

**YLÄ- JA ALAVARTALON HARJOITUSVASTEIDEN EROT HYPERTROFIASSA
SEKÄ MAKSIMI- JA KESTOVOIMASSA VOIMAHARJOITTELEMATTOMILLA
AIKUISILLA**

Leo Haapasalo

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

Työn ohjaaja: Juha Ahtiainen

TIIVISTELMÄ

Haapasalo, L. 2023. Ylä- ja alavartalon harjoitusvasteiden erot hypertrofiassa sekä maksimi- ja kestovoimassa voimaharjoittelemattomilla aikuisilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 78 s.

Ylä- ja alavartalon lihashypertrofiaa vertaileva tutkimusnäyttö on ristiriitaista. Tutkijoilla ei ole konsensusta siitä, kasvaako ylä- ja alavartalon lihashypertrofia samaa vauhtia. Tämän tutkimuskentällä vallitsevan ristiriidan vuoksi tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään ovatko hypertrofiset vasteet yhtä suuria ylä- ja alavartalon välillä 10-viikkoisen hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun jälkeen. Samalla tutkittiin, onko maksimi- tai kestovoiman prosentuaalisessa kehittämisessä eroa ylä- ja alavartalon välillä.

Tutkimus toteutettiin osana Eeli Halosen ja Aapo Ranttilän väitöskirjatutkimusta. Tutkimukseen rekrytoitiin voimaharjoittelutaustattomia 18–40-vuotiaita perusterveitä miehiä ja naisia Keski-Suomen alueelta. Lopullinen aineisto sisälsi 44 ($32,07 \pm 4,79$ vuotta) tutkittavaa. Tutkittavat harjoittelivat valvotuissa olosuhteissa kahtena päivänä viikossa kymmenen viikon ajan. Harjoitettavat liikkeet olivat järjestyksessään horisontaalinen jalkaprässi, polvien ojennus laitteessa, penkkipunnerrus, hauiskääntö sekä tuettu kulmasoutu laitteessa. Kaikki liikkeet suoritettiin bilateraalisesti. Harjoitukset suunniteltiin siten, että ulompaan reisilihakseen sekä kaksipäiseen olkalihakseen kohdistui viikossa yhtä monta (16) työsarjaa. Kaksipäisen olkalihaksen ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-alat mitattiin ultraäänikuvantamisen avulla ennen voimaharjoittelun aloittamista sekä 5. ja 10. harjoitusviikoilla. Maksimi- ja kestovoimatestit ajoitettiin aina lihasten poikkipinta-ala mittausten kanssa samalle päivälle.

Kymmenviikkoisen harjoitusjakson jälkeen kaksipäisen olkalihaksen ($17,24 \pm 6,11$ %) sekä ulomman reisilihaksen ($18,45 \pm 8,53$ %) lihasmassa oli kasvanut lähtötasosta tilastollisesti erittäin merkitsevästi, mutta lihasten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa hypertrofiassa ($p = .414$). Myös maksimivoima kehittyi samassa ajassa ylä- ($20,38 \pm 12,23$ %) ja alavartalon ($19,61 \pm 10,39$ %) osalta tilastollisesti erittäin merkitsevästi, mutta ylä- ja alavartalon kehitystä vertaillen ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ($p = .440$). Sekä ylä- ($143,80 \pm 82,25$ %) että alavartalon ($227,64 \pm 235,16$ %) kestovoiman kehitys 10 viikossa oli tilastollisesti erittäin merkitsevää. Alavartalon kestovoima kehittyi ylävartaloon nähden tilastollisesti merkitsevästi enemmän ($p = .032$).

Tutkimuksen keskeisin löydös oli, ettei ylä- ja alavartalon hypertrofisissa vasteissa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Löydös saattaa selittyä ainakin osittain sillä, että harjoitusvolyymia tarkemmin tarkastellessa havaittiin, että polven ojennusta sisältäviä toistoja tehtiin tutkimuksessa tilastollisesti erittäin merkitsevästi enemmän kyynärvarren koukistusta sisältäneisiin toistoihin nähden. Tulokset osoittavat, että aiemmin voimaharjoittelemattomilla henkilöillä on mahdollista saavuttaa 10-viikkoisella hypertrofisella maksimivoimaharjoittelulla tilastollisesti erittäin merkitseviä vasteita niin hypertrofian kuin maksimi- ja kestovoimankin osalta.

Asiasanat: Lihaskasvu, lihasmassa, ulompi reisilihas, kaksipäinen olkalihas

ABSTRACT

Haapasalo, L. 2023. Differences in upper and lower body training responses in hypertrophy, maximum strength, and strength endurance in untrained adults. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in coaching and testing, 78 pp.

The research evidence comparing hypertrophy in the upper and lower body is conflicting. There is no consensus among researchers regarding whether upper and lower body hypertrophy occur at the same rate. Due to this existing discrepancy in the research field, this study aimed to investigate whether hypertrophic responses are equally significant in the upper and lower body following a 10-week period of hypertrophic maximum strength training. Additionally, the study examined whether there were differences in the percentage development of maximum strength or strength endurance between the upper and lower body.

The study was conducted as a part of Eeli Halonen's and Aapo Rantilä's doctoral research in the Faculty of Sport and Health Sciences at the University of Jyväskylä. Untrained, healthy men and women aged 18-40 years from the Central Finland region were recruited for the study. The final sample consisted of 44 participants ($32,07 \pm 4,79$ years) who trained under supervised conditions for two days per week over a ten-week period. The prescribed exercises included horizontal leg press, knee extension machine, bench press, bicep curl, and supported seated row. All movements were performed bilaterally. The training program was designed so that the quadriceps and biceps brachii received an equal number of working sets per week (16 sets). Cross-sectional areas of the biceps brachii and quadriceps femoris were measured using ultrasound imaging before the initiation of resistance training, as well as at the 5th and 10th weeks. Maximal and strength endurance tests were conducted on the same day as the cross-sectional measurements.

After a 10-week training period, the muscle mass of the biceps brachii (17.24 ± 6.11 %) and vastus lateralis (18.45 ± 8.53 %) had significantly increased from baseline levels, but there was no statistically significant difference in hypertrophy between these muscles ($p = .414$). Maximum strength also improved significantly during the same period for both upper (20.38 ± 12.23 %) and lower body (19.61 ± 10.39 %), but when comparing the development of upper and lower body maximum strength, no statistically significant difference was observed ($p = .440$). The development of both upper (143.80 ± 82.25 %) and lower body (227.64 ± 235.16 %) strength endurance over 10 weeks was statistically significant. Lower body strength endurance improved significantly more compared to the upper body ($p = .032$).

The key finding of this study was that there was no statistically significant difference in hypertrophic responses between the upper and lower body. This finding may be partially explained by the observation that the number of performed knee extension repetitions were statistically significantly higher in number than those involving elbow flexion in the study. The results indicate that previously untrained individuals can achieve statistically significant responses in hypertrophy, maximum strength, and endurance in both the upper and lower body with a 10-week hypertrophic maximal strength training program.

Keywords: Muscle growth, muscle mass, quadriceps femoris, biceps brachii

KÄYTETYT LYHENTEET

ACSA	anatomical cross-sectional area, lihaksen anatominen poikkipinta-ala
ATP	adenosiinitrifosfaatti
CSA	cross-sectional area, lihaksen poikkipinta-ala
DOMS	delayed onset muscle soreness, viivästynyt lihasarkuus
FK	fosfokreatiini
GH	growth hormone, kasvuhormoni
IGF-1	insulin-like growth factor-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä
IGFBP-1	insulin-like growth factor-binding protein 1, insuliinin kaltaisen kasvutekijän sidospoteiini
kg	kilogramma
NLMF	non-local muscle fatigue, ei-paikallinen lihasväsymys
RIR	reps in reserve, arvioitu toistoreservi
RPE	rating of perceived exertion, koettu kuormittavuus
1 RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	HYPERTROFINEN MAKSIMIVOIMAHARJOITTELU	2
2.1	Progressiivinen ylikuormitusperiaate ja superkompensaatio	2
2.2	Harjoitus	6
2.2.1	Harjoitusvolyymi	6
2.2.2	Sarjojen määrä	8
2.2.3	Toistomäärä sarjoissa	8
2.2.4	Kuormat	9
2.2.5	Palautukset.....	10
2.3	Lepo	12
2.4	Ravinto.....	15
3	YLÄ- JA ALAVARTALON LIHAKSISTON EROT	17
3.1	Lihasmassa.....	17
3.2	Voimantuotto suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan.....	18
3.3	Huippuvääntömomentit	18
4	HYPERTROFISEN VOIMAHARJOITTELUN VASTEET	20
4.1	Akuutit vasteet.....	20
4.1.1	Hormonit.....	20
4.1.2	Laktaatti, vapaat vetyionit ja väsymys	23
4.1.3	Lihassolujen mikroauriot ja viivästynyt lihasarkuus	25
4.2	Pitkäaikaiset vasteet.....	25
4.2.1	Hypertrofia.....	26
4.2.2	Neuraalisen ohjauksen kehittyminen.....	26
4.2.3	Muut pitkäaikaiset vasteet	28

4.2.4 Pitkäaikaisten vasteiden erot ylä- ja alavartalon välillä.....	29
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT.....	31
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	34
6.1 Tutkittavat.....	34
6.2 Tutkimusasetelma.....	36
6.3 Voimaharjoitusprotokolla.....	37
6.3.1 Liikkeet.....	37
6.3.2 Harjoitusten ohjaus	41
6.3.3 Kuormien määrittäminen.....	42
6.4 Maksimi- ja kestovoimatestit.....	44
6.4.1 Yhden toiston maksimivoimatesti jalkaprässissä	44
6.4.2 Toistomaksimitesti jalkaprässissä.....	45
6.4.3 Yhden toiston maksimivoimatesti hauiskäännössä	45
6.4.4 Toistomaksimitesti hauiskäännössä.....	46
6.5 Lihaksien poikkipinta-alan mittaaminen	47
6.6 Harjoitusvolyymien laskeminen	47
6.7 Tilastolliset menetelmät.....	48
7 TULOKSET.....	49
7.1 Hypertrofia.....	49
7.2 Maksimivoima	50
7.3 Kestovoima.....	51
8 POHDINTA.....	54
8.1 Hypertrofian kehitys	54
8.2 Maksimivoiman kehitys	57
8.3 Kestovoiman kehitys	59
8.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	61

8.5 Johtopäätökset	63
8.6 Jatkotutkimusehdotukset	63
8.7 Käytännön sovellukset.....	64
LÄHTEET	65

1 JOHDANTO

Useiden viikkojen ajan toistettavalla hypertrofisella voimaharjoittelulla saadaan aikaan erilaisia vasteita hermolihasjärjestelmässä, joiden seurauksena voimantuottokapasiteetti kasvaa. Keskeisessä roolissa voimantuottokapasiteetin kasvamisessa ovat lihaksen poikkipinta-alan (CSA) kasvu (Schoenfeld 2010) sekä lihaksen hermostollisen käskytyksen kehittyminen (Aagaard ym. 2002; Aagaard 2003).

Useimpien voimaharjoittelutaustattomia henkilöitä tarkastelleiden tutkimuksien tulokset ovat osoittaneet ylävartalon lihasten kasvavan suhteellisesti enemmän alavartalon lihaksiin nähden (Abe ym. 2000; Cureton ym. 1988; Wilmore 1974). Kojićin ym. (2021) tutkimuksessa ylä- ja alavartalon lihasmassan kasvu oli tilastollisesti yhtä merkitsevää. Aihetta koskevissa tutkimustuloksissa ei näin ollen olla saavutettu täydellistä konsensusta.

Teoriaosuudessa esitellään pitkäaikaisten harjoitusvasteiden lisäksi myös akuutit harjoitusvasteet kuten lihassolujen mikroauriot (Hulmi & Ahtiainen 2018) ja hormonivasteet (mm. Ahtiainen ym. 2003; Häkkinen & Pakarinen 1995; Kraemer & Ratamess 2005; Weiss ym. 1983), joilla tiedetään olevan keskeinen rooli pitkäaikaisten vasteiden, kuten esimerkiksi hypertrofian saavuttamisessa. Pitkäaikaisten vasteiden osalta tutkimuksessa ollaan hypertrofian lisäksi kiinnostuneita maksimi- ja kestovoiman kehityksestä. Niin maksimi- kuin kestovoimakin osalta pyritään selvittämään mahdollisia eroja vasteissa ylä- ja alavartalon lihasten välillä.

Tulevassa tutkimuksessa pyritään selvittämään ovatko hypertrofiset voimaharjoitteluvasteet samanlaisia ylä- ja alavartalon lihaksien välillä. Jotta tutkimuksen aikana saavutettavat harjoitusvasteet olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia, tutkittavat harjoittelivat ylä- ja alavartaloa samalla volyymilla tutkimuksen aikana.

2 HYPERTROFINEN MAKSIMIVOIMAHARJOITTELU

Hypertrofisella maksimivoimaharjoittelulla tarkoitetaan voimaharjoittelua, jonka avulla lihasmassan kasvu on kaikkein suurinta (Häkkinen 1990, 71). Schoenfeld (2013) on esittänyt hypoteesin, jonka mukaan lihasmassan kasvu johtuu kolmesta ensisijaisesta tekijästä: mekaanisesta jännityksestä, metabolisesta stressistä ja lihasvaurioista. Pelkkä voimaharjoittelu ei itsessään riitä tehokkaan harjoitusvasteen saavuttamiseksi, vaan siihen vaaditaan sopivaa harjoittelun, levon ja ravinnon välistä suhdetta. Voimaharjoituksessa intensiteetillä, harjoitusvolyymilla, kuormilla, sarjojen ja toistojen määrällä sekä palautuksilla vaikutetaan keskeisesti siihen, mille voiman osa-alueelle harjoitus halutaan kohdentaa (Ratamess ym. 2009).

Lihaksen koolla tiedetään olevan vahva yhteys maksimivoimantuottokapasiteettiin (mm. Fukunaga ym. 2001; Maughan ym. 1983; Moss ym. 1997). Onkin ymmärrettävää, miksi lihasmassan kerryttäminen on tavoiteltavan arvoista useiden eri urheilulajien harrastajien, mutta myös kunto- ja terveysliikkujien keskuudessa. Voimaharjoittelulla on havaittu olevan positiivisia kunto- ja terveysvaikutuksia voiman kehittymisen lisäksi muun muassa kehon rasvattoman massan kasvun, kehon rasvamassan vähenemisen, matalamman verenpaineen, insuliinisensitiivisyyden kasvun sekä veren lipidiprofiilin muutoksien muodossa (Fleck & Kraemer 2014, 1).

2.1 Progressiivinen ylikuormitusperiaate ja superkompensaatio

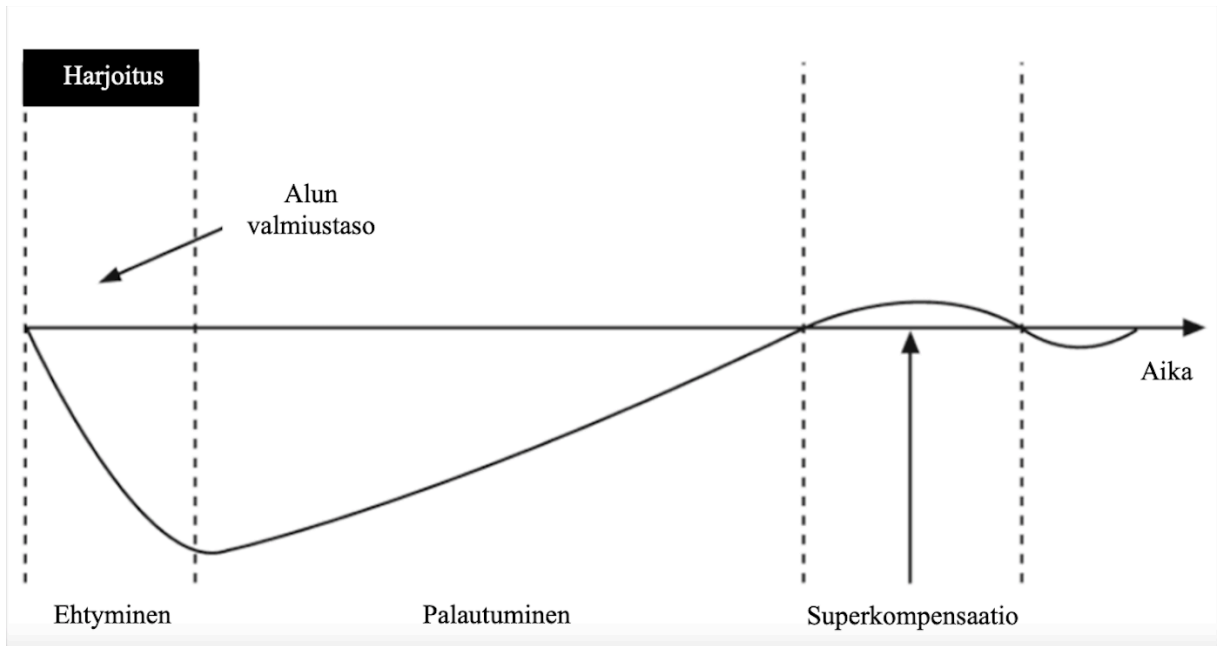
Luurankolihakset ovat dynaamisia kudoksia, joilla on kyky adaptoitua niin rakenteellisesti kuin fysiologisesti erilaisiin ylikuormituksen muotoihin. Toiminnallista ylikuormitusta tapahtuu silloin, kun lihaksen on supistuttava normaalia voimakkaammin (esim. voimaharjoittelussa) tai useammin (esim. kestävyysharjoittelussa). Näiden kahden harjoitustyypin tarjoamat vasteet eroavat toisistaan hyvin merkittävästi. Kestävyysharjoittelun myötä lihaksien mitokondrioiden ja hiussuonten määrä kasvaa aiheuttamatta juurikaan muutoksia lihaksen koossa. Sen sijaan voimaharjoittelun avulla saavutetaan lihasmassan kasvua eli hypertrofiaa sekä voiman kehittymistä. (MacDougall 2003, 252)

Progressiivisen ylikuormitusperiaatteen on tarkoitus altistaa elimistö tasaisesti kasvavalle stressitekijälle, minkä seurauksena elimistö pyrkii kehittämään valmiuttaan stressitekijän kohtaami-

selle jatkossa (Fleck & Kraemer 2014, 10). Perusedellytyksenä voiman kehittymisessä on Häkisen (1990, 101) mukaan voimaharjoittelussa käytettävän kuorman ja sitä kohtaan tuotettavan lihasjännityksen riittävä ylittäminen lihaksen saamaan normaaliin päivittäiseen kuormitustason verrattuna. Hypertrofisessa voimaharjoittelussa vastus/kuorma on yleisimmin käytetty muuttuja, jota lisäämällä elimistö altistetaan progressiivisesti kasvavalle stressille harjoitusjakson aikana (Fleck & Kraemer 2014, 10–11). Harjoittelun myötä saavutettavan kehityksen vuoksi stressitekijää, eli tässä tapauksessa vastusta, on lisättävä, jotta voiman kehittyminen jatkuu myös tulevaisuudessa. Jos harjoitusstimulus ei kasva voiman lisääntyessä, jossain kohtaa voiman kehittyminen lakkaa samalla vastuksella harjoiteltaessa (Fleck & Kraemer 2014, 11).

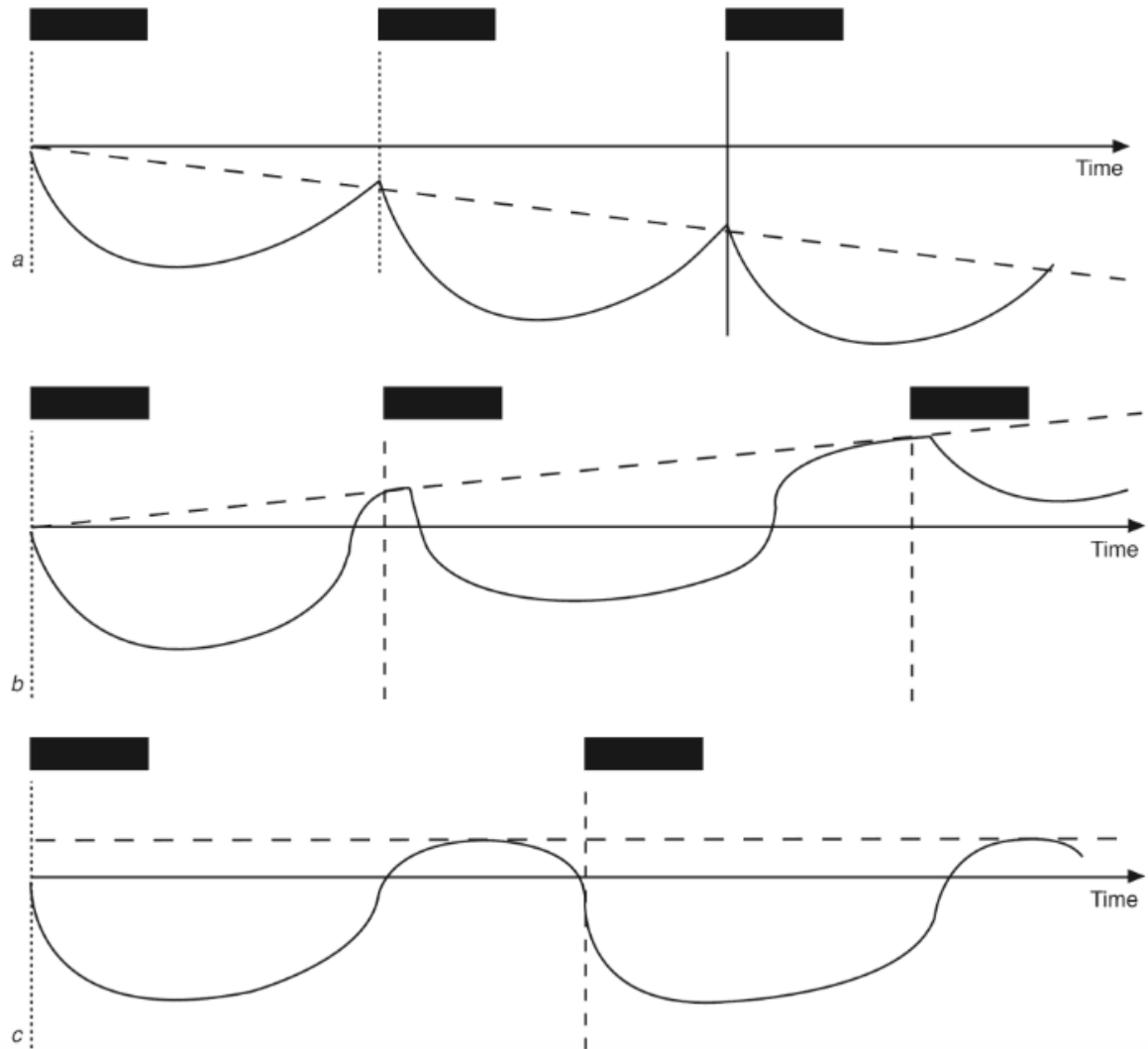
Adaptaatiolla tarkoitetaan organismin sopeutumista ympäristöönsä. Jos ympäristö muuttuu, organismi muuttuu siten, että sillä on paremmat mahdollisuudet selvitä uudessa ympäristössään. Adaptaatio onkin yksi biologian keskeisimpiä ominaisuuksia elävien lajien keskuudessa. (Zatsiorsky ym. 2020, 3) Myös ihminen on kykenevä adaptoitumaan ympäristöönsä. Voimaharjoittelu on erinomainen esimerkki tilanteesta, jossa elimistö altistetaan fyysiselle kuormitukselle, jonka seurauksena elimistöä ajetaan adaptaatioita kohti.

Kun harjoitusvastus on riittävän suuri, välittömänä seurauksena on hermo-lihasjärjestelmän väsyminen, minkä seurauksena suorituskyky hetkellisesti laskee (McFarlane 1985). Väsymys johtuu tiettyjen biokemiallisten aineiden ehtymisestä. Esimerkkinä tällaisesta aineesta toimii lihasglykogeeni, jonka tiedetään ehtyvän korkean volyymin anaerobisen tai pitkäkestoisen aerobisen harjoituksen seurauksena. Harjoitusta seuraavan palautumisjakson aikana biokemiallisen aineen, eli tässä tapauksessa lihasglykogeenin taso nousee harjoitusta edeltävää tasoa korkeammalle. Tätä kutsutaan superkompensaatioksi. Aikaa, jolloin superkompensoitujen aineiden taso on lähtötasoa korkeammalla, kutsutaan superkompensaatiovaiheeksi. (Zatsiorsky ym. 2020, 9) Kuvassa 1 on havainnollistettu superkompensaatioteorian mukaista yksilön suorituskyvyn ja valmiuden muutosta harjoituksen seurauksena.



KUVA 1. Superkompensaatioteorian mukainen urheilijan harjoituksen jälkeistä palautumisprosessia ja valmiustasetta kuvaava aikakäyrä. Pystyakseli kuvaa sekä lihasglykokeenin määrää että valmiuden tasoa. Mallin mukaan kaksi käyrää osuvat yhteen. (mukailtu Zatsiorsky ym. 2020, 9)

Superkompensaation saavuttamiseksi harjoittelun ja palautumisen jaksottaminen tulee ajoittaa oikein. Tämä superkompensaation periaate pätee niin mikro-, makro- kuin vuositasollakin. Siksi harjoittelussa on tärkeää keskittää riittävästi huomiota kuormittavuuden varioimiseen niin pitkällä kuin lyhyelläkin aikavälillä. (McFarlane 1985) Lepojaksojen jäädessä liian lyhyiksi harjoitusten välissä, yksilön valmiustaso laskee harjoituksesta toiseen, minkä seurauksena suorituskyyky alkaa pitkässä juoksussa heikentyä. Jos kuormitusten väli venyy liian pitkäksi, ennättää superkompensaatiovaihe mennä ohi seuraavaan harjoitukseen tultaessa, minkä seurauksena kehitys polkee paikallaan. Optimaalisessa tilanteessa harjoitukset suoritetaan superkompensaatiovaiheessa, jolloin suorituskyyky nousee pitkällä aikavälillä tarkasteltaessa. (Zatsiorsky ym. 2020, 9–11) Kuvassa 2 on havainnollistettu kolme edellä esitettyä skenaariota harjoitusten ajoittamisesta suhteessa superkompensaatiovaiheeseen.



KUVA 2. Superkompensaatioteoria. Pysty akseli kuvaa valmiuden tasoa. A-kuvan käyrä kuvaa tilannetta, jossa harjoitukset toteutuvat liian nopealla aikavälillä suhteessa palautumiseen, jolloin yksilön valmiustaso laskee kumuloituneen väsymyksen seurauksena. B-kuvan käyrä kuvaa tilannetta, jossa harjoitukset ajoitetaan optimaalisesti superkompensaatiovaiheeseen. C-kuvan käyrä kuvaa tilannetta, jossa harjoitusväli on superkompensaation saavuttamiseksi liian pitkä. Mustat laatikot kuvastavat harjoituksia. (Zatsiorsky ym. 2020, 11)

Hypertrofisessa voimaharjoittelussa lihassolujen koon kasvu on lihassolujen hajotettujen proteiinien superkompensaatiota. Lihasten superkompensaation myötä voimistuneet lihassolut eivät vaurioidu rasituksessa yhtä herkästi kuin ennen. Lisäksi lihassolut korjaantuvat ja uudelleenmuotoutuvat aiempaa nopeammin. Kaikki tässä kappaleessa edellä mainitut mekanismit edesauttavat jatkossa suuremmilla kuormilla harjoittelemista. (Zatsiorsky ym. 2020, 44)

2.2 Harjoitus

Hypertrofisessa maksimivoimaharjoittelussa keskeisenä tavoitteena on saavuttaa maksimaalinen lihasmassan kasvu (Häkkinen 1990, 71). Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi hypertrofisella maksimivoimaharjoittelulla pyritään maksimoimaan proteiinikatabolian aktivaatio, mikä stimuloi supistumiskykyisten proteiinien synteesiä harjoituksen jälkeisen levon aikana (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160). Maksimaalisen proteiinikatabolian saavuttamiseksi hypertrofinen voimaharjoitus on syytä toteuttaa siten, että harjoituksen yksittäiset muuttujat tukevat tavoitetta. Näihin muuttujiin voidaan lukea harjoitusvolyymi, sarjojen määrä, toistomäärä, palautuksien kesto ja sarjoissa käytettävät kuormat (Fleck & Kraemer 2014, 5–7).

