomisen aikaa. Ryhmien väliltä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja mitatuissa muuttujissa. (Yokokawa, Hongo, Urayama, Nishimura & Kai, 2008.) Taulukossa 14 on esitelty ikääntyneiden alaraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 14. Ikääntyneiden alaraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Shimizu ym. (2016)	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑11 % (p<0,01) Kevytvoima -ryhmä ↓2,3 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)	Polven ojennus 1RM: BFR-ryhmä ↑19 % (p<0,01) Kevytvoima-ryhmä ↑3,5 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)
Libardi ym. (2016)	Jalkaprässi 1RM BFR-ryhmä ↑35,4 % (p=0,001) Raskasvoima-ryhmä ↑38,1 % (P<0,001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	Etureiden mCSA: BFR-ryhmä ↑7,6 % (p<0,0001) Raskasvoima-ryhmä ↑7,3 % (p<0,0001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä

Taulukko 14 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 14 jatkoa edelliseltä sivulta

Vechin ym. (2015)	Jalkaprässi 1RM BFR-ryhmä ↑15,8 % (p=0,067) Raskasvoima-ryhmä ↑50,3 % (p<0,001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	Etüreiden mCSA: BFR-ryhmä ↑16,9 % (P<0,001) Raskasvoima-ryhmä ↑7,4 % (P<0,001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä
Patterson & Ferguson (2011)	Nilkan plantaarifleksio 1RM BFR-raaja ↑14 % (p<0,05) Kevyt voima-raaja ↑4 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)	Nilkan plantaarifleksion isometrinen MVC: BFR-raaja ↑18 % Kevyt voima-raaja ↑4 % Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä
Yasuda ym. (2016)	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑16,4 % (p<0,001), Raskas voima-ryhmä ↑17,6 % (p<0,001) Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	Etüreiden mCSA: BFR-ryhmä ↑6,9 % (p<0,001), Raskas voima-ryhmä ↑1,5 % Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä
Yokokawa ym. (2008)	Polven ojennus isometrinen MVC (oikea / vasen): BFR-ryhmä: ↑6,9 % (p=0,007) / ↑20,3 % (p<0,001), Tasapainoryhmä: ↓5,4 %, /↓3,8 % Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	TUG-testin aika: BFR-ryhmä ↓15,3 % (P<0,001) Tasapainoryhmä: ↑5,8 %, Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä

9.2.1.2 Yläraajojen voimaharjoittelu

Shimizun ym. (2016) tutkimuksessa BFR-harjoittelua tehnyt ryhmä paransi soutuliikkeen 1RM-tulosta tilastollisesti merkitsevästi enemmän verrattuna ryhmään, joka teki kevyttä voimaharjoittelu ilman verenkierron rajoitusta (BFR-ryhmä ↑9,2 %, kevytvoima-ryhmä 7,4 % p<0,05). Myös rintaprässin tulos parani enemmän BFR-ryhmällä, mutta ero ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä (BFR-ryhmä ↑5,8 %, kevytvoima-ryhmä ↑4,6 %). (Shimizu ym. 2016)

Thiebaudin ym. (2013b) tutkimuksessa vertailtiin kuminauhavastuksella kahdeksan viikon ajan tehdyn BFR-voimaharjoittelun sekä raskaan voimaharjoittelun vaikutuksia yläraajojen voimaan ja lihasmassaan ikääntyneillä naisilla (ka. 61v). Kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen molempien ryhmien 1RM-tulokset paranivat merkitsevästi rintaprässissä, pystypunnerruksessa ja soutuliikkeessä (p<0,05). Myös pectoralis major-lihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi molemmilla ryhmillä (P=0,04). Deltoideus, biceps brachii ja triceps brachii lihaksissa ei havaittu poikkipinta-alan kasvua harjoittelun seurauksena kummallakaan ryhmällä. Missään mitatuissa muuttujissa ei löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja

muutoksissa ryhmien välillä. (Thiebaud, Loenneke, Fahs, Rossow, Kim, Abe, Anderson, Young, Bemben & Bemben, 2013b.)

Yasudan ym. (2015a) tutkimuksessa tutkittiin myös kuminauhaharjoittelun vaikutusta yläraajojen lihasmassaan ja voimaan iäkkäillä naisilla (61–85v). 12 viikon harjoittelun seurauksena BFR-ryhmä paransi enemmän kyynärpään ojentajien (BFR-ryhmä ↑15,3%, kuminauharyhmä ↑0,0 %) ja koukistajien (BFR-ryhmä ↑15,5 %, kuminauharyhmä ↓0,9 %) poikkipinta-alaa sekä kyynärpään ojennuksen (BFR-ryhmä ↑16,4 %, kuminauharyhmä ↑1,1 %) ja koukistuksen (BFR-ryhmä ↑7,4 %, kuminauharyhmä ↓2,6 %) isometristä maksimivoimaa verrattuna kevyellä vastuksella ilman verenkierron rajoitusta harjoitelleeseen ryhmään. Erot ryhmien välillä voiman ja lihasmassan kehityksessä eivät saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä. (Yasuda, Fukumura, Iida & Nakajima, 2015a.)

Yasudan ym. (2015b) vastaavassa tutkimuksessa koeasetelma ja koehenkilöjoukko olivat samanlaiset. Tulokset olivat myös samansuuntaiset. 12 viikon harjoittelun jälkeen BFR-ryhmä kasvatti kyynärpään ojentajien ja koukistajien poikkipinta-alaa (BFR-ryhmä: Ojentajat ↑17,4 % ja koukistajat ↑17,6 %) sekä ojentajien ja koukistajien isometristä maksimivoimaa (BFR-ryhmä: Ojentajat ↑16,1 % ja koukistajat ↑7,8 %) tilastollisesti merkitsevästi. Pelkkää kuminauhaharjoittelua tehnyt ryhmäryhmä ei parantanut mitään muuttujia tilastollisesti merkitsevästi. Pelkkää kuminauhaharjoittelua tehneen ryhmän tuloksia ei raportoitu tarkasti. (Yasuda, Fukumura, Ushida, Koshi, Iida, Masamune, Yamasobas, Sato & Nakajima, 2015b.) Taulukossa 15 on esitelty ikääntyneiden yläraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 15. Ikääntyneiden yläraajojen voimaharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Shimizu ym. (2016)	Rintaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑5,8 % Kevyt voima-ryhmä ↑4,6 % Ei tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä	Soutuliike 1RM: BFR-ryhmä ↑9,2 % Kevyt voima-ryhmä 7,4 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)
Thiebaud ym. (2012)	Rintaprässi 1RM Kasvoi molemmilla ryhmillä (BFR- ja raskas voima-ryhmä) tilastollisesti merkitsevästi (p<0,05) Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä	Rintalihas mCSA: Kasvoi molemmilla ryhmillä (BFR- ja raskas voima-ryhmä) tilastollisesti merkitsevästi (p=0,04), Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä

Taulukko 15 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 15 jatkoa edelliseltä sivulta

Yasuda ym. (2015a)	Kyynärpään ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑16,4 % (p<0,01) Kevyt voima-ryhmä ↑1,1 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Kyynärpään ojentajien mCSA: BFR-ryhmä ↑15,3% (p<0,01) Kevyt voima-ryhmä ↑0,0 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Yasuda ym. (2015b)	Kyynärpään ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑16,1 % (p=0,0131) Kevyt voima-ryhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Kyynärpään ojentajien mCSA: BFR-ryhmä ↑17,4 % (p=0,013) Kevyt voima-ryhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä

9.2.2 Kävelyharjoittelu

Blood flow restriction -menetelmän käyttöä kävelyharjoittelun yhteydessä iäkkäillä henkilöillä tarkasteli neljä tutkimusta. Aben ym. (2010) tutkimuksessa tarkasteltiin kuuden viikon BFR-kävelyharjoittelujakson vaikutuksia iäkkäiden (60–78v) henkilöiden jalkojen lihasvoimaan, lihasmassaan ja aerobiseen kuntoon. Harjoittelun seurauksena reiden ja säären lihasten poikkipinta-ala, koko kehon lihasmassa, polven ojennuksen ja koukistuksen isometrinen ja isokineettinen maksimivoima, TUG-testin aika ja 30 sekunnin istumasta seisomaan nousu-testin tulos paranivat tilastollisesti merkitsevästi BFR-ryhmällä. Kontrolliryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia missään mitatuissa muuttujissa. (Abe, Sakamaki, Fujita, Ozaki, Sugaya, Sato & Nakajima, 2010.)

Clarkson ym. (2017) vertailivat BFR-kävelyn ja ilman verenkierronrajoitusta tehdyn kävelyn vaikutuksia iäkkäiden henkilöiden (60–80v) kävelykuntoon ja suoriutumiseen toiminnallisissa testeissä. Kuuden viikon mittaisen harjoittelujakson jälkeen BFR-kävelyryhmä paransi kaikkia mitattuja muuttujia (30s istumasta seisomaan nousu -testi, TUG-testi, 6 minuutin kävelytesti ja Queen's college step -testi) tilastollisesti merkitsevästi enemmän verrattuna kävelyryhmään (kaikissa p<0,05). (Clarkson, Conway & Warmingtton, 2017.)

Ozakin ym. (2011a & 2011b) tutkimuksissa vertailtiin 10 viikon BFR-kävelyharjoittelun ja ilman verenkierron rajoitusta tehdyn kävelyharjoittelun vaikutuksia ikääntyneiden (57–76 vuotta) alaraajojen lihasvoimaan ja -massaan. Molemmissa tutkimuksissa BFR-kävelyryhmä paransi alaraajojen lihasmassaa ja -voimaa enemmän verrattuna kävelyryhmään.

Tutkimuksissa mitattiin yhteensä kahtatoista muuttujaa, joista kymmenessä BFR-kävelyryhmän parannus oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa verrattuna kävelyryhmään. Ozakin ym. (2011b) tutkimuksessa mitattiin myös toiminnallisia testejä (TUG-testi ja 30s istumasta ylösnousu-testi). Näissä BFR-ryhmä paransi tuloksia prosentuaalisesti enemmän, mutta ero kävelyryhmään ei saavuttanut tilastollista merkittävyyttä. (Ozaki, Miyachi, Nakajima & Abe, 2011a; Ozaki, Sakamaki, Yasuda, Fujita, Ogasawara, Sugaya, Nakajima & Abe, 2011b.) Taulukossa 16 on esitelty ikääntyneiden kävelyharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 16. Ikääntyneiden kävelyharjoittelua käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Abe ym. (2010)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑11,8 % (p<0,05) Kontrolli ↓2,2 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Reiden lihasmassa: BFR-ryhmä ↑10,7 % (p<0,01) Kontrolli ↓2,9 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Clarkson ym. (2017)	6MWT kävelty matka: BFR-ryhmä ↑9 % Kävelyryhmä ↑2 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p>0,05)	TUG-testin aika: BFR-ryhmä ↓12 % Kävelyryhmä ↑5 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p>0,05)
Ozaki ym. (2011a)	Polven ojennus isokineettinen (30 °/s) MVC: BFR-ryhmä ↑8,7 % (p<0,01) Kävelyryhmä ↑2,7 % Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Etüreiden mCSA: BFR-ryhmä ↑3,2 % (p<0,01) Kävelyryhmä ↓0,2 % Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)
Ozaki ym. (2011b)	Polven ojennus isokineettinen (30 °/s) MVC: BFR-ryhmä ↑8,4 % (p<0,01) Kävelyryhmä ↑0 % Merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)	Etüreiden mCSA: BFR-ryhmä ↑3,0 % (p<0,01) Kävelyryhmä ↓0,6 % Merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)

9.2.3 Yhteenveto BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista ikääntyneiden kuntoutuksessa

Tulosten mukaan BFR-voimaharjoittelu parantaa ylä- ja alaraajojen voimaa iäkkäillä henkilöillä tehokkaammin, kuin vastaava harjoittelu tehtynä ilman verenkierron rajoitusta. (Shimizu ym. 2016) Neljän viikon mittainen kevyellä kuormalla tehty BFR-harjoittelu voi olla tehokkaampaa plantaarifleksoreiden voiman parantamisessa iäkkäillä henkilöillä verrattuna vastaavaan harjoitteluun ilman verenkierron rajoitusta (Patterson & Ferguson,

2011). BFR-voimaharjoittelu aiheuttaa yhtä suuren parannuksen alaraajojen voimassa ja lihasmassassa sekä kestävyyskunnossa kuin raskas voimaharjoittelu yhdistettynä kestävyysarjoittelun kanssa (Libardi ym. 2014). BFR- ja raskas voimaharjoittelu kasvattavat tehokkaasti alaraajojen voimaa ja lihasmassaa, mutta raskas voimaharjoittelu vaikuttaa olevan tehokkaampaa alaraajojen voiman kehittämisessä. (Vechin ym. 2015.)

Yläraajoissa kevyellä kuormalla tehty BFR-harjoittelu aiheuttaa yhtä suuren voiman ja lihasmassan kasvun kuin raskaalla vastuksella tehty voimaharjoittelu (Thiebaud ym. 2013b). Kuminauhavastuksella tehtyä BFR-harjoittelua voidaan käyttää ehkäisemään ikääntymisestä seuraavaa lihaskatoa ja parantamaan polven ojentajalihasten voimaa ja lihasmassaa iäkkäillä henkilöillä (Yasuda ym. 2016). Kotona tehtyä kuminauhaharjoittelua BFR-menetelmän kanssa voidaan käyttää yläraajojen lihasmassan ja voiman harjoittamiseen iäkkäillä henkilöillä. (Yasuda ym. 2015a; Yasuda ym. 2015b) BFR-harjoittelulla pystytään parantamaan suoriutumista myös päivittäisissä toimissa lihasmassan ja -voiman lisäksi. (Yokokawa ym. 2008)

Tutkimusnäytön mukaan BFR- kävelyharjoittelun avulla voidaan kehittää ikääntyneiden henkilöiden alaraajojen voimaa, lihasmassaa ja suoriutumista toiminnallisissa testeissä, enemmän kuin kävelyharjoittelulla ilman verenkierron rajoitusta (Abe ym. 2010; Clarkson ym. 2017; Ozaki ym. 2011a; Ozaki ym. 2011b). BFR-kävelyharjoittelu ei paranna maksimaalista hapenottoa (VO₂maxpeak) enempää kuin kävely ilman BFR-menetelmää (Abe ym. 2010; Ozaki ym. 2011b), mutta BFR-kävelyharjoittelu parantaa kuitenkin kävelykykyä (6MWT) tilastollisesti enemmän kuin kävely ilman verenkierron rajoitusta (Clarkson ym. 2017). BFR-kävelyharjoittelu vaikuttaakin olevan varteenotettava harjoitusmuoto erityisesti sellaisissa tilanteissa, joissa korkeaintensiteettinen harjoittelu on kontraindikoitua (Clarkson ym. 2017).

9.3 BFR-menetelmän käyttö muiden kuntoutujaryhmien kuntoutuksessa

Muihin fysioterapiaan liittyviin käyttömahdollisuuksiin liittyen blood flow restriction -menetelmän tehokkuutta on tutkittu immobilisaation aikaisen lihaskadon ehkäisyssä, poly-

myosiitti- ja selkäydinvammapotilaiden kuntoutuksessa sekä vedessä tapahtuvan harjoittelun yhteydessä. Näitä potilas- ja kuntoutujaryhmiä koskevien tutkimusten tarkat sisällöt on koottu taulukkomuotoon liitteeseen 3.

9.3.1 Lihaskadon ennaltaehkäisy immobilisaation aikana

Kolme tutkimusta tarkasteli BFR-menetelmän käyttöä lihaskadon ennaltaehkäisyssä immobilisaation aikana. Cookin ym. (2010) tutkimuksessa selvitettiin BFR-harjoittelun vaikutuksia alaraajan lihasmassan ja -voiman ylläpitoon 30 päivän pakotetun raajan käyttämättömyyden aikana. BFR-ryhmä suoritti intervention ajan polven ojennusharjoitteita yhdistettynä BFR-menetelmän käyttöön. Toinen ryhmä ei harjoitellut interventiojakson aikana. Interventiojakson jälkeen BFR-ryhmän etureiden poikkipinta-ala, polven ojennuksen isometrinen maksimivoima ja polven ojennuksen 1RM tulos pysyivät alkutestien tasolla. Polven ojennuksen kestovoima jopa parani BFR-ryhmällä 28 %. Kontrolliryhmällä muuttujissa havaittiin huomattavaa heikkenemistä. Ryhmien välillä muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä etureiden poikkipinta-alassa ($p=0,04$), polven ojennuksen 1RM:ssä ($p=0,02$) ja polven ojennuksen kestovoimassa ($p=0,003$). BFR-harjoittelu ei suojannut intervention aikaiselta nilkan plantaarifleksoreiden lihasatrofialta ja lihasvoiman heikkenemiseltä. (Cook, Brown, DeReuisseau, Kanaley & Ploutz-Snyder. 2010.)

