

**VOIMAHARJOITTELUN AIHEUTTAMAT LIHASKOON JA
LIHASVOIMAN VASTEET HARJOITTELEMATTOMILLA
YKSILÖILLÄ**

Salla Korpinen

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Korpinen, S. 2024. Voimaharjoittelun aiheuttamat lihaskoon ja lihasvoiman vasteet harjoittelemattomilla yksilöillä. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 35 s.

Voimaharjoittelun aikaansaama lihasmassan sekä voiman kasvu on hyvin yksilöllistä. Toiset yksilöt pystyvät kasvattamaan lihaskokoansa yli 15 %, kun toiset yksilöt osoittavat vain vähäistä, alle 5 %:n kasvua. Tekijöitä, jotka vaikuttavat yksilöiden kehitykseen ja yksilöiden välisiin eroihin voimaharjoittelun taustalla on tutkittu vain vähän. Vielä vähemmän löytyy tutkimusnäyttöä, joka keskittyisi pelkästään tutkimaan yksilöitä, jotka osoittavat poikkeuksellisen suuria vasteita voimaharjoittelulle. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, kuinka moni lihasmassan kasvun high responder (HR) ryhmään kuuluvista tutkittavista kuuluvat myös voiman kasvun HR ryhmään.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 174 tutkittavaa, joista tämän tutkielman loppuanalyseissä oli yhteensä 167 tutkittavaa. Tutkittavat olivat iältään 18–45-vuotiaita, heistä naisia oli 117 ja miehiä 57. Tutkittavilta mitattiin alku- ja lopputesteissä ulomman reisilihaksen anatominen poikkipinta-ala ultraäänellä sekä jalkaprässin yhden toiston maksimi. Tutkittavat jaettiin ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan sekä jalkaprässin yhden toiston maksimin kehityksen perusteella kolmeen eri ryhmään: high responder (HR), moderate responder (MOD) ja low responder (LR). HR ryhmien välinen yhteys laskettiin binomitodennäköisyysjakaumalla.

Tuloksista kävi ilmi, että vain kolme tutkittavaa jotka kuuluivat HR ryhmään lihaksen poikkipinta-alan muutokselle, kuuluivat myös HR ryhmään jalkaprässin yhden toiston maksimille. Tulos osoitti, ettei kahden HR ryhmän välillä ole tilastollisesti merkitsevää ($p=0,098$) yhteyttä toisiinsa.

Tutkielman tulos osoitti myös, että yksilöllistä vaihtelua esiintyy lihaksen poikkipinta-alan sekä voiman kasvussa voimaharjoittelun seurauksena. Tutkielmassa saadut tulokset HR ryhmien välisestä yhteydestä toisiinsa yhtyvät muihin aiheesta tehtyihin tutkimustuloksiin. Potentiaalisia selityksiä saadulle tulokselle pohditaan tutkielmassa. Taustalla vaikuttavat tekijät painottuvat kuitenkin lihaksen rakenteellisiin ominaisuuksiin, hermolihasjärjestelmän toimintaan sekä biologisiin tekijöihin.

Asiasanat: voimaharjoittelu, lihaksen poikkipinta-alan kasvu, voiman kasvu, high responder, low responder