2.2.1 Harjoitusvolyymi

Harjoitusvolyymi on summa, joka lasketaan kertomalla harjoituksen aikana suoritettujen toistojen kokonaismäärä käytetyllä vastuksella, eli käytännössä useimmiten kilogrammoina. Harjoitusvolyymi heijastaa lihaksiin kohdistuneen rasituksen kestoa. (Ratamess ym. 2009) Harjoitusvolyymillä mitataan harjoituksessa tai harjoituksissa tehdyn työn määrää tietyllä aikavälillä kuten esimerkiksi yksittäisessä harjoituksessa, viikossa tai kuukaudessa. Harjoitusfrekvenssillä, harjoitusten kestolla, sarjojen määrällä, sarjoissa tehtävien toistojen määrällä sekä harjoituksen aikana tehtävillä liikkeiden määrällä on suora vaikutus harjoitusvolyymiin. (Fleck & Kraemer 2014, 7)

Useat eri tutkimukset ovat pyrkineet selvittämään millä viikoittaisella harjoittelumäärällä saavutetaan optimaaliset hypertrofiset vasteet. Tutkimuksia on kohdennettu niin voimaharjoittelusta omaaviin henkilöihin kuin myös kohdejoukkoihin, joilla ei ole ollut aiempaa voimaharjoittelutaustaa. Tämän tutkielman tutkittavat eivät omaa aiempaa voimaharjoittelutaustaa, minkä vuoksi kirjallisuuden tarkastelussa on perusteltua keskittyä harjoittelemattomia henkilöitä käsitteleviin tutkimuksiin.

Candow ja Burke (2007) tutkivat, syntyisikö voimaharjoitteluvasteissa eroja kuuden viikon harjoittelun aikana, kun sama viikoittainen kokonaisharjoitusvolyymi jaettaisiin kahdelle tai kolmelle harjoituskerralle. Kahdestakymmenestäyhdeksästä tutkimukseen osallistuneesta tutkittavasta 15 henkilöä arvottiin 1-ryhmään, joka harjoitteli kaksi kertaa viikossa tehden kolme 10

toiston sarjaa väsymykseen saakka yhdeksässä eri liikkeessä. Kakkosryhmä harjoitteli kolme kertaa viikossa tehden kaksi 10-toiston sarjaa väsymykseen saakka samoissa liikkeissä kuin 1-ryhmäläiset. Molempien ryhmien jäseniltä mitattiin penkkipunnerruksen ja kyykyn 1 RM:n kehittymistä sekä kehon rasvatonta massaa. Tulokset osoittivat, että molemmat ryhmät kehittivät tilastollisesti merkitsevästi sekä maksimivoiman että lihasmassan kasvattamisen osalta. Tutkijat esittivät tulosten pohjalta, että voimaharjoittelun harjoitusvolyymilla näyttäisi olevan frekvenssiä tärkeämpi rooli lihasmassaa ja maksimivoimaa kehitettäessä niin miesten kuin naistenkin kohdalla. (Candow & Burke 2007)

Ratamessin ym. (2009) kirjoittaman laajan 280 lähdeä sisältävän katsausartikkelin mukaan voimaharjoittelutaustattomille henkilöille maksimaalisen lihashypertrofian ja voiman lisäämisen saavuttamiseksi suositeltava harjoitusfrekvenssi on harjoitella koko vartalon lihaksistoa 2–3 päivänä viikossa. Samassa Ratamessin ym. (2009) artikkelissa esitetyn meta-analyysin (Rhea ym. 2003) mukaan harjoittelemattomien henkilöiden kohdalla kunkin lihasryhmän harjoittaminen kolmena päivänä viikossa johtaa parhaisiin tuloksiin voimatasojen kehitymisessä. Samasta meta-analyysistä oli merkille pantavaa, että tutkijoiden mukaan voimaharjoitelleilla henkilöillä maksimaalinen voiman kehitys saavutettaisiin kunkin lihasryhmän harjoittamisella kahtena päivänä viikossa (Rhea ym. 2003). Tulos on ristiriidassa muun muassa Ratamessin ym. (2009) laajaan kirjallisuuteen perustuvan artikkelin kanssa, jonka mukaan voimaharjoitelleiden yksilöiden tulisi harjoitella voimaharjoittelemattomia henkilöitä enemmän maksimoidakseen vasenteensa.

Schoenfeldin ym. (2016a) meta-analyysissä kritisoitiin Ratamessin ym. (2009) julkaisemia suosituksia harjoittelemattomien henkilöiden voimaharjoittelufrekvenssistä. Kritiikin syyksi esitettiin suositusten perustuvan suhteellisen vähäiseen alkuperäislähteiden määrään ja vähäiseen näyttöön, minkä vuoksi tutkijat painottivat tekemänsä analyysin tärkeyttä. Meta-analyysiin valituista kymmenestä tutkimuksesta seitsemässä tutkittavat eivät olleet harrastaneet voimaharjoittelua ennen tutkimukseen osallistumistaan. Kaikissa tutkimuksissa, joissa tutkittavat olivat joko nuoria tai keski-ikäisiä, harjoitusvolyymi oli vakioitu kunkin tutkimuksen ryhmien välillä. Näitä tutkimuksia oli meta-analyysissä yhteensä viisi kappaletta. Missään näistä viidestä tutkimuksesta ei raportoitu tilastollisesti merkitseviä eroja lihasmassan kehityksessä eri harjoittelufrekvenssien välillä. Meta-analyysi kokonaisuudessaan, kaikki 10 tutkimusta huomioon ottaessaan osoitti, että tiheämpi harjoitusfrekvenssi johtaa tilastollisesti merkitsevästi parempaan lihasmassan kasvuun. Meta-analyysin tulos antaa ymmärtää, että lihasmassan kasvun kannalta

voimaharjoittelun pilkkominen useampaan harjoituskertaan näyttäisi tuottavan parhaat hypertrofiset vasteet. (Schoenfeld ym. 2016a) On kuitenkin syytä muistaa, että meta-analyysiin valituista tutkimuksista vain puolet tutkivat henkilöitä, joille voimaharjoittelu ei ollut entuudestaan tuttua, eikä voimaharjoittelemattomiin henkilöihin kohdennetuissa tutkimuksissa itsessään havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja lihasmassan kasvussa harjoitusfrekvenssien välillä (Schoenfeld ym. 2016a). Artikkelissa on korostettu, että suurimpia lihasryhmiä tulisi harjoittaa ainakin kahdesti viikossa maksimaalisen lihaskasvun saavuttamiseksi (Schoenfeld ym. 2016a), mikä on omalta osaltaan yhteneväinen muun muassa Ratamessin ym. (2009) aiemmin julkais- tujen suositusten kanssa.

2.2.2 Sarjojen määrä

Voimaharjoitteluvasteiden kannalta optimaalisen sarjamäärän selvittäminen on kiinnostanut lukuisia tutkijoita vuosien saatossa. Ratamessin ym. (2009) mukaan yksikään vertaileva tutkimus ei ole toistaiseksi osoittanut, että yksi työsarja yhtä voimaliikettä kohti tuottaisi suurempia vasteita kahden tai useamman työsarjan tuomiin vasteisiin verrattuna. Caprinellin ja Otton (1998) katsausartikkelin mukaan heidän valitsemastaan 35 tutkimusartikkelista vain kaksi osoitti selvästi useamman työsarjan tekemisellä saavutettavan suurempia voima- ja hypertrofiavasteita yhden työsarjan harjoitteluun verrattuna. Kyseistä artikkelia kritisoitiin pian Byrdin ym. (1999) toimesta samaisessa lehdessä. Byrd ym. (1999) esittivät omassa artikkelissaan kovaa kritiikkiä Caprinellia ja Ottoa (1998) kohtaan osoittamalla muun muassa tutkijoiden tulkintoja ja artikkelin asiasisältöjä virheellisiksi. Rhean ym. (2003) meta-analyysin mukaan harjoittelemattomat ja harjoitelleet henkilöt saavuttavat maksimaalisen voiman kehittymisen harjoittelemalla kutakin lihasryhmää neljä sarjaa.

2.2.3 Toistomäärä sarjoissa

Maksimaalisen lihasmassan kasvun kannalta toistojen määrään on syytä kiinnittää huomiota. Lihastyössä käytettävien motoristen yksiköiden rekrytoinnissa pätee Hennemanin (1957) kopperiaate, jonka mukaan lihastyössä rekrytoidaan ensimmäiseksi pienimpiä, I-tyyppin lihasso- luista koostuvia hitaita motoristia yksiköitä. Voimantuottovaatimusten kasvaessa rekrytoitavien

motoristen yksiköiden koko kasvaa kohti suurimpia II-tyyppin nopeita motorisia yksiköitä (Henneman 1957).

Jos voimaharjoittelussa sarjoissa käytetyt kuormat ovat liian pieniä, tarvittava voimantuotto kyetään saavuttamaan hitaita motorisia yksiköitä rekrytoimalla, jolloin korkeamman syttymiskyynnykset omaavat motoriset yksiköt jäävät rekrytoimatta. Kyseiset motoriset yksiköt koostuvat nopeista IIB-tyyppin lihassoluista, joilla on suurin kasvupotentiaali. (Schoenfeld 2000) Siksi sarjoissa käytettävien kuormien tulee olla riittävän suuria. Toisaalta liian suuretkaan kuormat eivät edistä maksimaalisesti hypertrofisten vasteiden syntymistä. Hypertrofiaa edistävien hormonien vasteet ovat tiedettävästi suurimmillaan silloin kun sarjojen toistomäärät ovat 8–10 toistoa ja sarjat suoritetaan korkealla intensiteetillä. (Schoenfeld 2000) Näin ollen hypertrofisten voimaharjoitteluvasteiden maksimoimiseksi Schoenfeldin (2000) suositus on 8–10 toistoa/sarja. Schoenfeldin (2000) kanssa samoilla linjoilla ovat olleet muutkin tutkijat, jotka ovat tulleet siihen lopputulokseen, että keskipitkiä työsarjoja tekemällä saavutetaan suurin lihashypertrofia (mm. Anderson & Kearney 1982; Campos ym. 2002; Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160).

2.2.4 Kuormat

Kuorman suuruus määrittää pitkälti sen, kuinka pitkäksi työsarjan on mahdollista muodostua. Koska yksilöiden välillä on suuria eroja voimantuottokapasiteetissa, kirjallisuudessa käytetään kuormien raportoinnissa yleisesti absoluuttisten kilomäärien sijaan prosenttiosuutta 1 RM:sta (Schoenfeld ym. 2016b). Myös yksilön harjoittelutaustalla on selkeä vaikutus voimaharjoitusvasteisiin (mm. Kraemer ym. 2002; Kraemer & Ratamess 2004; Ratamess ym. 2009), minkä vuoksi lähtötaso on syytä ottaa huomioon harjoittelua suunniteltaessa.

Kraemerin & Ratamessin (2004) mukaan aloittelevalle voimaharjoittelijalle suositeltava kuorma sarjoissa on 60–70 % 1 RM:sta. Täsmälleen samaa 60–70 % kuormaa 1 RM:sta on esitetty voimaharjoittelemattomille myös Kraemerin ym. (2002) toimesta, vaikkakin samassa artikkelissa todetaan, että aloittelijoiden voimaharjoittelu jo 45–50 % kuormalla 1 RM:sta on havaittu saavan aikaan selkeää voiman kehittymistä. Schoenfeldin ym. (2016b) 10 tutkimusta kattaneen meta-analyysin mukaan ei ole näyttöä siitä, että matalan intensiteetin voimaharjoit-

telulla saavutettaisiin suurempia voima- tai hypertrofiavasteita verrattuna keskitasolla tai korkealla intensiteetillä harjoitteluun. Sen sijaan useassa meta-analyysissä kootussa tutkimuksessa tulokset osoittivat, että keskitason tai korkean intensiteetin voimaharjoittelu tuotti merkittävästi suurempia vasteita niin voiman kuin lihashypertrofiainkin osalta matalan intensiteetin voimaharjoitteluun verrattuna. Näihin havaintoihin nojautuen tutkijat kiteyttivät loppupuheenvuorossaan meta-analyysin tarjonnan vakuuttavia todisteita siitä, että harjoittelemattomien yksilöiden harjoittelu $\leq 60\%$ 1 RM kuormilla edistää merkittävästi voiman ja lihasmassan kasvua. (Schoenfeld ym. 2016b)

2.2.5 Palautukset

Levon määrä sarjojen ja harjoitusten välillä vaikuttaa merkittävästi aineenvaihdunnallisiin, hormonaalisiin sekä sydämen ja verenkiertoelimistön akuutteihin harjoitusvasteisiin sekä seuraavien sarjojen suorituskykyyn harjoituksen aikana (Ratamess ym. 2009). Sekä lyhyt- (< 60 sekuntia) että pitkäkestoisilla (> 60 sekuntia) sarjojen välisillä palautuksilla voidaan saavuttaa tehokkaita hypertrofisia harjoitusvasteita (Grgic ym. 2017). Kraemer ym. (1990) tutkivat raskaan voimaharjoituksen aikaisten sarjapalautusten (1 min vs. 3 min) aikaansaamia eroja verestä mitattuihin hormonipitoisuuksiin ja metaboliitteihin. Tuloksista havaittiin lyhyempien sarjapalautuksien saavan aikaan suurempia akuutteja vasteita veren kasvuhormonipitoisuuksissa (Kraemer ym. 1990). Löydös puoltaa omalta osaltaan lyhyiden sarjapalautusten käyttämistä hypertrofisessa voimaharjoittelussa, sillä useilla eri hormoneilla, mukaan lukien kasvuhormonilla, on osoitettu olevan positiivinen vaikutus hypertrofiaan (Velloso 2008).

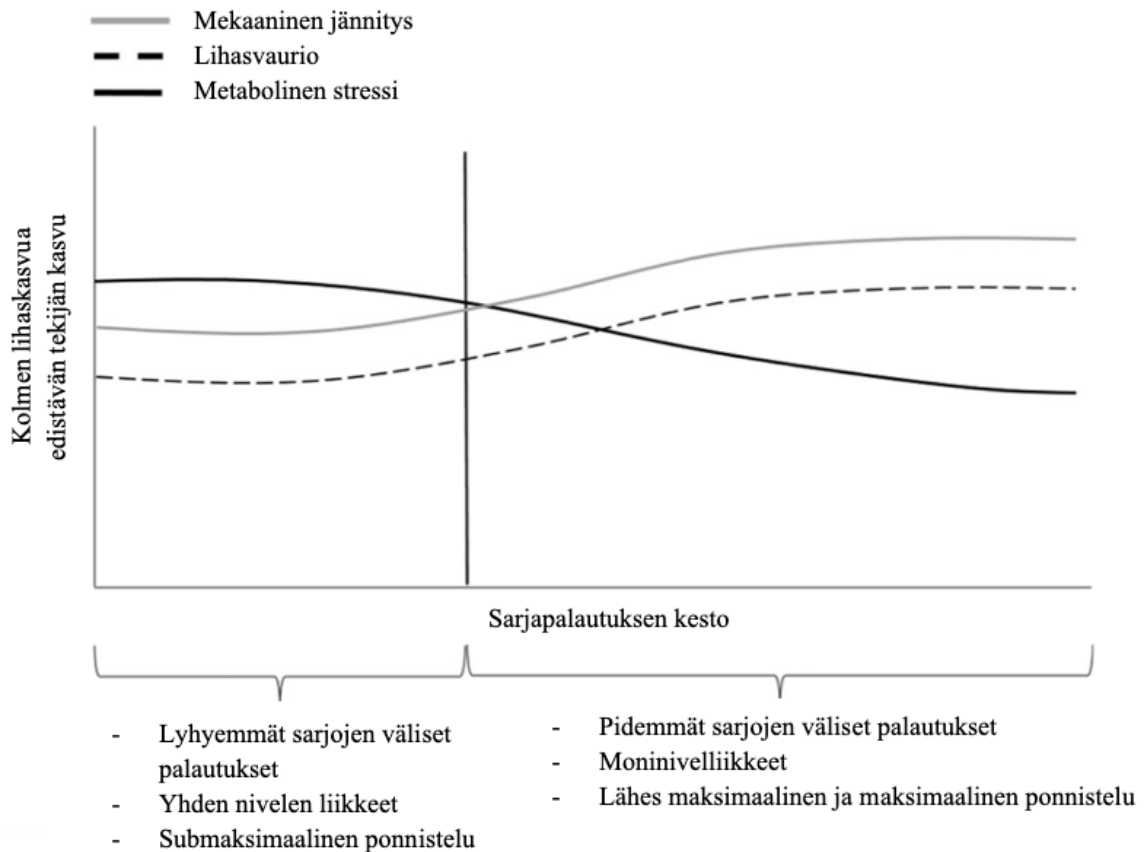
Myös Willardson (2008) puoltaa artikkelissaan lyhyiden sarjapalautusten käyttämistä hypertrofisessa voimaharjoittelussa. Perusteluna on voimaharjoittelun ja lyhyiden palautuksien seurauksena syntyvä kova väsymys, joka puolestaan stimuloi akuutisti anabolisten hormonien erittymistä ja puskurointikapasiteettia (Willardson 2008). Kraemerin ym. (1993a) ja (1993b) tutkimuksissa lyhyemmän sarjapalautuksen havaittiin aikaansaavan myös suurimman vasteen kortisolipitoisuuksissa. Lihasmassan kasvun kannalta kortisolin vaikutus on kasvuhormonille päinvastainen. Näin ollen akuutti kasvuhormonin tason nousu veressä ei välttämättä heijasta lihashypertrofian potentiaalia pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. (De Salles ym. 2009)

Kuten aiemmassa kappaleessa ennätettiin jo sivuta, lyhyillä sarjapalautuksilla saattaa olla myös lihasmassan kerryttämistä hidastavia vaikutuksia, minkä vuoksi lyhyempiä palautuksia kannattaa tarkastella myös kriittisestä näkökulmasta. Kraemer (1997) tutki sarjapalautuksen pituuden vaikutusta sarjojen toistomääriin. Tutkimukseen osallistuneet amerikkalaisen jalkapallon pelaajat suorittivat kolme kymmenen toiston sarjaa penkkipunnerruksessa ja jalkaprässissä. Kaikki tutkittavat kykenivät tekemään 3 x 10 toistoa kun sarjojen välissä pidettiin kolmen minuutin palautus. Kun sarjapalautus lyheni yhteen minuuttiin, toistojen määrä tippui merkittävästi, vaikka tutkittavat harjoittelivat samalla kuormalla kuin pidemmän sarjapalautuksen kuormituksessakin. (Kraemer 1997) Tulokset osoittivat, että lyhyillä sarjapalautuksilla saattaa olla harjoituksen kokonaisvolyymia pienentävä vaikutus, mikä saattaa omalta osaltaan heikentää hypertrofisten vasteiden syntymistä.

Willardsonin ja Burkettin (2005) tulokset ovat samansuuntaisia Kraemerin (1997) tulosten kanssa. Tutkimuksessa 15 nuorta miestä harjoitti neljä sarjaa penkkipunnerrusta ja kyykkyä käyttäen jokaisessa sarjassa 8 RM kuormaa. Harjoituskertoja oli yhteensä kolme ja kullakin kerralla sarjojen välinen palautus oli erilainen, joko 1, 2 tai 5 minuuttia. Tulokset osoittivat, että viiden minuutin sarjapalautuksia käytettäessä harjoituksen kokonaisvolyymi oli suurempi kuin niissä harjoituksissa, joissa käytettiin lyhyempiä, 1 tai 2 minuutin sarjapalautuksia. Tutkijoiden mukaan kyky harjoitella suuremmalla volyymilla halutulla kuormalla voi stimuloida paremmin voimaa kehittäviä adaptaatioita.

Tutkimukset eivät ole pystyneet aukottomasti osoittamaan jonkin sarjapalautuksen keston olevan yksiselitteisesti paras hypertrofiaa kehitettäessä. Grigcin ym. (2017) näkemyksen mukaan hypertrofisessa voimaharjoittelussa saattaa olla suotavaa suosia yli minuutin mittaisia sarjapalautuksia, joiden avulla harjoittelun kokonaisvolyymi saadaan pidettyä korkeammalla. Grigcin ym. (2017) mukaan myös harjoitettava liike määrittää osittain sen, kuinka pitkää sarjojen välistä palautusta kannattaa käyttää. Moninivelliikkeet ovat usein väsyttävämpiä ja vaativampia liikkeitä vaatien näin myös pidemmät sarjapalautukset yhteen niveleen kohdistuviin liikkeisiin verrattuna (Grigic ym. 2017). Moninivelliikkeet on myös syytä sijoittaa harjoituksen alkuun, jolloin väsymys ei ole yhtä kumuloitunutta verrattuna harjoituksen loppupäähän (Grigic ym. 2017; Rattamess ym. 2009) Kuvassa 3 on havainnollistettu lyhyiden ja pitkien sarjapalautuksien vaikutuksia kolmeen lihasmassan kasvua edistävään tekijään. Kuvasta voidaan nähdä, kuinka sarja-

palautuksen pidentyessä lihashypertrofiaa edistävä metaboli­nen stressi vähenee, mutta samanaikaisesti lihasvaurion ja mekaanisen jännityksen osalta saavutetaan parempia hypertrofiaan tähtääviä vasteita.



KUVA 3. Hypoteettinen esitys lyhyiden ja pitkien sarjapalautuksien vaikutuksesta kolmeen li­haskasvua edistävään tekijään yksittäisen harjoituksen aikana (mukailtu Grgic ym. 2017).

2.3 Lepo

Kuten jo aiemmassa progressiivista ylikuormitusperiaatetta ja superkompensaatiota käsittelevässä kappaleessa ennätettiin sivuta, lepo on merkittävässä roolissa fyysisen kehityksen kanalta. Koska harjoituksen aikaisia palautuksia on käsitelty edellisessä kappaleessa, käsitellään tässä alakappaleessa voimaharjoitusten välisen levon merkitystä voiman ja hypertrofian kehittymiseen.

Valtaosa fyysiseen harjoitteluun ja suorituskykyyn keskittyvästä tutkimuksesta on keskittynyt itse harjoitteluun, vaikka suurin osa harjoitteluun liittyvistä adaptaatioista tapahtuu harjoitusten välisen palautumisen aikana (Bishop ym. 2008). Useissa eri julkaisuissa esitetty suositus aloittelijoiden harjoitusfrekvenssistä ei itsessään kerro, kuinka pitkä väli yksittäisten harjoituskertojen välillä tulisi pitää (mm. Kraemer ym. 2002; Ratamess ym. 2009, Schoenfeld ym. 2016a), mikä on harjoittelun kannalta varsin oleellinen tieto. Zatsiorsky ja Kraemer (2006, 161) ovat esittäneet, että hypertrofisessa voimaharjoittelussa samaan lihasryhmään kohdistuvien harjoitusten välissä tulisi pitää 48–72 tunnin tauko.

Häkkinen (1995) tutki eri ikäisten naisten hermolihaskäytön väsymystä ja palautumista raskaasta voimaharjoittelusta. Naiset jaettiin kolmeen eri ikäryhmään; nuoriin, keski-ikäisiin ja iäkkäisiin. Tutkittavat tekivät bilateraalissa jalkaprässissä viisi kymmenen toiston sarjaa kunkin sarjan maksimaalisella kuormalla. Mittaukset kohdistettiin lihaksen maksimaaliseen tahdonalaiseen sähköiseen aktiivisuuteen, maksimaaliseen bilateraaliseen isometriseen voimantuottoon sekä polven ojentajien voimantuotto- ja rentoutusaikaan. Mittaukset suoritettiin ennen kuormitusta, jokaisen sarjan välissä, sekä välittömästi kuormituksen jälkeen. Palautumisen aikana samat mittaukset suoritettiin yhden ja kahden tunnin sekä yhden ja kahden päivän kuluttua kuormituksen päättymisestä. Tulokset osoittivat kaikkien ikäryhmien kohdalla maksimivoimantuoton olevan heikentynyttä vielä kaksi päivää kuormituksen jälkeenkin. (Häkkinen 1995) Heikentynyt maksimivoimantuottokapasiteetti viittaisi siihen, ettei superkompensaatiovaiheeseen olla vielä täysin päästy. Harjoitusfrekvenssiin tulisikin Häkkisen (1995) mukaan kiinnittää huomiota yksilöiden voimaharjoittelussa haluttujen vasteiden saavuttamiseksi.

Radaellin ym. (2012) tutkimuksessa pyrittiin selvittämään palautumisastetta hypertrofisesta kyynärvarren koukistajiin kohdistetusta voimaharjoituksesta palautumisen eri ajankohdissa. Mittaukset toistettiin 0, 24, 48 ja 72 tunnin kuluttua voimaharjoituksen päättymisestä. Tutkittavana kohdejoukkona oli kymmenen tervettä nuorta naista, joilla ei ollut aiempaa voimaharjoittelusta. Voimaharjoitus tehtiin dominoivalla kädellä. Liikkeeksi oli valittu kyynärnivelen koukistus, jota tehtiin neljä 10 toiston sarjaa 80 % kuormalla 1 RM:sta. Voimantuottoa mittaava testi kohdistui maksimaaliseen kyynärnivelen koukistuksen huippuvääntömomenttiin, mikä suoritettiin 90° nivelkulmalla. Tulokset osoittivat kyynärvarren koukistuksen huippuvääntömomentin olevan merkittävästi alentuneena kaikkina harjoituksen jälkeisinä mittausajankohtina (0, 24, 48 ja 72 tuntia). Tutkijat tulivat tulosten pohjalta siihen loppupäätelmään, että voima-

harjoittelemattomilla naisilla kyynärvarren koukistajiin kohdistetusta hypertrofisesta voimaharjoituksesta lihasvoiman palautumiseen vaaditaan yli 72 tuntia. (Radaelli ym. 2012) Tulokset ja tutkijoiden loppulausunto puoltavat omalta osaltaan vähintään 72 tunnin palautumista hypertrofisesta voimaharjoituksesta aloittelevien naisten kohdalla. Näin harjoitusfrekvenssi voisi olla korkeintaan kaksi voimaharjoitusta viikossa.

Palautumista käsittelevissä tutkimuksissa ollaan oltu kiinnostuneita myös siitä, saavutetaanko niin sanotulla aktiivisella palautumisella passiivista palautumista parempia harjoitusvasteita. Taipale ym. (2019) tutkivat aktiivisen palautumisen vaikutusta veren insuliinin kaltaisen kasvutekijä 1:n (IGF-1) sekä insuliinin kaltaisen kasvutekijän sidospoteiini 1:n (IGFBP-1) määrään raskaan voimaharjoituksen jälkeen. 18 harjoittelematonta miestä jaettiin aktiivista ja passiivista palautusta käyttäviin ryhmiin. Maksimaalista isometristä voimantuottoa mitattiin bilateraalissa polvenojennuksessa. Laskimoverinäytteet otettiin ennen voimaharjoitusta, heti voimaharjoituksen jälkeen, 1 tunti voimaharjoituksen jälkeen ja seuraavana aamuna kuormituksesta. Raskaassa voimaharjoituksessa tutkittavat tekivät 10 x 10 toistoa bilateraalista jalkaprässiä kahden minuutin sarjapalautuksella. Kuormat säädettiin 2,5 kilogramman tarkkuudella siten, että tutkittavat kykenivät tekemään kussakin sarjassa 10 toistoa. Jos kuorma osoittautui liian suureksi, tutkijat avustivat sarjan suorittamisessa siten, että toistot olivat niin sanottuja pakkotoistoja. (Taipale ym. 2019)

Aktiivisen palautuksen ryhmässä tutkittavat suorittivat raskaan voimaharjoituksen jälkeen 10 x 10 toistoa 30 % kuormalla 1 RM:sta viiden minuutin sarjapalautuksilla. Aktiivinen palautus kesti näin ollen noin tunnin. Passiivista palautusta käyttäneet tutkittavat istuivat paikallaan 60 minuuttia raskaan voimaharjoituksen päätyttyä. Tulokset osoittivat, että aktiivista palautusta käyttäneen ryhmän IGF-1 pitoisuus oli merkittävästi passiivisen palautuksen ryhmän IGF-1 pitoisuuksia suurempi voimaharjoituksen jälkeisenä aamuna. Sen sijaan passiivisen palautuksen ryhmän jäsenillä havaittiin tilastollisesti merkitsevästi suurempia IGFBP-1 arvoja aktiivisen palautuksen ryhmään verrattuna kuormituspäivää seuranneena aamuna otetuista verinäytteistä. IGFBP-1 saattaa vaikuttaa IGF-1:n biologiseen toimintaan inhiboivasti, minkä vuoksi myös IGFBP-1 mitatut tulokset puhuvat aktiivisen palautuksen puolesta. Löydöksiä perusteella näyttäisi siltä, että aktiivisen palautuksen avulla voidaan saavuttaa IGF-1:n ja IGFBP-1:n osalta edullisempia vasteita voimaharjoittelun kannalta. (Taipale ym. 2019)

2.4 Ravinto

Ravintoaineista saadaan energiaa, minkä lisäksi ne ovat merkittävässä roolissa fysiologisten prosessien säätelyssä ennen fyysistä aktiivisuutta, sen aikana sekä fyysisen aktiivisuuden jälkeen. Kehittynyt fyysinen suorituskky linkittyykin usein muutokseen yksilön ruokavaliassa. (McArdle ym. 2015, 3) Ravitsemukseen liittyvät muuttujat eivät ole tutkimuksen kohteena tässä tutkielmassa, mutta ravinnon merkittävä vaikutus suorituskvyn kehittymiseen on syytä nostaa esiin, kun käsitellään harjoitusvasteisiin vaikuttavia tekijöitä.