Kubotan ym. (2008) tutkimuksessa selvitettiin ilman harjoittelua tehtävän BFR-menetelmän sekä isometrisen harjoittelun vaikutuksia voimaan ja lihasmassaan pakotetun immobilisaation aikana. Harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä polven ojennuksen ja koukistuksen maksivoima heikkeni kaikissa mittauksissa, sekä isokineettisissä että isometrisissä. Näistä useat muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Isometristä harjoittelua tehneellä ryhmällä polven ojennuksen ja koukistuksen isometriset ja isokineettiset maksimivoimat heikkenivät kaikissa muissa, paitsi isometrisessä polven koukistuksessa. Muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Verrattaessa polven ojennus ja koukistusvoiman kehitystä ryhmien välillä, säilytti BFR-ryhmä voimatasonsa prosentuaalisesti paremmin verrattuna muihin ryhmiin. Nilkan plantaarifleksion maksimivoimassa oli havaittavissa myös saman-

kaltainen trendi, jossa BFR ehkäisi voiman vähenemistä enemmän muihin ryhmiin verrattuna. BFR-ryhmä näytti ylläpitävän myös reiden lihasmassan paremmin kahden viikon seurantaajan aikana verrattuna isometrinenharjoittelu-ryhmään ja kontrolliryhmään. Ryhmien väliltä ei löydetty mitatuista muuttujista tilastollisesti merkitseviä eroja. (Kubota, Sakuraba, Sawaki, Sumide & Tamura. 2008.)

Kubotan ym. (2010) tutkimuksessa tutkittiin kahden viikon ajan kipsin avulla aiheutetun vasemman alaraajan immobilisaation vaikutusta alaraajojen voimaan ja lihasmassaan BFR-ryhmällä (ei harjoittelua, pelkkä verenkierron rajoitus), sekä harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä. Immobilisaatiojakson jälkeen polven ojennusvoima laski isometrisessä sekä isokineettisissä testeissä eri kulmanopeuksilla BFR-ryhmällä keskimäärin 14,3 % ja kontrolliryhmällä 21,2 %. Tilastollisesti merkitsevä ero polven ojentajalihasten maksimi-voiman laskussa havaittiin ryhmien välillä 60 °/s ekstreksentrisen lihastyön aikana (BFR-ryhmä ↓12,5 % vs. kontrolli ↓32,6 %, $p < 0,05$). Polven koukistusvoima laski isometrisessä sekä isokineettisissä testeissä eri kulmanopeuksilla BFR-ryhmällä keskimäärin 5,0 % ja kontrolliryhmällä 15,6 %. Tilastollisesti merkitsevät erot ryhmien välillä löytyivät voiman laskussa isometrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓3,9 % vs. kontrolli ↓21,6 %, $p < 0,05$), 60 °/s konsentrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓7,1 % vs. kontrolli ↓19,4 %, $p < 0,05$), 300 °/s konsentrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓3,8 % vs. kontrolli ↓15,8 %, $p < 0,05$) sekä 60 °/s ekstreksentrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓3,6 % vs. kontrolli ↓19,1 %, $p < 0,01$). Lisäksi tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien väliltä löytyi nilkan plantaarifleksion 60 °/s ekstreksentrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓0,2 % vs. kontrolli ↓16,1 %, $p = 0,02$). Reiden ja säären ympärystämmittojen pienenemisessä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien väliltä. (Kubota, Sakuraba, Koh, Ogura & Tamura, 2010.) Taulukossa 17 on esitelty lihaskadon ennaltaehkäisyä käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 17. Lihaskadon ennaltaehkäisyä käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Cook ym. (2010)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓2% kontrolliryhmä ↓15,4% Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Etäreiden mCSA: BFR-ryhmä ↓n.1% Kontrolliryhmä ↓7,5% Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p = 0,04$)

Taulukko 17 jatkuu seuraavalla sivulla

Taulukko 17 jatkoa edelliseltä sivulta

Kubota ym. (2008)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓4,4% Isometrinen ryhmä ↓16,5% Kontrolliryhmä ↓22,6%(p=0,005) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑0,4% Isometrinen ryhmä ↑13,0% Kontrolliryhmä ↓20,3% Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä
Kubota ym. (2010)	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓17,3% (p<0,05) Kontrolliryhmä ↓22,7 % (p>0,001) Ei tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä	Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓3,8% Kontrolliryhmä ↓21,6% (p<0,05) Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)

9.3.2 Polymyosiittipotilaiden kuntoutus

Yhteensä kaksi tutkimusta on tarkastellut BFR-menetelmän sovellusmahdollisuuksia polymyosiittipotilaiden kuntoutuksessa. Polymyosiitti on yleistynyt autoimmuunilihashastulehdus, jolle ominaista on lihasheikkous ja siitä seuraava fyysisen suoriutumisen heikkeneminen. Polymyosiitin alalajeista yleisin on dermatomyosiitti, johon liittyy myös iho-oireita. (Reumaliitto, 2011.) Mattarin ym. (2014) tutkimuksessa tarkasteltiin BFR-voimaharjoittelun vaikutusta polymyosiitti- ja dermatomyosiittipotilaiden alaraajojen voimaan sekä suoriutumiseen toiminnallisissa testeissä (Mattar, Gualano, Perandini, Shinjo, Lima, Sa-Pinto & Roschel, 2014.) Jörgensenin ym. (2016) case-tutkimuksessa yksi polymyosiittipotilas suoritti 12 viikon ajan kahdesti viikossa BFR-voimaharjoittelua. (Jörgensen, Aagaard, Nielsen, Frandsen & Diederichsen, 2016).

BFR-harjoittelun seurauksena Mattarin ym. (2014) tutkimuksessa saatiin aikaan tilastollisesti merkitsevät parannukset jalkaprässin ja polven ojennuksen maksimivoimassa (p<0,001), etureiden-poikkipinta-alassa (p=0,01), 30 sekunnin istumasta seisomaan nousu-testissä (p<0,001) sekä TUG-testissä (p=0,002). Harjoittelun jälkeen myös elämäntilaan ja päivittäisistä toimista suoriutumiseen liittyvissä kyselyissä havaittiin tilastollisesti merkitseviä parannuksia koehenkilöillä. BFR-harjoittelu ei myöskään lisännyt tulehdusmarkkereiden (kreatiinikinaasi ja aldolaasi) määrää koehenkilöiden veressä. (Mattar ym. 2014). Jörgensenin ym. (2016) case-henkilö paransi huomattavasti isometristä maksimivoimaa (60 %) sekä voimantuottonopeutta polvenojennuksessa. Myös tehontuotto polven ojennusharjoitteessa heikommalla jalalla kehittyi huomattavasti (48 %). Case-henkilön 10m kävelytestin maksiminopeus kasvoi myös 19 %. (Jörgensen ym. 2016.) Taulukossa

18 on esitelty polymyosiittipotilaiden kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen.

Taulukko 18. Polymyosiittipotilaiden kuntoutusta käsitelleiden tutkimusten tulokset kahden tärkeimmän mitatun muuttujan suhteen

Tutkimus	Muuttuja 1	Muuttuja 2
Mattar ym. (2014)	Jalkaprässi 1RM: ↑19.6 % (p<0,001) Ei kontrolliryhmää	TUG-testin aika: ↓4,5 % (p=0,002) Ei kontrolliryhmää
Jørgensen ym. (2016)	Polven ojennus isometrinen MVC: ↑60 % Ei kontrolliryhmää	10m kävelytestin maksimikävelynopeus: ↑ 19 % Ei kontrolliryhmää

9.3.3 Selkäydinvamman jälkeinen kuntoutus

Gorgey ym. (2016) tarkastelivat tutkimuksessaan, kuinka BFR-menetelmän yhdistäminen yläraajan NMES-harjoitteluun vaikuttaa selkäydinvamman saaneiden henkilöiden ranteen dorsifleksoreiden poikkipinta-alaan, lihasten aktivaatioherkkyyteen sekä yläraajan toiminnallisuuteen. Kuuden viikon harjoittelun jälkeen koehenkilöiden BFR-käden Extensor carpi radialis- lihaksen poikkipinta-ala kasvoi 17 % (p=0,048). Pelkkää NMES-stimulaatiota saaneissa kädessä ei lihasmassan kasvua havaittu. Molempien käsien ranteiden dorsifleksoreiden aktivointiherkkyys parani yhtä paljon harjoittelun seurauksena. Suoriutuminen grasp and release- testissä havaittiin paranemista molemmissa yläraajoissa, mutta kehitys ei ollut tilastollisesti merkitsevää kummallakaan yläraajalla. (Gorgey, Timmons, Dolbow, Bengel, Fugaet-Laus, Michener & Gater, 2016.)

9.3.4 Vedessä tapahtuva harjoittelu

Araujon ym. (2015) tutkimuksessa yhdistettiin Blood flow restriction –menetelmä vedessä tapahtuvaan harjoitteluun 8 viikon ajaksi. Harjoittelujakson jälkeen vain BFR-ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi polven ojennuksen 1RM-tulosta (BFR-ryhmä p=0,008; Vesi-harjoitteluryhmä p=0,338). Toiminnallisissa testeissä kehitystä havaittiin molemmilla

ryhmillä TUG -testissä ja istumasta seisomaannousu –testissä, mutta tilastollisia eroja ryhmien väliltä ei näistä muuttujista löytynyt. (Araujo, Neto, Loenneke, Bembem, Laurentino, Batista, Silva, Freitas & Sousa, 2015.)

9.3.5 Yhteenveto BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista muilla kuntoutujaryhmillä

Blood flow restriction -menetelmän käyttöä immobilisaation aikana tarkastelleiden tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että pelkällä verenkierron rajoituksella BFR-menetelmää käyttäen, tai sen yhdistämisellä isometrisiin harjoitteisiin, voidaan ehkäistä immobilisaatioon liittyvää lihasmassan ja –voiman heikkenemistä (Cook ym. 2010; Kubota ym. 2008; Kubota ym. 2010). BFR-harjoittelun on jopa havaittu parantavan lihaskestävyyttä polven ojentajalihaksissa immobilisaatiojakson aikana (Cook ym. 2010). Jo hyvin alhainen verenkierron rajoituspaine (50mmHg) voi olla riittävä ehkäisemään immobilisaation vaikutuksesta seuraavaa lihasvoiman- ja massan pienenemistä. (Kubota ym. 2010.)

Kevyellä intensiteetillä tehty voimaharjoittelu BFR-menetelmän kanssa vaikuttaa lupaavalta tekniikalta harjoittaa turvallisesti polymyosiittipotilaiden lihasvoimaa ja -massaa. Se voi myös parantaa tämän potilasryhmän päivittäisistä toimista suoriutumista. (Mattar ym. 2016; Jörgensen ym. 2016.) Tulosten perusteella BFR-menetelmää voidaan käyttää NMES-stimulaation yhteydessä tehokkeinona aikaansaamaan yläraajojen lihasten lihasmassan- ja aktivaatioherkkyyden kasvua ilman, että harjoittelun aikana tarvitsee käyttää ulkoista vastusta. Tämä lihasvoima ja -massan kasvu voivat myös edesauttaa käden toiminnallisuuden paranemisessa. (Gorgey ym. 2016.) BFR-menetelmän käyttö vedessä tapahtuvan harjoittelun aikana on vaikuttaa tehokkaammalta alaraajojen lihasvoiman kehittymisen kannalta verrattuna vesiharjoitteluun ilman BFR-menetelmää. (Araujo ym. 2015.)

10 Kuntoutujaryhmät, joilla Blood flow restriction -menetelmän käyttö on analysoitujen artikkelien mukaan perusteltua fysioterapeuttisessa harjoittelussa

Tässä kappaleessa vastataan toiseen tutkimuskysymykseen, ” Millaisilla kuntoutujaryhmillä blood flow restriction harjoittelun käyttö on analysoitujen tutkimusten mukaan perusteltua fysioterapeuttisessa harjoittelussa?”. Artikkelien tulosten ja yhteenvetojen perusteella saatiin seuraavat kuntoutujaryhmät, joiden harjoittelussa blood flow restriction –menetelmän käyttö on perusteltua:

- 1) BFR-menetelmää pystytään käyttämään lihasvoiman ja –massan kasvattamiseen tai ylläpitämiseen *alaraajojen, erityisesti polviniveleen liittyvien, tuki- ja liikunta-elinsairauksien kuntoutuksessa*. BFR:ää voidaan käyttää joko itsenäisenä harjoitusmenetelmänä, jos raskas voimaharjoittelu on kontraindikoitua, tai yhdessä raskaan voimaharjoittelun rinnalla.
- 2) BFR-menetelmä soveltuu *perusterveiden iäkkäiden* henkilöiden ylä- ja alaraajojen lihasvoiman ja –massan kasvattamiseen sekä toiminnallisten testien parantamiseen *voimaharjoitteluun yhdistettynä*. BFR:ää voidaan käyttää joko itsenäisenä harjoitusmenetelmänä, jos raskas voimaharjoittelu on kontraindikoitua, tai yhdessä raskaan voimaharjoittelun rinnalla
- 3) *BFR-kävelyharjoittelu* voi kehittää *iäkkäiden henkilöiden* alaraajojen voimaa ja lihasmassaa. Se myös parantaa kävelykykyä tehokkaammin kuin kävely tehtynä ilman verenkierron rajoitusta. BFR-kävelyä voidaan tehdä itsenäisenä tai muun aerobisen harjoittelun rinnalla.
- 4) BFR-menetelmää, ilman harjoittelua sekä yhdistettynä harjoitteluun, voidaan käyttää immobilisaation aikaisen lihasatrofian ehkäisyyn.
- 5) BFR-voimaharjoittelu on lupaava menetelmä harjoittaa polymyosiittipotilaiden lihasvoimaa ja –massaa sekä parantaa päivittäisistä toimista suoriutumista.

Lisäksi BFR-menetelmän käyttäminen tehokeinona vedessä tapahtuvan harjoittelun aikana, sekä NMES-stimulaatioon yhdistettynä selkädinvamman jälkeisessä yläraajan kuntoutuksessa ovat mielenkiintoisia ja lupaavia käyttökohteita BFR-menetelmälle, mutta lisätutkimusta turvallisuudesta ja hyödyllisyydestä tarvitaan lisää.

11 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tutkimustietoon perustuen blood flow restriction- harjoittelun käyttömahdollisuudet fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa. Opinnäytetyön tavoite oli eritellä tarkemmin, millaisia vaikutuksia blood flow restriction- menetelmällä saadaan fysioterapeuttisessa harjoittelussa tyypillisillä kuntoutujaryhmillä. Tämä opinnäytetyö on työn tekijöiden tietämyksen mukaan ensimmäinen suomen kielellä tehty tutkielma blood flow restriction- harjoittelusta ja sen käytöstä fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa.

11.1 Tutkimustulosten luotettavuuden ja sovellettavuuden arviointi

Analysoitujen tutkimusten tulokset antavat lupaavan kuvan blood flow restriction –menetelmän käytöstä terapeuttisessa harjoittelussa ja fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa. Tutkimusaineiston laadusta nousee kuitenkin muutamia tekijöitä, jotka vaikuttavat näiden tulosten luotettavuuteen ja sovellettavuuteen. Tutkimuksissa käytetyt koehenkilöryhmät ovat olleet yleensä pieniä. Suurimmassa osassa koehenkilöiden kokonaismäärä on ollut 15–40. Tämä joukko on jaettu kahteen tai kolmeen koehenkilöryhmään, jolloin koehenkilöryhmien koko on vaihdellut yleensä 5–20 hengen välillä. Näin pienistä koehenkilöotannoista tehtyjä yleistyksiä ei voida pitää täysin luotettavina. Tutkimuksia on tehty myös määrällisesti vähän spesifejä kuntoutujaryhmiä koskien, joka vaikeuttaa myös tarkkojen suositusten ja johtopäätösten tekemistä.

Laajemmassa kuvassa tarkasteltuna BFR-menetelmän tehokkuudesta on voimakkaampaa näyttöä. Esimerkiksi ACL-leikkauksen jälkeistä kuntoutusta tarkasteli yhteensä kolme tutkimusta, joissa oli yhteensä 84 koehenkilöä. Näin pienestä tutkimusmäärästä ja koehenkilöotannasta ei vielä voida tehdä ehdotonta johtopäätöstä BFR-harjoittelun hyödyistä tai vaikutuksista ACL-leikkauksen jälkeen. Mutta kun yhdistetään kaikkien tuki- ja liikuntaelinvammoja käsitelleiden tutkimusten tulokset yhteen, kasvaa näyttö BFR-menetelmän tehokkuudesta selkeästi. Tällöin tutkimusten määrä nousee kymmeneen ja koehenkilömäärä 294. Näin ollen väitteeseen ”BFR-harjoittelu tehostaa lihasvoiman ja –massan kasvua ACL-

leikkauksen jälkeisessä kuntoutuksessa” tulee suhtautua varauksella, mutta väitteen ”BFR-harjoittelu tehostaa lihasvoiman ja –massan kasvua alaraajojen tuki- ja liikuntaelinvammojen yhteydessä” takana on jo huomattavasti vahvempi näyttö.

lääkkäiden harjoittelua käsittelevissä tutkimuksissa toteutuu sama periaate. Kun yhdistetään iäkkäiden harjoittelussa niin ylä- kuin alaraajojen voimaharjoittelua käsittelevät tutkimukset yhteen, saadaan koehenkilömääräksi 210. Jos tähän yhdistetään vielä kävelyharjoittelua käsitelleet tutkimukset, nousee koehenkilömäärä 289:ään, jolloin näyttö BFR-harjoittelun käytöstä iäkkäiden harjoittelussa vahvistuu. Muita kuntoutujaryhmiä käsittelevistä tutkimuksista on vaikea tehdä tarkkoja johtopäätöksiä, koska tutkimusten määrä on niin vähäinen ja kuntoutujaryhmien erilaisuudesta johtuen tutkimusten tuloksia ei voida verrata keskenään toisiinsa. Immobilisaation aikaista kuntoutusta käsittelevät tutkimukset voidaan soveltaen liittää tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutusta käsittelevään tutkimusaineistoon, sillä näiden tutkimusten interventiot olivat samankaltaisia ACL-leikkauksia käsitelleiden tutkimusten kanssa. Nämä tutkimukset antavat lisää tukea BFR-menetelmän käytölle esimerkiksi erilaisten tuki- ja liikuntaelinoperaatioiden jälkeisen kuntoutuksen osana, jossa alaraajan käyttö on rajoitettua esim. kipsin tai vuodelevon takia.