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 VOIMAHARJOITTELUN ADAPTAATIOT.....	3
2.1 Lihaskoon adaptaatiot.....	3
2.2 Lihaskon voiman adaptaatiot.....	5
2.3 Yksilölliset vasteet voimaharjoitteluun	9
3 HIGH RESPONDER.....	11
4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT.....	15
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	16
5.1 Tutkittavat.....	16
5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu	16
5.3 Tilastolliset menetelmät.....	19
6 TULOKSET.....	21
7 POHDINTA.....	24
7.1 Lihasmassan kasvun high responderien yhteys voiman kasvun high respondereihin 24	
7.2 Virhelähteet	28
7.3 Yhteenveto.....	29
KIITOKSET	31
LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Säännöllisen voimaharjoittelun on jo pitkän aikaa todistettu kasvattavan lihasten poikkipinta-alaa ja voimantuottoa (Mero ym. 2012). Voimaharjoittelun aikaansaama lihaskasvu sekä voiman kasvu ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä ja voivat vaihdella paljon yksilöiden välillä. Osa yksilöistä voi kasvattaa lihasvoimaa jopa 30–40 % tai lihaskokoa yli 15 % voimaharjoittelujakson aikana, kun toiset yksilöt osoittavat vain vähäistä, alle 5 %:n lihasvoiman tai lihaskoon kasvua (Ahtiainen ym. 2016). Suurin osa yksilöistä osoittaa keskivertokasvua näille kahdelle muuttujalle (lihasvoimalle ja lihaskoolle) ja pienempi osa yksilöistä poikkeuksellisen suuria vasteita toiselle näistä muuttujista. On myös yksilöitä, jotka osoittavat poikkeuksellisen suuria vasteita sekä lihavoimalle että lihaskoolle. (Ahtiainen ym. 2016; Erskine ym. 2010) Mistä nämä suuret erot kehityksessä johtuvat ja ketkä ovat näitä poikkeuksellisia yksilöitä lihaskoon ja lihasvoiman kehitykselle? Entä kuinka moni osoittaa poikkeuksellisen suuren vasteen molemmille näistä muuttujista? Tässä tutkielmassa etsitään vastauksia näihin askarruttaviin kysymyksiin.

On mahdollista, että yksilöiden väliset erot lihaskoon ja lihasvoiman kehityksessä johtuvat lihaksen rakenteellisista ominaisuuksista, kuten lihassolutyypistä sekä lihaksen poikkipinta-alan ja voiman välisestä korrelaatiosta (Jones ym. 2012). Monissa tutkimuksissa on havaittu lihassolutyypin vaikuttavan voiman lisääntymiseen, joka on ollut parempaa tyypin II lihassoluissa verrattuna tyypin I lihassoluihin (Cormie ym. 2011; Gilliver ym 2009; Maughan 1983). Tyypin II lihassolut pystyvät tuottamaan enemmän voimaa poikkipinta-alaansa nähden (Cormie ym. 2011; Gilliver 2009; McArdle 2015, 374-378). Lihaksen poikkipinta-alan ja voiman välinen korrelaatio on puolestaan kiistanalainen aihe, sillä osa tutkimuksista on todennut poikkipinta-alan korreloivan voiman kanssa (Cormie ym. 2011; Krzysztolik ym. 2019), kun osa tutkimuksista on todennut korrelaation selittäneen vain muutamia prosentteja lihasvoiman ja poikkipinta-alan välisestä suhteesta (Ahtiainen ym. 2016; Erskine ym. 2010; Jones ym. 2012).

Lihaksen rakenne ja koko selittävät noin puolet lihaksen supistusvoiman vaihtelusta, minkä vuoksi hermolihasjärjestelmän vaikutusta voimantuottokykyyn on tutkittu paljon (Gilliver ym. 2009). Voiman kasvu voi johtua suurelta osin hermoston sopeutumisesta voimaharjoitteluun ensimmäisten harjoituskuukausien aikana. Osa yksilöistä voi osoittaa poikkeuksellisen suuria neuraalisia vasteita voimaharjoitteluun, minkä seurauksena erityisesti lihasvoima kehittyy.

(Ahtiainen ym. 2016) Esimerkiksi Ahtiaisen ym. (2016) tutkimuksessa osa yksilöistä osoitti vain vähäistä kehitystä lihaksen poikkipinta-alalle, mutta poikkeuksellisen suuria vasteita lihasvoimalle.