Kuten kappaleessa 2.2 aiemmin mainittiin, hypertrofisen maksimivoimaharjoituksen avulla pyritään maksimoimaan proteiinikatabolian aktivaatio, mikä vuorostaan stimuloi proteiinisynteesiä harjoituksen jälkeisen levon aikana (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 160). Juuri proteiinikatabolian ja -synteesin tasapaino määrittää lihaksen anabolisen vasteen voimaharjoittelun jälkeen (Volek 2004). Lihassolujen koon kasvu voidaan kuitenkin saavuttaa vain silloin, kun proteiini-rakenteiden korjaamiseen ja kasvuun on olemassa riittävästi niihin tarvittavia aineita eli aminohappoja. Elimistö pystyy muokkaamaan useita eri aminohappoja proteiineista ruoansulatuksen ja hydrolyysin avulla, mutta tiettyjen niin sanottujen välttämättömien aminohappojen saanti perustuu täysin nautittavaan ravintoon. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 57) Onkin selvää, että ravinnonsaantiin kohdistuu tiettyjä vaatimuksia hypertrofisten vasteiden saavuttamiseksi.

Tutkimukset ovat osoittaneet niin hiilihydraattien kanssa (Miller ym. 2003; Rasmussen ym. 2000) kuin ilmankin (Biolo ym. 1997; Jackman ym. 2017; Smith ym. 1998; Tipton ym. 1999) nautittavien aminohappojen stimuloivan proteiinisynteesiä harjoituksen jälkeen. Børsheimin ym. (2004) tutkimuksessa tunti jalkoihin kohdistetun voimaharjoituksen jälkeen pelkkää hiilihydraattia nauttimalla saatiin positiivisia vaikutuksia jalkojen nettoproteiinitasapainossa. Näytteet kerättiin lihasbiopsioiden ja laskimoverinäytteiden avulla. Tutkijat kuitenkin painottivat, etteivät pelkän hiilihydraatin nauttimisen avulla saavutetut vasteet olleet yhtä suuria verrattuna vasteisiin niissä tutkimuksissa, joissa tutkittavat olivat saaneet harjoittelun jälkeen aminohappoja. Lisäksi voimaharjoituksen päättymisen ja tankkauksen välinen tunnin mittainen viive hiilihydraattien saannissa oli ajoituksen suhteen viivästynyt aiempiin tutkimuksiin verrattuna. (Børsheim ym. 2004)

Myös ravintoaineiden saannin ajoituksella on havaittu olevan vaikutusta proteiininaboliaan. Cribbin ja Hayesin (2006) tutkimuksessa proteiinia, kreatiinia ja glukoosia sisältäneen valmisteen ennen voimaharjoitusta ja välittömästi harjoituksen jälkeen nauttineet tutkittavat kehittyivät sekä lihasmassan että maksimivoiman osalta enemmän verrattuna tutkittaviin, jotka nauttivat vastaavaa valmistetta aamuin ja illoin siten, että kukin tankkaus tapahtui vähintään viiden tunnin päässä voimaharjoituksesta. Esmarekin ym. (2001) tutkimuksessa välittömästi voimaharjoituksen jälkeen proteiinia, hiilihydraattia ja rasvaa sisältäneen juoman nauttineet henkilöt kehittyivät 12 viikon aikana voiman ja hypertrofian osalta tehokkaammin verrattuna tutkittaviin, jotka nauttivat vastaavan juoman kahden tunnin kuluttua voimaharjoituksen päättymisestä. Ravintoaineiden saannilla ja saannin ajoituksella on siis osoitettu olevan vaikutuksia voimaharjoitteluvasteisiin niin hypertrofian kuin maksimivoimankin osalta.

3 YLÄ- JA ALAVARTALON LIHAKSISTON EROT

Ylä- ja alavartalon lihaksiston eroja on toistaiseksi tutkittu CSA:n suhteutetun voimantuottokapasiteetin ja huippuvääntömomenttien osalta varsin niukasti voimaharjoittelemattomilla henkilöillä. Ylä- ja alavartalon lihasmassaa vertailevia tutkimuksia on tehty paljon enemmän. Julkaistut aiheesta ovat kuitenkin usein käsitelleet voimaharjoittelua harrastaneita tai kuntoutusvaiheessa olevia henkilöitä. Tällaisten tutkimusten tarkastelu ei kuitenkaan ole tämän tutkielman kannalta relevanttia. Tähän tutkielmaan valitut ylä- ja alavartalon lihaksiston eroja käsittelevät tutkimukset ovat olleet tuloksiltaan yhdenmukaisia ja otannoiltaan heterogeenisiä, minkä vuoksi niitä voidaan pitää ainakin suhteellisen hyvin yleistettävänä.

3.1 Lihasmassa

Janssenin ym. (2000) tutkimuksen mukaan alavartalossa on enemmän lihasmassaa kuin ylävartalossa. Tämä havainto tehtiin kaikkia ikäryhmiä ja molempia sukupuolia tarkastellessa. Yhteensä 200 naista ja 268 miestä osallistui tutkimukseen iän vaihteluvälin ollessa 18–88 vuotta (Janssen ym. 2000). Kohdejoukkoa voidaan pitää varsin heterogeenisenä ja näin ollen tuloksia yleistettävänä ikäryhmästä ja sukupuolesta riippumatta.

Myös Dianon ym. (2017) havainnot tukevat Janssenin ym. (2000) tuloksia. Dianon ym. (2017) tutkimuksessa mitattiin kaksoisröntgenabsorptiometrian avulla ylä- ja alaraajojen koostumusta 25 mieheltä ja 25 naiselta. Tutkittavat olivat 18–70-vuotiaita. Tulokset osoittivat alaraajojen ympäröimän sekä lihasmassan olevan selkeästi suurempia yläraajojen vastaaviin tuloksiin verrattuna. Sama havainto toistui kaikkia ikäryhmiä tarkastellessa, mikä osaltaan puoltaa Janssenin ym. (2000) tutkimuksen tuloksia. (Diano ym. 2017)

Candow ja Chilibeck (2005) tarkastelivat tutkimuksessaan muun muassa lihaksien CSA:en eroja nuorten ja iäkkäämpien ryhmän välillä. Tutkittavilla ei ollut tutkimuksen alkaessa aiempaa voimaharjoittelutaustaa. Tutkijat havaitsivat nuorten ryhmän alaraajojen lihasten; polven ojentajien, polven koukistajien sekä nilkan ojentajalihasten olevan paksumpia kuin ylävartalosta mitatut, kyynärvarren koukistajat ja ojentajat. Iäkkäämpien ryhmän kohdalla kyynärvarren koukistajat olivat poikkipinta-alaltaan kaikkein pienin lihasryhmä, kun taas kyynärvarren ojentajat olivat polven ojentajien jälkeen poikkipinta-alaltaan toiseksi suurin lihasryhmä. Ryhmien

väliset erot selittyvät tutkijoiden mukaan suurella todennäköisyydellä iän myötä tapahtuvista lihaksiston muutoksista. (Candow & Chilibeck 2005)

3.2 Voimantuotto suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan

Lihaksen CSA:an suhteutetun voimantuottokyvyn vertailu ylä- ja alavartalon lihasten välillä on vielä toistaiseksi aihe, jota ei ole tutkittu. Aiheen tutkimisesta tekee haastavaa voimantuottokapasiteettiin liittyvät useat muuttujat. Aiempi harjoittelutausta, lihaksen rakenteelliset eroavaisuudet sekä eriävä käskytyiskyky yksilöiden välillä vaikuttavat voimantuottokapasiteettiin. (Bruce ym. 1997) Lihasten välillä varioivien muuttujien vuoksi ei voida yksiselitteisesti vertailla ylä- ja alavartalon tai ylä- ja alaraajojen voimantuottokykyä suhteessa lihaksen CSA:an. Koska aihetta ei ole toistaiseksi suoraan tutkittu, ei voida täysin poissulkea sitä mahdollisuutta, että voimantuottokapasiteetti suhteessa lihaksen CSA:an eroaisi ylä- ja alavartalon lihasten välillä.

3.3 Huippuvääntömomentit

Candowin ja Chilibeckin (2005) tutkimuksen tulokset osoittivat alavartalon voimaliikkeiden, polven ojennuksen, polven koukistuksen sekä nilkan plantaarifleksion huippuvääntömomentin olevan kulmanopeudesta riippumatta suurempia kuin ylävartalon voimaliikkeiden, kyynärvarren koukistuksen ja ojennuksen. Tulosten ainoa poikkeus havaittiin vanhempien miesten ryhmän nilkan plantaarifleksiossa, joka oli vääntömomentiltaan hieman kyynärvarren ojennusta ja koukistusta heikompi suuremmalla kulmanopeudella suoritettaessa. (Candow & Chilibeck 2005)

Myös Timmins ja Saunders (2014) havaitsivat tutkimuksessaan alaraajaliikkeissä (polven ja nilkan ojennus) suurempia huippuvääntömomentteja kyynärpäähän koukistuksen tuloksiin verrattuna. Kaikki tutkittavat olivat voimaharjoittelutaustan omaavia henkilöitä, joten tuloksiin pitää varautua voimaharjoittelemattomien henkilöiden näkökulmasta varauksellisesti. Toisaalta polven ojennuksen huippuvääntömomentti oli lähes viisinkertainen kyynärvarren koukistuksen huippuvääntömomenttiin verrattuna (Timmins & Saunders 2014), joten liikkeiden välinen ero tuloksissa tuskin selittyy ainakaan täysin voimaharjoittelutaustalla. Candowin ja Chilibeckin

(2005) tutkimuksessa molempien ryhmien polven ojennuksen huippuvääntömomentti oli yli kolminkertainen kyynärvarren koukistukseen nähden, eivätkä kyseiseen tutkimukseen osallistuneet henkilöt omanneet aiempaa voimaharjoittelutaustaa. Näin ollen Timminsin ja Saundersin (2014) tuloksia voidaan pitää ainakin osittain Candowin ja Chilibackin (2005) tutkimuksen huippuvääntömomenttituloksia tukevinä.

4 HYPERTROFISEN VOIMAHARJOITTELUN VASTEET

Hypertrofisen voimaharjoittelun vasteet voidaan jaotella esimerkiksi sen mukaan, kuinka pian vasteet saavutetaan voimaharjoittelun seurauksena. Vaikka tämän tutkielman osalta keskiössä ovat hypertrofisen voimaharjoittelun pitkäaikaiset vasteet, on perusteltua taustoittaa myös harjoittelun akuutteja vasteita, joilla on suuri merkitys pitkäaikaisten vasteiden muodostumiseen. Pääasiallinen painotus tässä luvussa on kuitenkin pitkäaikaisiin vasteisiin lukeutuvassa hypertrofiassa ja neuraalisessa ohjauksessa, joilla tiedetään olevan merkittävä rooli maksimaalissa voimantuottokapasiteetissa (Narici ym. 1989).

4.1 Akuutit vasteet

Hypertrofinen maksimivoimaharjoitus aiheuttaa lukuisia akuutteja vasteita eri puolilla elimistöä (mm. Armstrong ym. 1979; Ihalainen ym. 2014; Izquierdo ym. 2009; Sabido ym. 2016). Tässä tutkielmassa esiteltyjen akuuttien vasteiden rooli on jokseenkin keskeinen myös pitkäaikaisten vasteiden syntymisen kannalta, minkä vuoksi kyseisistä akuuteista vasteista on kerrottu lyhyesti omissa alakappaleissaan. Akuuteista vasteista on pyritty rajaamaan pois sellaiset vasteet, jotka eivät ole keskeisessä roolissa tutkielman kannalta. Tällaisia vasteita ovat esimerkiksi lisääntyneen lihastyön myötä kasvanut energiantarve ja välittömien energiavarastojen täydennys harjoituksen aikana.

4.1.1 Hormonit

Elimistössä vallitsee monimutkainen hormonaalinen homeostaattinen tila rakentavien eli anabolisten sekä hajottavien eli katabolisten hormonien välillä. Riittävän kovalla intensiteetillä toteutetun hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun on osoitettu vaikuttavan akuutisti useiden eri hormonien pitoisuuteen veressä. Hormonit vaikuttavat keskeisesti muun muassa proteiinisynteesin säätelyyn, jolla taas on merkittävä rooli lihasmassan kasvattamisessa. (Häkkinen 1990, 52) Siksi hypertrofisen maksimivoimaharjoituksen akuutit hormonaaliset vasteet ovat keskeisessä roolissa myös pitkäaikaisia harjoitusvasteita ajatellen. Hormonivasteisiin voidaan vaikut-

taa keskeisesti harjoituksen muuttujia varioimalla. Näihin muuttujiin kuuluvat intensiteetti, harjoitusvolyymi, palautuksen kesto, harjoitettavat liikkeet, liikkeiden suoritusjärjestys, toistojen suoritusnopeus ja harjoitusfrekvenssi. (Kraemer & Ratamess 2005)

Testosteroni. Mieshormoni eli testosteroni on anabolininen hormoni (Kraemer & Ratamess 2005), jonka pitoisuus seerumissa on miehillä noin kymmenkertainen naisiin verrattuna (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983). Useissa tutkimuksissa hypertrofisen voimaharjoituksen on havaittu nostavan akuutisti veren testosteronikonsentraatiota miehillä (mm. Ahtiainen ym. 2003; Häkkinen & Pakarinen 1995; Weiss ym. 1983). Naisten kohdalla tutkimustulokset ovat olleet ristiriitaisia. Seerumin testosteronipitoisuuden ei havaittu nousevan voimaharjoituksen seurauksena Faheyn ym. (1976) eikä Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksissa, mutta Cummingin ym. (1987) sekä Nindlin ym. (2001) tutkimuksissa hypertrofisen voimaharjoitus nosti merkittävästi seerumin testosteronipitoisuuksia naisilla. Näin ollen hypertrofisesta voimaharjoituksesta saatavat testosteronivasteet ja niiden vaikutus lihasmassan kasvuun on miehillä ilmeinen, mutta naisten kohdalla vastaavaa yksiselitteistä päätelmää ei ole syytä tehdä.

Kasvuhormoni (GH). Kasvuhormoni on testosteronin tapaan anabolininen hormoni (Kraemer & Ratamess 2005). Sekä miehillä (Smilios ym. 2003; Walker ym. 2015) että naisilla (Hymer ym. 2001; Kraemer ym. 1993a; Kraemer ym. 2003) on havaittu veren kasvuhormonipitoisuuden olevan merkittävästi kohonneena välittömästi hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen lepotasoon nähden. Kasvuhormonipitoisuuden akuutti nousu veressä näyttäisi Häkkisen (1990, 54) mukaan olevan yhteydessä kuormituksen intensiteettiin. Muiksi hypertrofisesta voimaharjoituksesta saatavaan GH-vasteeseen vaikuttaviksi tekijöiksi on esitetty myös harjoituksessa kuormitetun lihasmassan määrää, lihastyötappaa, harjoitusvolyymia, sarjapalautuksia sekä aiempaa harjoittelutaustaa (Kraemer & Ratamess 2005). Kraemerin ym. (1990) tutkimuksessa suurimmat kasvuhormonivasteet saavutettiin käyttämällä sarjoissa 10 RM kuormia sekä lyhyitä, vain yhden minuutin mittaisia palautuksia 5 RM:n kuorman tai kolmen minuutin sarjapalautusten sijaan.

Insuliinin kaltaiset kasvutekijät (IGF-1 ja IGF-2). Insuliinin kaltaiset kasvutekijät ovat lihasmassan kasvun kannalta keskeisessä roolissa, sillä niiden tiedetään lisäävän proteiinisynteesiä. IGF-1 on insuliinin kaltaisista kasvutekijöistä kaikkein tutkituin. (Kraemer & Ratamess 2005). Tästä syystä juuri IGF-1 on tässä kappaleessa pääasiallisen tarkastelun kohteena. Suurin osa tutkimuksista ei ole havainnut välitöntä muutosta veren IGF-1-pitoisuudessa voimaharjoituksen

jälkeen (Kraemer & Ratamess 2005). Chandler ym. (1994) on todennut Johnsoniin ja Ilaniin (1989, 129–139) viitaten kasvuhormonin stimuloivan IGF-1:n vapautumista maksasta. Siksi on mahdollista, että IGF-1:n määrän kohoamiseen kuluu voimaharjoittelun päätyttyä jonkin aikaa, jotta kasvuhormoni ennättää stimuloida maksassa IGF-1:n eritystä (Kraemer & Ratamess 2005). Toisaalta jotkut tutkimukset ovat osoittaneet IGF-1:n pitoisuuden akuutisti nousseen voimaharjoittelun seurauksena (Kraemer ym. 1990; Kraemer ym. 1991). Insuliinin kaltaisten kasvutekijöiden positiivinen vaikutus proteiinisynteesiin on selvä, mutta aikaikkuna, jolloin IGF-1:n pitoisuus on korkeimmillaan hypertrofisen voimaharjoituksen jälkeen, on vielä tois-
taiseksi epäselvä (Kraemer & Ratamess 2005).

Insuliini. Kuten testosteroni, kasvuhormoni ja insuliinin kaltaiset kasvutekijät, myös insuliini lukeutuu anabolisiin hormoneihin (Kraemer & Ratamess 2005). Raastadin ym. (2000) tutkimuksessa insuliinipitoisuuden havaittiin akuutisti laskevan raskaan voimaharjoituksen myötä. Kyseinen tutkimus toteutettiin ilman voimaharjoittelun aikaista tai harjoituksen jälkeistä energian tankkaamista (Raastad ym. 2000). Wolfen (2000) mukaan insuliini stimuloi proteiinisynteesiä, kun vapaiden aminohappojen määrä on riittävä riippumatta insuliinin määrästä. Wolfen (2000) lausuma on osoitettu paikkansapitäväksi Biolon ym. (1997) toimesta. Heidän tutkimuksessaan vertailtiin proteiinisynteesin määrää levossa ja voimaharjoituksen jälkeen. Molemmissa tilanteissa tutkittaville annettiin suonen sisästä proteiinisynteesissä keskeisessä roolissa olevia vapaita aminohappoja. Sekä plasman insuliinikonsentraatio että proteiinisynteesi oli suurempaa voimaharjoittelun jälkeen lepotilanteeseen verrattuna. (Biolo ym. 1997). On kuitenkin syytä muistaa, että insuliinin pitoisuuteen näyttää vaikuttavan eniten veren glukoosikonsentraatio (Kraemer & Ratamess 2005). Siksi proteiineja sekä hiilihydraatteja on suositeltavaa tankata voimaharjoituksen aikana ja/tai voimaharjoituksen jälkeen insuliinin anabolisten vaikutuksien maksimoimiseksi (Kraemer & Ratamess 2005).

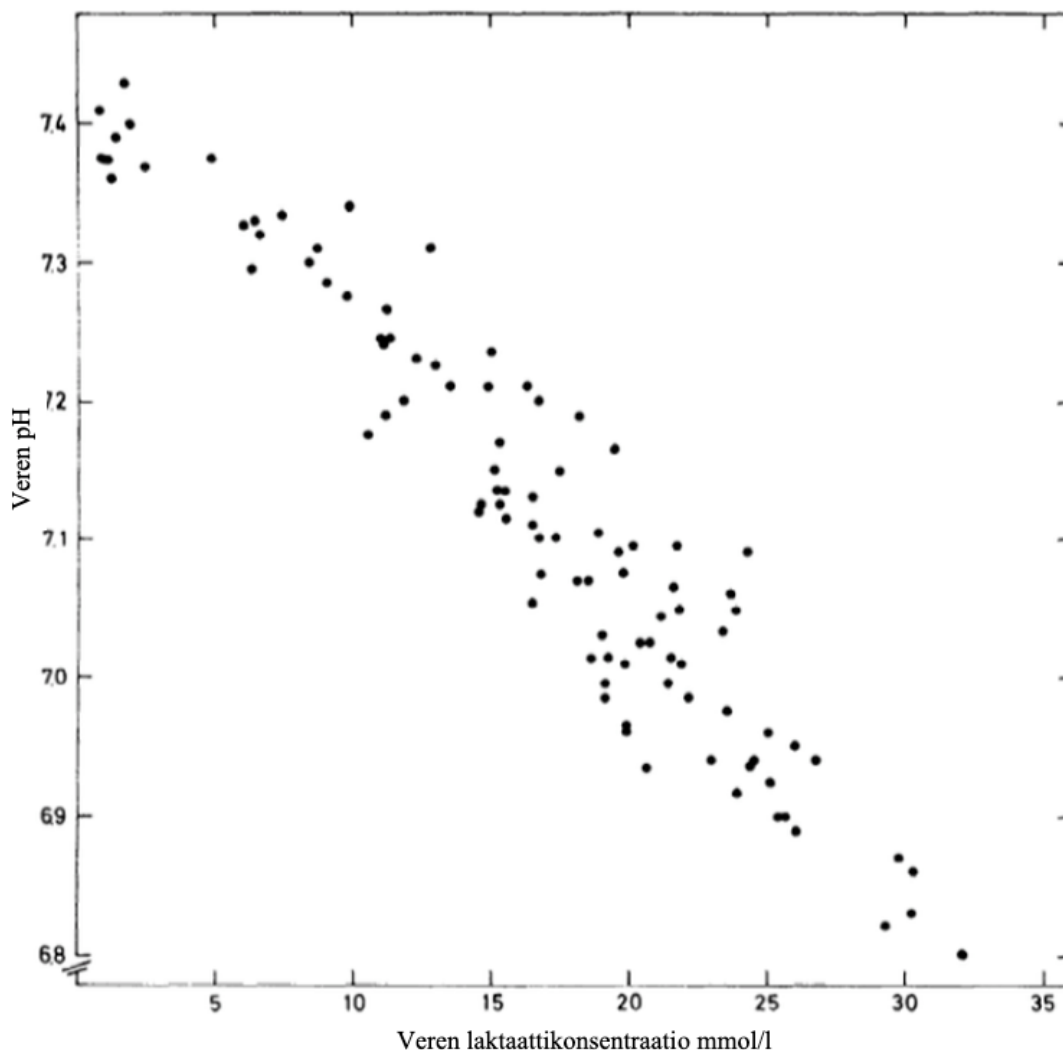
Kortisoli. Toisin kuin aiemmin esiteltyt hormonit, kortisoli tunnetaan katabolisena hormonina (Kraemer & Ratamess 2005). Useissa eri tutkimuksissa raskaan voimaharjoituksen on osoitettu akuutisti nostavan seerumin kortisolipitoisuutta (mm. Kraemer ym. 1993a; Kraemer ym. 1993b; Raastad ym. 2000). Kun voimaharjoittelun ja levon suhde on kunnossa kortisolin ei ole osoitettu jäävän kohonneelle tasolle pitkänkään voimaharjoitusjakson jälkeen (Häkkinen ym. 2000; Kraemer ym. 1995). Seerumin testosteronin ja kortisolin välistä suhdetta on käytetty fyysisen harjoittelun tai kuormituksen, esimerkiksi voimaharjoittelun yhteydessä elimistön katabolian ja

anabolian välisen tasapainotilan kuvaamisessa (Häkkinen 1990, 74). Häkkisen ym. (1985) tutkimus osoitti, että henkilöillä, joiden testosteroni-kortisoli-suhde laski 24-viikkoisen voimaharjoittelujakson viimeisen neljän viikon aikana, myös maksimivoimassa havaittiin heikentymistä. Tutkijat arvelivat kuormituksen käyneen tuolloin liian suureksi, mikä johti yllirasitustilaan ja sitä kautta suorituskyvyn heikkenemiseen. Tutkijat painottivatkin katabolisten ja anabolisten vaikutuksien tasapainon merkitystä kovan voimaharjoittelun aikana. (Häkkinen ym. 1985)

4.1.2 Laktaatti, vapaat vetyionit ja väsymys

Adenosiinitrifosfaatti (ATP) on niin sanottu elimistön ”energiavaluutta”. Tällä tarkoitetaan sitä, että ATP on ainoa energian muoto, jota elimistön solut pystyvät käyttämään sellaisenaan energianlähteenä. (McArdle ym. 2015, 132) Siksi elimistössä tuotetaan jatkuvasti lisää ATP:a ja sen muodostamiseen on olemassa useita eri mekanismeja, jotka eroavat toisistaan niin nopeuden kuin valmistuksen taloudellisuuden suhteen (McArdle ym. 2015, 134–140).

Raskaiden painojen nostamisen aikana energiaa tuotetaan lähes yksinomaan välittömistä energianlähteistä, joihin lukeutuvat lihaksen ATP- ja fosfokreatiini (FK) -varastot (McArdle ym. 2015, 162). Koska lyhyet sarjapalautukset ovat hypertrofiselle maksimivoimaharjoitukselle ominaisia, elimistöllä ei ole kovin paljon aikaa lihasten ATP- ja FK-varastojen täyttämiseen. Näin ollen energiantuotossa turvaudutaan nopeaan, mutta epätaloudelliseen anaerobiseen glykolyysiin, jonka lopputuotteena saadaan ATP:a. Lisäksi prosessin sivutuotteena muodostuu palorypälehappoa ja laktaattia. Palorypälehappo voidaan yhä hyödyntää ATP:n muodostamiseen sitruunahappokierrossa, mutta prosessin sivutuotteena syntyy positiivisesti varautuneita vapaita vetyioneja. (McArdle 2015, 146–148) Veren laktaattipitoisuudesta voidaankin epäsuorasti päätellä elimistön happamuutta (Osnes & Hermansen 1972). Yhteyttä on havainnollistettu kuvassa 4.



KUVA 4. Kapillaariveren pH pisteytettynä veren laktaattikonsentraation funktiona (mukailtu Osnes & Hermansen 1972).

Laktaattia pidettiin pitkään väsymyksen aiheuttajana, mutta viime vuosikymmenten aikana käsitys on muuttunut (Nalbandian & Takeda 2016). Nykyään tiedetään, että suorituksen jatkuessa riittävän kovalla intensiteetillä vapaiden vetyionien määrä veressä kasvaa ajaen näin elimistöä yhä happamampaan tilaan, mikä aiheuttaa lopulta lihasten käskytämisen häiriintymisen (Keyser 2010). Hypertrofisen maksimivoimaharjoituksen onkin osoitettu heikentävän akuutisti maksimaalista voimantuottokykyä (Ahtiainen & Häkkinen 2009; Ahtiainen ym. 2003; Häkkinen 1994; MacCaulley ym. 2009; Walker ym. 2012) sekä voimantuottonopeutta (MacCaulley ym. 2009). Maksimivoimantuottokapasiteetin akuutti heikkeneminen on ainakin osittain seurausta happamoitumisesta, mutta myös hermostollisella väsymisellä on selitetty akuuttia laskua (Häkkinen ym. 1988; Häkkinen 1993).