Arvioitaessa tutkimusten laatua PEDro-pisteiden pohjalta, osoittautuvat tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutusta käsitelleet tutkimukset laadukkaimmiksi. Tätä käsittelevien tutkimusten PEDro-pisteiden keskiarvo on 5/10 pistettä. Myös kaikki suurimman PEDro-pistearvon saaneet (7/10 pistettä) viisi tutkimusta, käsittelevät tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutusta. Yksi kymmenestä tuki- ja liikuntaelinsairauksia käsitelleestä tutkimuksesta oli case-tutkimus, joka sai nolla pistettä PEDro-laadun arvioinnissa. Jos tätä tutkimusta ei oteta pistekeskiarvon laskennassa mukaan, nousee tules-tutkimusten pistekeskiarvo 5,6/10p. Ikääntyneiden harjoittelua käsitelleiden tutkimusten PEDro-pistekeskiarvo oli 4,4/10 ja muita kuntoutujaryhmiä käsitelleiden tutkimusten 3,6/10. PEDro-pistemäärät lisäävät näyttöä BFR-menetelmän käyttämisen puolesta alaraajojen tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutuksessa. Iäkkäiden ja muiden kuntoutujaryhmien harjoittelua koskien PEDro-pisteet eivät ainakaan lisää tulosten luotettavuutta. Alhaiset pisteet osoittavat tarpeen laadukkaampien tutkimusasetelmien käytölle ja paremmalle tulosten raportoinnille tulevaisuuden tutkimuksissa. PEDro-pisteytyksen mukaan japanilaisten tut-

kijaryhmien artikkelit eivät olleet laadultaan yhtä hyviä Euroopassa ja Yhdysvalloissa tehtyihin artikkeleihin verrattuna. Japanilaisissa artikkeleissa heikkoudeksi nousi koehenkilöiden harjoittelun sekä tutkimustulosten epäselvä tai riittämätön kuvaus.

Tulosten luotettavuutta kahdessa tutkimuksessa voi alentaa se, että niiden rahoittajana on toiminut Kaatsu Japan Corporation, joka on tutkimuksissa käytettyjen BFR-välineiden valmistaja ja patentin omistaja. Toisaalta tämä eturistiriita on ilmoitettu avoimesti ko. tutkimuksissa. (Yasuda ym. 2015a; Yasuda ym. 2016.) Tutkijaryhmiin liittyy myös toinen mahdollisesti tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttava tekijä. BFR-menetelmää tutkitaan tällä hetkellä paljon, mutta sitä tutkivia tutkimusryhmiä ei ole montaa maailmalla ja analysoiduissa tutkimuksissa on paljon samoja tutkijoita. Tämä saattaa yksipuolistaa näkökantoja menetelmää kohtaan ja luoda ennako-oletuksia tutkimusten tuloksista jo etukäteen tutkijoille. Edellä sanotut asiat ovat vain pohdintaa asioista, jotka voivat vaikuttaa tutkimusten luotettavuuteen. Ketään tutkijoita ei ole tarkoitettu syyttää tai epäillä vilpillisestä toiminnasta. Oletuksena tämän opinnäytetyön tekijöillä onkin, että kaikki opinnäytetyössä analysoidujen tutkimusten tutkijat toimivat tutkimuseettisesti oikealla tavalla.

Analysoiduista tutkimuksista 16 olivat RCT-tutkimuksia (joista kaksi tupla sokkoistettuja RCT-tutkimuksia), 6 CT-tutkimusta (controlled trial), 2 RT-tutkimuksia (randomized trial), 2 case-tutkimusta, 2 kokeellista tutkimusta (quasi experimental), 1 kliininen koe (clinical trial) ja 1 case-sarjatutkimus. Iso osa tutkimuksista oli siis satunnaistettuja ja kontrolloituja, joka lisää niiden luotettavuutta. Positiivisena voidaan pitää myös sitä, että tutkimusjoukoissa löytyi monia erilaisia tutkimusasetelmia. Uusien sovellusmahdollisuuksien tutkiminen lähtee yleensä liikkeelle case-tutkimuksista, joiden avulla saadaan ensimmäisiä mahdollisia viitteitä tutkittavan menetelmän hyödyistä ja joiden tulosten myötä pystytään arvioimaan tarvetta laajempien jatkotutkimusten tekemiselle. Case-tutkimusten mukaan ottamisella haluttiin tuoda näkyviin BFR-menetelmän mahdolliset muut sovellusmenetelmät (esim. polymyosiittipotilaiden kuntoutus), jotka olisivat tiukemman tutkimusasetelmiin pohjautuvan mukaanottokriteeristön seurauksena jääneet pimentoon tämän työn lukijoilta.

Tutkimuksissa on käytetty erilaisia menetelmiä verenkierron rajoituspaineen määrittämiseen. 30 analysoidusta tutkimuksesta 19 rajoituspainetta oli vakio kaikkien koehenkilöiden

kesken. Näissä tutkimuksissa paine on alussa asetettu matalaksi ja harjoittelujakson edessä sitä on nostettu. 30 tutkimuksesta 11 on rajoituspainetta yksilöity joko suhteuttamalla se ylä- tai alaraajan systoliseen lepoverenpaineeseen tai raajan LOP:iin. Myös käytetyt harjoitusohjelmat vaihtelevat tutkimusten kesken. Tutkimuksissa, joissa on tehty voimaharjoitteita BFR-menetelmän aikana, harjoitteiden määrä on vaihdellut yhden ja kuuden välillä, käytetty kuorma on vaihdellut 10–45 %:n välillä 1RM-kuormasta, työsarjoja on ollut jokaista harjoitetta kohti kolmesta viiteen ja näissä toistoja on tehty kymmenestä aina väsymykseen asti. Kävelyharjoitteluun yhdistettynä BFR-kävely on kestänyt 10-20 minuuttia, vauhdin ollessa 4 km/h tai 45 % koehenkilön sykereservistä. Erot harjoitusohjelmissa ja paineenmäärittystavoissa tekevät tutkimusten tulosten suoran vertailun vaikeammaksi. Toisaalta ei ole olemassa yhtä oikeaa harjoitusohjelmaa, jonka takia on tärkeää, että tutkimusasetelmissakin käytetään erilaisia harjoitusohjelmia ja protokollia.

Harjoitusjaksojen kesto on vaihdellut kahden ja 16 viikon välillä. 10 tutkimuksessa harjoitusjakso on kestänyt pidempään kuin kahdeksan viikkoa ja kuudessa tutkimuksessa alle neljä viikkoa. Tutkimustulokset antavat siis kuvan BFR-menetelmän akuuteista vaikutuksista. Pidempiaikaisen harjoittelun (6kk tai pidempi) vaikutuksista ei voida näiden tutkimusten pohjalta vetää johtopäätöksiä.

Lopuksi tutkimusten tulosten sovellettavuutta mietittäessä on tärkeä muistaa, että analysoitujen tutkimusten koehenkilöt olivat lähtökohtaisesti perusterveitä eikä heillä ollut esim. sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia. Poissulkukriteereinä tutkimuksissa oli mm. verenpainetauti tai taipumus veritukoksiin ja laskimoveritulppiin, joten tämän opinäytetyön tulokset eivät ole sovellettavissa sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia sairastaville henkilöille.

11.2 Blood flow restriction -harjoittelun rooli fysioterapeuttisessa kuntoutuksessa

Tarvitaanko blood flow restriction -harjoittelua? Tarjoaako se mitään uutta, tai tuoko se jotain lisää vanhoihin, olemassa oleviin menetelmiin verrattuna? Elokuussa 2017 julkais-

tussa meta-analyysissä Schoenfeld ym. (2017) osoittivat, että harjoittelemattomilla koehenkilöillä kevyellä kuormalla tehty voimaharjoittelu saa aikaan vastaavan lihassmassan kasvun kuin raskaalla kuormalla tehty voimaharjoittelu, kun harjoitteiden sarjat tehdään väsymykseen asti (Schoenfeld ym. 2017). Onko meillä siis tarvetta käyttää BFR-menetelmää harjoittelussa, jos ilman sitäkin saadaan raskasta voimaharjoittelua vastaavat kehitykset lihassmassassa?

Tärkeä huomio Schoenfeldin ym. (2017) meta-analyysistä on se, että analysoiduissa tutkimuksissa voimaharjoittelusarjat tehtiin väsymykseen asti (Schoenfeld ym. 2017). Iäkkäiden voimaharjoittelussa väsymykseen tehtävä harjoittelu voi (ja tulisivin) olla tavoitteena, mutta käytännön tasolla siihen on vaikea päästä. Väsymykseen asti tehtävä harjoittelu on raskasta ja vaativaa, kohderyhmä ei ole tottunut tällaiseen harjoitteluun ja se ei ole heille välttämättä mieluisaa. Myös postoperatiivisessa kuntoutuksessa varsinkin alkuvaiheen matalan kynnyksen harjoitteiden (esim. polven ojennus tai suoran jalan nosto) raskaus on niin matala, ettei niiden tekeminen väsymykseen asti ole käytännössä järkevää tai hyödyllistäkään. Esimerkiksi yllä kuvatuissa tilanteissa BFR-menetelmällä pystytään tehostamaan ei-väsymykseen asti tehdyistä voimaharjoitteista saatavaa lihassmassan kasvuvastetta. Tätä opinnäytetyötä varten analysoiduissa tutkimuksissa BFR-voimaharjoittelu tehtiin vain harvoissa väsymykseen asti ja silti lihassmassaan ja -voimaan saatiin ko. tutkimuksissa kehitystä aikaan.

Urheilijoilla on havaittu, että BFR-menetelmä yhdistettynä raskaaseen voimaharjoitteluun on mahdollisesti tehokkaampaa, kuin raskas voima- tai BFR-harjoittelu yksistään voiman ja lihassmassan kasvattamiseksi (Scott, Loenneke, Slattery & Dascombe, 2016). BFR-menetelmää voidaan siis mahdollisesti hyödyntää sen pienemmän kuormituksen ansiosta mm. urheilijoiden ja aktiiviliikkujien harjoittelussa esimerkiksi kevyillä viikoilla, jotta kevennetystä harjoittelustakin saadaan mahdollisesti suurempi hyöty. Pelkästään raskaiden vastusten käyttö voi myös olla ongelmallista mm. polvikivuista kuntoutuville, koska kivuliaan nivelen kuormittaminen raskailla painoilla voi pahentaa oireita entisestään (Tennent ym. 2016). Korvaamalla osan raskaasta voimaharjoittelusta BFR-harjoittelulla voidaan vähentää niveliin kohdistuvaa kuormitusta ja raskautta, mutta samalla pystytään kehittämään lihasvoimaa sekä lihassmassaa. Tätä samaa periaatetta voidaan hyödyntää myös iäkkäiden voimaharjoittelussa.

Kävelyharjoittelun käyttö BFR:ään yhdistettynä voisi toimia iäkkäillä henkilöillä itsenäisenä harjoittelumuotona tai esimerkiksi myös valmistavana harjoitteluna voimaharjoittelua varten sellaisissa tilanteissa, joissa voimakas lihasheikkous estää progressiivisen voimaharjoittelun. BFR-menetelmä voitaisiin yhdistää myös muihinkin aerobisiin harjoitteisiin iäkkäillä henkilöillä. Esimerkiksi pyöräilyyn yhdistetystä BFR-menetelmästä on saatu positiivisia tuloksia nuorilla ja työikäisillä henkilöillä. Matalatehoinen kuntopyörällä tehty BFR-intervalliharjoittelu on kehittänyt alaraajojen lihasmassaa (Kim, Singh, Loenneke, Thiebaud, Fahs, Rossow, Young, Seo, Bembem & Bembem. 2016) tai jopa yhtäaikaisesti maksimihapenottokykyä sekä alaraajojen lihasmassaa ja –voimaa. (de Oliveira, Caputo, Corvino & Denadal. 2015; Abe; Fujita, Nakajima, Sakamaki, Ogasawara, Sugaya, Kudo, Kuramo; Yasuda; Sato, Ohshima, Mukai & Ishii. 2010).

BFR:n käyttöä immobilisaation aikana käsittelevät tutkimukset antavat mielenkiintoisen mahdollisuuksia verenkierron rajoituksen soveltamiselle leikkausten jälkeisen kuntoutuksen lisäksi esimerkiksi vuodeosastolla oleville potilaille. (Cook ym. 2010; Kubota ym. 2008; Kubota ym. 2010). Jopa vain 50 mmHg korkea rajoituspaine, voi tarjota keinon lihasatrofian ehkäisyyn (Kubota ym. 2010). Tutkimustietoa tarvitaan kuitenkin lisää eri potilasryhmillä tehon ja turvallisuuden varmistamiseksi.

BFR-harjoittelun yhdistämisestä sähköstimulaation kanssa on tehty useita tutkimuksia terveillä henkilöillä opinnäytetyössä esiteltyä, selkäydinvamman kuntoutukseen liittyneen tutkimuksen lisäksi. Näissä tutkimuksissa tulokset ovat yhtenevät Gorgeyn ym. (2016) tutkimuksen kanssa. BFR yhdistettynä sähköstimulaation kanssa aiheuttaa lihasmassan sekä voiman kasvua enemmän kuin sähköstimulaatio ilman BFR:ää. (Slysz & Burr. 2017; Natsume, Ozaki, Saito, Abe & Naito. 2015).

Yllä olevat esimerkit huomioon ottaen, polymyosiittipotilailla saadut positiiviset tulokset eivät ole yllättäviä. BFR-menetelmä on osoittautunut tähän asti lähes kaikilla koehenkilö- ja erityisryhmillä tehokkaaksi menetelmäksi lihasvoiman ja -massan harjoittamiseen. Polymyosiittipotilailla saadut positiiviset tulokset antavat viitteitä, että BFR-harjoittelua voitaisiin käyttää muillakin lihasairauksista sairastavilla ryhmillä voimaharjoittelumenetelmänä. BFR-harjoittelulla voiman ja lihasmassan harjoittaminen on mahdollista ilman isoja

kuormia ja niihin liittyviä merkittäviä lihassoluvaurioita. Tämä tekee menetelmästä varteenotettavan voimaharjoittelutavan lihassairauksista kärsiville henkilöille.

Harjoittelijan lähtötaso on hyvä ottaa huomioon, kun asetetaan odotuksia BFR-menetelmästä saataville tuloksille. Jos henkilöllä on urheilutausta tai muusta syystä korkea lähtötaso, ei kevyellä kuormalla ja hitaalla tempolla tehtävä BFR-harjoittelu välttämättä riitä kehittämään tai edes ylläpitämään maksimivoimatasoja. Toisaalta on hyvä muistaa, että isoa tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa BFR-menetelmän kanssa tehty kevyt voimaharjoittelu on tehokkaampaa kuin ei harjoittelua ollenkaan, tai sama harjoittelu tehtynä ilman verenkierronrajoitusta (Hughes yms. 2017). Tämän opinnäytetyön tulokset tukevatkin aiempia tutkimustuloksia, joiden mukaan BFR-harjoittelu kasvattavaa voimaa ja lihasmassaa tehokkaammin kuin kevyt voimaharjoittelu, mutta ei yhtä tehokkaasti kuin raskas voimaharjoittelu niin kuntoutujaryhmillä (Hughes ym. 2017), kuin urheilijoilla (Scott, Loenneke, Slattery & Dascombe, 2016).

Rajoituspaineen yksilöinti on tärkeä asia harjoitusvasteen aikaansaamiseksi BFR-harjoittelusta. Koska raajan ympäröimä sekä systolinen veranpaine vaikuttavat siihen paineeseen, jolla raajan verenkierto salpautuu kokonaan (LOP = Limb Occlusive Pressure) tulee ne ottaa huomioon painetta määritettäessä (Loenneke ym. 2012; Loenneke ym. 2015). Rajoituspaineen yksilöintiohjeiden saamiseksi lukijaa pyydetään palaamaan kappaleeseen 6.4.4, jossa annetaan ohjeistus paineen määrittämiseen. Rajoituspaineen yksilöinnin puute on voinut vaikuttaa tuloseroihin Segal ym. (2015) ja Segal ym. (2016) nivelrikkopotilailla tehtyjen tutkimuksien välillä. Näissä tutkimuksissa käytettiin samaa painetta mies- ja naiskoehenkilöille. Miesten alaraajojen ympäröimä on keskimäärin naisia suurempi ja voikin olla, että tämän seurauksena rajoituspaine ei ole ollut riittävä aiheuttamaan voimakkaampaa lihasmassan kasvuvastetta miehillä BFR-harjoittelun aikana verrattuna ilman BFR:ää kevyellä kuormalla tehtyyn harjoitteluun.