On myös biologisia tekijöitä, jotka voivat selittää yksilöllistä vaihtelua lihaskoon ja lihasvoiman kehitykselle. Joillakin yksilöillä voi olla vain luontainen kyky saada suurempia voimaharjoittelun aikaansaamia vasteita lihaksiin (Mobley ym. 2018). Näiden yksilöiden suurempaa ja nopeampaa kehitystä erityisesti lihaskoon kasvulle voi selittää satelliittisolujen suurempi kertyminen lihassoluihin, suuremmat ribosomipitoisuudet sytoplasmassa, tiettyjen mikro-RNA:n ilmentyminen tai sidekudoksen vaikutus lihasmassan kertymiseen (Davidsen ym. 2011; Figueiredo & McCarthy 2019; Mobley ym. 2018; Petrella ym. 2008).

Yksilöiden välisiä eroja, etenkin biologisia tekijöitä on kuitenkin kallista ja vaikea tutkia. Lisää tutkimuksia aiheesta tarvitaan, jotta yksilöiden välisiin eroihin vaikuttavat tekijät saataisiin selville. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää kuinka moni näistä poikkeuksellisen suuria vasteita osoittavista yksilöistä osoittavat suuria vasteita sekä lihaskoon kasvulle että lihasvoiman kasvulle. Lisäksi pohditaan syitä, mitkä tekijät voisivat potentiaalisesti vaikuttaa tutkielmassa saatuihin tuloksiin.

2 VOIMAHARJOITTELUN ADAPTAATIOT

Voimaharjoittelua käytetään ensisijaisesti kehittämään voimaa sekä lihaskasvua (Schoenfeld 2010). Tutkimukset vuosien saatossa ovat osoittaneet eri pituisten voimaharjoitteluohjelmien edistävän lihasten kasvua (Ahtiainen ym. 2016; Mero ym. 2012; Rantilä ym. 2021). Tarvitaan jopa kuusi viikkoa voimaharjoittelua, että lihaskasvua voidaan havaita yksilöillä (Figueiredo 2019), minkä jälkeen lihaskasvu jatkuu lineaarisena ainakin kuusi ensimmäistä kuukautta harjoittelusta (Folland & Williams 2007). Jo pelkästään kolme sarjaa kolmesti viikossa yhdelle lihasryhmälle riittää saavuttamaan optimaalisen lihaskasvun aiheuttamatta kroonista lihasväsymystä (Guyton & Hall 2015, 972), mutta 8–12 viikon säännöllinen voimaharjoittelu saa aikaan sekä merkitsevää lihaskoon kasvua että lihasvoiman kasvua (Folland & Williams 2007; Smith ym. 2023). Suurin muutos lihasvoimassa tapahtuu kuitenkin ensimmäisen 8–10 viikon aikana harjoittelun aloittamisesta (Bickel ym. 2011; Mero ym. 2012). Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihaskoossa sekä voimantuotossa.

2.1 Lihaskoon adaptaatiot

Lihasmassan kasvu saadaan aikaan, kun luurankolihaseseen kohdistuu tarpeeksi suuri mekaaninen ärsyke aiheuttaen häiriötä lihasproteiineissa (myofibrilleissä) ja soluväliaineessa. Tämä käynnistää myofibrillaaristen supistuvien proteiinien, kuten aktiinin ja myosiinin koon sekä määrien ja sarkomeerien kokonaismäärän lisääntymisen rinnakkain. Tämä prosessi johtaa lopulta lihaksen poikkipinta-alan kasvuun. Oletetaan, että lihaskasvua voivat lisätä erilaiset ei-supistuvat elementit ja sarkoplasmiseksi hypertrofiaksi kutsuttu nesteen kertyminen lihaksissa. Tämä voi johtaa lihasmassan kasvuun ilman samanaikaista voiman kasvua. Muita tärkeitä mekanismeja, jotka vaikuttavat luurankolihasen kasvuun ovat lihaskasvua helpottavat signaalintireitit. Esimerkkejä signaalintireiteistä ovat proteiinikinaasi sekä kalsium - riippuvaiset reitit, jotka muuttavat lihasproteiinitasapainoa suosimaan proteiinisynteesiä sen hajoamisen sijaan. Lisäksi erilaiset hormonit, kuten testosteroni sekä insuliinin kaltainen kasvuhormoni liittyvät vahvasti lihashypertrofian edistämiseen. (Schoenfeld 2010)