4.1.3 Lihassolujen mikroauriot ja viivästynyt lihasarkuus

Lihaksen mikroaurioiden korjaaminen tiedetään lihassmassan kasvua edistäväksi tekijäksi. Mikroaurioita syntyy lihaskudoksen mekaanisen ärsytyksen, erityisesti eksentrisen lihastyön ja aineenvaihdunnallisten muutosten johdosta. (Hulmi & Ahtiainen 2018) Fyysinen kipu ilmenee yleisesti silloin, kun jokin kudokseksi on vaurioitunut kivun ollessa yksi tulehdukseen viittaavista oireista (Nosaka ym. 2003). Kovan voimaharjoituksen seurauksena ilmenee usein viivästynyttä lihasarkuutta (DOMS, delayed onset muscle soreness) (Hulmi & Ahtiainen 2018). Harjoittelusta johtuvan lihasten mikroaurioiden parantumiseen tarvittava aika riippuu lihassolujen vaurioiden laajuudesta. Tähän voidaan puolestaan vaikuttaa harjoituksen intensiteetillä ja kestolla, nivelkulmilla, joilla liike tehdään sekä harjoituksessa käytettävillä lihasryhmillä. (Peake ym. 2016)

DOMS:n esiintymisestä ja kestosta raskaan voimaharjoituksen jälkeen on eriäviä mielipiteitä. Hulmin ja Ahtiaisen (2018) mukaan DOMS esiintyy yleensä noin 24–48 tuntia tai hieman sitä aiemmin kovan voimaharjoituksen jälkeen. Sen sijaan Fleck ja Kraemer (2014, 50) ovat omassa teoksessaan esittäneet useisiin eri lähteisiin viitaten DOMS:n yleensä alkavan kahdeksan tunnin kuluttua voimaharjoituksesta, arkuuden huipun saavutettavan 2–3 päivän kuluttua harjoituksesta ja DOMS:n kokonaiskeston olevan 8–10 vuorokautta.

4.2 Pitkäaikaiset vasteet

Kuten pitkäaikaisten vasteiden termistäkin voi päätellä, ne eivät ilmene hypertrofisen maksimivoimaharjoituksen aikana tai välittömästi harjoituksen jälkeen. Pitkäaikaisten vasteiden saavuttaminen vaatii akuutteja harjoitusvasteita sekä riittävää lepoa suhteessa harjoitteluun, jotta elimistön on mahdollista superkompensoida valmiuttaan tuleviin vastaavanlaisiin kuormituksiin (Häkkinen 1990, 54). Tämän tutkielman kannalta pitkäaikaisista vasteista keskeisimmässä roolissa ovat hypertrofia sekä neuraalisen ohjauksen kehittyminen, joilla on todistettusti maksimivoimantuottokapasiteettia edistävä vaikutus (mm. Miller ym. 1993; Moritani & DeVries 1979; Moss ym. 1997). Kahden edellä mainitun vasteen lisäksi esitellään lyhyesti muut pitkäaikaiset vasteet. Ne eivät kuitenkaan ole yhtä keskeisessä roolissa tämän tutkielman kannalta, minkä vuoksi niihin ei syvennyttä tarkemmin.

4.2.1 Hypertrofia

Luurankolihasen hypertrofia määritellään lihasfiiberien halkaisijan kasvuksi ilman ilmeistä lihasfyysien määrän kasvua, johon liittyy lisääntynyt proteiinisynteesi ja lisääntynyt supistumisvoima (Sartorelli & Fulco 2004). Hypertrofian saavuttamiseksi lihakseen on pystyttävä muodostamaan lisää supistuvia proteiineja, jotka integroituvat toimimaan jo olemassa olevien lihasfiiberien ja myofibrillien kanssa. (Folland & Williams 2007) Hypertrofia saavutetaan joko proteiinidegeneraation heikentämisen tai proteiinisynteesin voimistamisen avulla (Fleck & Kraemer 2014, 83).

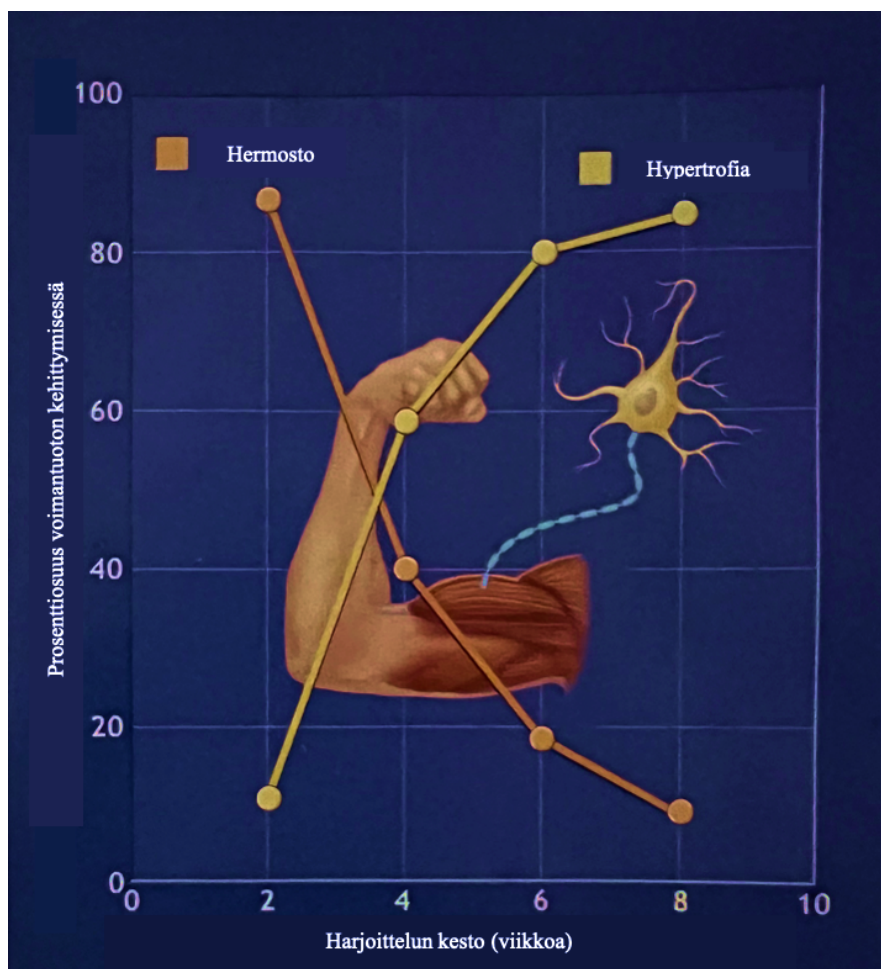
Lihaspoteiinien nettokertymän saavuttamiseksi on selvää, että proteiinisynteesin on oltava proteiinien hajottamista runsaampaa (Folland & Williams 2007). Prosessi on kokonaisuudessaan hyvin kompleksinen ja siihen vaikuttavat lukuisat eri aineet elimistössä. Tämän tutkielman kannalta onkin perusteltua esitellä hypertrofia molekyylitaso tarkkuuden sijaan suurpiirteisemmin.

Hypertrofian selvittäminen toteutetaan usein mittaamalla muutoksia kohdelihaksen CSA:ssa. Kultaisena standardina lihaksen CSA:n mittaamisessa pidetään yleisesti magneettikuvausta (Lixandrão ym. 2014; Reeves ym. 2004). Menetelmä on kuitenkin kallis ja usein vaikeasti saatavilla, minkä vuoksi lihasten CSA:n mittaamiseen käytetään usein ultraäänikuvantamista, joka on todettu varsin luotettavaksi ja toistettavaksi mittausmenetelmäksi suurilla lihaksilla mitattaessa (Reeves ym. 2004).

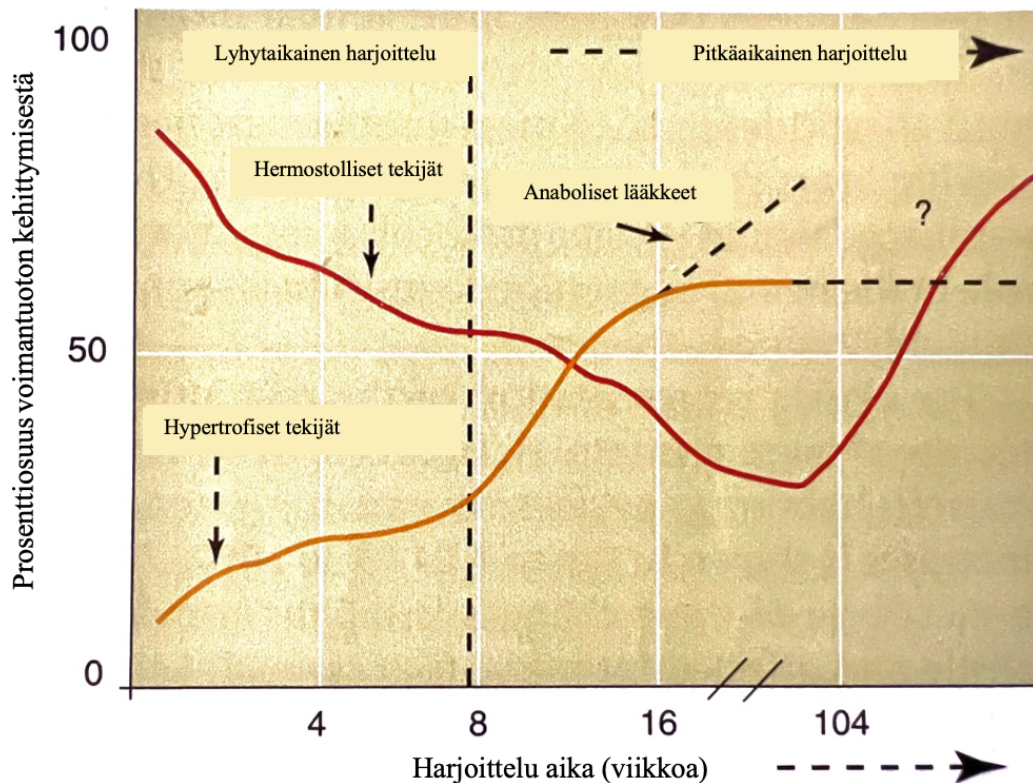
4.2.2 Neuraalisen ohjauksen kehittyminen

Voimaharjoittelun alkuvaiheessa voimantuoton kehittyminen selittyy harjoittelemattomilla enimmäkseen hermolihaskäytännön parantuneesta kyvystä saavuttaa korkeampi lihasaktivaation taso sekä motorisesta oppimisesta, mikä voidaan havaita muun muassa motoristen yksiköiden synkronisaation lisääntymisenä (Häkkinen 1990, 56). Muita maksimivoimantuottokyvyn kehittymistä selittäviä hermostollisia adaptaatioita ovat lisääntynyt keskushermoston aktivaatio, golgin jänne-elimen inhibitio, motoristen hermosolujen synkronisaatio ja syttymistiheyden kasvu sekä hermostollisten inhiboivien refleksien heikkeneminen (McArdle ym. 2015, 528).

Nopea maksimivoimantuottokapasiteetin paraneminen selittyy harjoittelun alkuvaiheessa pitkälti juuri neuraalisen ohjauksen kehittymisellä (McArdle ym. 2015, 530; Fleck & Kraemer 2014, 108–109). Hermostollisen kehittymisen suhteellinen vaikutus maksimivoimantuottokapasiteettiin heikkenee, mitä kauemmin harjoitellaan ja vastaavasti hypertrofian osuus voimantuottokapasiteetin paranemisessa kasvaa harjoittelun edetessä (McArdle ym. 2015, 530). Neuraalisten ja hypertrofisten adaptaatioiden välistä suhdetta voimantuottokapasiteetin kehittymiseen on havainnollistettu kuvissa 5 ja 6. Kuten kuvista voidaan nähdä, tutkijoilla on erilaisia näkemyksiä siitä, missä vaiheessa voimaharjoittelua hypertrofian prosenttiosuus maksimivoiman kehittämisessä ajaa neuraalisten adaptaatioiden ohitse.



KUVA 5. Yleistetyt hermostollisen ja hypertrofisen kehittymisen prosenttiosuutta kuvaavat käyrät voimantuoton kehittämisessä voimaharjoittelun seurauksena. Oranssi käyrä kuvaa hermestollisia ja keltainen hypertrofisia tekijöitä. Poikkiakselilla harjoittelun kesto. Pystyakselilla prosenttiosuus voimantuoton kehittämisestä. (mukailtu McArdle ym. 2015, 530).



KUVA 6. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden prosenttiosuus voimantuottokapasiteetin kehittymisestä. Oranssi käyrä kuvaa hypertrofisia ja punainen hermostollisia tekijöitä. Poikkiakselilla harjoittelun kesto. Pystyakselilla prosenttiosuus voimantuoton kehittymisestä. (mukailtu Fleck & Kraemer 2014, 108).

4.2.3 Muut pitkäaikaiset vasteet

Pennaatiokulma. Lihassyiden pennaatiokulma määritellään kulmaksi, jolla lihassytt kiinnittyvät jänteeeseen suhteessa janteen vetosuuntaan (Fleck & Kraemer 2014, 84). Pennaatiokulman on osoitettu kasvavan hypertrofisen voimaharjoittelun myötä. Kawakamin ym. (1995) tutkimuksessa komipäiseen olkalihakseen keskitetty 16 viikon hypertrofinen voimaharjoittelu kasvatti pennaatiokulmaa kohdelihaksessa yli neljänneksellä. Aagaardin ym. (2001) tutkimuksessa 14-viikkoinen raskas voimaharjoittelujakso johti hypertrofian lisäksi ulomman reisilihaksen pennaatiokulman tilastollisesti merkitsevään kasvuun. Kawakamin ym. (1993) tutkimuksessa kehonrakentajilta mitatut lihasten pennaatiokulmat olivat selkeästi suurempia voimaharjoittelamattomiin henkilöihin nähden. Tutkijoiden mukaan hypertrofian kehittyminen sisältääkin myös pennaatiokulman kasvua (Kawakami ym. 1993).

Lihassolujakauman muutos. Hermostollisten ja hypertrofisten adaptaatioiden lisäksi tutkimuksissa on saatu näyttöä lihassolujakauman muutoksesta pitkäaikaisen hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena (Adams ym. 1993; Carroll ym. 1998). Molemmissa edellä mainituissa tutkimuksissa lihassolujakauman muutokset kohdistuivat nopeisiin, II-tyyppin lihassoluihin. II-tyyppin osuus nopeista lihassoluista kasvoi, kun taas Ix-tyyppin osuus pieneni. Carrollin ym. (1998) tutkimuksessa maksimivoiman kehittyminen korreloi hyvin heikosti lihassolujakauman muutoksen kanssa. Tutkijoiden mukaan maksimivoimantuoton kehittyminen ei ole vahvasti yhteydessä lihassolujakauman muutokseen (Carroll ym. 1998). Niin Adamsin ym. (1993) kuin Carrollin ym. (1998) tutkimuksessa harjoittelu ei vaikuttanut hitaiden (I-tyyppi) ja nopeiden (II-tyyppi) lihassolujen väliseen suhteeseen. Tuloksia on myöhemmin tuettu Fleckin ja Kraemerin (2014, 78) toimesta. Heidän mukaansa raskas voimaharjoittelu ei aiheuta muutoksia nopeiden ja hitaiden lihassolujen välisessä jakaumassa.

Hyperplasia. Hyperplasiaa eli lihassolujen pitkittäissuunnassa tapahtuvaa kahtiajakautumista on myös esitetty mahdolliseksi vasteeksi monivuotisen hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena (MacDougall ym. 1982; Tesch & Larsson 1982). Hyperplasiaa on erittäin vaikeaa tutkia ihmisillä tutkimusmenetelmien rajallisuuden vuoksi. Näin ollen myös johtopäätösten tekeminen hyperplasia-ilmioita tarkastelleiden tutkimuksien tuloksista on haasteellista (Häkkinen 1990, 74). Yhteenvetona olemassa olleesta kirjallisuudesta Adams ja Bamman (2012) ovat kiittäneet, ettei hyperplasia ole keskeinen selittävä tekijä voimaharjoittelun seurauksena saavutettavalle lihasmassan kasvulle.

4.2.4 Pitkäaikaisten vasteiden erot ylä- ja alavartalon välillä

Tutkimuksissa hypertrofisten vasteiden on havaittu eroavan ylä- ja alavartalon välillä toisistaan useita kuukausia kestäneen voimaharjoittelun seurauksena. Aben ym. (2000) tutkimuksessa 12 viikkoa kestänyt voimaharjoittelujakso johti ylävartalon lihaksissa (ojentaja, hauis ja rintalihas) suurempaan suhteelliseen kasvuun alaraajojen lihaksiin (nelipäinen reisilihas ja takareisi) verrattuna. Myös Wilmore (1974) havaitsi tutkimuksessaan 10-viikkoisen hypertrofisen voimaharjoittelun saavan aikaan ylävartalon lihaksissa suhteellisesti suurempia hypertrofisia vasteita alavartalon lihaksiin verrattuna. Curetonin ym. (1988) tutkimus vahvistaa aiemmin esitettyjen tutkimuksien tuloksia entisestään. 16-viikkoisen hypertrofisen voimaharjoittelujakson seurauksena tutkittavat saavuttivat tilastollisesti merkitsevää lihasmassan kasvua olkavarren lihaksissa. Sen

sijaan reiden CSA tai ympärysmitta ei kasvanut tutkittavilla tilastollisesti merkitsevästi (Cureton ym. 1988). Kojićin ym. (2021) tutkimuksen tulokset sen sijaan eroavat edellä mainituista tuloksista. Tutkimuksessa 24 entuudestaan voimaharjoittelematonta yliopisto-opiskelijaa harjoitteli kahdesti viikossa seitsemän viikon ajan. Kussakin harjoituksessa tehtiin 60–70 % kuormalla 1 RM:sta 3–4 sarjaa ylä- ja alavartaloon kohdistettuja liikkeitä kahden minuutin sarjapalautuksella. Sekä miehillä että naisilla ylä- ja alavartalon lihasten CSA:t kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi. (Kojić ym. 2021)

Maksimivoiman kehittymisen on osoitettu useissa tutkimuksissa olevan suhteellisesti samankaltaista ylä- ja alavartalon välillä. Vaikka Aben ym. (2000) tutkimuksessa ylävartalon lihakset kasvoivat suhteellisesti alavartalon lihaksia enemmän, ei tutkimuksessa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ylä- ja alavartalon voimaliikkeiden 1 RM:n kehittymisessä. Myös Wilmoren (1974) sekä Curetonin ym. (1988) tutkimuksissa ylä- ja alavartalon lihasten hypertrofisten vasteiden eroista huolimatta liikkeiden maksimivoiman kehittymisessä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja kehon segmenttien välillä. Samassa linjassa aiempien tutkimuksien kanssa ovat olleet myös Gentilin ym. (2015), joiden tutkimuksessa polven ojennuksen sekä kyynärvarren koukistuksen huippuvääntömomenttien kehitykset olivat lähes identtisiä keskenään 10-viikkosen voimaharjoittelujakson jälkeen.

Kestovoiman kehittymisen osalta ylä- ja alavartalon harjoitusvasteet hypertrofisesta voimaharjoittelusta ovat vaihdelleet tutkimuksesta riippuen. Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksessa kahdeksan viikon hypertrofinen voimaharjoittelu johti tilastollisesti merkitsevään kestovoiman kehittymiseen niin penkkipunnerruksessa kuin jalkaprässissäkin. Sen sijaan Izquierdon ym. (2006) tutkimuksessa harjoittelu, jossa työsarjat tehtiin epäonnistumiseen asti, johti parempaan kestovoiman kehittymiseen penkkipunnerruksessa puolikyökyn vastaaviin tuloksiin verrattuna. Tutkijoiden mukaan selittävänä tekijänä ilmiölle saattoi olla sarjojen tekeminen uupumukseen asti, mikä on saattanut toimia ylävartalon lihaksille kestovoimaominaisuuksia aktivoivampana stimuluksena alaraajojen lihaksiin verrattuna (Izquierdon ym. 2006). Tutkimukseen osallistuneilla henkilöillä oli entuudestaan voimaharjoittelutaustaa, joten tuloksia ei voida pitää yleistettävänä harjoittele mattomien ihmisten kohdalla.

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun seurauksena ylävartalon hypertrofiset harjoitusvasteet näyttäisivät useiden tutkimusten mukaan olevan alavartalon vastaavia vasteita suurempia (Cureton ym. 1988; Welle ym. 1996; Wilmore 1974) Kojićin ym. (2021) tutkimuksessa hypertrofiset vasteet eivät eronneet ylä- ja alavartalon lihasten välillä tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tulokset ovat näin ollen ristiriidassa vallitsevan käsityksen kanssa. Tässä pro gradu -tutkielmassa pyritään selvittämään hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun harjoitusvasteiden mahdollisia eroavaisuuksia ylä- ja alavartalon välillä. Keskeisimpänä tutkittavana muuttujana on lihasten hypertrofia, mutta kiinnostuksen kohteena ovat myös hypertrofiaan vahvasti linkittyvä maksimivoima sekä harjoittelun myötä todennäköisesti kehittyvä kesto-voima. Tutkimuksen avulla pyritään lisäämään tietoa voimaharjoittelemattomien henkilöiden ylä- ja alavartalon lihasten hypertrofiaan tähtäävän voimaharjoittelun vasteista. Tulokset tarjoavat lisätietoa suhteellisen tutkimattomaan aiheeseen. Tätä tutkimusta voidaan hyödyntää tulevaisuudessa voimaharjoittelutaustattomien henkilöiden hypertrofiaan tähtäävän voimaharjoitteluohjelman suunnittelussa.

1. Tutkimuskysymys

Ovatko hypertrofiset voimaharjoitteluvasteet samanlaiset, kun verrataan ylä- ja alavartalon lihasten poikkipinta-alan kehitystä?

Hypoteesi:

Hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena ylävartalon (kaksipäinen olkalihas) hypertrofia on tilastollisesti merkitsevästi suurempaa alavartalon (ulompi reisilihas) hypertrofiaan verrattuna. Wilmoren (1974) tutkimuksen tulokset osoittivat, että 10-viikkoisen voimaharjoittelun hypertrofiset vasteet keskittyivät pitkälti ylävartalon lihaksiin. Samankaltaisia tuloksia havaittiin myös Curetonin ym. (1988) tutkimuksessa, jossa tutkittiin 16-viikkoisen voimaharjoittelujakson vaikutuksia ylä- ja alaraajojen maksimivoimaan ja lihashypertrofiaan. Sekä naisten että miesten ryhmässä havaittiin tilastollisesti merkitsevää lihasmassan kasvua olkavarressa, kun taas reiden CSA ei kasvanut tilastollisesti merkittävästi kummassakaan ryhmässä (Cureton ym. 1988).

Myös Wellen ym. (1996) tutkimuksen tulokset tukevat aiemmin esitettyjen, Curetonin ym. (1988) sekä Wilmoren (1974) tutkimusten tuloksia. Tutkimuksessa verrattiin yhdeksän nuoren ja kahdeksan vanhemman henkilön ylä- ja alaraajojen voimaharjoitteluvasteita. Tulokset osoittivat kyynärvarren koukistajien anatomisen poikkipinta-alan (ACSA) kasvaneen nuorten ryhmässä 22 % ja iäkkäämpien ryhmässä 9 %. Sen sijaan polven ojentajien ACSA kasvoi nuorten ryhmässä vain 4 % ja iäkkäämpien ryhmässä 6 %. (Welle ym. 1996)

Wernbomin ym. (2007) laajassa katsausartikkelissa käsiteltiin 44 nelipäiseen reisilihakseen kohdistettua voimaharjoittelututkimusta, joissa voimaharjoittelua oltiin tehty dynaamisesti. Sama artikkeli sisälsi 16 kyynärvarren koukistajiin kohdistettua voimatutkimusta, joissa harjoittelu toteutettiin niin ikään dynaamista lihastyötä tehden. Artikkelin mukaan kyynärvarren koukistajien keskimääräinen poikkipinta-alan kasvu kahdesti viikossa harjoittelussa oli dynaamisen voimaharjoittelun tutkimuksissa keskimäärin 0,18 % päivässä. Tutkimuksissa, joissa nelipäistä reisilihasta harjoitettiin kahtena päivänä viikossa poikkipinta-alan päiväkohtainen kasvu oli sen sijaan keskimäärin 0,11 %. (Wernbom ym. 2007)

Näihin tutkimuslöydöksiin nojautuen voidaan olettaa, että lihasten CSA:n kehittyminen ylä- ja alavartalon lihaksia vertaillessa tulee eroamaan toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

2. Tutkimuskysymys

Ovatko voimaharjoitteluvasteet samanlaiset, kun verrataan ylä- ja alavartalon liikkeiden 1 RM kehitystä?

Hypoteesi:

Ylä- ja alavartalo- liikkeiden maksimivoiman kehityksessä ei havaita tilastollisesti merkitseviä eroja liikkeiden välillä. Gentilin ym. (2015) tutkimuksessa 10-viikkoisen voimaharjoittelujakson jälkeen polven ojennuksen sekä kyynärvarren koukistuksen huippuvääntömomentit kehittyivät molempien liikkeiden osalta tilastollisesti merkitsevästi, mutta kehityksessä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa liikkeiden välillä. Myös Kojićin ym. (2021) tutkimuksessa 7-viikkoisen hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena voimaharjoittelemattomien tutkittavien 1 RM kehittyi kyynärvarren koukistuksessa sekä takakyykyssä tilastollisesti yhtä merkitsevästi. Näihin tutkimuslöydöksiin nojautuen voidaan olettaa, että tutkittavien 1 RM:n kehittyminen ylä- ja alavartalon liikkeitä vertaillessa ei tule eroamaan tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

3. Tutkimuskysymys

Ovatko voimaharjoitteluvasteet samanlaiset, kun verrataan ylä- ja alavartalon liikkeiden kesto-voiman kehitystä?

Hypoteesi:

Ylä- ja alavartalon liikkeiden kesto-voiman kehityksessä ei havaita tilastollisesti merkitseviä eroja liikkeiden välillä. Stonen ja Coulterin (1994) tutkimuksessa raskaalla kuormalla (6–8 toisto/sarja) harjoitelleet tutkittavat kehittyivät 9-viikkoisen harjoitusjakson seurauksena tilastollisesti yhtä merkitsevästi penkkipunnerruksen ja kyykyn toistomaksimitestissä. Myös Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksessa kesto-voiman kehittyminen hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena oli tilastollisesti merkitsevää penkkipunnerruksessa ja jalkaprässissä. Näiden tutkimuslöydösten perusteella voidaan olettaa, että ylä- ja alavartalon kesto-voimaominaisuudet kehittyvät tilastollisesti yhtä merkitsevästi myös tässä tutkimuksessa.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä pro gradu -tutkielma on toteutettu osana Eeli Halosen ja Aapo Räntilän väitöskirjaprojektia. Tästä johtuen tutkimuskokonaisuus on hyvin laaja ja osa mittauksista tuloksineen on perusteltua rajata tämän työn ulkopuolelle. Tässä luvussa avataan tarkemmin niitä menetelmiä ja mittauksia, joiden tuloksia tarkastellaan seuraavassa pääluvussa.

6.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat 18–40-vuotiaita perusterveitä miehiä ja naisia. Tutkimukseen osallistuakseen tutkittavien tuli täyttää seuraavat kriteerit: ei aiempaa säännöllistä voimaharjoittelutaustaa eikä lainkaan voimaharjoittelua viimeisen 12 kuukauden aikana, painoindeksi välillä 18,5–30 kg/m², tupakoimaton, ei meneillään olevaa tulehduskipulääkitystä, ei kestävyysharjoittelutaustaa viimeisen kuuden kuukauden aikana, mikä määritettiin yli kahdeksi kestävyysharjoitukseksi viikossa (harjoituksen kesto yli 30 minuuttia). Tutkittavia ohjeistettiin säilyttämään tavanomainen fyysinen aktiivisuustasonsa sekä välttämään muita harjoitusmuotoja tutkimuksen aikana. Poissulkukriteereihin lukeutui aikaisempi tai meneillään oleva lääkitys, joka saattaa vaikuttaa harjoitusvasteisiin, ravintolisien käyttö (lukuun ottamatta proteiini- tai hiilihydraattipohjaisia tuotteita, kivennäisaineita, vitamiineja tai kalaöljytuotteita) sekä akuutti tai krooninen sairaus, joka vaikuttaa sydän- ja verenkiertoelimistön, hengityselimistön, tuki- ja liikuntaelimistön tai endokriiniseen toimintaan. Poissulkukriteeri täyttyi myös sellaisessa tapauksessa, jossa tutkittavalla oli jokin sairaus, joka voisi rajoittaa yksilön kykyä toteuttaa voimaharjoittelua tai osallistua voiman testaamiseen (esim. hallitsematon verenpainetauti, diabetes, niveltulehdus tai hermo-lihassairaus). Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta on antanut lausuntonsa ennen tutkimuksen käynnistämistä.