Rajoituspaine aiheuttaa ehkä merkittävimmän asian, joka tekee BFR-harjoittelusta käytännössä haasteellista toteuttaa. Verenkierron rajoitus aiheuttaa lihakseen veren ja aineenvaihdunnant tuotteiden kertymistä, joka tekee harjoittelusta kivuliasta ja epämiellyttävää, varsinkin jos käytetään korkeita rajoituspaineita. Toisaalta jo kevyelläkin rajoitus-

paineella (esim. 40–60 % LOP-paineesta tai 110 mmHg) on saatu aikaan alaraajojen lihasvoimaa ja -massaa kehittävä vaikutus eri kuntoutujaryhmillä (Clarkson ym. 2017; Giles ym. 2017; Hylden ym. 2011; Libardi ym. 2014; Patterson & Ferguson 2011; Vechin ym. 2015) sekä terveillä työikäisillä (Lixandrao ym. 2015). Näin alhaisilla paineilla myös harjoittelun epämiellyttävyys sekä kiputuntemus pienenevät. Tutkimustiedon kautta ei ole vielä selkeää ohjeistusta ”optimipainetasosta”. Loenneken ym. (2014) suositus on n. 50 % LOP-paineesta. Tällä paineella uskotaan saavutettavan verenkierron rajoituksen hyödyt lihasmassan kasvun kannalta, ilman voimakkaan verenkierron rajoituksen elimistölle asettamia riskejä. (Loenneke ym. 2014.)

BFR-menetelmän toteuttaminen kliinisessä työssä vaatii siihen sopivaa välineistöä. Harjoitteluun suunniteltuja mansetteja tai nauhoja ei ole vielä Suomessa myynnissä. BFR-harjoittelunauhojen hinnat vaihtelevat maailmalla 20-50 dollarin välillä (esim. BFR Bands, 2017). Manuaalisesti säädettävien mansettipakettien hinnat vaihtelevat taas 200-1000 dollarin välillä (esim. bstrongtrainingsystems.com, 2016). Hintatasoltaan välineistö on siis ainakin yksityisten palveluntarjoajien saatavilla. BFR-menetelmän käyttöönotto kliinisessä työssä vaatii myös henkilökunnan kouluttamista menetelmän käytön turvallisuuden ja tehokkuuden maksimoimiseksi.

BFR-voimaharjoittelu ei välttämättä ole sopiva harjoittelumetodi henkilölle, joka ei ole tottunut voimaharjoitteluun. Mansettien ja rajoituspaineiden määrittämisen kanssa leikkiminen voi tehdä jo valmiiksi vieraasta ja henkilölle oudosta asiasta entistä monimutkaisemman. Tämä monimutkaisuus voi vähentää sitoutumista harjoitteluun. BFR-menetelmä voi tehdä kuntoutujan myös riippuvaiseksi terapeutin ohjeistuksesta ja valvonnasta. Tämä ei ole hyvä asia, koska monissa tuki- ja liikuntaelinsairauksissa omatoiminen ja pitkään jatkuva harjoittelu on kuntoutuksen onnistumisen kannalta oleellinen asia. Toisaalta varsinkin tuki- ja liikuntaelin sairauksissa BFR:ää voidaan pitää ns. alkuvaiheen harjoittelumetodina, josta tavoitteena on edetä raskaaseen voimaharjoitteluun, heti kun kuntoutujan tila sen sallii. Kuntoutujalla, jolle BFR-menetelmää lähdetään soveltamaan, on joka tapauksessa hyvä olla hieman kokemusta voimaharjoittelusta. Kuntoutujan tulee myös olla motivoitunut ja valmis opettelemaan verenkierron rajoituksen asettaminen itselleen omatoimista harjoittelua varten kunnes raskas voimaharjoittelu on indikoitua.

11.3 BFR-menetelmän turvallinen käyttäminen

Blood flow restriction -menetelmä on todettu useissa tutkimuksissa turvalliseksi harjoittelumenetelmäksi (mm. Hughes ym. 2017; Mattar ym. 2014). Tätä samaa hypoteesia tukee tässä opinnäytetyössä analysoidujen aineistojen tulokset, sillä yhdessäkin 30 tutkimuksesta BFR-menetelmän käytöstä ei seurannut vakavia sivuvaikutuksia. Harjoitteluun liittyvä epämukavuus ja pienemmät sivuvaikutukset (esim. mustelmat tai kova kipu) olivat muutenkin yksittäistapauksia ja vain muutamassa tutkimuksessa koehenkilö joutui keskeyttämään tutkimuksen BFR-harjoittelun epämiellyttävyyden takia. On kuitenkin myös tutkimusnäyttöä, jossa BFR-menetelmän käytöstä on seurannut haittavaikutuksia ja sen turvallisuutta on kyseenalaistettu (mm. Clark & Manini, 2017; Spranger ym. 2015). Tämän takia ei voida aukottomasti sanoa, että BFR-harjoittelu on turvallista kaikille ja varsinkin eri potilas- ja erityisryhmien harjoittelusta tarvitaan lisää tutkimustietoa.

Vaikuttaa sille, että tässä opinnäytetyössä analysoituja tutkimuksia, joissa koehenkilö on joutunut keskeyttämään harjoittelun, yhdistää korkea verenkierron rajoituspainetta jota ei ole yksilöity koehenkilökohtaisesti. Uudemmissa tutkimuksissa, joissa BFR-rajoituspainetta on yksilöity ja suhteutettu LOP-paineeseen, ovat raportoidut sivuvaikutukset vähäisempiä. Rajoituspainetta yksilöllinen määrittäminen on siis turvallisuudenkin näkökulmasta tärkeää (Loenneke ym. 2014; Patterson & Brandner, 2017). Leveämmillä manseteilla saavutetaan vastaava verenkierron rajoitus, mutta pienemmällä paineella, kuin kapeilla manseteilla. Tästä syystä käytön mukavuuden ja sivuvaikutusten välttämiseksi leveiden mansettien käyttöä kannattaa suosia kapeiden sijaan. (Kacin ym. 2015)

Liian pitkään jatkuva verenkierron rajoitus aiheuttaa kudosten hapenpuutetta ja sitä kautta vaurioita. Lyhytaikaisen rajoituksen ja sen jälkeisen verenkierron hetkellisen voimistumisen on havaittu kuitenkin parantavan perifeerisen verenkierron toimintaa sekä lihaksen aineenvaihduntaa. Optimaalinen, BFR-menetelmään yhdistetty, verenkierron rajoituksen ja vapaan verenkierron ajan suhde ei ole vielä tutkimustiedon valossa tiedossa. (Kacin ym. 2015.) Tässä opinnäytetyössä analysoiduissa tutkimuksissa verenkierron rajoitus on ollut yhtämittaisesti päällä yleensä 5–6,5 minuuttia immobilisaatioon tai voimahar-

joitteluun yhdistettynä, jonka jälkeen verenkierto on vapautettu 1–3 minuutiksi. Kävelyharjoitteluun yhdistettynä verenkierron rajoitus on analysoiduissa tutkimuksissa ollut päällä koko harjoituksen ajan, eli 10–20 min.

Turvalliseen BFR-harjoitteluun pätevät samat periaatteet kuin muunkin terapeuttisen harjoittelun suunnitteluun. Harjoittelun suunnittelussa kuntoutujan lähtötaso tulee ottaa huomioon ja kuormittavuutta tulee lisätä progressiivisesti. Rajoituspaine on hyvä yksilöidä LOP-paineen mukaan. Aluksi on mahdollisesti hyvä käyttää unilateraalisia harjoitteita, jotta sydän- ja verenkiertoelimistön rasitus ei nouse liian suureksi. Oletettavasti rajoituspaine on hyvä valita mieluummin konservatiivisesti liian matalaksi kuin liian korkeaksi. Paineita voidaan nostaa esim. viikoittain kuntoutujan tottuessa BFR-harjoitteluun. Kuntoutujan subjektiivista tuntemusta on hyvä seurata koko ajan harjoittelun aikana ja sen mukaan tarvittaessa muokata rajoituspainetta. Verenkierron rajoitus voi kestää yhtäjaksoisena voimaharjoitteluun tai immobilisaatioon yhdistettynä n. 5 minuuttia, jonka jälkeen rajoitus on hyvä tauottaa 1–3 minuutiksi. Kestävyysharjoittelua voidaan tehdä intervallityyppisesti samaan tapaan 5 minuutin intervalleissa, joiden välissä rajoitus poistetaan 1-3 minuutiksi tai pidempänä yhtäjaksoisena työjaksona (esim. 10–20 min), jonka aikana rajoitus pidetään päällä koko ajan.

Voimaharjoittelussa käytettävä paino voi olla 20–40 % 1RM-kuormasta. Harjoittelussa voidaan tehdä 2-5 työsarjaa, joissa toistoja 10-30 kappaletta. Sarjapalautus voi olla 30-60s välillä. Harjoittelun progressiivisuuden takaamiseksi on kuntoutujan voimatasoja hyvä testata säännöllisesti ja suhteuttaa harjoituspaino aina uuteen 1RM-tulokseen. Myös sarja- ja toistomäärien tulisi nousta pitkässä juoksussa tarkasteltuna progression takaamiseksi. Taulukossa 19 on esitelty yleisimmät BFR-kuormitusmallit, joita on käytetty voimaharjoittelun ja immobilisaation yhteydessä opinnäytetyössä analysoiduissa tutkimuksissa.

Taulukko 19. Yleisimmät BFR-kuormitusmallit voimaharjoittelun ja immobilisaation yhteydessä analysoiduissa tutkimuksissa

Voimaharjoittelun aikana	<ul style="list-style-type: none"> - 1x30 + 3x15, 30% 1RM-kuormasta, 30-60s sarjapalautuksella, (rajoitus päällä myös palautustauon aikana) - 3x10, 30% 1RM-kuormasta - 4 sarjaa väsymykseen, 30% 1RM-kuormasta - 3x20, 20% 1RM-kuormasta, 30s sarjapalautus, (rajoitus päällä myös palautustauon aikana) - 4-5x15, 30% 1RM-kuormasta, 60s sarjapalautus (rajoitus päällä myös palautustauon aikana)
Immobilisaation aikana	<ul style="list-style-type: none"> - Kahdesti päivässä 5x5min rajoitus 3 minuutin palautuksella - Kahdesti päivässä 5x5min rajoitus 3 minuutin palautuksella, verenkierron rajoituksen aikana polven ojennusharjoitteita

11.4 Kirjallisuuskatsauksen luotettavuus ja eettisyys

Kirjallisuuskatsauksen teossa sitouduttiin noudattamaan tutkimuseettisen neuvottelukunnan määrittämiä hyvän tieteellisen käytännön peruslähtökohtia, jotta kirjallisuuskatsaus olisi eettisesti hyväksyttävä ja tulokset olisivat uskottavia. Näihin peruslähtökohtiin kuuluvat: 1) Rehellisyys, huolellisuus ja tarkkuus tutkimustyötä tehtäessä sekä tuloksia raportoitaessa, 2) Yleisesti hyväksytyjen ja toimiviksi katsottujen aineistonhaku-, arviointi- ja analyysikeinojen käyttäminen, 3) Muiden tutkijoiden työpanoksen huomioiminen viittaamalla asianmukaisesti alkuperäisiin lähteisiin, 4) Tutkimuksen suunnittelun, toteutuksen ja raportoinnin sekä talletuksen tulee noudattaa hyviä tieteellisiä periaatteita, 5) Työn tekijöiden sitoutuminen toimimaan puolueettomasti. (Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsittely Suomessa 2012.)

Opinnäytetyön tekijöiden tavoitteena oli pysyä mahdollisimman objektiivisina aihetta kohtaan prosessin alusta lähtien työn eettisyyden ja luotettavuuden turvaamiseksi. Tämä objektiivinen ja puolueeton työote näkyi työn tiedonhaun aikana sekä aineiston analyysin ja tulosten raportoinnissa. Tiedonhaku tehtiin systemaattisesti ja sen aikana työn tekijät toimivat toisistaan riippumatta aineiston valinnassa sekä otsikkotason että tiivistelmän perusteella. Aineiston laatua analysoitiin erityisesti fysioterapiatutkimuksiin soveltuvalla PEDro-scale arviointiasteikolla. PEDro-scale -pisteet huomioitiin tutkimusten luotettavuuden arvioinnissa. Artikkeleiden hakuprosessi ja artikkeleiden analyysinvaiheet raportoitiin tarkasti Opinnäytetyön toteutus –kappaleessa. Tulokset raportoitiin sellaisenaan, eikä

niitä manipuloitu. (Stolt ym. 2015, 32.) Opinnäytetyön tekijöillä ei ole eturistiriitaa opinnäytetyön aiheeseen liittyen, eikä opinnäytetyö ole saanut ulkopuolista rahoitusta.

Opinnäytetyön heikkoutena voidaan pitää sitä, että artikkelihaussa käytettiin ainoastaan yhtä tietokantaa. Tällöin artikkelihaun ulkopuolelle on saattanut jäädä tutkimusaihetta käsitelleitä artikkeleita. Toisaalta hakua täydennettiin manuaalisesti Hughes ym. 2017 review –artikkelin lähdeluettelon avulla. Luotettavuutta lisää myös, se että lähteinä on käytetty ainoastaan alkuperäisiä 2000-luvulla tehtyjä kansanvälisiä tutkimusartikkeleita. Aineiston laajuutta voidaan pitää samalla sekä opinnäytetyön heikkoutena että vahvuutena. Voi olla, ettei opinnäytetyön laajuuden takia jokaiseen osa-alueeseen ole pystytty pureutumaan opinnäytetyössä riittävän tarkasti. Toisaalta laajan aineiston käyttö antaa myös kattavan kuvan BFR-menetelmän käyttömahdollisuuksista fysioterapeuttisessa harjoittelussa. Vahvuutena voidaan pitää myös sitä, että opinnäytetyön aihe on tuore ja lopputyö tuo uutta tietoa fysioterapia-alalle sekä työn toimeksiantajalle.

Työn luotettavuutta lisää myös yhteistyö Jyväskylän fysioterapia Bodium Oy:n kanssa. Yhteishenkilönä heiltä toimi OMT-fysioterapeutti Jari Rautiainen.

11.5 Jatkotutkimusehdotukset

Blood flow restriction on uusi harjoitusmenetelmä ja sen ympärillä on vielä paljon vastamattomia kysymyksiä. Tärkeimpiä tulevaisuuden tutkimuskohteita fysioterapeuttisesta näkökulmasta ovat menetelmän turvallisuuden varmentaminen eri potilas- ja kuntoutujaryhmillä. Sivuvaikutusten välttämiseksi olisi hyvä, että tulevaisuuden tutkimukset keskittyisivät selvittämään ns. optimaalisia kuormitusmalleja, joissa verrataan mm. erilaisia rajoituspaineita, käytettäviä kuormia ja palautustaukoja. Näin päästäisiin selville siitä, minkälainen BFR-harjoittelu tarjoaa menetelmän hyödyt, mutta samalla minimoi siihen liittyvät riskit. Eri harjoitusmuotojen (esim. pyöräily, allasterapia tai motomed) tehokkuutta BFR-menetelmään yhdistettynä tulisi tutkia lisää erilaisilla potilas- ja kuntoutujaryhmillä. Vaikka tutkimustulokset kertovatkin BFR:n kasvattavan lihasvoimaa ja –massaa niin ylä- kuin alaraajoissa, yläraajojen tuki- ja liikuntaelinsairauksien hoidosta ei ole vielä

tutkimusnäyttöä. Kuten aiemmin pohdinnassa on mainittu, olivat analysoitujen tutkimusten harjoitusjaksot lyhyitä ja koehenkilömäärät verrattain pieniä. Tulevaisuudessa tutkimusten tulisi pyrkiä isompien koehenkilöjoukkojen sekä pitempiaikaisten interventiojaksojen käyttöön, jotta BFR-harjoittelun akuuteista ja kroonisista vaikutuksista saadaan vaikuttavampaa tietoa.

BFR on tällä hetkellä paljon tutkittu aihe maailmalla. 3.11.2017 suoritettiin haku Pubmed-tietokantaan samalla hakulausekkeella, jota käytettiin alkuperäisessä artikkelihaussa (hakulauseke: ("blood flow restriction" OR "occlusion training" OR "kaatsu" OR "restricted blood flow")). Tämä haku tuotti 416 tulosta, eli kesäkuussa opinnäytetyötä varten tehdyn artikkelihaun jälkeen BFR-harjoitteluun liittyen on tehty 30 uutta tutkimusta. Tällä hetkellä tutkimuksen alla on mm. BFR-harjoittelun soveltaminen munuaisten vajaatoimintapotilaiden (Clarkson, Fraser, Bennett, McMahon, Brumby & Warmington. 2017) sekä selkäkipupotilaiden kuntoutuksessa (Amano, Ludin, Nakazawa, Law, Rush, Manini, Thomas, Russ & Clark. 2016).

11.6 Loppuyhteenveto

Blood flow restriction on lupaava menetelmä osaksi fysioterapeuttista kuntoutusta. Tässä opinnäytetyössä analysoidun tutkimusaineiston perusteella BFR-menetelmää voidaan käyttää erityisesti lihasvoiman ja –massan harjoittamiseksi alaraajojen tuki- ja liikuntaelinsairauksien kuntoutuksen, iäkkäiden voima- ja kävelyharjoittelun sekä immobilisaation yhteydessä. Lisäksi BFR on lupaava tapa harjoittaa voimaa polymyosiittipotilailla. Analysoiduissa tutkimuksissa BFR-menetelmä todetaan turvalliseksi harjoittelumuodoksi edellä mainituilla kohderyhmillä. BFR-harjoitteluun liittyy kuitenkin käytännön haasteita (mm. välineiden saatavuus, työntekijöiden koulutus) sekä turvallisuustekijöitä, joita täytyy tutkia vielä erilaisilla potilas- ja kuntoutujaryhmillä, jotta menetelmän soveltuvuus laajempaan kliniseen käyttöön varmentuu.