Tutkittavat rekrytoitiin Keski-Suomen alueelta julkisten Facebook-ryhmien kautta syksyn 2021 ja kevään 2022 aikana. Yli 300 henkilöä ilmaisi olevansa kiinnostuneita osallistumaan tutkimukseen. Heitä pyydettiin täyttämään esiselvontakysely, jonka pohjalta osallistujien kelpoisuutta arvioitiin. Aikataulullisten ja tilallisten rajoitteiden vuoksi kaikkia halukkaita ei pystytty ottamaan tutkimukseen, jolloin mukaan valittiin ne henkilöt, joiden katsottiin täyttävän parhaiten osallistumiseen vaadittavat kriteerit. Valintaprosessin jälkeen tutkimukseen otettiin mukaan

29 miestä ja 26 naista, jotka jaettiin satunnaisesti A- (n = 28) ja B-ryhmään (n = 27). Tutkimukseen osallistuminen oli kaikille tutkittaville vapaaehtoista. Tutkittaville oli kerrottu mahdollisista tutkimuksesta aiheutuvista haitoista ennen tutkimuksen aloittamista. Kaikilla osallistujilla oli vapaus jättäytyä pois tutkimuksesta ajankohdasta riippumatta.

Tutkittavista (n = 55) 13 keskeytti tai jättäytyi pois tutkimuksesta terveydellisistä tai henkilökohtaisista syistä ennen 20 viikon harjoitusjakson päättymistä. Tässä pro gradu -tutkielmassa käytetään kunkin tutkittavan osalta vain ensimmäisen 10 viikon harjoitusjaksoa, jotta harjoitustauon mahdollinen vaikutus tuloksiin pystytään sulkemaan pois. Yhdestätoista keskeyttäneestä tutkittavasta kuuden henkilön dataa voitiin käyttää tässä tutkielmassa, sillä he lopettivat osallistumisensa aikaisintaan 10 viikon harjoittelun jälkeen. Kolmen tutkittavan dataa ei ole sisällytetty tämän tutkielman aineistoon johtuen yksilöllisistä ylä- ja alavartalon välisistä harjoitusvolyymien selkeistä eroista. Syynä tähän on ollut jokin akuutti tai pitkittynyt vamma, mikä on estänyt tutkittavaa tekemästä ylä- tai alavartaloliikettä epätasapainottaen näin harjoittelua joko ylä- tai alavartalon kehitystä suosivammaksi. Suurimmaksi sallituksi volyymieroksi ylä- ja alavartalon liikkeiden välillä on asetettu kolme sarjaa. Harjoitusvolyymien epätasapaino ylä- ja alavartaloliikkeiden välillä oli kahden poissuljetun tutkittavan kohdalla yli 30 sarjaa. Kolmannen datasta poissuljetun tutkittavan kohdalla volyymiero ylä- ja alavartalon liikkeiden välillä oli 6 sarjaa. Yhden tutkittavan kohdalla ulomman reisilihaksen ultraäänikuvien laatu oli niin heikko, ettei kuvista pystytty tarkasti määrittämään lihaksen CSA:a. Tästä syystä kyseisen tutkittavan dataa ei ole tässä tutkimuksessa käytetty. Datan analysointiin sisällytettyjen tutkittavien ikä sekä antropometriset tiedot tutkimuksen aloitusvaiheessa on esitetty sukupuolten keskiarvoina taulukossa 1.

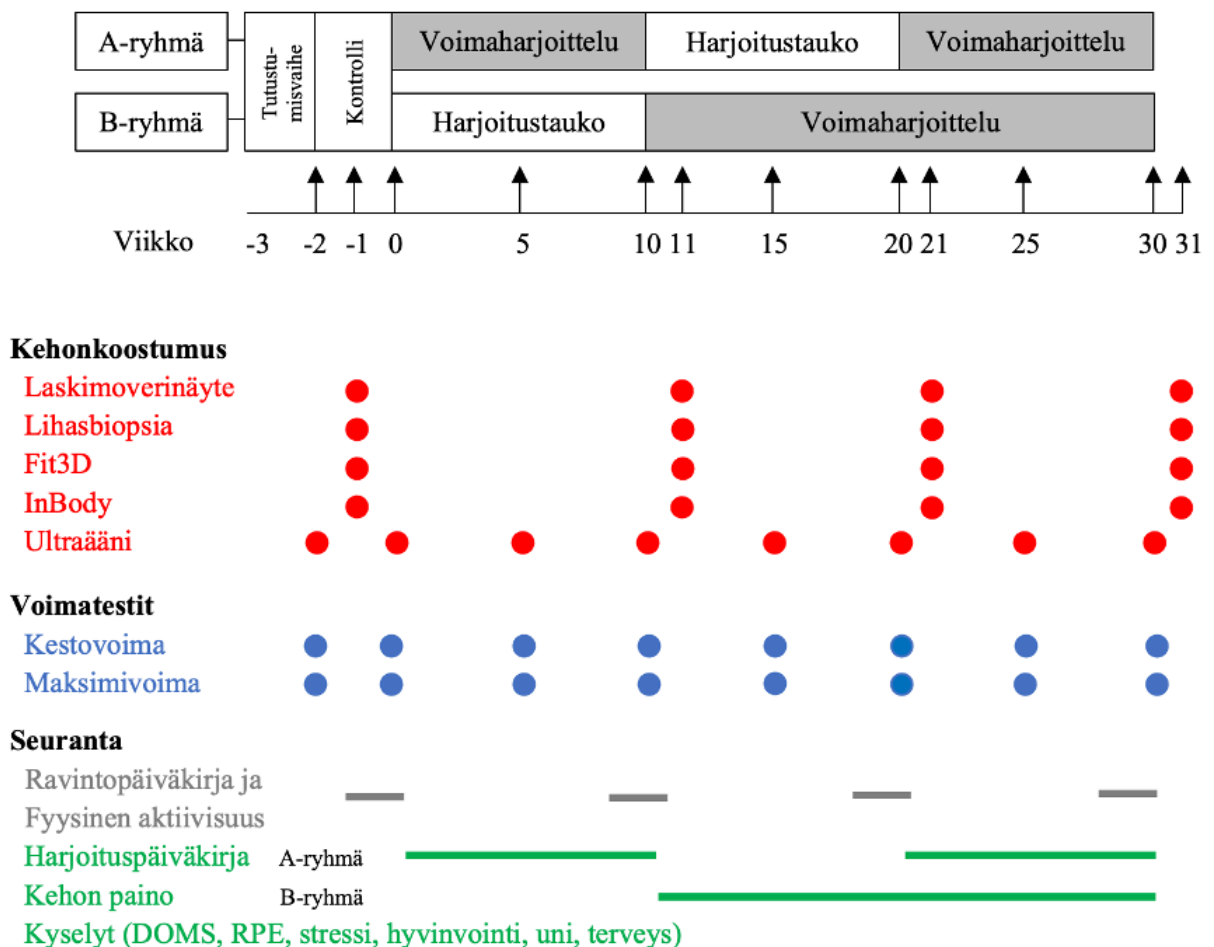
TAULUKKO 1. Dataan sisällytettyjen tutkittavien ikä sekä antropometriset tiedot sukupuolten keskiarvoina (keskihajonta).

	N	Ikä (v)	Paino (kg)	Pituus (cm)	Painoindeksi (kg/m ²)
Miehet	25	32.04 (4.57)	81.46 (14.97)	180.76 (6.68)	24.83 (3.80)
Naiset	19	32.11 (5.20)	67.99 (11.52)	165.83 (7.54)	24.84 (3.24)
Yhteensä	44	32.07 (4.79)	75.51 (15.01)	174.16 (10.25)	25.06 (3.43)

N, tutkittavien määrä; v, vuosi; kg, kilogramma; cm, senttimetri; kg/m², kilogrammaa jaettuna pituuden neliöllä.

6.2 Tutkimusasetelma

Yhtenä tutkimuksen tärkeimpänä osatarkoituksena oli selvittää mahdollisia hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun adaptaatioeroja ryhmien välillä. Toinen ryhmä harjoitteli yhtäjaksoisesti 20 viikkoa kun taas toisella ryhmällä harjoitusohjelma koostui kahdesta 10 viikon jaksosta, joiden välissä pidettiin 10 viikon tauko. Tutkittavat jaettiin ryhmiin satunnaisesti. Molemmilla ryhmillä tutkimus alkoi viikon mittaisella tutustumisjaksolla. Tätä seurasi kahden viikon kontrollijakso, jonka aikana tutkittavat suorittivat lähtötasovoimatestit ja heiltä otettiin lihassolu- ja laskimoverinäytteet. Voimaharjoittelujakson päätyttyä tutkittavilta otettiin harjoittelujaksoa seuraavan viikon aikana viimeiset laskimoveri- ja lihassolunäytteet. Tutkimus oli kokonaiskestoltaan 34 viikkoa. Tutkimuksen eteneminen on havainnollistettu kuvassa 7. Kuvassa esitetyistä mittauksista käytettiin tämän pro gradu -tutkielman osalta ultraäänikuvantamista, kesto- ja maksimivoimatestejä, InBody-kehonkoostumusmittausta sekä kehon painon mittaamista.



KUVA 7. Tutkimussuunnitelma, mittaukset ja niiden ajankohdat. Nuolet kuvastavat tutkimusviikkoja, jolloin kehonkoostumusta ja/tai hermolihasjärjestelmän suorituskykyä on mitattu.

6.3 Voimaharjoitusprotokolla

Harjoituksia ennen tehtiin vakioitu alkulämmittely, joka eteni seuraavasti. Kolme minuuttia kuntopyöräilyä omavalintaisella vastuksella, 10 kehonpainokyykyä, viisi askelkyykyä per jalka, viisi ”mittarimatoa” (käsin askellus punnerrusasentoon ja sieltä takaisin yläasentoon) ja viimeisenä kummallekin jalalle viisi polven halausta rintaa vasten päkiän varaan noustessa. Lämmittelyn aikana tutkittavilta tiedusteltiin lihasarkuutta Likertin asteikolla 1–6. Viikon jälkimmäisellä harjoituskerralla tutkittavat punnittiin ennen alkulämmittelyn aloittamista. Kunkin harjoituksen päätteeksi tutkittavilta kysyttiin Borgin asteikolla yhdestä kymmeneen, kuinka kuormittavaksi he olivat harjoituksen kokeneet.

Lämmittelyn jälkeen tutkittavilta mitattiin esikevennyshyppyjen lentoaika valokennojen (Jyväskylän yliopiston elektroniikkalaitehuolto, Jyväskylä, Suomi) avulla. Lentoajoista saatiin laskeutta hyppyjen nousukorkeus kaavalla $h = (g * t_{\text{lento}}^2) / 8$. Tutkittavat saivat tehdä yhden tai kaksi valmistavaa suoritusta ennen mitattavia hyppyjä. Yrityksiä oli kolme ja hyppyjen välissä sai pitää 30 sekunnin tauon. Mikäli tulos parani kolmannella yrityksellä yli 5 %, sallittiin neljäs yritys. Esikevennyshyppyjen jälkeen siirryttiin ensimmäiseen harjoitettavaan liikkeeseen. Esikevennyshyppyjen nousukorkeuksia ei ole sisällytetty tämän tutkielman tuloksiin.

6.3.1 Liikkeet

Voimaharjoitus tehtiin liike kerrallaan seuraavassa järjestyksessä: horisontaalinen kahden jalan jalkaprässi, polvien ojennus laitteessa, penkkipunnerrus smith-laitteessa, hauiskäntö suoralla tangolla ja viimeisenä tuettu kulmasoutu laitteessa. Penkkipunnerrusta lukuun ottamatta kutakin liikettä tehtiin neljä sarjaa, penkkipunnerrusta kolme. Penkkipunnerrus valittiin ohjelmaan vastaliikkeeksi tuetulle kulmasoudulle. Tällä pyrittiin välttämään epätasapainoa ylävartalon vetävien ja työntävien lihasten välillä. Kolmen penkkipunnerrussarjan katsottiin riittävän tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Sarjojen ja liikkeiden välillä sallittiin kahden minuutin palautukset. Kaikissa liikkeissä pyrittiin tekemään 8–10 toistoa/sarja. Tutkittavia ohjeistettiin jättämään viimeistä sarjaa lukuun ottamatta toistoreserviin 2–3 toistoa, jotteivat jälkimmäiset sarjat olisi jääneet huomattavasti haluttua lyhyemmiksi. Kaikissa liikkeissä konsentriinen työvaihe toteutettiin maksimaalisella suoritusnopeudella.

Horisontaalinen kahden jalan jalkaprässi. Tutkittavat istuivat liikkeessä laitteen (DAVID 210 jalkaprässi, Helsinki, Suomi) penkissä pitäen käsillä kahvoista kiinni. Selkänoja säädettiin yksilöllisesti portaittain eteen- tai taaksepäin siirtämällä siten, että laitteessa istuessa polvikulma oli mahdollisimman lähellä 65 astetta. Polvikulma mitattiin goniometrin avulla. Kukin tutkittava käytti samaa yksilöllistä selkänojasäätöään kaikissa tutkimuksen harjoituksissa ja mittauksissa. Tutkittavat saivat vapaasti valita haluamansa paikan jalkapohjille laitteen työntölevyllä. Jalkojen sijaintia ei vakioitu harjoitusten tai testien välillä. Liike aloitettiin aluasennosta, josta jalat ojennettiin suoriksi eteen. Toisto laskettiin onnistuneeksi, kun tutkittava sai ojennettua jalat aloitusasennosta suoriksi. Tutkittavia ohjeistettiin pitämään kunkin toiston eksentrisen työvaihe kahden sekunnin kestoisena ja liikelaajuus mahdollisimman suurena. Painopakan kulkemaa matkaa sekä eksentrisen ja konsentrisen työvaiheen kokonaisaikaa mitattiin kussakin työsarjassa matka-aika-laitteen (suunniteltu ja valmistettu Liikuntabiologian laitoksessa, Jyväskylän yliopistossa, Suomessa) avulla, joka oli yhdistetty elektronisesti jalkaprässiin. Kuvassa 8 on havainnollistettu jalkaprässin lähtö-/palautus sekä ojennusvaiheen asennot.



KUVA 8. Horisontaalisen kahden jalan jalkaprässi -liikkeen aloitus- ja palautusasento (vasemalla) sekä jalkojen ojennuksen ääriasento (oikealla).

Polvien ojennus. Tutkittavat istuivat liikkeessä laitteen (DAVID 200 polven ojennus, Helsinki, Suomi) penkissä pitäen käsillä kahvoista kiinni. Sarjan aikana myös turvavyötä pidettiin kiinni. Selkänoja sekä nilkkojen päälle asettuvat rullat säädettiin kullekin tutkittavalle sopiviksi. Näitä asetuksia käytettiin kunkin tutkittavan kohdalla koko tutkimuksen ajan. Lähtöasennossa polvinivel lepäsi penkin reunan ulkopuolella 90° kulmassa. Polvet ojennettiin suoriksi siten, että jalat olivat suorana horisontaalitasossa ojennuksen ääriasennossa. Eksentristä työvaihetta koskeva ohjeistus oli sama kuin jalkaprässi-liikkeessä. Hyväksytyksi toistoksi laskettiin suoritus, jossa

polvet ojentuivat täysin suoriksi. Painopakaman kulkemaa matkaa sekä eksentristä ja konsentrista työaikaa mitattiin samalla tavalla kuin jalkaprässissä. Polvien ojennus -liikettä on havainnollistettu kuvassa 9.



KUVA 9. Polvien ojennus -liikkeen aloitus- (vasemmalla) ja ojennusasento (oikealla).

Penkkipunnerrus. Penkkipunnerrus tehtiin smith-laitteessa (Marbo Sport, Starachowice, Puola). Tutkittavia ohjeistettiin tekemään liike siten, että pää, hartiat, selkä ja pakarot pysyvät kiinni penkissä suorituksen aikana. Jalat pidettiin liikettä tehdessä maassa. Oteleveys oli selkeästi, noin 30–40 senttiä, hartialeveyttä leveämpi. Oteleveyttä ei vakioitu harjoituskertojen välillä. Hyväksytyssä suorituksessa tanko laskettiin hallitusti koskettamaan rintalastaa, josta se työnnettiin takaisin aloitusasentoon suorille käsille. Penkkipunnerruksessa korostettiin liikkeen suorittamista maksimaalisella liikelajuudella. Liikettä on havainnollistettu kuvassa 10.



KUVA 10. Penkkipunnerruksen ylä-/aloitusasento (vasemmalla) ja ala-asento (oikealla).

Hauiskääntö. Liike tehtiin selkä laitteeseen (Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi) tuettuna. Tukien säädöt määritettiin yksilöllisesti tutustumisvaiheen aikana. Samoja säätöjä käytettiin koko tutkimuksen ajan. Ylemmän selkätuen yläreuna asetettiin lapaan harjanteen tasolle ja alempi selkätuki ristiluun-suoliluuunivelen tasolle. Kuormista riippuen liikkeessä käytettiin joko 7,5 kilogramman (Leoko Oy, Tampere, Suomi) tai 20 kilogramman (Leoko Oy, Tampere, Suomi) tankoa. Myös tarkkojen, 500 gramman porrastuksilla määritettyjen kuormien kokoamiseksi käytettiin saman valmistajan levypainoja. Liikkeen aloitusasennossa tanko roikkui alhaalla käsien ollessa suorina. Toisto hyväksyttiin, kun kyynärvarsia koukistamalla tanko saatiin nostettua leuan alle. Tämän lisäksi lantion ja lapojen tuli pysyä koko liikkeen ajan kiinni tuissa. Eksentrisen työvaiheen kestoa ei pyritty vakioimaan, mutta tutkittavia ohjeistettiin laskemaan tanko hallitusti takaisin lähtöasentoon. Tankoa ei saanut pompauttaa reisiltä seuraavan toistoon lähettäessä. Hauiskääntö-liike on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Hauiskääntö-liikkeen aloitus-/ala-asento (vasemmalla) ja lopetus-/yläasento (oikealla).

Tuettu kulmasoutu. Järjestyksessään viimeisenä harjoitusliikkeenä suoritettu tuettu kulmasoutu tehtiin laitteessa (Matrix Fitness MG-PL34 Seated Row, Wisconsin, Yhdysvallat). Suorituksen

aikana rintakehä tuli pitää kiinni laitteen tuessa. Liikkeessä käytettiin vakioitua neutraalia otetta. Eksentrisen työvaiheen kestoa ei pyritty vakioimaan, mutta tutkittavia ohjeistettiin tekemään myös eksentrisen vaihe hallitusti. Toisto hyväksyttiin, kun kyynärpäät oli vedetty kylkien tasolle tai niiden yli rinnan pysyessä samaan aikaan kiinni tuessa. Tutkittavia ohjeistettiin tekemään liike maksimaalisella liikelaajuudella. Kuormien kokoamiseen käytettiin levypainoja (Leoko Oy, Tampere, Suomi). Tuettu kulmasoutu on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Tuettu kulmasoutu -liikkeen aloitus- (vasemmalla) ja lopetusasento (oikealla).

6.3.2 Harjoitusten ohjaus

Ennen harjoittelun aloittamista kukin tutkittava kävi tutustumisvaiheen aikana kerran laboratoriolle tutustumassa harjoituspaikkaan, -liikkeisiin ja -laitteisiin tutkijoiden henkilökohtaisessa ohjauksessa. Tutustumiskerralla tutkittavat tekivät 5–8 toistoa jalkaprässiä ja hauiskäntöä hyvin kevyellä kuormalla. Sarjojen jälkeen tutkittavia pyydettiin arvioimaan, kuinka monta toistoa he olisivat kyenneet vielä tekemään kyseisellä kuormalla. Arvioitua toistoreserviä (reps in reserve, RIR) käytettiin apuna seuraavalla viikolla 1 RM testien lähestymisarjoissa.

Tutkittavat harjoittelivat kaksi kertaa viikossa. Harjoitusajat sovittiin aina yksilöllisesti kunkin tutkittavan kanssa, joten ajankohta ja harjoitusten välinen lepo vaihteli yksilöiden välillä. Tutkittavia ohjeistettiin valitsemaan harjoitusajat siten, että harjoitusten välissä olisi vähintään yksi

kokonainen lepopäivä. Mikäli tutkittava jäi jälkeen suunnitelman mukaisesta kahden harjoituskerran viikkotahdista, hänen kanssaan sovittiin tuleville viikoille useampi treenikerta harjoitusmäärien kiinni kirimiseksi.

Kutakin tutkittavaa ohjattiin harjoituksissa henkilökohtaisesti tutkijoiden toimesta ensimmäisen kahden viikon ajan. Henkilökohtaisessa ohjauksessa tutkittaville opetettiin ensisijaisesti liikkeiden turvalliset ja hyväksytyt suoritustekniikat, harjoituspäiväkirjan täyttäminen, kuormien ja laitteiden asetuksien yksilöllinen säätäminen, liikkeiden harjoitusjärjestys sekä sarjojen välissä sallittavien palautuksien kesto. Ohjauksen avulla tutkittavat pyrittiin valmistamaan parhaalla mahdollisella tavalla itsenäiseen harjoitteluun, mihin siirryttiin kolmannesta harjoitusviikosta alkaen. Itsenäisen harjoittelun aikana laboratoriolta harjoitteli yhtä aikaa enintään kuusi henkilöä ja heidän harjoitteluun valvoi vähintään yksi tutkija. Näin tutkittavilla oli mahdollisuus saada apua ja/tai henkilökohtaista ohjausta myös itsenäisen harjoitusjakson aikana. Tutkittavat täyttivät harjoituspäiväkirjaansa sarjapalautusten aikana. Harjoituksen päätyttyä harjoituspäiväkirjojen data siirrettiin paperiversiosta tietokoneelle Excel-tiedostoon.

6.3.3 Kuormien määrittäminen

Ensimmäisellä harjoituskerralla kuormien määrittäminen perustui mitattuihin 1 RM ja 3–5 RM testituloksiin. Moninivelliikkeissä (jalkaprässi, penkkipunnerrus ja tuettu kulmasoutu) sarjapainoiksi määritettiin 70 % 1 RM:sta. Yhteen niveleen kohdistuvissa liikkeissä (polvien ojennus ja hauiskääntö) sarjapaino oli 50 % 1 RM:sta. Jalkaprässissä ja hauiskäännössä ensimmäisen harjoitusviikon sarjapainojen määrittäminen perustui viikolla -2 mitattuihin 1 RM tuloksiin. Polvien ojennuksessa, penkkipunnerruksessa sekä tuetussa kulmasoudussa tutkittaville ei teetetty 1 RM testejä vaan sarjapainojen määrittämisessä käytettiin apuna 3–5 RM testejä sekä Helmsin ym. (2016) esittämää taulukkoa (ks. taulukko 2). Taulukon avulla arvioitiin tutkittavien 3–5 RM tuloksen perusteella heidän 1 RM, minkä jälkeen arvioitua 1 RM:a käytettiin sarjapainojen määrittämiseen. 3–5 RM testit teetettiin uudestaan B-ryhmälle heidän palattuaan harjoittelemaan 10-viikkoisen harjoitustauon jälkeen ja tuloksien pohjalta määritettiin harjoituskuormat testattuihin liikkeisiin samalla menetelmällä kuin tutkimuksen alussakin.

TAULUKKO 2. Prosenttiosuus 1 RM:sta suhteutettuna tehtyihin toistoihin sekä arvioituun toistoserviiniin (RIR) perustuvaan RPE:en (mukailtu Helms ym. 2016).

RPE	Tehtyjen toistojen määrä							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	100.0 %	95.0 %	91.0 %	87.0 %	85.0 %	83.0 %	81.0 %	79.0 %
9.5	97.0 %	93.0 %	89.0 %	86.0 %	84.0 %	82.0 %	80.0 %	77.5 %
9	95.0 %	91.0 %	87.0 %	85.0 %	83.0 %	81.0 %	79.0 %	76.0 %
8.5	93.0 %	89.0 %	86.0 %	84.0 %	82.0 %	80.0 %	77.5 %	74.5 %
8	91.0 %	87.0 %	85.0 %	83.0 %	81.0 %	79.0 %	76.0 %	73.0 %
7.5	89.0 %	86.0 %	84.0 %	82.0 %	80.0 %	77.5 %	74.5 %	71.5 %
7	87.0 %	85.0 %	83.0 %	81.0 %	79.0 %	76.0 %	73.0 %	70.0 %

RPE, koettu kuormittavuus.

Liikkeissä käytettäviä kuormia muokattiin kunkin tutkittavan kohdalla toistomaksimitulosten mukaan koko tutkimuksen ajan. Viikon jälkimmäinen harjoitus tehtiin aina siten, että kaikissa liikkeissä viimeinen sarja tehtiin uupumukseen asti. Toistomaksimituloksen perusteella seuraavan viikon harjoituspainot määritettiin taulukon 3 mukaisesti.

TAULUKKO 3. Toistomaksimisarjojen tuloksista määritetyt sarjapainojen korotukset tai vähennykset kilogrammoissa liikkeittäin.

Toistot	Jalkaprässi	Polvien ojennus	Penkkipunnerus	Hauiskäntö	Tuettu kulmasoutu
< 5	-7.5	-7.5	-5	-2.5	-2.5
6–7	-5	-5	-2.5	-1	-1.25
8–10	0	0	0	0	0
11–12	2.5	2.5	2.5	1	1.25
13–15	5	5	5	2.5	2.5
16–20	7.5	7.5	7.5	3.5	5
> 20	10	10	10	5	7.5

6.4 Maksimi- ja kestoimatestit

Molemmille ryhmille teetettiin tutkimuksessa maksimi- ja kestoimatestit seitsemän kertaa. Testit teetettiin viiden viikon välein harjoitusjaksojen aikana. Tämän lisäksi testit teetettiin ensimmäistä kertaa jo kontrollivaiheessa, viikolla -2, ennen voimaharjoittelun aloittamista. Ennen maksimi- ja kestoimatestejä tutkittavien oikean käden hauislihas ja oikean jalan ulompi reisi- lihas ultraäänikuvattiin. Näistä mittauksista kerrotaan tarkemmin seuraavassa alaluvussa. Voimatestit etenivät tässä luvussa esitettävässä järjestyksessä. Kaikissa maksimi- ja kestoimatesteissa tutkittavia kannustettiin voimakkaasti maksimaalisiin suorituksiin.

Ennen maksimi- ja kestoimatestejä tutkittavat lämmittelivät ja tekivät esikevennyshyppytestit samalla tavalla kuin ennen normaalia voimaharjoitusta. Tämän jälkeen tutkittavilta testattiin isometrinen polvenojennuksen maksimivoima tähän testiin erikseen valmistetussa laitteessa (Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi). Kyseistä testiä ei ole kuvattu tarkemmin, sillä vastaavaa testiä ei kohdistettu ylävartalon lihaksille, eivätkä tulokset näin ollen anna vastauksia tutkimuskysymyksiin.

6.4.1 Yhden toiston maksimivoimatesti jalkaprässissä

Isometrisen polvenojennuksen maksimivoimatestin jälkeen siirryttiin jalkaprässiin. Ennen 1 RM yrityksiä tutkittavat tekivät kaksi lämmittelysarjaa. Ensimmäisessä lämmittelysarjassa tehtiin 10 toistoa 40–60 % kuormalla arvioidusta 1 RM:sta, toisessa 5 toistoa 60–80 % kuormalla arvioidusta 1 RM:sta. Lämmittelysarjojen välissä pidettiin minuutin palautus. Ennen 1 RM yrityksiä käytiin läpi, kuinka suoritus tulee tehdä, jotta se hyväksytään. 1 RM yritykset aloitettiin suorin jaloin. Asentoon pääsemiseksi tutkittava työnsi työntölevyn suorille jaloille tutkijan vedon avustamana.

1 RM yrityksissä eksentrisen työvaiheen kestoa ei pyritty vakioimaan, vaan kukin tutkittava sai tuoda polvet koukkuun parhaaksi katsomallaan nopeudella. Konsentrisen vaihe oli sallittua aloittaa vasta tutkijan äänimerkistä. Merkki annettiin, kun painopakka oli pysähtynyt ala-asentoon. Onnistuneeksi toistoksi katsottiin suoritus, jossa jalat saatiin ojennettua suoriksi tutkijan antaman äänimerkin jälkeen. Yritykset, joissa tutkittavat eivät malttaneet odottaa tutkijan antamaa äänimerkkiä, hylättiin. Tällä menetelmällä karsittiin pois sellaiset yritykset, joissa suoritus

keveni painopakan ponnahduksen myötä tai tutkittava ei saavuttanut lainkaan tarpeeksi syvää polvikulmaa.

1 RM yritysten välissä pidettiin kolmen minuutin palautukset. Kuorman lisäämisen määrä perustui tutkijan silmämääräiseen arvioon edellisen yrityksen suoritusnopeudesta sekä tutkittavan omaan tuntemukseensa siitä, kuinka raskaalta suoritus oli tuntunut. Jos ensimmäisen yrityksen kuorma tai jokin yli 2,5 kilogramman korotus osoittautui liian raskaaksi, kuormaa vähennettiin. 1 RM pyrittiin saamaan selville 3–5 yrityksen aikana. Onnistuneiden yritysten jatkuessa yrityksiä jatkettiin siihen asti, kunnes saavutettiin kuorma, jolla tutkittava ei kyennyt tekemään hyväksytyä toistoa. 1 RM määritettiin 2,5 kilogramman tarkkuudella.

6.4.2 Toistomaksimitesti jalkaprässissä

Alaraajojen kestovoimaa mitattiin toistomaksimitestin avulla. Testi teetettiin kolmen minuutin kuluttua 1 RM testin päättymisestä. Kontrolliviikkoa (viikko -2) lukuun ottamatta tässä testissä käytettiin aina samaa kuormaa, joka oli 85 % ensimmäisellä harjoitusviikolla mitatusta 1 RM tuloksesta. Kontrolliviikolla testissä käytettiin 85 % kuormaa kyseisen viikon 1 RM tuloksesta. Painopakka autettiin lähtöasentoon tutkijan toimesta samalla tavalla kuin 1 RM testissä. Testissä tutkittavat tekivät yhden sarjan jalkaprässiä uupumukseen saakka. Kukin toisto tuli tehdä samalla tavalla kuin jalkaprässin 1 RM testissä, tutkijan antaman merkin jälkeen. Toistot, jotka tehtiin ennen merkkiä, hylättiin. Sarjan aikana oli sallittua pitää lyhyitä taukoja jalkojen ollessa suorana. Tarkkaa toistojen välistä sallittavaa lepoaikaa ei oltu määritetty. Muutamien tutkittavien kohdalla sarjat venyivät niin pitkiksi, että niistä aiheutui aikataulullisia ongelmia ryhmäharjoituksissa ja toisten tutkittavien testeissä. Tämän vuoksi tutkimuksen aikana testiin säädettiin maksimitulokseksi 100 toistoa.

6.4.3 Yhden toiston maksimivoimatesti hauiskäännössä

Tutkittavien annettiin palautua tarvittaessa 10–15 minuuttia edellisestä testistä, jottei siitä aiheutunut väsymys vaikuttaisi seuraavien testien tuloksiin. Lämmittelyprotokolla oli samanlainen kuin jalkaprässissä tehdyssä 1 RM testissä, ensimmäisessä sarjassa 10 toistoa 40–60 %

kuormalla ja toisessa sarjassa 5 toistoa 60–80 % kuormalla arvioidusta 1 RM tuloksesta. Lämmittelysarjojen välissä pidettiin yhden minuutin palautus.

Ennen kutakin 1 RM yritystä pidettiin kolmen minuutin palautus. 1 RM yrityksissä alustuksena tukeen vyötetylle tutkittavalle annettiin lastattu tanko käsiin. Tutkijat ohjeistivat kullakin yrityksellä tutkittavia ottamaan tangosta symmetrisen otteen. Tutkittavat saivat aloittaa 1 RM yrityksensä kokiessaan olevansa valmiita suoritukseen. Liikkeen hyväksymiskriteerit olivat täsmälleen samat kuin harjoittelun aikana kyseisessä liikkeessä. Nämä kriteerit on esitelty aiemmin liikkeitä käsittelevässä alakappaleessa 6.5.1 ja tarkemmin hauiskääntöä käsittelevässä kappaleessa. Jalkaprässin 1 RM testin tapaan myös hauiskäännössä tulos pyrittiin saamaan selville 3–5 yrityksellä. Jos ensimmäisen yrityksen kuorma tai jokin yli 1,0 kg:n korotus osoittautui liian raskaaksi, kuormaa vähennettiin. Kuorman lisäämisen määrä perustui tutkijan silmämääräiseen arvioon edellisen yrityksen suoritusnopeudesta sekä tutkittavan omaan tuntemukseen siitä, kuinka raskaalta suoritus oli tuntunut. Onnistuneiden yritysten jatkuessa yrityksiä jatkettiin siihen asti, kunnes saavutettiin kuorma, jolla tutkittava ei kyennyt tekemään hyväksytyä toistoa. 1 RM määritettiin 0,5 kilogramman tarkkuudella. Testissä käytettävän välineistön vakioimiseksi tutkittavat käyttivät kaikilla testikerroilla sitä tankoa, jolla he olivat suorittaneet ensimmäiset hauiskääntötestinsä.

6.4.4 Toistomaksimitesti hauiskäännössä

Vuorossaan viimeisenä testinä voimatestien kokonaisuudessa teetettiin toistomaksimitesti hauiskäännössä. Tämä testi aloitettiin kolmen minuutin kuluttua viimeisestä 1 RM yrityksestä samassa liikkeessä. Testissä käytettiin 80 % kuormaa ensimmäisellä harjoitusviikolla mitatusta 1 RM tuloksesta, lukuun ottamatta kontrolliviikolla tehtyä toistomaksimitestiä, jossa käytettiin 80 % kuormaa samalla testikerralla mitatusta 1 RM:sta. Testissä tutkittavat tekivät yhden sarjan toistoja uupumukseen asti edellä mainitulla kuormalla. Sarjan aikana tutkittavat saivat pitää lyhyitä lepotaukoja joko ylä- tai ala-asennossa. Toistojen välistä maksimitaukoa ei kuitenkaan tutkimuksessa vakioitu. Käsiä ei saanut irrottaa tangosta sarjan aikana, muuten sarja katsottiin päättyneeksi. Toistojen hyväksymiskriteerit olivat täsmälleen samat kuin harjoittelun aikana kyseisessä liikkeessä. Nämä kriteerit on esitelty aiemmin liikkeitä käsittelevässä alakappaleessa 6.5.1 ja tarkemmin hauiskääntöä käsittelevässä kappaleessa.

6.5 Lihaksien poikkipinta-alan mittaaminen

Ultraäänikuvaukset toteutettiin aina ennen voimatestien aloittamista. Tutkittavilta kuvattiin ultraäänilaitteella (Aloka co ltd, Prosound SSD- α 10, Tokio, Japani) kaksipäisen olkalihaksen ja ulomman reisilihaksen CSA:t sekä lihasten pennaatiokulmat. Ultraäänikuvauksista vastasi koko tutkimuksen aikana kaksi tutkijaa. Mittaukset otettiin aina oikean puolen raajoista. Kaksipäisen olkalihaksen kuvat otettiin yhden kolmanneksen kohdalta olkaluun mitasta (kyynänpäästä olkapäähän katsottuna). Olkaluun pituus mitattiin olkalisäkkeestä olkaluun distaalisen pään lateraaliseen sivunastaan. Ulomman reisilihaksen kuvat otettiin puolestavälistä reisiluun mittaa. Reisiluun pituus mitattiin polvilumpion yläkärjestä isoon sarvennoiseen. Kuvauskohdat merkittiin tussilla ja tutkittavia ohjeistettiin vahvistamaan merkkejä niiden säilymiseksi. Kohdat kuitenkin varmistettiin palpoimalla ja mittaamalla luut kunkin ultraäänimittausten alkajaisiksi. Jokaisella ultraäänikuvauskerralla molemmista lihaksista otettiin vähintään kolme pennaatiokulma- ja poikkipinta-alakuvaa. Kuvat analysoitiin tutkimuksen päätyttyä. Lihasten CSA:t ja pennaatiokulmat määritettiin kustakin kuvasta manuaalisesti ImageJ-ohjelmistolla (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, Yhdysvallat). Poikkipinta-alan tuloksissa on käytetty kunkin kuvauskerran kohdalla kahden toisiaan lähimpänä olleiden tuloksien keskiarvoja. Ultraäänikuvien analysoinnista vastasi tutkimuksessa vain yksi tutkija.

6.6 Harjoitusvolyymien laskeminen

Kunkin tutkittavan datasta laskettiin henkilökohtainen harjoitusvolyymi kussakin liikkeessä. Harjoitusvolyymiksi on tässä tutkielmassa määritelty liikkeessä tehtyjen lähellä uupumusta tai uupumukseen asti tehtyjen sarjojen kokonaismäärä. Kyseistä harjoitusvolyymien määritystä on käytetty aiemminkin (Baz-Valle ym. 2018). Koska ylä- ja alavartalo liikkeiden harjoituskuormat poikkesivat merkittävästi toisistaan, niitä ei ole sisällytetty harjoitusvolyymien laskentaan. Alavartalon harjoitusvolyymiksi on määritetty jalkaprässissä ja polvien ojennusliikkeessä tehtyjen sarjojen summa. Ylävartalon harjoitusvolyymi puolestaan muodostui hauiskäännössä ja tuetussa kulmasoudussa suoritettujen sarjojen summasta. Analysoitavaan dataan ei ole sisällytetty sellaisia tutkittavia ($n = 3$), joilla ylä- ja alavartalon harjoitusvolyymi on poikennut selkeästi toisistaan, johtuen esimerkiksi ylä- tai alaraajan vammasta. Yksittäisessä harjoituksessa tietyssä liikkeessä tekemättä jäänyt sarja ei ole johtanut tutkittavan datan rajaamiseen analyysin ulkopuolelle, sillä tässä tutkielmassa käytettävä harjoitusohjelma on kestänyt kunkin tutkittavan

kohdalla 10 viikkoa. Näin ollen yksittäisen sarjan vaikutus kokonaistuloksiin on mitä todennäköisemmin häviävän pieni.

6.7 Tilastolliset menetelmät

Tulosten analysoimisessa käytettiin SPSS Statistics 26.0 (International Business Machines Corporation, Armonk, New York, Yhdysvallat) tilastoanalyysiohjelmaa sekä Microsoft Excel 2021 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Yhdysvallat) versio 16.48-taulukkolaskentaohjelmaa. Kunkin testikerran aineiston normaalijakautuneisuus tarkastettiin Shapiro-Wilkin-testillä, sillä otoskoko oli < 50 . Aineiston katsottiin olevan normaalijakautunut, mikäli testituloksen p-arvo raja-arvon 0,05.

Otoksien ollessa normaalijakautuneita lihasten absoluuttisten poikkipinta-alamatulosten sekä absoluuttisten voimatestitulosten analysoinnissa käytettiin kaksisuuntaista toistettujen mittausten varianssianalyysiä (ANOVA) Bonferronin korjauksella. Jos edellä mainitut muuttujat eivät olleet normaalijakautuneita, käytettiin Friedmanin testiä. Muutosprosenttien vertailuun käytettiin kahden riippuvan otoksen T-testiä, mikäli molemmat vertailtavat muuttujat olivat normaalijakautuneita. Jos toinen tai molemmat muuttujista eivät olleet normaalijakautuneet, vertailuun käytettiin Wilcoxon merkittyjen sijalukujen testiä.

Muuttujista normaalijakautuneita olivat viidennellä harjoitteluviikolla mitatut lihasten poikkipinta-alojen muutosprosentit, jalkaprässin 1 RM tulokset sekä ulomman reisilihaksen absoluuttiset CSA-arvot. Tulosten tilastollisesti merkitseviksi raja-arvoksi määritettiin $p < .05$ = tilastollisesti merkitsevä; $p < .01$ = tilastollisesti hyvin merkitsevä ja $p < .001$ = tilastollisesti erittäin merkitsevä. Kaikki tulokset on ilmoitettu ryhmän keskiarvoina \pm keskihajonta.

7 TULOKSET

7.1 Hypertrofia

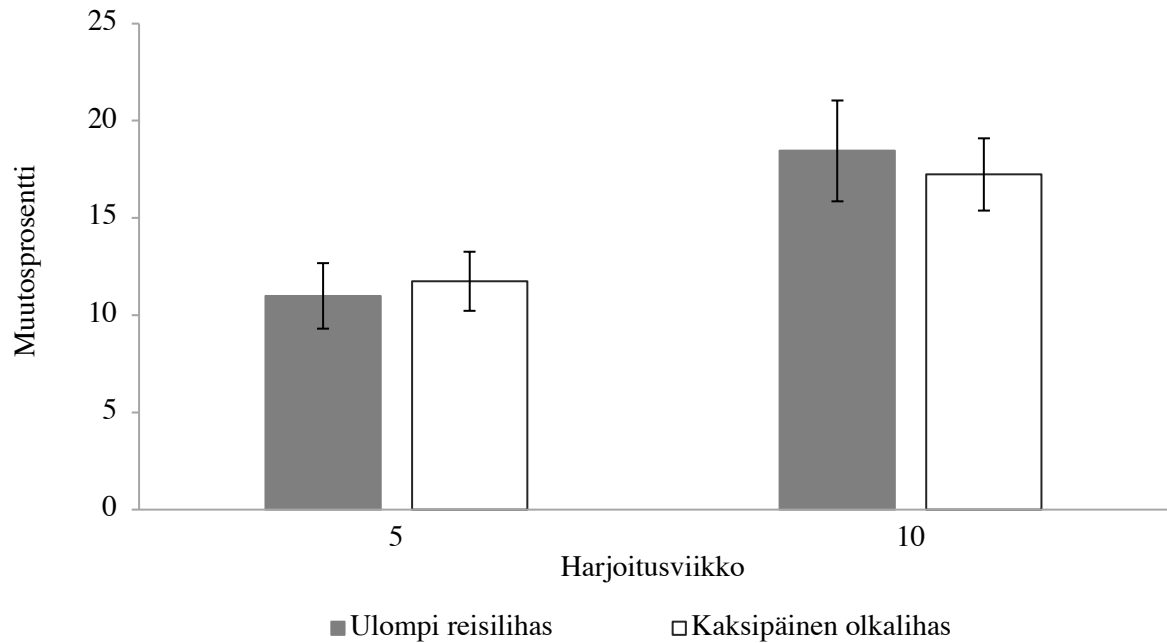
Sekä ulomman reisilihaksen ($p < .001$) että kaksipäisen olkalihaksen ($p = .000$) CSA:t kasvoivat 10 viikon harjoittelun seurauksena tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Molempien mitattujen lihasten absoluuttisia CSA-arvoja on esitelty tarkemmin taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Ulomman reisilihaksen ja kaksipäisen olkalihaksen poikkipinta-alat 10-viikkoisen voimaharjoittelujakson eri vaiheissa.

Harjoitusviikko	0	5	10
Ulompi reisilihas (cm ²)	26.24 ± 5.87	29.05 ± 6.35*	30.98 ± 6.79*†
Kaksipäinen olkalihas (cm ²)	9.32 ± 2.84	10.37 ± 2.98*	10.90 ± 3.22*†

* $p < .001$ – suhteessa viikon 0 tulokseen. † $p < .001$ – suhteessa viikon 5 tulokseen.

Ulomman reisilihaksen ($18,45 \pm 8,53$ %) ja kaksipäisen olkalihaksen ($17,24 \pm 6,11$ %) poikkipinta-alan prosentuaalisessa kasvussa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p = .414$) 10 viikon hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun jälkeen. Myöskään viidennen viikon kohdalla havaittujen muutosprosenttien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Lihaksien poikkipinta-alojen lähtötasoon verrattuja prosentuaalisia muutoksia on havainnollistettu kuvassa 13.



KUVA 13. Ulomman reisilihaksen ja kaksipäisen olkalihaksen poikkipinta-alojen prosentuaaliset muutokset suhteessa lähtötasoon. Ei tilastollisesti merkitseviä eroja lihasten välillä. Virhepalkit edustavat 95 % luottamusväliä.

7.2 Maksimivoima

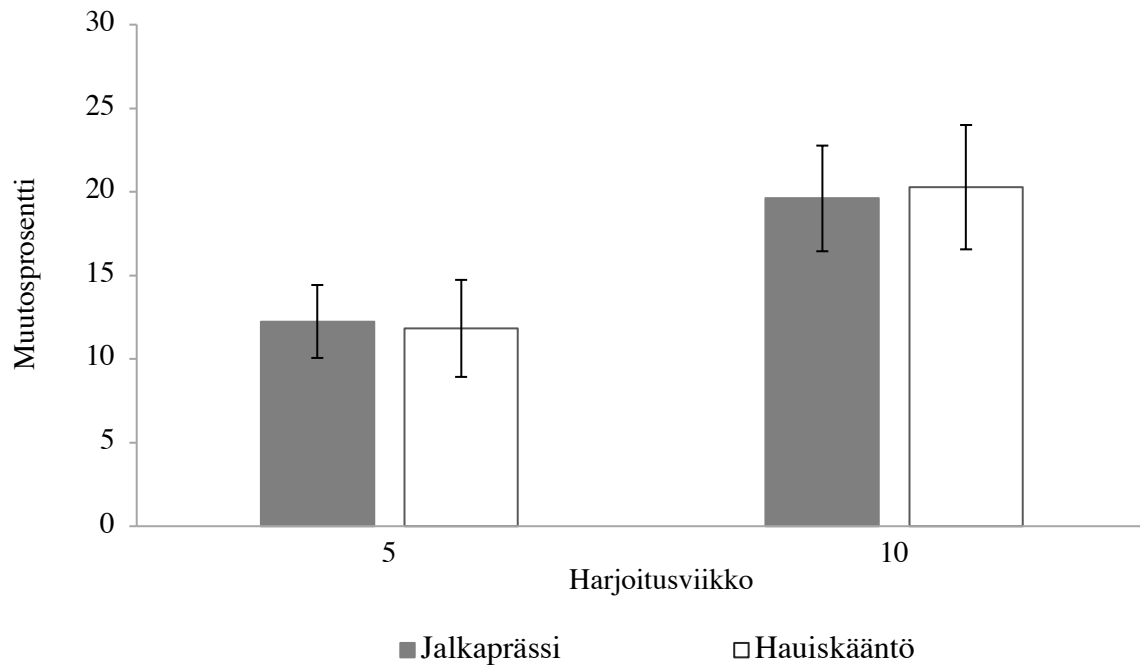
Sekä ylä- ($p < .001$) että alavartalon ($p < .001$) maksimivoima kehittyi 10 viikon aikana tilastollisesti erittäin merkitsevästi lähtötasoon nähden. Jalkaprässissä 1 RM tulos parani keskimäärin $30,34 \pm 13,65$ kg. Hauiskäännössä vastaavan testin tulos parani lähtötasosta keskimäärin $5,35 \pm 2,65$ kg. Molempien edellä mainittujen liikkeiden tarkat maksimivoimatestitulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Maksimivoimatulokset 10-viikkoisen voimaharjoittelujakson eri vaiheissa.

Harjoitusviikko	0	5	10
Jalkaprässi (kg)	167.05 ± 42.35	$186.02 \pm 42.75^*$	$197.39 \pm 43.37^{*\dagger}$
Hauiskääntö (kg)	28.59 ± 8.13	$31.71 \pm 8.46^*$	$33.94 \pm 8.62^{*\dagger}$

* $p < .001$ – suhteessa viikon 0 tulokseen. † $p < .001$ – suhteessa viikon 5 tulokseen.

Maksimivoiman prosentuaalisessa kehityksessä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ylä- ($20,38 \pm 12,23 \%$) ja alavartalon ($19,61 \pm 10,39 \%$) välillä. Jalkaprässin ja hauiskäännön 1 RM muutosprosentit lähtötasoon verrattuna eivät eronneet 10 viikon harjoittelun jälkeen tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p = .440$). Lähtötasoon verrattu maksimivoiman prosentuaalinen kehitys on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Jalkaprässin ja hauiskäännön 1 RM tuloksien muutosprosentit suhteessa lähtötasoon. Ei tilastollisesti merkitseviä eroja liikkeiden välillä. Virhepalkit edustavat 95 % luottamusväliä.

7.3 Kestovoima

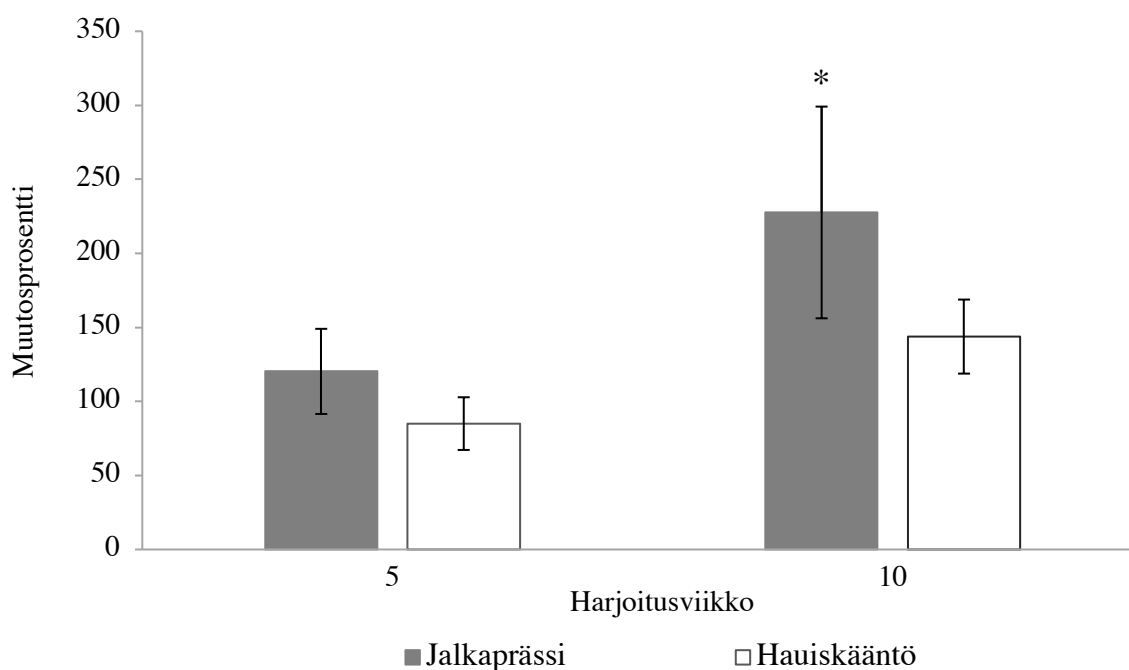
Sekä ylä- ($p = .000$) että alavartalon ($p = .000$) kestovoimatulokset kehittivät 10 viikon aikana tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Hauiskäännön toistomaksimi kehittyi keskimäärin $9,41 \pm 5,74$ toistoa ja jalkaprässin $24,18 \pm 20,89$ toistoa. Edellä mainittujen liikkeiden toistomaksimien tulokset tutkimuksen eri vaiheissa on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Maksimitoistomäärät kestovoimatestissä 10-viikkoisen voimaharjoittelujakson eri vaiheissa.

Harjoitusviikko	0	5	10
Hauiskäntö (toistoa)	7.16 ± 2.30	12.73 ± 4.51*	16.57 ± 6.44*†
Jalkaprässi (toistoa)	12.27 ± 6.75	25.14 ± 14.97*	36.45 ± 24.52*†

* p < .001 – suhteessa viikon 0 tulokseen. † p < .001 – suhteessa viikon 5 tulokseen.

Jalkaprässin ja hauiskäännön prosentuaalisessa kehityksessä havaittiin 10 viikon jälkeen tilastollisesti merkitsevä ero (p = .032) liikkeiden välillä. Jalkaprässissä toistomaksimi kehittyi 227,64 ± 235,16 % kun taas hauiskäännössä toistomaksimitulos kasvoi 143,80 ± 82,25 %. Liikkeiden toistomaksimien muutosprosentteja on havainnollistettu kuvassa 15.



KUVA 15. Jalkaprässin ja hauiskäännön toistomaksimitestin tuloksien muutosprosentit suhteessa lähtötasoon. * p < .05. = tilastollisesti merkitsevä ero hauiskäännön tulokseen nähden. Virhepalkit edustavat 95 % luottamusväliä.

Tehtyjä toistoja tarkastellessa havaittiin, että polven ojentajiin kohdistuneiden liikkeiden toistoja tehtiin tutkimuksen aikana tilastollisesti erittäin merkitsevästi enemmän ($p < .001$) verrattuna liikkeisiin, jotka kohdistettiin kaksipäisiin olkalihaksiin. Polven ojentajiin ja kaksipäisiin olkalihaksiin kohdistettujen kokonaistoistomäärien tarkat arvot on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Keskiarvot (\pm keskihajonta) polven ojentajiin (horisontaalinen kahden jalan jalkaprässi sekä polvien ojennus laitteessa) ja kaksipäisiin olkalihaksiin (hauiskääntö ja tuettu kulmasoutu) kohdistettujen liikkeiden tehtyjen toistojen kokonaismäärästä.

Harjoitusliike	Toistot
Horisontaalinen kahden jalan jalkaprässi	829.30 \pm 68.60
Polvien ojennus laitteessa	635.85 \pm 32.91
Hauiskääntö	741.14 \pm 41.21
Tuettu kulmasoutu	613.61 \pm 43.91
Kyynärvarren koukistajiin kohdistetut liikkeet yhteensä	1354.75 \pm 74.33
Polven ojentajiin kohdistetut liikkeet yhteensä	1465.14 \pm 86.10*

* $p > .001$ – Tilastollisesti erittäin merkitsevä ero kyynärvarren koukistajiin kohdistettujen liikkeiden yhteistoistomäärään nähden.

8 POHDINTA

Tutkimuksen päälöydöksiä havaittiin, ettei hypertrofiassa tai maksimivoiman kehityksessä havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ylä- ja alavartalon välillä. Kestovoiman kehityksessä ylä- ja alavartalon ero oli sen sijaan tilastollisesti merkitsevä. Jalkaprässin toistomaksimi kehittyi tilastollisesti merkitsevästi enemmän hauiskäännön vastaavaan testitulokseen verrattuna. Kaksipäisen olkalihaksen sekä ulomman reisilihaksen CSA:t kasvoivat 10 viikon aikana tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Lisäksi jalkaprässin ja hauiskäännön 1 RM sekä samojen liikkeiden toistomaksimit kehittyivät harjoittelun myötä tilastollisesti erittäin merkitsevästi.

8.1 Hypertrofian kehitys

Sekä ylä- (kaksipäinen olkalihas) että alavartalosta (ulompi reisilihas) mitatut lihasten CSA:t kasvoivat tilastollisesti erittäin merkittävästi 10-viikkoisen hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun aikana. Löydös on linjassa useiden aiempien tutkimusten kanssa, joissa on laajalla rintamalla osoitettu hypertrofisen voimaharjoittelun johtavan lihasmassan kasvuun polven ojentajalihaksissa (mm. Abou Sawan ym. 2021; Cannon & Marino 2010; Damas ym. 2019; Harber ym. 2004; Ivey ym. 2000; Mitchell ym. 2012; Vissing ym. 2008) sekä kaksipäisessä olkalihaksessa (mm. Chestnut & Docherty 1999; Gentil ym. 2013; O'Hagan ym. 1995; Radaelli ym. 2015).

Ylä- ja alavartalon lihasten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa hypertrofiassa. Näin ollen tutkimuslöydös oli hypoteesin vastainen, jonka mukaan ylävartalon lihasmassan prosentuaalinen kasvun oletettiin olevan tilastollisesti merkitsevästi suurempaa alavartalon prosentuaaliseen hypertrofiaan verrattuna. Löydös oli toisaalta yhdenmukainen Kojićin ym. (2021) tutkimuksen kanssa. Hypoteesissa esitettyjen Aben ym. (2000) sekä Wilmoren (1974) tutkimuksien ylävartalon suurempaan hypertrofiaan osoittavat tulokset saattavat selittyä tutkimuksessa käytettyjen harjoitusohjelmien epätasapainoisella kokonaisvolyymilla ylä- ja alavartalon välillä.

Aben ym. (2000) tutkimuksessa käytetyssä harjoitusohjelmassa kuudesta liikkeestä vain kaksi (polven ojennus ja polven koukistus laitteessa) kohdistui jalkoihin. Nelipäiseen reisilihakseen, jonka paksuutta tutkimuksessa mitattiin, kohdistettiin toisin sanoen vain yksi liike. Ylävartalo- liikkeitä oli sen sijaan neljä (penkkipunnerrus, tuettu kulmasoutu, kyynärvarren koukistus ja

kyynärvarren ojennus). (Abe ym. 2000) Tuetussa kulmasoudussa sekä ennen kaikkea kyynärvarren koukistuksessa kaksipäinen olkalihakas työskentelee aktiivisesti. Tutkimuksessa kaksipäiseen olkalihakseen selkeästi kohdistuneiden sarjojen määrä on näin ollen ollut jopa kaksinkertainen nelipäiseen reisilihakseen kohdistuneeseen sarjamäärään nähden. Tätä taustaa vasten on hyvin ymmärrettävää, että kaksipäisen olkalihaksen paksuus kasvoi tilastollisesti merkitsevästi, kun taas nelipäisen reisilihaksen paksuudessa ei havaittu vastaavaa muutosta.