Lähteet

- Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, Sugaya M, Kudo M, Kurano M, Yasuda T, Sato Y, Ohsima H, Mukai C & Ishii N. 2010. Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO₂MAX in Young Men. *Journal of Sports Science & Medicine*. 9(3): 452-458-
- Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y & Nakajima T. 2010. Effects of Low-Intensity Walk Training with Restricted Leg Blood Flow on Muscle Strength and Aerobic Capacity in Older Adults. *Journal of Geriatric Physiotherapy*. 33:34–40.
- Abe T, Loenneke J. P, Fahs C. A, Rossow L. M, Thiebaud R. S, Bemben M. G. 2012. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow–restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 32;4, 247–252.
- Amano S, Ludin AFM, Clift R, Nakazawa M, Law TD, Rush LJ, Manini TM, Thomas JS, Russ DW & Clark BC. 2016. Effectiveness of blood flow restricted exercise compared with standard exercise in patients with recurrent low back pain: study protocol for a randomized controlled trial. *BioMed Central Trials*. 17:81.
- Araújo JP, Neto GR, Loenneke JP, Bemben MG, Laurentino GC, Batista G, Silva JCG, Freitas EDS & Sousa MSC. 2015. The effects of water-based exercise in combination with blood flow restriction on strength and functional capacity in post-menopausal women. *Official Journal of the American Aging Association*. 37:110.
- Atula S. 2015. Lihastaudit. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 25.9.2017. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00041#s4.
- Baechle TR, Earle RW. 2008. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Human Kinetics. United States of America
- BFR Bands – Blood flow restriction training. 2017. BFR Bands. <https://www.bfrbands.com/products/bfr-bands/>. Viitattu 7.11.2017.
- BStrong Training Systems. 2016. Purchase online. <https://www.bstrongtrainingsystems.com/purchase-online-1>. Viitattu 7.11.2017.
- Clark BC & Mainini TM. 2017. Can KAATSU Exercise Cause Rhabdomyolysis? *Clinical Journal of Sports Medicine*. 27:1, 1–2.
- Clarkson MJ, Conway L & Warmingotn SA. 2017. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *Journal of Science and Medicine in Sports*. Article in Press.
- Clarkson MJ, Fraser SF, Bennett PN, McMahon LP, Brumby C & Warmington SA. 2016. Efficacy of blood flow restriction exercise during dialysis for end stage kidney disease patients: protocol of a randomized controlled trial. *BioMed Central Nephrology*. 18:294.

Cook SB, Brown KA, DeRuisseau K, Kanaley JA & Ploutz-Snyder LL. 2010. Skeletal muscle adaptations following blood flow-restricted training during 30 days of muscular unloading. *the American Physiological Society*, 8750–7587/10.

de Oliveira MFM, Caputo F, Corvino RB & Denadal BS. 2015. Short-term low intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. e-publication. doi: 10.1111/sms.12540

Duodecim α . 2017. Lääketieteen sanasto. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=Ilt01261. Viitattu 3.10.2017

Duodecim β . 2007. Lääketieteen sanasto. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=Ilt00852. Viitattu 3.10.2017

Ellefsen S, Hammasrström D, Strand TA, Zacharoff E, Whist JE, Rauk I, Nygaard H, Vegge G, Hanestadhaugen M, Wernbom M, Cumming KT, Rønning R, Raastad T & Rønnestad BR. 2015. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 309:767–779.

Enoka RM. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics. Champaign, USA.

Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, Rossow LM, Kim D, Abe T, Beck TW, Feeback DL, Bemben DA & Bemben MG. 2015. Muscular Adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 35:167-176.

Fernandes-Bryk FF, Curcio dos Rels A, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Leite Cury R, Duarte A Jr, Fukuda TY. 2016, Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surgi Sports Traumatol Arthrosc*, (2016) 24:1580–1586.

Ferreira M, Sardeli A, De Souza G, Bonganha V, Santos L, Castro A, Cavaglieri C, Chacon-Mikahil M. 2016. Cardiac autonomic and haemodynamic recovery after a single session of aerobic exercise with and without blood flow restriction in older adults. *Journal of Sport Sciences*. VOL. 35, NO. 24, 2412–2420

Fry C.S, Glynn E.L, Drummond M.J, Timmermann K.L, Fujita S, Abe T, Dhanani S, Volpi E & Rasmussen B.B. 2010. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscleprotein synthesis in older men. *Journal of applied physiology*. 108: 1199–1209.

Giles L, Webster K.E, McClelland J & Cook J.L. 2017. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomized trial. *British Journal of Sport medicine*. Published Online First: 12 May 2017

Gorgey AS, Timmons MK, Dolbow DR, Bengel J, Fugate-Laus KC, Michener LA & Gater DR. 2016. Electrical stimulation and blood flow restriction increase wrist extensor cross-sectional area and flow mediated dilatation following spinal cord injury. *European Journal of Applied Sciences*. 116:1231–1244.

Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C & Patterson S.D. 2017. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sport Medicine*. 0:1–11.

Hylden C, Burns T, Stinner D, Owens J. 2015. Blood Flow Restriction Rehabilitation for Extremity Weakness: A Case Series. *Journal of Special Operations Medicine*, Volume 15, Edition 1/Spring 2015.

Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsittely Suomessa. 2012. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje. Toimituskunta: Varantola K, Launis V, Helin M, Spoo S.K & Jäppinen S. Helsinki. Viitattu 8.11.2017. http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf

Iversen E, Røstad V & Larmo A. 2014. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*(2015), 1–4

Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Count BR, Abe T & Loenneke JP. 2016. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Medicine*. 46(6): 913-921.

Jørgensen AN, Aagaard P, Nielsen JL, Frandsen U & Diederichsen LP. 2016. Effects of blood-flow restricted resistance training on muscle function in a 74-year-old male with sporadic inclusion body myositis: a case report. *Clinical Physiology & Functional Imaging*. 36:504–509.

Kacin A, Rosenblatt B, Grapar Zargi T & Biswas A. 2015. Safety considerations with blood flow restriction training. *Annales Kinesiologiae*. 6(1): 3-26.

Karabul M, Sherk V.D, Bemben D.A & Bemben M.G. 2013. Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 33: 393–399.

Kauranen K. 2017. Fysioterapeutin käsikirja. Sanoma Pro Oy, Helsinki

Kim D, Singh H, Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Young K, Seo D-I, Bemben DA, Bemben MG. 2016. Comparative Effects of Vigorous-Intensity and Low-Intensity Blood Flow Restricted Cyclic Training and Detraining on Muscle Mass, Strength, and Aerobic Capacity. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 30(5): 1453-1461.

Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T & Tamura Y. 2008. Prevention of Disuse Muscular Weakness by Restriction of Blood Flow. *Journal of the American College of Sports Medicine*. 529–534.

Kubota A, Sakuraba K, Koh S, Ogura Y & Tamura Y. 2010. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *Journal of Science and Medicine in Sports*. 14:95–99.

Libardi CA, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, Tricoli V, Roschel H, Vechin FC, Conceicao MS & Ugrinowitsch C. 2015. Effect of Concurrent Training with Blood Flow Restriction in the Elderly. *International Journal of Sports Medicine*. 36:395–399.

Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, Tricoli V & Roschel H. 2015. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*. 115:2471–2480.

Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ & Bembem MG. 2011. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 21:510–518.

Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Abe T & Bembem MG. 2012. The Anabolic Benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses*. 78:151–154

Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bembem DA & Bembem MG. 2012. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 112, 2903–2912.

Loenneke JP, Thrower AD, Balapur A, Barnes JT & Pujol TJ. 2012. Blood flow-restricted walking does not result in an accumulation of metabolites. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 32:80–82.

Loenneke JP, Young KC, Wilson JM & Anderson JM. 2012. Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: A case review. *Journal of Bodywork & Movement Therapies* (2013), 17, 42–45.

Loenneke JP, Allen KM, Mouser JG, Thiebaud RS, Kim D, Abe T & Bembem MG. 2015. Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology*. 115, 397–405.

Loenneke JP. 2017. Assistant professor of health, exercise science & recreation management. University of Mississippi. Sähköpostikeskustelu 25-29.9.2017.

Luebbbers PE, Fry AC, Kriley LM & Butler MS. 2015. The Effects of a 7-Week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-Trained Collegiate Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 28(8):2270–2280.

Mattar MA, Gualano B, Perandini LA, Shinjo SK, Rodriguez Lima F, Sa-Pinto AL & Roschel H. 2014. Safety and possible effects of low-intensity resistance training associated with partial blood flow restriction in polymyositis and dermatomyositis. *Arthritis Research & Therapy*. 16:473.

Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, Nagata T & KAATSU Training Group. 2006. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of Kaatsu Training Research*. 2: 5–13.

Natsume t, Ozaki H, Saito AI, Abe T & Naito H. 2015. Effects of Electrostimulation with Blood Flow Restriction on Muscle Size and Strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 47(12):2621-2627.

Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N & Nakamura S. 2003. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 2003; 74 (1): 62–68

Ozaki H, Miyachi M, Nakajima T & Abe T. 2011a. Effects of 10 Weeks Walk Training With Leg Blood Flow Reduction on Carotid Arterial Compliance and Muscle Size in the Elderly Adults. *Angiology*. 62(1):81–86.

Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T, Fujita T, Ogasawara R, Sugaya M, Nakajima T & Abe T. 2011b, Increases in Thigh Muscle Volume and Strength by Walk Training with Leg Blood Flow Reduction in Older Participants. *Journal of Gerontology: Biological Sciences*. 66A(3):257–263.

Ozaki H, Loenneke JP, Buckner SL & Abe T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Medical Hypotheses*. 88: 22-26.

Patterson S. D & Brandner C. R. 2017. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Journal of Sport Sciences*. 1–8.

Patterson SD & Ferguson RA. 2011. Enhancing Strength and Post occlusive Calf Blood Flow in Older People With Training With Blood-Flow Restriction. *Journal of Aging and Physical Activity*. 19:201–213.

Patterson S. D, Leggate M, Nimmo M. A & Ferguson R. A. 2012. Circulating hormone and cytokine response to low-load resistance training with blood flow restriction in older men. *European Journal of Applied Physiology*. 113:713–719.

Pearson SJ & Hussain SR. 2014. A Review on the Mechanisms of Blood Flow Restriction Resistance Training Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*. 44(10), 1–14.

PEdro scale, Physiotherapy Evidence Base Database. https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEdro_scale.pdf. Viitattu 3.10.2017.

Pinto RR, Karabulut M, Poton R & Polito MD. 2016. Acute resistance exercise with blood flow restriction in elderly hypertensive women: haemodynamic, ratings of perceived exertion and blood lactate. *Clinical Physiology & Functional Imaging*.

Pinto RR & Polito MD. 2016. Haemodynamic responses during resistance exercise with blood flow restriction in hypertensive subjects. *Clinical Physiology & Functional Imaging*. 36:407–413.

Reumaliitto. 2011. Polymyosiitit. Viitattu. 11.10.2017. <https://www.reumaliitto.fi/fi/reuma-aapinen/reumataudit/polymyosiitti>.

Schoenfeld BJ. 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and Their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning research* 24(10),2857–2872.

Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn DI & Krieger J. 2017. Strength and hypertrophy adaptations between low- versus high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. Research publish Ahead of Print. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002200.

Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM & Dascombe BJ. 2016. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *Journal of Science and Medicine in Sport* 19 (2016) 360–367.

Segal N, Davis MD, Mikesky AE. 2015. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*, 2015, Vol. 6(3) 160–16.

Segal N, Williams GN, Davis M, Wallace RB, Mikesky A. 2016, Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis. *American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2015 April; 7(4): 376–384.

Silverthorn DU. 2010. *Human physiology – an integrated approach* (fifth edition). Pearson Benjamin Cummings. San Francisco USA.

Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, Hamazaki N, Kamekawa D, Akiyama A, Kamada y, Tanaka S & Masuda T. 2016. Low intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal Applied Physiology* (2016), 116:749–757.

Slysz J & Burr JF. 2017. The Effects of Blood Flow Restriction Electrostimulation on Strength & Hypertrophy. *Journal of Sport Rehabilitation*. 17:1-17.

Spranger MD, Krishnan AC, Levy PD, O’Leary DS & Smith SA. 2015. Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*. 309:1440-1452.

Stolt M, Axelin A & Suhonen R. 2015. Kirjallisuuskatsaus hoitotieteissä. Turun yliopisto hoitotieteen laitoksen julkaisuja, tutkimuksia ja raportteja, Sarja A73. Juvenes Print, Turku.

Tabata S, Suzuki Y, Azuma K & Matsumoto H. 2015. Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 30(7), 2064–2068.

Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S & Ishii N. 2000a. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Sciences*. 88: 61–65.

Takarada Y, Takazawa H & Ishii N. 2000b. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 0195–9131.

Tennent DJ, Hylden CM, Johnson AE, Burns TC, Wilken JM, Owens JG. 2016. Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. *Clinic Journal Sport Medicine*, vol 0/0/2016.

Thiebaud RS, Yasuda T, Loenneke JP & Abe T. 2013a. Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on incidence of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine & Applied Science*, 5(2):53–59.

Thiebaud RS, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Kim D, Abe T, Anderson MA, Young KC, Bembem DA & Bembem MG. 2013b. The effects of elastic band resistance training combined with blood flow restriction on strength, total bone-free lean body mass and muscle thickness in postmenopausal women. *Clinical Physiology & Functional Imaging*. 33:344–352.

Umbel JD, Hoffman RL, Dearth DJ, Chleboun GS, Manini TM & Clark BC. 2009) Delayed-onset muscle soreness induced by low load blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 107:687–695.

Vechin FC, Libardi CA, Conceicao MS, Damas FR, Lixandrao ME, Berton RPB, Tricoli VAA, Roschel HA, Cavaglieri CR, Chacon-Mikahil MPT & Ugrinowitsch C. 2015. Comparisons between low intensity resistance training with blood flow restriction and high intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29(4):1071–1076.

West DW, Burd NA, Tang JE, Moore DR, Staples A W, Holwerda AM & Phillips SM. 2010. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *Journal of Applied Physiology*, 108(1), 60–67.

West DWD & Phillips SM. 2012. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *European Journal of Applied Physiology*. 112(7), 2693–2702.

Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP & Naimo MA. 2013. Practical Blood flow Restriction Training Increases Acute Determinants of Hypertrophy Without Increasing Indices of Muscle Damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 27(10):3068–3075.

Yamanaka T, Farley RS & Caputo JL. Occlusion Training Increases Muscular Strength in Division 1A Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 26(9):2523–2529.

Yasuda T, Brechue W.F, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y & Abe T. 2009. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *Journal of Sport Sciences*. 27(5), 479–489.

Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y & Abe T. 2010. Effects of Low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 30:338–343.

Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y & Abe T. 2011a. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *European Journal of Applied Physiology*. 111:2525–2533.

Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Bemben MG & Abe T. 2011b. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-restricted low-intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 31:347–351.

Yasuda T, Fukumura K, Iida H & Nakajima T. 2015a. Effects of detraining after blood flow restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older women. *SpringerPlus*. 4:348.

Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, Koshi H, Iida H, Masamune K, Yamasoba T, Sato Y & Nakajima T. 2015b. Effects of Low-Load, Elastic Band Resistance Training Combined With Blood Flow Restriction on Muscle Size and Arterial Stiffness in Older Adults. *Journal of Gerontology: Biological Sciences*. 950–958.

Yasuda T, Fukumura K, Tomaru T & Nakajima T. 2016. Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women. *Oncotarget*. 7(23):33595–33607.

Yokokawa Y, Hongo M, Urayama H, Nsirimura T & Kai I. 2008. Effects of low-intensity resistance exercise with vascular occlusion on physical function in healthy elderly people. *BioScience Trends*. 2(3):117–123.