Wernbom ym. (2007) ovat Ronnestadiin ym. (2008) viitaten todenneet työsarjojen määrän vaikuttavan merkittävästi nelipäisen reisilihaksen hypertrofisiin vasteisiin. Viikossa kaksi työsarjaa (1 sarja 7–10 RM intensiteetillä kahdesti viikossa) tehneiden tutkittavien nelipäisen reisilihaksen CSA kasvoi 11-viikkoisen harjoittelun aikana 7,6 %. Kun samaisella intensiteetillä tehtiin kolme työsarjaa kahdesti viikossa, nelipäisen reisilihaksen CSA kasvoi keskimäärin 11,3 %. (Ronnestad ym. 2008, Wernbomin ym. 2007, 245 mukaan) Tulokset kertovat osaltaan siitä, että työsarjojen ja harjoitusvolyymien määrä vaikuttaa selkeästi nelipäisen reisilihaksen hypertrofisten vasteiden saavuttamiseen. Onkin mahdollista, että Aben ym. (2000) sekä Wilmoren (1974) tutkimuksissa reisiin kohdistettu sarjamäärä ei ole ollut riittävän suuri selkeiden hypertrofisten vasteiden saavuttamiseksi nelipäisessä reisilihaksessa.

Tässä tutkimuksessa nelipäiseen reisilihakseen kohdistui viikossa 16 työsarjaa. Viikoittain tehdyssä työsarjojen määrässä on selkeä ero Aben ym. (2000) ja Wilmoren (1974) tutkimuksiin verrattuna. Kyseisissä tutkimuksissa polven ojentajalihaksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää lihasmassan kasvua. Curetonin ym. (1988) tutkimuksen kohdalla reisiin kohdistetun harjoitusvolyymien riittämättömyyden mahdollisuutta ei voida täysin poissulkea. Tutkijat raportoivat, että kutakin liikettä tehtiin harjoituksissa 1–3 sarjaa, mutta tarkat sarjakohtaiset sarjamäärät eivät tule tutkimusraportissa ilmi (Cureton ym. 1988).

Baz-Vallen ym. (2022) kuusi alkuperäisartikkelia sisältänyt meta-analyysi käsitteli ylä- ja alavartalon hypertrofiaa. Tutkijat tulivat loppupuheenvuorossaan siihen tulokseen, että tutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että 12–20 viikoittaista työsarjaa lihasryhmää kohti saattaisi olla optimaalinen suositus lihashypertrofian saavuttamiseksi. Kyseiseen meta-analyysiin sisällytettyjen tutkimusten reunaehtoihin kuului, että tutkittavat olivat nuoria (18–35-vuotiaita) miehiä ja heillä tuli olla voimaharjoittelutaustaa. (Baz-Valle ym. 2022) Näin ollen kyseisessä meta-analyysissä esitettyä viikoittaista optimisarjamäärää hypertrofian saavuttamiseksi ei voida yleistää päteväksi myös voimaharjoittelemattomien yksilöiden ja naisten kohdalla. Baz-Vallen ym.

(2022) suositukset saattavat kuitenkin päteä tai olla ainakin suuntaa antavia myös voimaharjoittelustaustattomien yksilöiden ja voimaharjoitteluiden naisten keskuudessa. Tässä tutkimuksessa nelipäiseen reisilihakseen sekä kaksipäiseen olkalihakseen kohdistuneiden työsarjojen määrä on linjassa Baz-Vallen ym. (2022) esittämän suosituksen kanssa.

Curetonin ym. (1988) tutkimuksessa jalkojen ja käsien harjoittamiseen käytetyn ajan raportoitiin olleen yhdenmukainen, mutta siitä huolimatta olkapään lihasten hypertrofiset vasteet olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia reiden hypertrofiaan nähden. Tuloksista on syytä nostaa esiin, ettei reiden poikkipinta-alassa havaittu 16 viikon voimaharjoittelujakson päätteeksi tilastollisesti merkitsevää muutosta lähtötasoon nähden. Löydös oli yllätys myös tutkijoille. Reisiin kohdistetun työn määrän riittävyys hypertrofisten vasteiden saavuttamiseksi onkin yksi spekuloinnin kohde, sillä tutkimusraportissa ei ole ilmoitettu tarkkaa työsarjojen määrää kunkin liikkeen kohdalla. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt eivät omanneet voimaharjoittelustausta. Kokemattomuudesta huolimatta jalkoihin keskittyneisiin liikkeisiin lukeutui useita erilaisia kyykkyjä. (Cureton ym. 1988) On mahdollista, että osa jalkoihin kohdistetuista liikkeistä on ollut tutkittaville teknisesti liian haastavia. Tuolloin hypertrofian kannalta keskeisiä akuutteja vasteita (mekaanista jännitystä, metabolista stressiä sekä lihaksen mikroaurioita) ei välttämättä ole saavutettu yhtä tehokkaasti ylävartaloon kohdistettuihin yksinkertaisiin liikkeisiin verrattuna. Lisäksi käytettyjen liikkeiden turvallisuus voimaharjoittelemattomien henkilöiden keskuudessa on syytä kyseenalaistaa. Tässä tutkimuksessa jalkoihin kohdistuneet liikkeet olivat suoritusteknisesti yksinkertaisia. Molemmat jalkaliikkeet tehtiin laitteissa, mikä helpottaa suoritustekniikan vakioimista tutkittavien välillä. Mahdolliset liikesuunnat suorituksen aikana ovat laitteiden ansiosta rajalliset. Teknisesti liian haastavien liikkeiden vaikutus harjoitusvasteisiin pystyttiin sulkemaan pois.

Harjoituksissa tehtyjen työsarjojen intensiteetti oli varsin korkea. Tutkittavia ohjattiin tekemään sarjat siten, että kullakin sarjalla saavutettaisiin 8–10 toiston tavoitealue lukuun ottamatta viikon jälkimmäisen harjoituksen viimeistä sarjaa kussakin liikkeessä, jolloin sarja tehtiin uupumukseen asti. Aiemmissa tutkimuksissa on osoitettu lähelle epäonnistumista tai epäonnistuneeseen toistoon asti tehtävien työsarjojen kasvattavan lihasmassaa tehokkaasti (Mitchell ym. 2012; Morton ym. 2016). On siis mahdollista, että yksi selittävä tekijä tilastollisesti erittäin merkitsevälle lihasmassan kasvulle niin ulommassa reisilihaksessa kuin kaksipäisessä olkalihaksessakin johtuu osittain siitä, että tässä tutkimuksessa työsarjat tehtiin joko lähelle epäonnistumista tai usein peräti epäonnistumiseen asti.

Polven ojentajiin ja kyynärvarren koukistajiin kohdistettujen työsarjojen määrän samankaltaisuudesta huolimatta harjoitusvolyymeissa havaittiin selkeä ero, kun niitä tarkasteltiin tehtyjen toistojen määrällä. Vaikka polven ojentajiin kohdistuneita toistoja tehtiin keskimäärin tilastollisesti merkitsevästi enemmän kyynärvarren koukistajiin keskittyneisiin toistoihin nähden, ulomman reisilihaksen ja kaksipäisen olkalihaksen hypertrofiassa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja lihasten välillä. Tulokset osoittavat, ettei alavartalon hypertrofinen kehitys ole ylävartalon hypertrofista kehitystä merkittävämpää, vaikka alavartaloa on harjoitettu toistomäärällisesti ylävartalon lihaksia enemmän. Löydös ei suoranaisesti puolla hypertrofiaa koskevaa tutkimushypoteesia. Se antaa kuitenkin mahdollisuuden spekuloida mahdollisesti erilaisia tuloksia, jos ylä- ja alavartaloliikkeiden toistomäärät olisivat vastanneet 10 viikon jälkeen täsmällisesti toisiaan.

Lisäksi jalkoihin kohdistetut liikkeet tehtiin järjestyksessään aina ensimmäisinä, kun taas kyynärvarren koukistajiin keskittyvät liikkeet tehtiin harjoituksen kiertojärjestyksessä viimeisinä. Halperinin ym. (2015) 35 tutkimusartikkelia sisältäneessä ei-paikallista lihasväsymystä (non local muscle fatigue, NLMF) käsittelevässä kokoelma-artikkelissa tutkijat totesivat NLMF-vaikutuksien voivan johtua neljästä erilaisesta, mutta toisiinsa liittyvästä reitistä. Reitit ovat Halperinin ym. (2015) mukaan neurologisia, biokemiallisia, biomekaanisia ja psykologisia. On mahdollista, että jalkaliikkeiden harjoittamisella on ollut ylävartalon lihaksia väsyttävä vaikutus, mutta sitä ei tämän tutkimuksen mittaustulosten perusteella voida osoittaa. NLMF:n mahdollisia vaikutuksia mitattuihin tuloksiin ei toisaalta voida myöskään poissulkea. NLMF selittäisi, miksi kyynärvarren koukistajiin keskittyneiden liikkeiden kokonaistoistomäärä jäi selvästi polven ojentajiin keskittyneiden liikkeiden kokonaistoistomäärää pienemmäksi.

8.2 Maksimivoiman kehitys

Jalkaprässin ja hauiskäännön 1 RM: prosentuaalisessa kehityksessä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa liikkeiden välillä. Tulos oli näin ollen hypoteesin mukainen. Myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu samankaltaisia tuloksia (Gentil ym. 2015; Kojić ym. 2021). Toisaalta tutkimuskirjallisuudessa on myös runsaasti eriävää näyttöä siitä, miten hypertrofisen voimaharjoittelun harjoitusvasteet maksimivoimaan eroavat ylä- ja alavartalon välillä.

Housh ym. (1992) tutkimuksessa voimaharjoittelustaustattomat miehet harjoittelivat kahdeksan viikon ajan ei-dominoivan käden ja jalan ojennusta sekä koukistusta. Voimaharjoittelujakson jälkeen kyynärvarren koukistuksen huippuvääntömomentin havaittiin kehittyneen tilastollisesti merkitsevästi, kun taas polven ojennuksen kehitys ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Aben ym. (2000) tutkimuksessa voimaharjoittelun seurauksena miesten ryhmän 1 RM tulokset kehittyivät prosentuaalisesti yhtä paljon polven ojennuksessa ja penkkipunnerruksessa. Naisten ryhmässä prosentuaalinen kehitys penkkipunnerruksen 1 RM:ssa oli 8 % suurempaa polven ojennuksen maksimivoiman kehitykseen nähden. Wellen ym. (1996) tutkimuksessa puolestaan havaittiin merkittävämpää maksimivoiman kehittymistä polven ojennuksessa ylätaljan 1 RM tulokseen verrattuna. Gentilin ym. (2015) mukaan edellä mainittujen tutkimustulosten ristiriitaisuus saattaa selittyä pitkälti harjoitusprotokollien erilaisuudella. Joko harjoitettavien liikkeiden tai tehtyjen sarjojen määrä ei ole ollut kyseisissä tutkimuksissa ylä- ja alavartalon välillä sama.

Maksimivoiman kehityksen tiedetään aiheutuvan neuraalisista ja morfologisista adaptaatioista (Kraemer ym. 2002; Ratamess ym. 2009). Ylävartalon lihasten hypertrofian on osoitettu aiemmissa tutkimuksissa olevan alavartalon hypertrofiaa suurempaa (Cureton ym. 1988; Welle ym. 1996; Wilmore 1974). Näin ollen maksimivoiman kehittymisen ollessa yhtä merkittävää ylä- ja alavartalon välillä, voitaisiin argumentoida alavartalon hermostollisten adaptaatioiden olevan suurempia ylävartalon vastaaviin vasteisiin nähden. Tässä tutkimuksessa ulomman reisilihaksen ja kaksipäisen olkalihaksen hypertrofian prosentuaalinen kehitys oli lähes identtistä. Myöskään maksimivoiman kehityksessä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ylä- ja alavartalon välillä. Näin ollen hermostollisissa adaptaatioissakaan ei todennäköisesti ole suuria eroja ylä- ja alavartalon välillä. Hermostollisten adaptaatioiden samankaltaisuuden todistaminen ylä- ja alavartalon lihasten välillä olisi kuitenkin vaatinut erillisiä mittauksia, joita ei tässä tutkimuksessa tehty. Näin ollen ylä- ja alavartalon lihasten hermostollisten adaptaatioiden samankaltaisuudesta voidaan tehdä vain vahva oletus perustuen mitattuihin maksimivoima- ja hypertrofiatuloksiin.

Nunesin ym. (2020) meta-analyysin mukaan moninivelliikkeiden maksimivoiman kehittymisen kannalta on kannattavaa tehdä moninivelliikkeet järjestyksessään ennen yksittäisen nivelen liikkeitä. Toisaalta sama periaate pätee myös toisinpäin. Yksittäiseen niveleen kohdistuvassa liikkeessä optimaalisten maksimivoimavasteiden saavuttamiseksi on suotavaa tehdä yksittäiseen

niveleen kohdistuvat liikkeet ennen moninivelliikkeitä (Nunes ym. 2020). Kyseiseen tutkimustulokseen perustuen voidaan todeta, että tässä tutkimuksessa voimaharjoituksissa tehtyjen liikkeiden suoritusjärjestys on palvellut maksimivoiman kehittymistä optimaalisella tavalla.

Liikkeiden suoritusjärjestys oli tämän tutkimuksen osalta vakioitu niin harjoituksien kuin voimatestienkin kohdalla. Hauiskäännön voimatesteihin tultaessa tutkittavat olivat tehneet aina 1 RM ja toistomaksimitestin jalkaprässissä. On hyvin mahdollista, että jalkaprässissä tehdyt voimatestit ovat aiheuttaneet kumuloitunutta väsymystä hauiskääntöä koskeviin voimatesteihin tultaessa. NLMF:en mahdollista vaikutusta hauiskäännön 1 RM kehitykseen ei voida mittaus- tulosten avulla osoittaa, mutta toisaalta NLMF:tä ei voida myöskään perustellusti poissulkea.

8.3 Kestovoiman kehitys

Jalkaprässin toistomaksimi kehittyi tilastollisesti merkitsevästi enemmän hauiskäännön toistomaksimiin nähden. Tulos oli hypoteesin vastainen. Testien keskinäistä vertailukelpoisuutta on syytä kyseenalaistaa useista syistä.

Jalkaprässi on moninivelliike (Martín-Fuentes ym. 2020), joka kohdistuu lonkka, polvi- ja nilkaniveleen (da Silva ym. 2008), kun taas hauiskääntö kohdistuu pitkälti kyynärnivelen koukistukseen (Reiser ym. 2007). Hauiskäännössä päävaikuttajalihaksia on kolme; kaksipäinen olkalihas, olkavärttinäluulihäs sekä olkalihas (Reiser ym. 2007). Jalkaprässissä työskentelevät aktiivisesti niin lonkan (iso pakaralihas ja kaksipäinen reisilihas), polven (ulompi reisilihas, suora reisilihas) kuin nilkankin ojentajat (kaksoiskantalihas) (da Silva ym. 2008). Liikesuorituksesta vastaa jalkaprässissä huomattavasti suurempi lihasryhmien joukko, kun taas hauiskäännössä työskentelevien päävaikuttajalihasten määrä on vähäisempi. Näin ollen kuormitus jakautuu jalkaprässissä useammille lihaksille hauiskääntöön nähden. Toistomaksimitestin väsyttävä vaikutus jakautui näin ollen jalkaprässissä suuremmalle lihasryhmällä hauiskääntöön nähden. Stonen ja Coulterin (1994) sekä Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksissa kesto-voiman kehitys ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ylä- ja alavartalon välillä. Molemmissa edellä mainituissa tutkimuksissa ylä- ja alavartalon kesto-voimatestiliikkeet olivat moninivelliikkeitä. Tämän tutkimuksen kesto-voiman kehittymisen ero ylä- ja alavartalon välillä saattaa ainakin osittain johtua liikkeiden välillä eroavan nivelten lukumäärän vuoksi.

Toisekseen toistomaksimisarjojen aikana toistojen välinen tauko oli liikkeiden välillä lihastyövaatimuksiltaan epätasa-arvoinen. Jalkaprässissä lonkka- ja polvinivelen ollessa täysin ojennettuina tutkittavien oli mahdollista levätä toistojen välissä ilman, että heidän tarvitsi juurikaan tehdä lihastyötä. Myös hauiskäännössä toistojen välissä oli sallittua pitää taukoa, mutta tuolloin käsiltä vaadittiin isometristä lihastyötä, jotta tanko pysyi koko sarjan ajan käsissä. Sarja katsottiin päättyneeksi, jos tanko piti laskea sarjan aikana reisille tai maahan. Näin ollen tutkittavilta vaadittiin isometristä puristusvoimaa koko hauiskääntösarjan ajan, myös toistopalautusten aikana.

Jalkaprässin ja hauiskäännön liikelaajuuksien yhdenmukaisuutta on myös syytä kyseenalaistaa. Hauiskäännössä hyväksytty toisto oli käytännössä mahdolliselta liikelaajuudeltaan maksimaalinen. Jalkaprässissä liikkeen maksimisyvyys oli rajoitettu mahdollisimman lähelle 65 astetta. Jalkaprässin hyväksytyyn toiston liikelaajuus oli näin ollen ennalta määritetty rajoittuvaksi tiettyyn polvikulman astelukuun, kun taas hauiskäännössä vaadittiin kyynärnivelen maksimiliikelaajuuden mukaisia suorituksia.

Lisäksi joihinkin kehitysprosentteihin tulee suhtautua varauksellisesti. Parhaimmillaan jalkaprässissä yksittäisten tutkittavien kehitys toistomaksimitestissä oli jopa yli 10-kertaista harjoittelujakson päätteeksi. 10 harjoitusviikolla mitatun jalkaprässin toistomaksimitestituloksen muutosprosentin keskihajonta ylitti ryhmän keskiarvon. Jalkaprässin toistomaksimituloksen muutosprosentin keskihajonnan suuruus kertoo omaa kieltään siitä, kuinka iso varianssi tutkittavien mitatussa kehityksessä on ollut. Lähtötason mittaustuloksien luotettavuus on vaikea osoittaa epäluotettavaksi. On kuitenkin syytä muistaa, että tutkittavat eivät vielä tuolloin olleet tehneet tutustumiskäyntejä lukuun ottamatta lainkaan uupumukseen saakka suoritettavia sarjoja. Näin ollen sarjojen suorittaminen todelliseen uupumukseen asti on saattanut olla asia, jonka tutkittavat ovat oppineet vasta harjoittelujakson alettua. Tällä on saattanut ollut tuloksia vääristävä vaikutus. Toisaalta kyseinen vaikutus lienee samanlainen sekä jalkaprässissä että hauiskäännössä.

Kuten maksimivoimatestien tulosten kohdalla, myös toistomaksimitestin tuloksiin on hyvinkin voinut vaikuttaa liikkeiden suoritusjärjestys, joka oli jalkaprässin tuloksia suosiva. On perusteltua kyseenalaistaa jalkaprässin ja hauiskäännön toistomaksimitestien yhdenvertaiset lähtöasetelmat niin fysiologisesta kuin psykologisestakin näkökulmasta tarkasteltuna. Ennen jalka-

prässin toistomaksimitestiä tutkittavat olivat tehneet maksimaalisina testeinä esikevennyshyppy, isometrisen polvenojennuksen sekä jalkaprässin 1 RM:n. Hauiskääntöön siirryttiin vasta jalkaprässin toistomaksimitestin jälkeen. Sen jälkeen suoritettiin vielä hauiskäännön 1 RM mittaus ennen saman liikkeen toistomaksimitestiä. Näin ollen tutkittavat ovat saattaneet kokea eri syistä johtuvaa NLMF:tä, jolla on saattanut olla hauiskäännön toistomaksimitestin tulosta heikentävä vaikutus. Tämä saattaa omalta osaltaan liioitella ylä- ja alavartalon kestovoiman kehittymisen mahdollista eroa.

8.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tutkimuksen suhteellisen pitkästä kestosta huolimatta lopullista aineistoa voidaan pitää alan tutkimuksessa kokoluokaltaan erinomaisena otannan ollessa 44 tutkittavaa. Tutkimuksessa toteutettu voimaharjoittelu oli suunniteltu siten, että kunkin tutkittavan kohdalla harjoittelu eteni progressiivisesti perustuen kullakin viikolla tutkittaville teetettyihin toistomaksimitesteihin. Kyseisten testien tuloksia hyödyntäen tutkittaville oli mahdollista säätää varsin tarkat harjoituspainot siten, että harjoitusten työsarjoissa pysyttiin valtaosassa harjoituksia suunnitelman mukaisella toistoalueella.

Kaikki tutkimuksessa tehdyt harjoitukset olivat tutkijoiden valvomia, mikä lisää tutkimuksessa käytetyn harjoitusdatan luotettavuutta. Harjoituksissa käytettyjä kuormia ja toistomaksimien tuloksia pystyttiin valvomaan tarkasti jokaisessa harjoituksessa. Tutkittavien voidaan katsoa tehneen luotettavasti ja systemaattisesti juuri sellaiset harjoitukset, joita heille pyrittiin tutkimussuunnitelman mukaisesti teettämään. Harjoituksissa tehdyt liikkeet suoritettiin laitteissa, joten liikkeiden tekninen oppiminen oli tehty aiemmin voimaharjoittelemattomille helpoksi. Tämän lisäksi laitteiden avulla harjoittelemisen lisäsi harjoittelun turvallisuutta.

Lihasmassan kasvua mitattiin lihasten ultraäänikuvien poikkipinta-aloista, mikä tekee hypertrofian mittaustuloksista luotettavampia suhteessa pelkän lihaksen läpimitan seuraamiseen. Lihaksen poikkipinta-ala määritettiin kussakin mittauspisteessä vähintään kolmen ultraäänikuvan avulla. Menetelmän ansiosta yksittäisten epäonnistuneiden tai epäluotettavien ultraäänikuvien vaikutus tuloksiin pystyttiin minimoimaan. Lisäksi ultraäänikuvien analysoinnista vastasi yksi tutkija, joten tutkijoiden välisestä vaihtelusta johtuvaa varianssia ei lihasten poikkipinta-alamittauksen kohdalla tarvitse spekuloida. Ultraäänikuvien analysoinnista vastannut yksittäinen tutkija

ei toki poista mittavirheiden mahdollisuutta. Kyseisten virheiden mahdollisuus ei kuitenkaan todennäköisesti vääristä tuloksia ylä- tai alavartaloa suosiviksi, sillä kaksipäisen hauislihaksen ja uloimman reisilihaksen kuvat olivat analysoinnista vastanneen tutkijan mukaan haasteeltaan yhdenvertaisia.

Voimaharjoituksessa tehtävien liikkeiden järjestys pysyi samana koko tutkimuksen läpi. Tällä on saattanut olla epätasapainottava vaikutus tutkittavien energiatasoihin ja valmiuteen liikkeiden välillä. Varsinkin viikon jälkimmäisessä harjoituksessa kukin viidestä liikkeestä tehtiin viimeisessä sarjassa uupumukseen asti. Tutkittavat ovat mitä todennäköisimmin olleet huomattavasti kuormittuneempia tehdessään ylävartaloon kohdistettuja sarjoja verrattuna joka kerta toistomaksimivuorossaan ensimmäisenä suoritettuun jalkaprässiin. Harjoituksen loppua kohti mahdollisesti kumuloituva väsymys on saattanut heikentää tutkittavien ylävartalon harjoitettavuutta. Hauiksiin kohdistuvat liikkeet olivat järjestyksessään harjoituksen viimeisiä, kun taas jalkaliikkeet tehtiin aina ensimmäisenä. Jalkojen kehitystä suosinut liikkeiden suoritusjärjestys on saattanut olla yksi merkittävistä osasyistä siihen, että polven ojentajiin ja kyynärvarren koukistajiin keskittyneiden toistojen ero oli tarkemmassa volyymin tarkastelussa tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Myös voimatesteissä liikkeiden järjestys oli vakioitu. Sama järjestys lisää testien keskinäistä toistettavuutta. Tämän tutkimuksen tulokulman kannalta vakioitu testien järjestys teki lähtöasetelmasta jalkaprässiä suosivan. Hauiskääntöön siirryttiin vasta jalkaprässin 1 RM määrittämisen sekä sitä seuranneen toistomaksimitestin jälkeen. Uupumukseen asti suoritettava jalkaprässin toistomaksimitesti on käytännössä varmuudella aiheuttanut suuren määrän erilaisia stressivasteita muun muassa vapaiden vetyionien määrän noustessa ja happamuuden lisääntyessä elimistössä. Näin ollen tutkittavat ovat joutuneet tekemään hauiskäännön 1 RM ja toistomaksimitestin merkittävän rasituksen jälkeen. Myös uupumukseen asti suoritettujen jalkaprässin toistomaksimitestin psyykkinen kuormittavuus on perusteltua nähdä tutkimuksen heikkoutena, sillä psyykkinen lähtöasetelma on ollut kahden vertailtavan testin välillä epätasa-arvoinen.

Tutkittavien kokemaa metabolista stressiä oltaisiin voitu selvittää suhteellisen helposti sormenpää- tai laskimoverinäytteestä mitattavan veren laktaattipitoisuuden avulla. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan toteutettu kyseisiä mittauksia. Laktaattipitoisuustulokset olisivat antaneet arvokasta, toki jokseenkin epäsuoraa tietoa siitä, joutuivatko tutkittavat suorittamaan voimatestit epätasa-arvoisessa tilassa elimistön happamuutta ajatellen. Laktaattimittauksilla oltaisiin

voitu vahvistaa tai omalta osaltaan osittain poissulkea NLMF:n vaikutus voimatestien mitattuihin tuloksiin.

Tutkimus ei sisältänyt kontrolliryhmää. Tämän vuoksi harjoitusvasteiden tuloksia ei ole mahdollista verrata harjoittelemattomiin verrokkeihin. Kontrolliryhmän avulla olisi voitu arvioida paremmin mittausten luotettavuutta sekä osoittaa absoluuttisesti tulosten olevan voimaharjoittelusta johtuvia.

8.5 Johtopäätökset

Tutkimustuloksien mukaan näyttäisi siltä, että entuudestaan voimaharjoittelemattomien henkilöiden on mahdollista saavuttaa 10-viikkoisen hypertrofisen maksimivoimaharjoitusjakson aikana erittäin merkittävää hypertrofiaa niin ylä- kuin alavartalonkin lihaksissa. Harjoittelu kehittää merkittävästi myös ylä- ja alavartalon maksimi- ja kestovoimaa. Harjoitusvasteet olivat pitkälti samanlaisia ylä- ja alavartalon välillä maksimivoiman ja hypertrofian osalta. Sen sijaan kestovoimatulos kehittyi jalkaprässissä enemmän hauiskäännön vastaavan testin tulokseen nähden, mutta useista syistä johtuen tuloksiin tulee suhtautua varauksellisesti.

8.6 Jatkotutkimusehdotukset

Koska tämän tutkimuksen tulokset eivät vahvistaneet aiempaan kirjallisuuteen perustuvaa, ensimmäiseen tutkimuskysymykseen esitettyä hypoteesia, ylä- ja alavartalon hypertrofisten vasteiden vertailuun kannustetaan tulevaisuudessakin. Tehtävien toistojen määrä tulisi pyrkiä vakioimaan tarkasti niiden lihasten välillä, joiden CSA:n muutoksia mitataan. Harjoituksissa liikkeiden suoritusjärjestyksestä tulisi kierrättää siten, ettei tutkimuksen aikana tiettyä tai tiettyjä liikkeitä tehdä järjestyksessään aina ensimmäisenä, sillä muuttumattomalla liikkeiden suoritusjärjestyksellä saattaa olla tuloksien luotettavuutta heikentävä vaikutus. Liikkeet tulisi valita siten, että ne ovat tutkittaville turvallisia ja suoritusteknisesti riittävän helppoja. Lisäksi liikkeiden tulisi kohdistua sekä ylä- ja alavartalon osalta ensisijaisesti niihin lihaksiin, joiden osalta tavoitellaan hypertrofisia vasteita. Ryhmittäin eri sarjamäärien teettäminen tutkittaville antaisi myös vastauksia siihen, onko ylä- ja/tai alavartalon lihaksille olemassa jokin viikoittainen sarjamäärä, mikä tulee ylittää merkitsevien hypertrofisten vasteiden saavuttamiseksi.