Liitteet

Liite 1. BFR-harjoittelun käyttöä tuki- ja liikuntaelinsairauksien terapiassa tarkastelleet tutkimukset

Polven postoperatiivinen kuntoutus

Takarada ym. 2000. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles	
Tutkimusasetelma	Controlled Trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	ACL-leikkauksen jälkeinen kuntoutus
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä N=8, kontrolliryhmä N=8 (yhteensä n= 16)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	2 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	BFR-ryhmä: Verenkierron rajoitus kahdesti päivässä 5x5min / 3min palautuksilla, Kontrolliryhmä: ei harjoittelua, Plasebo -BFR viidesti päivässä
BFR-paineen määrä	180mmHg → 200-260mmHg
Tulokset	Quadriceps mCSA: BFR-ryhmä ↓9,4% (p<0,05), kontrolliryhmä ↓20,7% (p<0,05), tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,046) Hamstring mCSA: BFR-ryhmä ↓9,7% (p<0,05), kontrolliryhmä ↓8,6% (p<0,05)

Iversen ym. 2014. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Verenvirtauksen rajoituksen vaikutus lihassmassan pienenemiseen ACL-leikkauksen jälkeen urheilijoilla,
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä N=12, Isometrinen-ryhmä N=12 (yhteensä n= 24)
Laadun arviointi	PEDro* 6/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	14 päivää
Harjoittelun/intervention kuvaus	MRI kaksi päivää ennen leikkausta ja 16 päivää leikkauksen jälkeen, BFR:n käyttö leikkauksen jälkeen: Kahdesti päivässä, 5x (5min rajoitus 3min tauolla), Eturisi harjoitteita rajoituksen aikana 20 toistoa 5min aikana à yhteensä 200 päivässä Toisella ryhmällä isometriset eturisiharjoitteet kahdesti päivässä ilman BFR:ää.
BFR-paineen määrä	130mmHg ensimmäisenä päivänä, 10 mmHg:n nousu joka toinen päivä, lopulta 180mmHg,
Tulokset	BFR-ryhmä: Quadriceps ACSA 40% ↓12,7 % Quadriceps ACSA 50% ↓ 15,1 % Kontrolli-ryhmä: Quadriceps ACSA 40% ↓12,4 % Quadriceps ACSA 50% ↓ 13,9 % Ilman BFR:ää harjoitelleen ryhmän Quadriceps ACSA pieneni vähemmän

Ohta ym. 2003. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction

Tutkimusasetelma	Controlled Trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-harjoittelun vaikutukset ACL-leikkauksesta kuntoutujilla. keski-ikä 29 vuotta)
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä n=22 (2 jäi pois) Kontrolliryhmä n=22. (yhteensä n= 44), joista miehiä 25
Laadun arviointi	PEDro*: 3/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	16 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	BFR-ryhmä aloitti BFR:n käytön toisella (2) viikolla. Suoran jalan nosto ja Lonkan abduktio: 5 s pito x 20, 2krt/päivä, kuutena päivänä viikossa, viikkoina 1-8 (1. viikko ilman lisäpainoa, 2.-4. viikko 1kg lisäpaino, 5.-8. viikko 2kg lisäpaino) Lonkkanivelen adduktio palloa polvien välissä puristamalla ja etureisijännitys maksimaalisesti: 5 s x 20, 2krt/päivä, kuutena päivänä viikossa, viikot 1-12. Puolikyökkypito: 6 s x 20, 2krt/päivä, kuutena päivänä viikossa, viikot 5-16, painot samat kuin penkille nousussa. Penkille nousu (25 cm korkea): 20 krt x 3krt/päivä, kuutena päivänä viikossa, viikot 5-16, (5-6 viikko ei lisäpainoa, 7-8 viikko 4-6kg lisäpaino, 9-12 viikko 8-10kg lisäpaino, 13-16 viikko 12-14kg lisäpaino) Polven koukistus kuminauhalla (45-100°): viikot 9-12 1 x 20, 1krt/päivä, kuutena päivänä viikossa, viikot 13-16 2x20, 1krt/päivä, kuutena päivänä viikossa Puolikyökkävely: 3x60 askelta 6 päivänä viikossa viikoilla 13-16
BFR-paineen määrä	n. 180 mmHg, osallistujat asettivat itse käsipumpulla paineen harjoittelun aikana.
Tulokset	Ei tilastollisesti merkittäviä eroja polvinivelen liikkuvuudessa ennen tai jälkeen leikkauksen. Preoperatiivinen ja postoperatiivinen polven ojennus- ja koukistusvoiman suhdeluvut (vammattunut raaja/terve raaja): Polven ojennus CC60 KONT↓ 36,1 % BFR ↓ 9,3 % (p<0,001)* CC180 KONT↓ 27,7 % BFR ↓ 8,3 % (p=0,004)* IM60 KONT↓ 32,9 % BFR ↓ 8,6 % (p<0,001)* Polven koukistus CC60 KONT↓ 20,0 % BFR ↓ 15,6 % (p=0,05)* CC180 KONT↓ 25,2 % BFR ↓ 12,5 % (p=0,04)* IM60 KONT↓ 34,0 % BFR ↓ 20,8 % (p=0,02)* Alaraajan polvea liikuttavien lihasten voima heikkeni BFR-ryhmällä vähemmän. CSA (vammututunut/terve) Polven extensorit: N-ryhmä 92 => 92, BFR 91 => 101 p=0,04** Polven fleksorit: N-ryhmä 97 => 102, BFR-ryhmä 99 => 105 *tilastollisesti merkittävä ero ryhmien välillä **tilastollisesti merkittävä ero

Tennent ym. 2016. Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study

Tutkimusasetelma	Randomized controlled pilot study
Tarkoitus/Kohderyhmä	Polven täyhystysleikkauksen jälkeinen kuntoutus
Koehenkilömäärä	Normaali fysioterapeuttinen kuntoutus + BFR N=10, Normaali fysioterapeuttinen kuntoutus N=7 (yhteensä n= 17)
Laadun arviointi	PEDro*: 7/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Kyllä, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	6 viikkoa, 12 fysioterapia kertaa

Harjoittelun/intervention kuvaus	BFR-ryhmälle normaalin kuntoutuksen lisäksi: Jalkaprässi, polven ojennus ja käänteinen jalkaprässi, 1x30 + 3x15 30 % 1RM:sta, 30s sarjapalautus, Kuntoutusryhmä noudatti normaalia fysioterapeuttista kuntoutusprotokollaa.
BFR-paineen määrä	80 % LOP:sta 5 min kerrallaan (yhden liikkeen ajan), lepo 1 min ilman painetta
Tulokset	Reiden ympäräsmitta 6cm: BFR-ryhmä ↑ 6,2% (p=0,0111), kuntoutusryhmä ↑2,0% Reiden ympäräsmitta 16cm: BFR-ryhmä ↑5,5 % (p=0,0001), kuntoutusryhmä ↑0% Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑ 77,9 % (p=0,001), kuntoutusryhmä ↑40,8% (p=0,0078) Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑ 39 % (p=0,001), Kuntoutusryhmä ↑15,7% (p=0,023) Kävelynopeus: BFR-ryhmä ↑ 37,4% (p=0,003), kuntoutusryhmä ↑31,7% (p=0,029), Viisi kertaa istumasta seisomaan nousun aika: BFR-ryhmä ↓26,8% (p=0,0107), kuntoutusryhmä ↓29,2% (p=0,006) 4 square step testin aika: BFR-ryhmä ↓ 20,3% (p=0,0015), kuntoutusryhmä ↓24,7% (p=0,009) Stair climb-testin aika: BFR-ryhmä ↓ 46,2% (p=0,0001), Kuntoutusryhmä ↓15,8%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,028) KOOS- ja VR-12-kyselyiden tulokset paranivat BFR-ryhmällä enemmän ja yhtenäisemmin kuin kuntoutusryhmällä. Kyselytulosten muutoksissa ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Polven nivelrikko

Segal ym. 2016. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis	
Tutkimusasetelma	Randomized, double-blinded, controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Polven nivelrikon riskiryhmässä olevat naiset
Koehenkilömäärä	BFR-kevyt voima N=19 Kevyt voima N=21 (yhteensä n= 40)
Laadun arviointi	PEDro*: 7/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Kyllä, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	4 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa, Sama ohjelma molemmilla ryhmillä, BFR-ryhmä teki harjoitteet verenkierron rajoituksen kanssa Jalkaprässi: 1x30+3x15, 30s sarjapalautuksella, 30 % 1RM:sta
BFR-paineen määrä	Nousi viikoittain, alkupaine harjoituskerroilla 100mmHg → 120 mmHg ja loppupaine harjoituskerroilla 160 mmHg → 200mmHg. Mansetti yllä 6,5 min ajan.
Tulokset	Jalkaprässi 1RM (kehonpainoon suhteutettu): BFR-ryhmä ↑17,4% (p<0,0001), voimaryhmä ↑9,5% (p=0,046), tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,0385) Polven ojennus isokineettinen MVC (kehonpainoon suhteutettu): BFR-ryhmä ↑5,4% (p=0,024), voimaryhmä ↓3,8%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,0048) KOOS-kyselyn tulos: BFR-ryhmä: ↑2,5%, voimaryhmä: ↑2,4%

Segal ym. 2015. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training For Quadriceps Strengthening in Men at Risk of Symptomatic Knee Osteoarthritis	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Polven nivelrikon riskiryhmässä olevat miehet
Koehenkilömäärä	BFR-kevyt voima N=21 Kevyt voima N=21

	(yhteensä n= 42)
Laadun arviointi	PEDro*: 7/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Kyllä, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	4 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa Sama ohjelma molemmilla ryhmillä, BFR-ryhmällä verenkierron rajoitus Jalkaprässi: 1x30 + 3x15, 30s palautuksella, 30 % 1RM:sta
BFR-paineen määrä	Nousi viikoittain, alkupaine harjoituskerroilla 100mmHg → 120 mmHg ja loppupaine harjoituskerroilla 160 mmHg → 200mmHg. Mansetti yllä 6,5 min ajan.
Tulokset	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑3,1% (p=0,003), voimaryhmä ↑4,7% (p<0,002) Polven ojennus isokineettinen MVC: BFR-ryhmä ↑0,4%, voimaryhmä ↑6,7% (p=0,006) KOOS-kyselyn tulos: BFR-ryhmä ↑4,9%, voimaryhmä ↑14,3% Ilman BFR:ää harjoitellut ryhmä paransi siis enemmän tuloksia.

Fernandes Bryk ym. 2016. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial

Tutkimusasetelma	Randomized Clinical Trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-voimaharjoittelun vaikutus polven osteoartriitti-diagnoosin saaneiden naisten polven ojennus voimaan ja toiminnallisiin testeihin
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä N=17 Raskaan voimaharjoittelu ryhmä N= 17 (yhteensä n= 34)
Laadun arviointi	PEDro: 7/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Kyllä, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	6 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa Molemmat ryhmät tekivät seuraavat harjoitteet: Hamstrings venytys, 3 x 30 s Lankku 3 x 30 s Lonkkanivelen abd. kyljellä 3x10/puoli Pohkeille nousu, 3x10 Clam exercises vastusnauhalla, 3 x10 Sensomotoriikka trampoliinilla 3 x 30 s BFR-ryhmän polven ojennus: 3 x 10 x 30 % 1RM:sta Voima-ryhmän polven ojennus: 3 x 10 x 70 % 1RM:sta
BFR-paineen määrä	200mmHg
Tulokset	Polven ekstensio 1RM ↑ 72 % BFR-ryhmä ja ↑ 39 % Con-ryhmä Lequesne ↓43,6% BFR-ryhmä ja ↓46,2 % Con-ryhmä ** TUG↓ 16 % BFR-ryhmä ja ↓ 21% Con-ryhmä ** NPRS ↓51 % BFR-ryhmä ja ↓ 42 % Con-ryhmä ** ** testituloksen pienentyminen tarkoittaa testin parantumista BFR-ryhmä koki vähemmän epämukavuutta polven etuosissa harjoitusseisoiden aikana, kuin Con-ryhmä (p<0,05)

Muiden polvivammojen kuntoutus

Patellofemoraalinen kipu

Giles ym. 2017. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomized trial	
Tutkimusasetelma	a double-blind randomized trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-harjoittelun ja raskaan voimaharjoittelun vaikutukset patellofemoraalikipusta kärsivillä aikuisilla.
Koehenkilömäärä	BFR-harjoittelu (N=35) raskas voimaharjoittelu (N=34) (yhteensä n= 69)
Laadun arviointi	PEDro*: 7/10 1: Kyllä, 2: Kyllä 3: Kyllä, 4: Ei, 5: Kyllä, 6: Ei, 7: Kyllä, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	8 viikkoa,
Harjoittelun/intervention kuvaus	Bilateraalinen jalkaprässi ja polvenojennus, BFR-ryhmä: 1x30 + 3x15, 30% 1RM:sta, 30s sarjapalutus, Voimaryhmä: 3x7-10, 70% 1RM:sta, Placebo-BFR löysää elastista nauhaa käyttäen
BFR-paineen määrä	60 % LOP:sta
Tulokset	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑26,9% (p<0,001), Voimaryhmä ↑17,5% (p<0,001) Quadriceps-paksuus ultraäänellä mitattuna: BFR-ryhmä ↑1,3%, voimaryhmä ↑4,0% (p=0,018) Koehenkilöillä, joilla vastustettu polven ojennus tuotti kipua ennen tutkimusta, BFR-harjoittelu kasvatti ojennusvoimaa tilastollisesti merkitsevästi enemmän (N=20, ↑37%) verrattuna raskaaseen voimaharjoitteluun (N=19, ↑14,9%) (P=0,003) Kiputuntemus VAS-janalla mitattuna laski merkitsevästi molemmilla ryhmillä (p<0,001) ja Kujala Patellofemoral Score parani myös merkitsevästi molemmilla ryhmillä (p<0,001)

Krooninen alaraajan lihasheikkous traumaattisen vamman seurauksena

Hylden ym. 2015. Blood Flow Restriction Rehabilitation for Extremity Weakness: A Case Series	
Tutkimusasetelma	Case series
Tarkoitus/Kohderyhmä	Traumaattisen vamman kärsineitä henkilöitä, joilla krooninen polven ojennus- tai koukistusvoiman vajuus
Koehenkilömäärä	Seitsemän case-kuvausta (n=7)
Laadun arviointi	PEDro*: 2/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Ei, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Ei, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	2 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa, Jalkaprässi, polven ojennus, käänteinen jalkaprässi, 4 sarjaa väsymykseen, 30s palautuksella
BFR-paineen määrä	110mmHg
Tulokset	Case-henkilöiden keskimääräiset muutokset isokineettisissä polven ojennus- ja koukistustesteissä: Isokineettinen polven ojennus 90° / 300°/s: Maksimivoima: ↑33,4% ±23,8 / ↑16,5% ±18,7 Keskiteho: ↑37,4% ±29,0 / ↑44,7% ±38,9 Kokonaistyö: ↑38% ±24,4 / ↑38,0% ±30,2 Isokineettinen polven koukistus 90° / 300°/s: Maksimivoima: ↑28,8% ±25,6 / ↑21,8% ±15,2 Keskiteho: ↑48,7% ±30,9 / ↑75,9% ±65,8 Kokonaistyö: ↑35,6% ±28,9 / ↑47,5% ±57,9

Osteokondraalisen murtuman jälkeinen harjoittelu

Loenneke ym. 2012. Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: A case review	
Tutkimusasetelma	Case study
Tarkoitus/Kohderyhmä	Polven osteokondraalinen murtumasta kuntoutuminen BFR-menetelmää hyödyntäen, 22-vuotias kehonrakentaja
Koehenkilömäärä	N=1
Laadun arviointi	PEDro*: 0/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Ei, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Ei, 11: Ei *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	15 päivää
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa Jalkaprässi, suorinjaloain maastaveto, polven koukistus, polven ojennus, varpaille nousu, Käytetyt sarja- ja toistomäärät: 1x30 + 3x15, 30-45s sarjapalautuksella, 4 sarjaa väsymykseen 30-45s sarjapalautuksella, 5x20, 30-45s sarjapalautuksella, Painoa ei tarkasti määritelty, kuitenkin kevyt paino
BFR-paineen määrä	Ei määritelty, käytti kuminauhoja BFR-stimulaation aikaansaamiseksi
Tulokset	Loukkaantumisen jälkeen MRI:stä löytynyt nivelrustomurtma oli alkanut parantumaan harjoittelun myötä. Polven liikeradan olivat palautuneet ja kivuttomat. Koehenkilö pystyi osallistumaan suunnittelemaansa kilpailuun ja sijoittui viiden parhaan joukkoon NPC Northern Natural USA kevyessä- sekä juniorisarjassa

Liite 2. BFR-harjoittelun käyttöä ikääntyneiden kuntoutuksessa tarkastelleet tutkimukset

Voimaharjoittelu

Shimizu ym. 2016. Low intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people	
Tutkimusasetelma	Randomized trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Terveet ikääntyneet (71±4v), BFR-harjoittelun vaikutus ylä- ja alaraajojen voimaan sekä perifeerisen verisuoniston toimintaan.
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä, N=20 Voimaryhmä N=20 (yhteensä n= 40)
Laadun arviointi	PEDro*: 6/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	4 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa, BFR-ryhmä: polven ojennus, jalkaprässi, soutu ja rintaprässi, 3x20, 30s palautuksilla, 20 % arvioidusta 1RM:sta, Voimaryhmä: sama ohjelma ilman BFR:ää
BFR-paineen määrä	Koehenkilön reisivaltimon systolinen verenpaine
Tulokset	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑11% (p<0,01), voimaryhmä ↓2,3%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01) Polven ojennus 1RM:

	<p>BFR-ryhmä ↑19% (p<0,01), voimaryhmä ↑3,5%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Soutuliike 1RM: BFR-ryhmä ↑9,2%, voimaryhmä 7,4%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Rintaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑5,8%, voimaryhmä ↑4,6%</p>
--	---

Alaraajojen voimaharjoittelu

Libardi ym. 2014. Effect of Concurrent Training with Blood Flow Restriction in the Elderly	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät henkilöt (64,7±4,1v) Vertailla BFR-voimaharjoittelun sekä raskaan voimaharjoittelun vaikutuksia alaraajojen voimaan, lihasmassaan ja maksimihapenottokykyyn
Koehenkilömäärä	BFR-voima + kestävyys (N=10) voima + kestävyys (N=8) (yhteensä n= 18)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2 voimaharjoitusta ja 2 kestävyysharjoitusta viikossa. Molemmat ryhmät tekivät samanlaisen kestävyys-ohjelman. Kestävyysohjelma: Kävelen tai juosten ilman verenkierron rajoitusta, Viikot 1-6 40min 60-85%VO2maxpeak, viikot 7-12 50min 60-85% VO2maxpeak Voimaohjelmat: BFR-ryhmä: Jalkaprässi, 1x30 + 3x15, 1 minuutin sarjapalautus, viikot 1-6 20% 1RM:sta, viikot 7-12 30 % 1RM:sta Voima-ryhmä: Jalkaprässi, 4x10, 1 minuutin sarjapalautuksella, viikot 1-6 70% 1RM:sta, viikot 7-12 80% 1RM:sta
BFR-paineen määrä	50 % LOP:sta
Tulokset	<p>Quadriceps mCSA: BFR-ryhmä ↑7,6% (p<0,0001), voimaryhmä ↑7,3 (p<0,0001)</p> <p>Jalkaprässi 1 RM: BFR-ryhmä ↑35,4% (p=0,001), voimaryhmä ↑38,1% (P<0,001)</p> <p>VO2maxpeak: BFR-ryhmä ↑10,3% (p=0,02), voimaryhmä ↑9,5% (p=0,04)</p> <p>Ei tilastollisesti merkitseviä eroja lihasmassan kasvun, maksimivoiman tai maksimihapenottokyvyn kehittymisessä ryhmien välillä</p> <p>BFR-ryhmän voimaharjoittelun kokonaisvolyymi oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää voimaryhmään verrattuna (BFR-ryhmä 10014kg vs. voimaryhmä 18830kg viikot 1-6)(p<0,05) (BFR-ryhmä 17704kg vs. voimaryhmä 27611kg viikot 7-12)(p<0,05)</p>