8.7 Käytännön sovellukset

Tämän tutkimuksen näytön perusteella aiemmin voimaharjoittelemattomien henkilöiden on mahdollista saavuttaa 10-viikoisen hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun avulla merkittävää lihasmassan kasvua. Lisäksi harjoittelu näyttäisi kehittävänsä tehokkaasti myös maksimi- ja kestovoimaa. Vain kaksi jalkojen ojennukseen ja kaksi kyynärvarsien koukistukseen keskittyvää yksinkertaista liikettä riittää vasteiden saavuttamiseen. Kunkin liikkeen kohdalla neljä 8–10 toiston sarjaa näyttäisi kehittävänsä samanaikaisesti tehokkaasti niin lihasmassan kasvua, maksimivoimaa kuin kestovoimaominaisuuksiakin. Lihasmassan kasvu sekä maksimivoiman kehittyminen näyttäisi tapahtuvan aloittelevilla voimaharjoittelijoilla samalla nopeudella ylä- ja alavartalon välillä. Näin ollen ylä- tai alavartalon harjoittamisen korostaminen hypertrofisessa maksimivoimaharjoittelussa ei ole tarpeellista tasapainoisten hypertrofisten tai maksimivoimavasteiden saavuttamisessa.

LÄHTEET

- Aagaard, P. (2003). Training-Induced Changes in Neural Function. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 31 (2), 61–67. doi:10.1097/00003677-200304000-00002.
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A-M., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjær-Kristensen, J. & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *Journal of Physiology* 534 (2), 613–623. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology* 92, 2309–2318. doi:10.1152/jappphysiol.01185.2001.
- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L. & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology* 81, 174–180. doi:10.1007/s004210050027.
- Abou Sawan, S., Hudson, N., Babits, P., Malowany, J. M., Kumbhare, D. & Moore, D. R. (2021). Satellite cell and myonuclear accretion is related to training-induced skeletal muscle fiber hypertrophy in young males and females. *Journal of Applied Physiology* 131 (3), 871–880. doi:org/10.1152/jappphysiol.00424.2021.
- Adams, G. R. & Bamman, M. M. (2012). Characterization and Regulation of Mechanical Loading-Induced Compensatory Muscle Hypertrophy. *Comprehensive Physiology* 2 (4), 2829–2870. doi:10.1002/cphy.c110066.
- Adams, G. R., Hather, B. M., Baldwin, K. M. & Dudley, G. A. (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *Journal of Applied Physiology* 74 (2), 911–915. doi:10.1152/jappl.1993.74.2.911.
- Ahtiainen, J. P. & Häkkinen, K. (2009). Strength Athletes Are Capable to Produce Greater Muscle Activation and Neural Fatigue During High-Intensity Resistance Exercise Than Nonathletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (4), 11129–11134. doi:10.1519/JSC.0b013e3181aa1b72.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2003). Acute Hormonal and Neuromuscular Responses and Recovery to Forced vs. Maximum Repetitions Multiple

- Resistance Exercises. *International Journal of Sports Medicine* 24 (6), 410–418. doi:10.1055/s-2003-41171.
- Anderson, T. & Kearney, J. T. (1982). Effects of Three Resistance Training Programs on Muscular Strength And Absolute and Relative Endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 53 (1), 1–7. doi:10.1080/02701367.1982.10605218.
- Arazi, H. & Asadi, A. (2011). Effect of 8 Weeks Equal-Volume Resistance Training with Different Workout Frequency on Maximal Strength, Endurance and Body Composition. *International Journal of Sports Science and Engineering* 5 (2), 112–118.
- Armstrong, R. B., Marum, P., Tullson, P. & Saubert, C. W. (1979). Acute hypertrophic response of skeletal muscle to removal of synergists. *Journal of Applied Physiology* 46 (4), 835–842. doi:10.1152/jappl.1979.46.4.835.
- Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, A. & Santos-Concejero, J. (2022). A Systematic Review of the Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *Journal of Human Kinetics* 81, 199–210. doi:10.2478/hukin-2022-0017.
- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2018) Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (3), 870–878. doi:10.1519/JSC.0000000000002776.
- Biolo, G., Tipton, K. D., Klein, S. & Wolfe, R. R. (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 273 (1), E122–E129. doi:org/10.1152/ajpendo.1997.273.1.E122.
- Bishop, P. A., Jones, E. & Woods, A. K. (2008). Recovery From Training: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (3), 1015–1024. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816eb518.
- Bruce, S. T., Phillips, S. K. & Woledge, R. C. (1997). Interpreting the relation between force and cross-sectional area in human muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29 (5), 677–683. doi:10.1097/00005768-199705000-00014.
- Byrd, R., Chandler, T. J., Conley, M. S., Fry, A. C., Haff, G. G., Koch, A., Hatfield, F., Kirksey, K. B., McBride, J., McBride, T., Newton, H., O’Bryant, H. S., Stone, M. H., Pierce, K. C., Plisk S., Ritchie-Stone, M. & Wathen, D. (1999). Strength training: single versus multiple sets. *Sports Medicine* 27 (6), 409–416. doi:10.2165/00007256-199927060-00005.
- Børsheim, E., Cree, M. G., Tipton, K. D., Elliot, T. A., Aarsland, A. & Wolfe, R. R. (2004). Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from

- resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 96 (2), 674–678. doi:10.1152/jappphysiol.00333.2003.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J. & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 88 (1–2), 50–60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6.
- Candow, D. G. & Burke, D. G. (2007). Effect on Short-Term Equal-Volume Resistance Training With Different Workout Frequency on Muscle Mass and Strength in Untrained Men and Women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (1), 204–207. doi:10.1519/00124278-200702000-00037.
- Candow, D. G. & Chilibeck, P. D. (2005). Differences in Size, Strength, and Power of Upper and Lower Body Muscle Groups in Young and Older Men. *Journal of Gerontology: Biological Sciences* 60 (2), 148–156. doi:10.1093/gerona/60.2.148.
- Cannon, J. & Marino, F. E. (2010). Early-phase neuromuscular adaptations to high- and low-volume resistance training in untrained young and older women. *Journal of Sports Sciences* 28 (14), 1505–1514. doi:org/10.1080/02640414.2010.517544.
- Caprinelli, R. N. & Otto, R. M. (1998). Strength Training. Single Versus Multiple Sets. *Sports Medicine* 26 (2), 73–84. doi:10.2165/00007256-199927060-00005.
- Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M. & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology* 78 (3), 270–275. doi:10.1007/s004210050419.
- Chandler, R. M., Byrne, H. K., Patterson, J. G. & Ivy, J. L. (1994). Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *Journal of Applied Physiology* 76 (2), 839–845. doi:org/10.1152/jappl.1994.76.2.839.
- Chestnut, J. L. & Docherty, D. (1999). The Effect of 4 and 10 Repetition Maximum Weight-Training Protocols on Neuromuscular Adaptations in Untrained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13 (4), 353–359.
- Cribb, P. J. & Hayes, A. (2006). Effects of Supplement Timing and Resistance Exercise on Skeletal Muscle Hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38 (11), 1918–1925. doi:10.1249/01.mss.0000233790.08788.3e.

- Cumming, D. C., Wall, S. R., Galbraith, M. A. & Belcastro, A. N. (1987). Reproductive hormone responses to resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 19 (3), 234–238. doi:10.1249/00005768-198706000-00009.
- Cureton K. J., Collins M. A., Hill, D. W. & McElhannon, F. M. Jr. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20, 338–344. doi:10.1249/00005768-198808000-00003.
- Damas, F., Bachelos, C., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Santos, L. M. E., Conceição, M. S., Vechin, F. C. & Libardi, C. A. (2019). Individual Muscle Hypertrophy and Strength Responses to High vs. Low Resistance Training Frequencies. *Journal of Strength and Conditioning Research* 33 (4), 897–901. doi:10.1519/JSC.0000000000002864.
- De Salles, B. F., Simao, R., Miranda, F., Da Silva Novaes, J., Lemos, A., & Willardson, J. M. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Medicine* 39 (9), 765–777. doi:10.2165/11315230-000000000-00000.
- da Silva, E. M., Brentano, M. A., Cadore, E. L., De Almeida, A. P. V. & Kruel, L. F. M. (2008). Analysis of Muscle Activation During Different Leg Press Exercises at Submaximum Effort Levels. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (4), 1059–1065. doi:10.1519/JSC.0b013e3181739445.
- Diano, D., Ponti, F., Guerri, S., Mercatelli, D., Amadori, M., Aparisi Gómez, M. P., Battista, G., Guglielmi, G. & Bazzocchi, A. (2017). Upper and lower limbs composition: a comparison between anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry in healthy people. *Archives of Osteoporosis* 12 (1), 78–. doi:10.1007/s11657-017-0374-8.
- Esmarck, B., Andersen, J. L., Olsen, S., Richter, E. A., Mizuno, M. & Kjøer, M. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans 535 (1), 301–311. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.00301.x.
- Fahey, T. D., Rolph, R., Moungmee, P., Nagel, J. & Mortara, S. (1976). Serum testosterone, body composition, and strength of young adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 8 (1), 31–34. doi:10.1249/00005768-197621000-00019.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2014). *Designing resistance training programs*. 4. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 37 (2), 145–168. doi:10.2165/00007256-200737020-00004.

- Fukunaga, T., Miyatani, M., Tachi, M., Kouzaki, M., Kawakami, Y. & Kahehisa, H. (2001). Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 172 (4), 249–255. doi:10.1046/j.1365-201x.2001.00867.x.
- Gentil, P., Bembem, M. G., Ferreira, D. V. & Bottaro, M. (2015). The Effects of Resistance Training on Lower and Upper Body Strength Gains in Young Women. *International Journal of Kinesiology & Sports Science* 3 (3), 18–23. doi:org/10.7575/aiac.ijkss.v.3n.3p.18
- Gentil, P., Soares, S. R. S., Pereira, M. C., Rodrigues da Cunha, R., Martorelli, S. S., Martorelli, A. S. & Bottaro, M. (2013). Effects of adding single-joint exercises to a multi-joint exercise resistance training program on strength and hypertrophy in untrained subjects. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 38, 341–344. doi:org/10.1139/apnm-2012-0176.
- Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W. & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science* 17 (8), 983–993. doi:org/10.1080/17461391.2017.1340524.
- Halperin, I., Chapman, D. W. & Behm, D. G. (2015). Non-local muscle fatigue: Effects and possible mechanisms. *European Journal of Applied Physiology* 115 (10), 2031–2048.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C. & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptation to circuit weight training in untrained men. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 14, 176–185. doi:10.1111/j.1600-0838.2003.00371.x.
- Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A. & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal* 38 (4), 42–49. doi:10.1519/SSC.0000000000000218.
- Henneman, E. (1957). Relation between Size of Neurons and Their Susceptibility to Discharge. *Science* 126 (3287), 1345–1347. doi:10.1126/science.126.3287.1345.
- Housh, D. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Chu, W. K. (1992). Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73 (1), 65–70. doi:org/10.1152/jappl.1992.73.1.65.
- Hulmi, J. & Ahtiainen, J. P. (2018). Miten lihas kasvaa? *Liikunta ja tiede* 55 (6), 24–27.
- Hymer, W. C., Kraemer, W. J., Nindl, B. C., Marx, J. O., Benson, D. E., Welsch, J. R., Mazzetti, S. A., Volek, J. S. & Deaver D. R. (2001). Characteristics of circulating growth hormone in women after heavy resistance exercise. *American Journal of Physiology* -

- Endocrinology and Metabolism 281 (4), E878–E887.
doi:org/10.1152/ajpendo.2001.281.4.E878.
- Häkkinen, K. (1990). Voimaharjoittelun perusteet: Vaikutusmekanismit, Harjoitusmenetelmät Ja Ohjelmointi: Jyväskylä: Gummerus.
- Häkkinen, K. (1993). Neuromuscular Fatigue and Recovery in Male and Female Athletes during Heavy Resistance Exercise. *International Journal of Sports Medicine* 14 (2), 53–59. doi:10.1055/s-2007-1021146.
- Häkkinen, K. (1994). Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 34 (4) 205–214.
- Häkkinen, K. (1995). Neuromuscular fatigue and recovery in women at different ages during heavy resistance loading. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 35 (7), 403–413.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H. & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology* 57 (2), 133–139. doi:10.1007/bf00640652.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M. & Komi, P. V. (1985). Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 53, 287–293. doi:org/10.1007/BF00422840.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alén, M. (2000). Basal Concentrations and Acute Responses of Serum Hormones and Strength Development During Heavy Resistance Training in Middle-Aged and Elderly Men and Women. *The Journals of Gerontology: Series A* 55 (2), B95–B105. doi:org/10.1093/gerona/55.2.B95.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. (1995). Acute Hormonal Responses to Heavy Resistance Exercise in Men and Women at Different Ages. *International Journal of Sports Medicine* 16 (8), 507–513. doi:10.1055/s-2007-973045.
- Ihalainen, J., Walker, S., Paulsen, G., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Hämmäläinen, M., Vuolteenaho, K., Moilanen, E. & Mero, A. A. (2014). Acute leukocyte, cytokine and adipocytokine responses to maximal and hypertrophic resistance exercise bouts. *European Journal of Applied Physiology* 114 (12), 2607–2616. doi:10.1007/s00421-014-2979-6.
- Ivey, F. M., Roth, S. M., Ferrell, R. E., Tracy, B. L., Lemmer, J. T., Hurlbut, D. E., Martel, G. F., Siegel, E. L., Fozard, J. L., Metter, E. J., Fleg, J. L. & Hurley,

- B. F. (2000). Effects of Age, Gender, and Myostatin Genotype on the Hypertrophic Response to Heavy Resistance Strength Training. *Journal of Gerontology* 55A (11), M641–M648. doi:org/10.1093/gerona/55.11.M641.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., Calbet, J. A. L., Navarro-Amezqueta, I., González-Izal, M., Idoate, F., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Palacios-Sarrasqueta, M., Almar, M. & Gorostiaga, E. M. (2009). Cytokine and hormone responses to resistance training. *European Journal of Applied Physiology* 107 (4), 397–409. doi:10.1007/s00421-009-1139-x.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X. & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology* 100, 1647–1656. doi:10.1152/jappphysiol.01400.2005.
- Jackman, S. R., Witard, O. C., Philip, A., Wallis, G. A., Baar, K. & Tipton K. D. (2017). Branched-Chain Amino Acid Ingestion Stimulates Muscle Myofibrillar Protein Synthesis following Resistance Exercise in Humans. *Frontiers in Physiology* 8, 390–. doi:10.3389/fphys.2017.00390.
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology* 89 (1), 81–88. doi:10.1152/jappl.2000.89.1.81.
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S-Y. & Fukunaga, T. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, 37–43.
- Kawakami, Y., Abe, T. & Fukunaga, T. (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology* 74 (6), 2740–2744. doi:org/10.1152/jappl.1993.74.6.2740.
- Keyser, R. E. (2010). Peripheral Fatigue: High-Energy Phosphates and Hydrogen Ions. *PM&R: The Journal of Injury, Function and Rehabilitation* 2 (5), 347–358. doi:org/10.1016/j.pmrj.2010.04.009
- Kojić, F., Mandić, D. & Ilić, V. (2021). Resistance training induces similar adaptations of upper and lower-body muscles between sexes. *Scientific reports* 11, 23449. doi:org/10.1038/s41598-021-02867-y.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., Fleck, S. J., Franklin, B., Fry, A. C., Hoffman, J. R., Newton, R. U., Potteiger, J., Stone, M.

- H., Ratamess, N. A. & Triplett-McBride, T. (2002). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (2) 364–380. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670.
- Kraemer, W. J., Dziados, J. E., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., Harman, E. A., Mello, R., Fleck, S. J., Frykman, P. N. & Triplett, N. T. (1993b). Effects on different heavy-resistance exercise protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *Journal of Applied Physiology* 71 (1), 450–459. doi:org/10.1152/jappl.1993.74.1.450.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., Mello, R., Frykman, P. N., Koziris, L. P. & Triplett, N. T. (1993a). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *Journal of Applied Physiology* 75 (2), 594–604. doi:10.1152/jappl.1993.75.2.594.
- Kraemer, W. J., Gordon, S., Fleck, S., Marchitelli, L., Mello, R., Dziados, J., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A. (1991). Endogenous Anabolic Hormonal and Growth Factor Responses to Heavy Resistance Exercise in Males and Females. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2), 228–235. doi:10.1055/s-2007-1024673.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D. & Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology* 69 (4), 1442–1450. doi:10.1152/jappl.1990.69.4.1442.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., Newton, R. U., Triplett, N. T. & Dziados, J. E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 78 (3), 976–989. doi:org/10.1152/jappl.1995.78.3.976.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36 (4), 647–688. doi:10.1249/01.mss.0000121945.36635.61.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine* 35 (4), 339–361. doi:10.2165/00007256-200535040-00004.
- Kraemer, W. J., Rubin, M. R., Häkkinen, K., Nindl, B. C., Marx, J. O., Volek, J. S., French, D. N., Gómez, A. L., Sharman, M. J., Scheett, T., Ratamess, N. A., Miles, M. P., Mastro, A. M. VanHeest, J. L., Maresh, C. M., Welsch, J. R. & Hymer, W. C. (2003). Influence

- of muscle strength and total work on exercise-induced plasma growth hormone isoforms in women. *Journal of Science and Medicine in Sport* 6 (3), 295–306. doi:10.1016/s1440-2440(03)80023-3.
- Kraemer, W. J. (1997). A Series of Studies – The Physiological Basis for Strength Training in American Football: Fact Over Philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11 (3), 131–142. doi:10.1519/00124278-199708000-00001.
- Lixandrão, M., Ugrinowitsch, C., Bottaro, M., Chacon-Mikahil, M. P. T., Cavaglieri, C. R., Min, L. L., de Sousa, E. O., Laurentino, G. C. & Libardi, C. A. (2014). Vastus Lateralis Muscle Cross-sectional Area Ultrasonography Validity for Image Fitting in Humans. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (11), 3293–3297. doi:10.1519/JSC.0000000000000532.
- MacCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C. & Triplett, N. T. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 105, 695–704. doi:10.1007/s00421-008-0951-z.
- MacDougall, J. D. (2003). Hypertrophy and Hyperplasia. Teoksessa P. V. Komi. (toim.) *Strength And Power in Sport. 2. PAINOS*. Osney Mead, Oxford: Blackwell science, 252–264.
- MacDougall, J. D., Sale, D. G., Elder, G. C. B. & Sutton, J. R. (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology* 48 (1), 117–126. doi:10.1007/bf00421171.
- Martín-Fuentes, I., Oliva-Lozano, J. M., Muyor, J. M. (2020). Evaluation of the Lower Limb Muscles' Electromyographic Activity during the Leg Press Exercise and its Variants: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (13), 4626. doi:org/10.3390/ijerph17134626.
- Maughan, R. J., Watson, J. S. & Weir, J. (1983). Strength and Cross-Sectional Area of Human Skeletal Muscle. *The Journal of Physiology* 338, 37–49. doi:10.1113/jphysiol.1983.sp014658.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- McFarlane, B. (1985). Dynamics of adaption: Supercompensation. *Strength and Conditioning Journal* 7 (3), 44–45.

- Miller, A. E. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A. & Sale, D. G. (1993). Gender difference in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology* 66 (3), 254–262. doi:10.1007/bf00235103.
- Miller, S., Tipton, K. D., Chinkes, D. L., Wolf, S. E. & Wolfe, R. R. (2003) Independent and Combined Effects of Amino Acids and Glucose after Resistance Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35 (3), 449–455. doi:10.1249/01.mss.0000053910.63105.45.
- Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., West, D. W. D., Burd, N. A., Breen, L., Baker, S. K. & Phillips, S. M. (2012). Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *Journal of Applied Physiology* 113 (1), 71–77. doi:org/10.1152/jappphysiol.00307.2012.
- Moritani, T. & DeVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58 (3), 115–130.
- Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Wavell, C. G., Mazara, N., McGlory, C., Quadrilatero, J., Baechler, B. L., Baker, S. K. & Phillips, S. M. (2016). Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *Journal of Applied Physiology* 121 (1), 129–138. doi:org/10.1152/jappphysiol.00154.2016.
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K. & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 75, 193–199. doi:10.1007/s004210050147.
- Nalbandian, M. & Takeda, M. (2016). Lactate as a Signaling Molecule That Regulates Exercise-Included Adaptations. *Biology* 5 (4), 38. doi:org/10.3390/biology5040038.
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E. & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology* 59 (4), 310–319. doi:10.1007/bf02388334.
- Nindl, B. C., Kraemer, W. J., Gotshalk, L. A., Marx, J. O., Volek, J. S., Bush, J. A., Häkkinen, K., Newton, R. U. & Fleck, S. T. & (2001). Testosterone Responses After Resistance Exercise in Women: Influence of Regional Fat Distribution. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 11, 451–465. doi:10.1123/ijsnem.11.4.451.

- Nosaka, K., Lavender, A., Newton, M. & Sacco, P. (2003). Muscle Damage in Resistance Training—Is Muscle Damage Necessary for Strength Gain and Muscle Hypertrophy?—. *International Journal of Sport and Health Science* 1 (1), 1–8. doi:org/10.5432/ijshs.1.1.
- Nunes, J. P., Grgic, J., Cucha, P. M., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., de Salles, B. F. & Cyrino, E. S. (2020). What influence does resistance exercise order have on muscular strength gains and muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sports Science* 21 (2), 149–157. doi:10.1080/17461391.2020.1733672.
- O'Hagan, F. T., Sale, D. G., MacDougall, J. D. & Garner, S. H. (1995). Response to Resistance Training in Young Women and Men. *International Journal of Sports Medicine* 16 (5), 314–321. doi:10.1055/s-2007-973012.
- Osnes, J. B. & Hermansen, L. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology* 32 (1), 59–63. doi:10.1152/jappl.1972.32.1.59.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A. & Nosaka, K. (2016). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology* 122 (3), 559–570. doi:org/10.1152/jappphysiol.00971.2016.
- Raastad, T., Bjørø, T. & Hallén, J. (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology* 82 (1-2), 121–128. doi:10.1007/s004210050661.
- Radaelli, R., Bottaro, M., Wilhelm, E. N., Wagner, D. R. & Pinto, R. S. (2012). Time Course of Strength and Echo Intensity Recovery After Resistance Exercise in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (9), 2577–2584. doi:10.1519/jsc.0b013e31823dae96.
- Radaelli, R., Fleck, S. J., Leite, T., Leite, R. D., Pinto, R. S., Fernandes, L. & Simão, R. (2015). Dose-Response of 1, 3, and 5 Sets of Resistance Exercise on Strength, Local Muscular Endurance, and Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (5), 1349–1358. doi:10.1519/JSC.0000000000000758.
- Rasmussen, B. B., Tipton, K. D., Miller, S. L., Wolf, S. E. & Wolfe, R. R. (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 88 (2), 386–392. doi:org/10.1152/jappl.2000.88.2.386.
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J. & Triplett, N. T. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy

- Adults. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41, 687–708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670.
- Reeves, N. D., Magamaris, C. N. & Narici, M. V. (2004). Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology* 91, 116–118. doi:10.1007/s00421-003-0961-9.
- Reiser, R., McKey, D. T. & Overman, J. W. (2007). Between the Beginning and End of a Repetition. How Instinct and Extrinsic Factors Influence Intensity of a Biceps Curl. *Strength And Conditioning Journal* 29 (5), 64–76.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N. & Ball, S. D. (2003). A Meta-analysis to Determine the Dose Response for Strength Development. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35 (3), 456–464. doi:10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4.
- Sabido, R., Peñaranda, M. & Hernández-Davó, J. L. (2016). Comparison of Acute Responses to Four Different Hypertrophy-Oriented Resistance Training Methodologies. *European Journal of Human Movement* 37, 109–121.
- Sartorelli, V. & Fulco, M. (2004). Molecular and Cellular Determinants of Skeletal Muscle Atrophy and Hypertrophy. *Science Signaling* 2004 (244), re11. doi:10.1126/stke.2442004re11.
- Schoenfeld, B. J. (2000). Repetitions and Muscle Hypertrophy. *Strength and Conditioning Journal* 22 (6), 67–69.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (10), 2857–2872. doi:10.1519/jsc.0b013e3181e840f3.
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine* 43 (3), 179–194. doi:10.1007/s40279-013-0017-1.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. & Krieger, J. W. (2016a). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine* 46, 1689–1697. doi:10.1007/s40279-016-0543-8.
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P. & Krieger, J. W. (2016b). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sports Science* 16 (1), 1–10. doi:10.1080/17461391.2014.989922.
- Smilios, I., Pilianidis, T., Karamouzis, M. & Tokmakidis, S. P. (2003). Hormonal Responses after Various Resistance Exercise Protocols. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35 (4), 644–654. doi:10.1249/01.mss.0000058366.04460.5f.

- Smith, K., Reynolds, N., Downie, S., Patel, A. & Rennie, M. J. (1998). Effects of flooding amino acids on incorporation of labeled amino acids into human muscle protein. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 275 (1), E73–E78. doi:10.1152/ajpendo.1998.275.1.e73.
- Stone, W. J. & Coulter, S. P. (1994). Strength/Endurance Effects From Tree Resistance Training Protocols With Women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8 (4), 231–234. doi:10.1519/00124278-199411000-00005.
- Taipale, R. S., Gagnon, S. S., Ahtiainen, J. P., Häkkinen, K., Kyröläinen, H. & Nindl, B. C. (2019). Active recovery shows favorable IGF-1 and IGF binding protein responses following heavy resistance exercise compared to passive recovery. *Growth Hormone & IGF Research* 48–49, 45–52. doi:org/10.1016/j.ghir.2019.09.001.
- Tesch, P. A. & Larsson, L. (1982). Muscle Hypertrophy in Bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology* 49, 301–306.
- Tipton, K. D., Ferrando, A. A., Phillips, S. M., Doyle, D. & Wolfe, R. R. (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 276 (4), E628–E634. doi:org/10.1152/ajpendo.1999.276.4.E628.
- Timmins, T. D. & Saunders, D. H. (2014). Effect of Caffeine Ingestion on Maximal Voluntary Contraction Strength in Upper- and Lower-Body Muscle Groups. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (11), 3239–3244. doi:10.1519/JSC.0000000000000447.
- Velloso, C. P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-1. *British Journal of Pharmacology* 154 (3), 557–568. doi:org/10.1038/bjp.2008.153.
- Vissing, K., Brink, M., Lønbro, S., Sørensen, H., Overgaard, K., Danborg, K., Mortensen, J., Elmstrøm, O., Rosenhøj, N., Ringgaard, S., Andersen, J. L. & Aagaard, P. (2008). Muscle Adaptations to Plyometrics vs. Resistance Training in Untrained Young Men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (6), 1799–1810. doi:10.1519/JSC.0b013e318185f673.
- Volek, J. F. (2004). Influence of Nutrition on Responses to Resistance Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36 (4), 689–696. doi:10.1249/01.mss.0000121944.19275.c4.
- Walker, S., Davis, L., Avela, J. & Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular fatigue during dynamic maximal strength and hypertrophic resistance loadings. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 22 (3), 35–362. doi:org/10.1016/j.jelekin.2011.12.009.

- Walker, S., Santolamazza, F., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2015). Effects of Prolonged Hypertrophic Resistance Training on Acute Endocrine Responses in Young and Older Men. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23 (2), 230–236. doi:10.1123/japa.2013-0029.
- Weiss, L. W., Cureton, K. J., Thompson, F. N. (1983). Comparison of Serum Testosterone and Androstenedione Responses to Weight Lifting in Men and Women. *European Journal of Applied Physiology* 50, 313–419. doi:10.1007/bf00423247.
- Welle, S., Totterman, S. & Thornton, C. (1996). Effect of Age on Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 51A (6), M270–M275. doi:10.1093/gerona/51A.6.M270.
- Wernbom, M., Augustsson, J. & Thomeé, R. (2007). The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sports Medicine* 37 (5), 225–264. doi:10.2165/00007256-200737030-00004.
- Willardson, J. M. & Burkett, L. N. (2005). A Comparison of 3 Different Rest Intervals on the Exercise Volume Completed During a Workout. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19 (1), 23–26. doi:10.1519/00124278-200502000-00005.
- Willardson, J. M. (2008). A Brief Review: How Much Rest between Sets? *Strength and Conditioning Journal* 30 (3), 44–50. doi: 10.1519/SSC.0b013e31817711a4.
- Wilmore J. H. (1974). Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training-program. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 6, 133–138. doi:10.1249/00005768-197400620-00025.
- Wolfe, R. R. (2000). Effects of insulin on muscle tissue. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 3 (1), 67–71. doi:10.1097/00075197-200001000-00011.
- Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J. & Fry, A. C. (2020). *Science and Practice of Strength Training*. 3. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training*. 2. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.