Vechin ym. 2015. Comparisons between low intensity resistance training with blood flow restriction and high intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Ikääntyneet (ka. 64-vuotta) BFR-voimaharjoittelu vs. Voimaharjoittelu raskailta painoilla, vaikutukset alaraajojen voimaan ja lihasmassaan,
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä (N=8) raskasvoima (N=8) kontrolliryhmä (N=7) (yhteensä n= 23)

Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa, 45° jalkaprässi, BFR-ryhmä: 1x30 + 3x15, 60s sarjapalautus ensimmäiset 6 viikkoa 20 % 1RM:sta ja viimeiset 6 viikkoa 30 % 1RM:sta, Voimaharjoitteluryhmä: 4x10, 60s sarjapalautus, ensimmäiset 6 viikkoa 70 % 1RM:sta ja viimeiset 6 viikkoa 80 % 1RM:sta
BFR-paineen määrä	50 % sääri- ja lantion systolisesta lepo verenpaineesta
Tulokset	Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑15,8% (p=0,067), voimaryhmä ↑50,3% (p<0,001) Quadiceps CSA: BFR-ryhmä ↑16,9% (P<0,001), voimaryhmä ↑7,4% (P<0,001) Kontrolliryhmällä ei muutoksia testituloksissa

Patterson & Ferguson. 2011. Enhancing Strength and Post occlusive Calf Blood Flow in Older People With Training With Blood-Flow Restriction

Tutkimusasetelma	Controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Low-Load resistant training (LLRT) vs LLRT+BFR aiheuttamat vaikutukset pohjelihasten voimaan. Iäkkäillä henkilöillä (62-73v)
Koehenkilömäärä	N=10, toinen alaraaja kevyt voima ja toinen Kevyt BFR-voima
Laadun arviointi	PEDro*: 5/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	4 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3xviikossa Unilateraalinen plantaarifleksio jalkaprässillä 25% 1-toiston maksimista (1RM). 3 sarjaa väsymykseen saakka 1 minuutin palautuksella. LLRT- BFR suoritettiin ensin, jonka jälkeen 3 min lepo ja raajan vaihto LLRT-kontrollia varten, jossa sama harjoitus suoritettiin uudelleen ilman verenkierron rajoitusta
BFR-paineen määrä	110 mmHg
Tulokset	Nilkan Plantaarifleksio 1RM ↑14% LLRT-BFR (p<0,05) ja ↑ 4% LLRT-kont, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05) MVC isometrinen plantaarifleksio ↑18 % LLRT-BFR (p<0,05) ja ↑ 4% LLRT-kont Isokineettinen voima 0,52 rad/s (N/M) ↑15,6 % LLRT-BFR (p<0,05) ja 0% LLRT-kont

Yasuda ym. 2016. Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women

Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Ikääntyneet naiset (61-86v), BFR-voimaharjoittelu vs. keski/raskas voimaharjoittelu vs. ei-harjoittelua vaikutus alaraajojen lihasmassaan ja verisuoniston toimintaan.
Koehenkilömäärä	BFR-harjoittelu (N=10) Keskiraskas harjoittelu (N=10) ei-harjoittelua (N=10) (yhteensä n= 30)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa Kyykky ja polven ojennus bilateraalisesti, kuminauhavastuksella BFR-ryhmä: 1x30 + 3x15, 30s sarjapalautus ja 90s palautus harjoitteiden välillä, 35-45% 1RM:sta Voimaryhmä: 3x12-13 toistoa 70-90% 1RM:sta Kontrolliryhmä:

	ei harjoittelua
BFR-paineen määrä	120mmHg → 200mmHg
Tulokset	<p>Quadiceps mCSA: BFR-ryhmä ↑6,9% (p<0,001), voimaryhmä ↑1,5% (p=0,871), Polven ojennuksen isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑13,7% (p=0,028), Voimaryhmällä ei merkitsevää kasvua (p=0,196)</p> <p>Polven ojennus 1RM: BFR-ryhmä ↑7,6% (p=0,076), Voimaryhmällä ei merkitsevää kasvua (p=0,605)</p> <p>Jalkaprässi 1RM: BFR-ryhmä ↑16,4% (p<0,001), voimaryhmä ↑17,6% (p<0,001)</p> <p>Adduktorien mCSA: Ei merkitseviä muutoksia ryhmillä</p> <p>Hamstring mCSA: ei merkitseviä muutoksia ryhmillä</p> <p>Gluteus maximus mCSA: ei merkitseviä muutoksia ryhmillä</p> <p>Polven koukistuksen isometrinen MVC: ei merkitseviä muutoksia ryhmillä</p>

Yokokawa ym. 2008. Effects of low- intensity resistance exercise with vascular occlusion on physical function in healthy elderly people

Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät
Koehenkilömäärä	BFR (N=19) Tasapainoharjoittelu (N=25) (yhteensä n= 44)
Laadun arviointi	PEDro*: 5/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	8 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	<p>2x viikossa</p> <p>BFR-ryhmä: Puolikyky, Askelkyky eteen, Varpaille nousut, polven nostot seisten, vatsalihasrustistus, polvenojennus / -koukistus istuen 5x10 → 3x15</p> <p>Tasapainoryhmä: Tavoitteena ryhdin ja dynaamisen tasapainon harjoittaminen, esimerkkiliikkeitä: Symmetriset ja asymmetriset liikkeet, eteen ja sivulle kurotukset, seisominen ja kävelyminen kapenevalla tukipinnalla, kävelyharjoitteiden haasteellisuuden lisääminen, toiminnallinen nilkan vahvistaminen</p>
BFR-paineen määrä	70mmHg → maksimipaine 1,2x systolinen verenpaine tai korkein siedettävä paine
Tulokset	<p>Puristusvoima vasen: BFR-ryhmä ↑5,1%, tasapainoryhmä ↑2,8%</p> <p>Puristusvoima oikea: BFR-ryhmä ↑4,1%, tasapainoryhmä ↑0,0%</p> <p>Polven ojennus isometrinen MVC vasen: BFR-ryhmä ↑20,3% (p<0,001), tasapainoryhmä ↓3,8%</p> <p>Polven ojennus isometrinen MVC oikea: BFR-ryhmä ↑6,9% (p=0,007), tasapainoryhmä ↓5,4%,</p> <p>Reaktioaika vertikaalihyppyyn: BFR-ryhmä ↓13%, tasapainoryhmä ↓5,1%</p> <p>TUG-testin aika: BFR-ryhmä ↓15,3% (P<0,001), tasapainoryhmä ↑5,8%,</p> <p>10m kävelytesti: BFR-ryhmä ↓9,5%, tasapainoryhmä ↓8,8%,</p> <p>Yhden askeleen maksimipituus vasen: BFR-ryhmä ↑5,5%, tasapainoryhmä ↑12,3%,</p> <p>Yhden askeleen maksimipituus oikea: BFR-ryhmä ↑8,7%, tasapainoryhmä ↑8,5%</p> <p>Eteenpäin kurotus-testi: BFR-ryhmä ↑9,4%, tasapainoryhmä ↑4,1%,</p> <p>Yhdellä jalalla seisomisen aika vasen: BFR-ryhmä ↑7,2%, tasapainoryhmä ↑19,5%</p> <p>Yhdellä jalalla seisomisen aika oikea: BFR-ryhmä ↓34%, tasapainoryhmä ↓19,4%</p> <p>Ei tilastollisesti merkitseviä eroja testeissä ryhmien välillä</p>

Yläraajojen voimaharjoittelu

Thiebaud ym. 2012. The effects of elastic band resistance training combined with blood flow restriction on strength, total bone-free lean body mass and muscle thickness in postmenopausal women

Tutkimusasetelma	Quasi-experimental study
------------------	--------------------------

Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-menetelmällä toteutetun vastuskuminauha harjoittelun vaikutukset voimaan, kehon koostumukseen ja lihasmassaan verrattuna harjoitteluun ilman BFR-menetelmää vaihdevuosi-ikäisillä (61±5v) naisilla.
Koehenkilömäärä	BFR+kevyt voima (N=6) keskiraskas/raskas voima (N=8) (yhteensä n= 14)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	8 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa Rintalihaspunnerrus, soutuiliike ja pystypunnerrus istuen (molemmilla ryhmillä myös alaraajaharjoitteita mukana ohjelmassa, mutta näissä ei BFR:ää mukana) BFR-ryhmä: 1x30 + 3x15, 10-30% 1RM:sta, 30s sarjapalautus, 30-120s palautus harjoitteiden välillä Voimaryhmä: 3x10, 70-90% 1RM:sta, 1-2min sarjapalautus, 30-120s palautus harjoitteiden välillä
BFR-paineen määrä	80mmHg → 120mmHg
Tulokset	Rintaprässi 1RM: kasvoi molemmilla ryhmillä (p<0,05) Pystypunnerrus 1RM: kasvoi molemmilla ryhmillä (p<05) Soutuiliike 1RM: kasvoi molemmilla ryhmillä (p<0,05) Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä Jalkaprässi, lonkan ojennus, lonkan koukistus, polven ojennus ja polven koukistus 1RM: Kasvoivat molemmilla ryhmillä, ei merkittäviä eroja ryhmien välillä. Pectoralis major paksuus ultraäänellä: Kasvoi molemmilla ryhmillä merkittävästi (p=0,04), ei merkitsevää eroa ryhmien välillä Deltoideus, Biceps brahcii, Triceps brachii, Quadriceps, Hamstring, Gastrocnemius ja Tibialis anterior paksuus: Ei muutoksia kummallakaan ryhmällä

Yasuda ym. 2015a. Effects of detraining after blood flow restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older women

Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät naiset (61-85v), BFR-harjoittelun vaikutukset yläraajojen voimaan ja lihasmassaan
Koehenkilömäärä	BFR-harjoittelu (N=7) kuminauhaharjoittelu (N=7) (yhteensä n= 14)
Laadun arviointi	PEDro*: 5/10 1: Kyllä, 2: kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa Sama ohjelma molemmilla ryhmillä, BFR-ryhmällä verenkierron rajoituksen kanssa. Bilateraallinen kyynärpäähän koukistus ja ojennus kuminauhalla, 1x30+3x15, 26-33% 1RM:sta, 30s sarjapalautus, 90s palautus harjoitteiden välissä
BFR-paineen määrä	120mmHg → 270mmHg tai korkein paine jolla pystyi tekemään
Tulokset	Kyynärpäähän koukistajalihasten mCSA: BFR-ryhmä ↑15,5% (p<0,01), kuminauharyhmä ↓0,9%, Kyynärpäähän ojentajalihasten mCSA: BFR-ryhmä ↑15,3% (p<0,01), kuminauharyhmä ↑0,0%, Kyynärpäähän ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑16,4% (p<0,01), kuminauharyhmä ↑1,1%, Kyynärpäähän koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑7,4%, kuminauharyhmä ↓2,6%

Yasuda ym. 2015b. Effects of Low-Load, Elastic Band Resistance Training Combined With Blood Flow Restriction on Muscle Size and Arterial Stiffness in Older Adults

Tutkimusasetelma	Controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät (61-85v), BFR-voimaharjoittelu kuminauhoilla ja sen vaikutus voimaan, lihasmassaan ja valtimoiden seinämien jäykkyyteen
Koehenkilömäärä	BFR-kuminauhavoima N=9 Kuminauhavoima N=8 (yhteensä n= 17)
Laadun arviointi	PEDro*: 3/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2xviikossa Sama ohjelma molemmilla ryhmillä BFR-ryhmällä verenkierron rajoituksen kanssa, Bilateraalin kyynärpään koukistus ja ojennus kuminauhalla, 1x30+3x15, 30s sarjapalautus, 90s palautus harjoitteiden välissä
BFR-paineen määrä	120mmHg → 270mmHg tai korkein paine jolla pystyi tekemään
Tulokset	Kyynärpään koukistajalihasten mCSA: BFR-ryhmä ↑17,6% (p<0,001), kuminauharyhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin, Kyynärpään ojentajalihasten mCSA: BFR-ryhmä ↑17,4% (p=0,013), kuminauharyhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin, Kyynärpään ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑16,1% (p=0,0131), kuminauharyhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin, Kyynärpään koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑7,8% (p=0,008), kuminauharyhmällä ei merkitsevää eroa alkumittauksiin,

Kävelyharjoittelu

Abe ym. 2010. Effects of Low-Intensity Walk Training With Restricted Leg Blood Flow on Muscle Strength and Aerobic Capacity in Older Adults	
Tutkimusasetelma	Randomized Controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät (60-78v), BFR-kävelyn vaikutukset voimaan ja kestävyyskuntoon
Koehenkilömäärä	BFR-kävely (N=11) Kontrolli (ei harjoittelua) (N=8) (yhteensä n= 19)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Ei, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	6 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	5x viikossa BFR-ryhmä: 20 min BFR-kävelyä 67 m/min, 45 % HRreserve Kontrolliryhmällä ei harjoittelua
BFR-paineen määrä	160mmHg → 200 mmHg
Tulokset	Reiden Muscle-bone CSA: BFR-ryhmä ↑5,8 % (p<0,05), kontrolli ↓0,1%, Säären muscle-bone CSA: BFR-ryhmä ↑5,1% (p<0,05), kontrolli ↓1,5%, Vartalon lihasmassa: BFR-ryhmä ↑1,8%, kontrolli ↑0,0%, Reiden lihasmassa: BFR-ryhmä ↑10,7% (p<0,01), kontrolli ↓2,9%, Säären lihasmassa: BFR-ryhmä ↑2,6% (p<0,05), kontrolli ↓2,3%, Koko kehon lihasmassa: BFR-ryhmä ↑6,0% (p<0,01), kontrolli ↓2,1%, Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑11,8% (p<0,05), kontrolli ↓2,2%, Polven ojennus isokineettinen MVC (30/90/180°/s): BFR-ryhmä ↑12,2%(p<0,01)/↑11,4%(p<0,05) /↑7,1%(p<0,05), kontrolli ↓2,7%/↓5,1%/↓4,1%, Polven koukistus isokineettinen MVC (30/90/180°/s): BFR-ryhmä ↑13,4%(p<0,01)/↑16,1%(p<0,01)/↑12,9%, kontrolli ↓2,3%/↓3,4%/↓5,4%, VO2maxpeak: BFR-ryhmä ↓2,2%, kontrolli ↓1,5%, TUG-aika: BFR-ryhmä merkitsevä parannus (p<0,001), kontrolli ei merkitsevää muutosta, 30s sit to stand-testi: BFR-ryhmä merkitsevä parannus (p<0,05), kontrolli ei merkitsevää muutosta.

Clarkson ym. 2017. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	lääkkäät (60-80v) BFR-kävelyn vaikutus kävelykuntoon ja toiminnallisiin testeihin
Koehenkilömäärä	BFR-kävely N=10 Kävely N=9 (yhteensä n= 19)
Laadun arviointi	PEDro*: 6/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	6 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	4x viikossa, Molemmilla ryhmillä sama ohjelma, BFR-ryhmällä verenkierron rajoituksen kanssa. 10 min, 4km/h
BFR-paineen määrä	60 % LOP:sta
Tulokset	30s istumasta seisomaan nousu: BFR-ryhmä ↑ 28 %, kävelyryhmä ↑ 8% TUG-aika: BFR-ryhmä ↓ 12 %, kävelyryhmä ↑ 5% 6MWT: BFR-ryhmä ↑ 9 %, kävelyryhmä ↑ 2% Queen's college step test: BFR-ryhmä ↑ 80 %, kävelyryhmä ↑ 21% BFR-ryhmällä kaikissa testeissä tilastollisesti merkitsevä parannus verrattuna kävelyryhmään (p<0,05)

Ozaki ym. 2011a. Effects of 10 Weeks Walk Training With Leg Blood Flow Reduction on Carotid Arterial Compliance and Muscle Size in the Elderly Adults	
Tutkimusasetelma	Controlled Trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Ikääntyneet (57-76v), BFR-kävelyn vaikutus kaulavaltimon komplianssiin ja Alaraajojen lihasmassaan
Koehenkilömäärä	BFR-kävely (N=13) kävelyn (N=10) (yhteensä n= 23)
Laadun arviointi	PEDro*: 3/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	10 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	4x viikossa Molemmilla ryhmillä sama ohjelma, BFR-ryhmällä verenkierron rajoituksen kanssa. 20min kävelyä 45%HRreserve
BFR-paineen määrä	140mmHg → 220mmHg
Tulokset	Quadriceps CSA: BFR-ryhmä ↑ 3,2% (p<0,01), kävelyryhmä ↓ 0,2%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01), Isokineettinen polven ojennus MVC (30°/s): BFR-ryhmä ↑ 8,7% (p<0,01), kävelyryhmä ↑ 2,7% Isokineettinen polven koukistus MVC (30°/s): BFR-ryhmä ↑ 15% (p<0,01), kävelyryhmä ↓ 0,3%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)

Ozaki ym. 2011b. Increases in Thigh Muscle Volume and Strength by Walk Training with Leg Blood Flow Reduction in Older Participants	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-kävelyn vs. kävelyharjoittelun vaikutukset ikääntyneiden (57-73 v) naisten alaraajojen lihasmassaan ja voimaan.
Koehenkilömäärä	BFR-kävely N=10 Kävelyryhmä N=8 (yhteensä n= 18)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Kyllä, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	10 viikkoa

Harjoittelun/intervention kuvaus	4xviikossa, 20 minuuttia kävelyä 45%HRreserve BFR-ryhmällä verenkierron rajoitus molemmissa alaraajoissa ja kävelyryhmä ilman rajoitusta
BFR-paineen määrä	160-200mmHg
Tulokset	<p>Koko reiden mCSA (cm²): BFR-ryhmä ↑3.1% (p<0,01), Kävelyryhmä ↓0,1%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Quadriceps mCSA (cm²): BFR-ryhmä ↑3,0% (p < .01), Kävelyryhmä ↓0,6%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Reiden Lihasvolyymi (cm³): BFR-ryhmä ↑3.7% (p<0,01), Kävelyryhmä ↑0,1%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Quadriceps lihasvolyymi (cm³): BFR-ryhmä ↑2,7% (p < .01), Kävelyryhmä ↓1,6%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑5.9%, Kävelyryhmä ↑1,6%</p> <p>Polven ojennuksen isokineettinen MVC (30°/s): BFR-ryhmä ↑ 8,4% (p < .01), Kävelyryhmä ↑0%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Polven ojennuksen isokineettinen MVC (180°/s): BFR-ryhmä ↑2,9%, Kävelyryhmä ↓1,9%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Polven koukistuksen isokineettinen MVC (30°/s): BFR-ryhmä ↑22%(p<0,01), Kävelyryhmä ↓3,2%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Polven koukistuksen isokineettinen MVC (180°/s): BFR-ryhmä ↑22,3% (p<0,01), Kävelyryhmä ↓4,2%, merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>TUG-aika: BFR-ryhmä ↓10,7% (p<0,01), Kävelyryhmä ↓0,1% **</p> <p>Tuolilta ylösnousu testin toistot: BFR-ryhmä ↑20,5%, Kävelyryhmä ↑7,8%</p> <p>VO₂peak (ml/kg/min): BFR-ryhmä ↑9,7%, Kävelyryhmä ↑10,9%</p> <p>** testituloksen pienentyminen tarkoittaa testin parantumista</p>

Liite 3. BFR-harjoittelun käyttöä muissa fysioterapiaan liittyvissä tilanteissa tarkastelleet tutkimukset

BFR-menetelmän käyttö immobilisaation aikana

Cook ym. 2010. Skeletal muscle adaptations following blood flow-restricted training during 30days of muscular unloading	
Tutkimusasetelma	Controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Terveet aikuiset (18-50v), BFR-harjoittelun vs. ei-harjoittelun vaikutus alaraajan lihasmassaan ja voimaan pakotetun raajan käyttämättömyyden aikana
Koehenkilömäärä	BFR-harjoittelu (N=8) ei-harjoittelu (N=8) (yhteensä n= 16)
Laadun arviointi	PEDro*: 5/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8

Harjoittelujakson kesto	30 päivää
Harjoittelun/intervention kuvaus	Ensin 30 päivän kontrollijakso molemmilla ryhmillä BFR-harjoittelu 30 päivän ajan 3x viikossa Polven ojennus, 3 sarjaa väsymykseen, 20% 1RM:sta, 90s sarjapalautus, Toinen ryhmä ei harjoitellut 30 päivän aikana
BFR-paineen määrä	1,3x systolinen verenpaine
Tulokset	Quadriceps mCSA: BFR-ryhmä ↓n.1%, kontrolliryhmä ↓7,5%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,04), Nilkan plantaarifleksoreiden mCSA: BFR-ryhmä ↓5,4%, kontrolliryhmä ↓8,5% Polven ojennuksen isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓2%, kontrolliryhmä ↓15,4% Plantaarifleksion isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓20,7%, kontrolliryhmä ↓26,7% Polven ojennus 1RM: BFR-ryhmä ↓1,5%, kontrolliryhmä ↓21%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (p=0,02), Polven ojennus kestovoima (toistomäärä 40%:lla alkutestien MVC:stä): BFR-ryhmä ↑28%, kontrolliryhmä ↓24%, tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä (P=0,003)

Kubota ym. 2008. Prevention of Disuse Muscular Weakness by Restriction of Blood Flow

Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-ilman harjoittelua vs. isometriset harjoitteet ilman BFR:ää vaikutus alaraajojen voimaan ja lihasmassaan pakotetun immobilisaation aikana
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä N=5 isometriset harjoitteet N=4 kontrolliryhmä (ei interventiota) N=6 (yhteensä n= 15)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	2 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	BFR-ryhmä: 2x päivässä 5x5min verenkierronrajoitus 3min palautuksella isometriset harjoitteet-ryhmä: 2x päivässä isometriset harjoitteet polven ojentajille, polven koukistajille ja nilkan plantaarifleksoreille 20 x 5s jännitys / 5s rentoutus
BFR-paineen määrä	200mmHg
Tulokset	Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓4,4%, isometrinen ryhmä ↓16,5%, kontrolliryhmä ↓22,6%(p=0,005) Polven ojennus isokineettinen MVC (eksentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓4,7%, isometrinen ryhmä ↓21,3%, kontrolliryhmä ↓23,5%(p=0,004) Polven ojennus isokineettinen MVC (eksentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓0,6%, isometrinen ryhmä ↓22,5%, kontrolliryhmä ↓23,5%(p=0,005) Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓2,9%, isometrinen ryhmä ↓12,1%, kontrolliryhmä ↓22,1%(p=0,01) Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓2,8%, isometrinen ryhmä ↓3,5%, kontrolliryhmä ↓10,0% Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 300°/s): BFR-ryhmä ↓1,0%, isometrinen ryhmä ↓7,1%, kontrolliryhmä ↓16,7% Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↑0,4%, isometrinen ryhmä ↑13,0%, kontrolliryhmä ↓20,3% Polven koukistus isokineettinen MVC (eksentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓2,4%, isometrinen ryhmä ↓6,2%, kontrolliryhmä ↓20,2%(p=0,022) Polven koukistus isokineettinen MVC (eksentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓4,3%, isometrinen ryhmä ↓5,7%, kontrolliryhmä ↓18,9%(p=0,033) Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↑1,2%, isometrinen ryhmä ↓12,2%, kontrolliryhmä ↓20,9% Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓0,2%, isometrinen ryhmä ↓7,1%, kontrolliryhmä ↓9,9% Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 300°/s): BFR-ryhmä ↑0,4%, isometrinen ryhmä ↓12,3%, kontrolliryhmä ↓6,5%

	<p>Plantaarifleksio isokineettinen MVC (eksentrinen 60°/s): Kontrolliryhmä ↓ 15,9%, isometrinen-ryhmä ↓ 14,1%, BFR-ryhmä ↓ 7,2%</p> <p>Plantaarifleksio isokineettinen MVC (eksentrinen 120°/s): Kontrolliryhmä ↓ 13,1% isometrinen-ryhmä ↓ 26,9%, BFR-ryhmä ↓ 8,1%</p> <p>Plantaarifleksio isokineettinen MVC (konsentrinen 60°/s): kontrolliryhmä ↓ 24,0%(p=0,024), isometrinen ryhmä ↓ 15,2%, BFR-ryhmä ↓ 17,8%</p> <p>Plantaarifleksio isokineettinen MVC (konsentrinen 120°/s): kontrolliryhmä ↓ 22,1%(p=0,034), isometrinen ryhmä ↓ 17,4%, BFR-ryhmä ↓ 7,9%</p> <p>BFR-ryhmä näytti ylläpitävän myös reiden lihassmassan paremmin kahden viikon seurantaajan aikana verrattuna isometrisiä harjoitteita tehneeseen ja kontrolliryhmään (ei kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä eroja).</p>
--	---

Kubota ym. 2010. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness

Tutkimusasetelma	Randomized trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR:n vaikutus alaraajojen lihassmassaan ja voimaan immobilisaation aikana
Koehenkilömäärä	BFR-ryhmä N=5 kontrolliryhmä N=6 (yhteensä n= 11)
Laadun arviointi	PEDro*: 4/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: ei, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	2 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x päivässä, BFR-ryhmä: 5x5min verenvirtauksen rajoitus /3min palautuksella, Kontrolliryhmä: ei interventiota
BFR-paineen määrä	50mmHg
Tulokset	<p>Polven ojennus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓ 17,3% (p<0,05), kontrolliryhmä ↓ 22,7% (p>0,001)</p> <p>Polven ojennus isokineettinen MVC (eksentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓ 12,5%, kontrolliryhmä ↓ 32,6%(p<0,05), merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Polven ojennus isokineettinen MVC (eksentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓ 23,1%, kontrolliryhmä ↓ 27,4%(p<0,01)</p> <p>Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓ 16,5% (p<0,05), kontrolliryhmä ↓ 22,6%(p<0,01)</p> <p>Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓ 11,5%, kontrolliryhmä ↓ 11,7% (p<0,05)</p> <p>Polven ojennus isokineettinen MVC (konsentrinen 300°/s): BFR-ryhmä ↓ 4,6%, kontrolliryhmä ↓ 10,0%</p> <p>Polven koukistus isometrinen MVC: BFR-ryhmä ↓ 3,8%, kontrolliryhmä ↓ 21,6% (p<0,05), merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Polven koukistus isokineettinen MVC (eksentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓ 3,3%, kontrolliryhmä ↓ 19,1%(p<0,01), merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,01)</p> <p>Polven koukistus isokineettinen MVC (eksentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓ 9,9%, kontrolliryhmä ↓ 19,1%(p<0,05)</p> <p>Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 60°/s): BFR-ryhmä ↓ 7,1 (p<0,05), kontrolliryhmä ↓ 19,4% (p<0,05), merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 180°/s): BFR-ryhmä ↓ 1,5%, kontrolliryhmä ↓ 16,5%</p> <p>Polven koukistus isokineettinen MVC (konsentrinen 300°/s): BFR-ryhmä ↑ 3,8%, kontrolliryhmä ↓ 15,6%% (p<0,05), merkitsevä ero ryhmien välillä (p<0,05)</p> <p>Polven ojennusvoima laski isometrisessä sekä isokineettisissä testeissä eri kulmanopeuksilla BFR-ryhmällä keskimäärin 14,3% ja kontrolliryhmällä 21,2%. Polven koukistusvoima laski isometrisessä sekä isokineettisissä testeissä eri kulmanopeuksilla BFR-ryhmällä keskimäärin 5,0% ja kontrolliryhmällä 15,6%.</p>

	<p>BFR-ryhmän plantaarifleksiovoima 60°/s ja 120°/s kulmanopeuksilla konsentrisella ja eksentrisellä lihastyöllä säilyi paremmin verrattuna kontrolliryhmään. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien väliltä löytyi 60°/s eksentrisessä lihastyössä (BFR-ryhmä ↓0,2% vs. kontrolli ↓16,1%)(p=0,02)</p> <p>Reiden ja säären ympärystimtojen pienenemisessä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien väliltä.</p>
--	--

Myosiittipotilaiden harjoittelu

Mattar ym. 2014. Safety and possible effects of low-intensity resistance training associated with partial blood flow restriction in polymyositis and dermatomyositis

Tutkimusasetelma	Quasi-experimental study
Tarkoitus/Kohderyhmä	BFR-harjoittelun vaikutukset alaraajojen lihasmassaan, voimaan sekä tulehdusmarkkereihin Polymyosiitti/dermatomyosiitti potilailla (ka. 45,6v)
Koehenkilömäärä	Polymyosiitti/dermatomyosiitti potilaat (N=13)
Laadun arviointi	PEDro*: 2/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Ei, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Ei, 10: Ei, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa, Bilateraalinen jalkaprässi ja polven ojennus, Ensimmäiset 4 viikkoa: 4x15x 30% 1RM:sta, 60s sarjapalautus, 5 viikosta eteenpäin: 5x15x 30% 1RM:sta, 60s sarjapalautuksella, 1RM testattiin uudestaan joka neljäs viikko
BFR-paineen määrä	70 % LOP:sta
Tulokset	Jalkaprässi 1RM ↑19.6% (p<0,001) Polven ojennus 1RM ↑25,2% (p<0,001) Quadiceps mCSA ↑4,57% (p=0,01) 30s istumasta seisomaan nousu-testin toistomäärä ↑15,1% (p<0,001) TUG-testin aika ↓4,5% (p=0,002) Lisäksi elämänlaatu- ja ADL-kyselyissä merkitsevät parannukset harjoittelun seurauksena. Harjoittelu ei lisännyt tulehdusmarkkereiden (kreatiiniinikaasi ja aldolaasi) määrää veressä.

Jørgensen ym. 2016. Effects of blood- flow restricted resistance training on muscle function in a 74-year-old male with sporadic inclusion body myositis: a case report

Tutkimusasetelma	Case Study
Tarkoitus/Kohderyhmä	Polymyosiitti, BFR-menetelmän vaikutukset polymyosiittia sairastavalla henkilöllä
Koehenkilömäärä	n=1
Laadun arviointi	PEDro*: 2/10 1: Ei, 2: Ei, 3: Ei, 4: Ei, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Ei, 11: Ei *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	12 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa, Jalkaprässi (1-jalalla), polvenojennus (1-jalalla), pohkeet istuen (1-jalalla), Viikot 1-4, 3 sarjaa väsymykseen, viikot 5-12, 4 sarjaa väsymykseen, (jos enemmän kuin 15 toistoa sarjassa, lisättiin painoa 5 tai 10kg)
BFR-paineen määrä	100mmHg
Tulokset	Isometrinen polven ojennus MVC: ↑60%, Isometrinen Polven ojennus RFD: ↑38-92%, Yhden jalan polven ojennuksen maksimiteho: ↑48% heikommalla jalalla, 10m kävelytesti: ↑ 19%, TUG ei parantunut

Selkäydinvamman kuntoutus

Gorgey ym. 2016. Electrical stimulation and blood flow restriction increase wrist extensor cross-sectional area and flow mediated dilatation following spinal cord injury	
Tutkimusasetelma	Clinical Trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Study A: NMES + BFR vs. NMES selkäydinvammasta kärsivillä (Tetraplegia, C8 tai ylempi taso), henkilöillä, vaikutus ranteen dorsifleksoreiden poikkipinta-alaan
Koehenkilömäärä	N=9, koehenkilöiden oikea käsi NMES + BFR ja vasen käsi BFR
Laadun arviointi	PEDro*: 5/10 1: Kyllä, 2: Ei, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Kyllä, 9: Kyllä, 10: Kyllä, 11: Kyllä *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	6 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	2x viikossa, Oikea käsi BFR+NMES vasen käsi NMES, NMES stimulaatio ranteen dorsifleksoreille, 40 (4x10) toistoa, 5s on / 5s off
BFR-paineen määrä	130 % systolisesta lepoverenpaineesta
Tulokset	Extensor carpi radialis mCSA: NMES+BFR-käsi ↑17% (p=0,048), NMES-kädellä ei muutosta, NMES+BFR-ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi enemmän verrattuna NMES-ryhmään (p=0,003) Ranteen dorsifleksio-voima: molempien käsien ranteen dorsifleksoreiden aktivointiherkkyys parani, ei merkitseviä eroja ryhmien välillä Grasp and Release-testi: ei merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Vedessä tapahtuva terapeuttinen harjoittelu

Araújo ym. 2015. The effects of water-based exercise in combination with blood flow restriction on strength and functional capacity in post-menopausal women	
Tutkimusasetelma	Randomized controlled trial
Tarkoitus/Kohderyhmä	Vaihdevuosi-ikäiset naiset (54±4v), BFR + vesiharjoittelu vs. vesiharjoittelu vs. ei harjoittelua
Koehenkilömäärä	BFR + vesiharjoittelu (N=10) vesiharjoittelu (N=10) ei harjoittelua (N=8) (yhteensä n= 28)
Laadun arviointi	PEDro*: 3/10 1: Ei, 2: Kyllä, 3: Ei, 4: Kyllä, 5: Ei, 6: Ei, 7: Ei, 8: Ei, 9: Ei, 10: Kyllä 11: Ei *PEDro-asteikon arviointikriteerit on esitelty taulukossa 8
Harjoittelujakson kesto	8 viikkoa
Harjoittelun/intervention kuvaus	3x viikossa, Molempien ryhmien harjoittelu: Lonkan fleksio, ekstensio, adduktio ja abduktio seisten sekä polven ojennus ja koukistus seisten 1x30 + 3x15, 60s sarjapalautuksella, 60s palautus harjoitteiden välissä, joka kuudes harjoitus vastusta lisättiin 1kg nilkkapainolla
BFR-paineen määrä	80% LOP:sta
Tulokset	Yhden jalan polven ojennuksen 1RM: BFR-ryhmä ↑2,4kg (p=0,008), vesiryhmä ↑1,2kg (p=0,338), 5 kertaa istumasta seisomaan nousun aika: parani kaikilla ryhmillä TUG-testin aika: parani harjoitteluryhmillä Normaali kävelynopeus: ei merkittäviä muutoksia ryhmillä

	Maksimi kävelynopeus: ei merkittäviä muutoksia ryhmillä Viivaa pitkin kävelyn aika: ei merkittäviä muutoksia ryhmillä
--	--