Voimaharjoittelun seurauksena lihas voi kasvaa jopa 30–60 % lisää sen alkuperäisestä koosta (Guyton & Hall 2015, 972). Raskaan voimaharjoittelun seurauksena nopeat (tyypin II) ja hitaat

(tyypin I) lihassolut kasvavat kokoa, mutta kasvu on suurempaa nopeissa lihassoluissa (Cormie ym. 2011). Voimaharjoittelun aiheuttamalle lihaskasvulle on esitetty monta teoriaa. Lihasmassan kasvun on esitetty johtuvan supistumiskykyisten myofibrillien lisääntymisestä ja/tai niiden koon kasvusta yksittäisessä luurankolihasen solussa johtaen lihassolun laajenemiseen ja lihaksen poikkipinta-alan kasvuun (Haun ym. 2019a). Schoenfeld (2010) kuitenkin kutsuu tätä määritelmää hyperplasiaksi eikä hypertrofiaksi. Hypertrofian eli lihassolujen koon kasvun aikana supistuvat elementit suurenevät ja soluväliaine laajenee lihaskasvun vuoksi (Schoenfeld 2010). Toisin kuin Schoenfeld (2010), Figueiredo (2019) määritteli tutkimuksessaan lihaskasvun johtuvan kyvystä lisätä lihasten ribosomaalista massaa, translaatiokykyä sekä proteiinisynteesiä levossa. Pääasiassa lihaskasvua tapahtuu, kun proteiinisynteesi ylittää proteiinien hajoamisen ja johtaa positiiviseen nettoproteiinitasapainoon. Tämä voidaan saavuttaa sekä voimaharjoittelulla että proteiinin nauttimisella. Proteiinien nauttiminen voimaharjoittelun jälkeen stimuloi proteiinisynteesiä ja johtaa proteiinin hajoamisen vähenemiseen. (Krzysztofik ym. 2019)

Erilaisia voimaharjoitteluohjelmia on tutkittu laajasti niiden muuttujien, kuten intensiteetin, volyymin, liikkeen määrien ja toistojen, kuormien sekä tekniikoiden puolesta, jotta lihasten sopeutuminen harjoitteluun saataisiin maksimoitua. Krzysztofik ym. (2019) kokosivat review artikkeliin eri harjoitusohjelmia ja tutkivat niiden vaikutusta lihaskasvulle. Jotta lihaskasvu saataisiin harjoitteluohjelmassa maksimoitua, voitiin erottaa kolme päätekijää: mekaaninen jännitys, aineenvaihdunnallinen stressi sekä lihasten vaurioituminen.

Mekaaninen jännitys. Progressiivinen mekaaninen jännitys katsotaan yhdeksi päätekijäksi lihaskasvulle, joka saavutetaan lisäämällä harjoittelun intensiteettiä. Voimaharjoittelu suurilla kuormilla (>85 % 1 RM), pienillä toistomäärillä (1–5 toistoa) ja pitkillä lepotauoilla (3–5 min) suuntautuu kohti parempaa mekaanista jännitystä, mikä ensisijaisesti kehittää voimaa eikä niinkään lihaskoon kasvua. Suurilla kuormilla ja pienillä toistomäärillä harjoittelemisen johtaa nopeiden lihassolujen rekrytoimiseen. Kun halutaan keskittyä erityisesti lihaskoon kasvattamiseen, Krzysztofik ym. (2019) mukaan tulisi kiinnittää huomiota voimaharjoittelun volyymiin. Korkeampi harjoitteluvolyymi (28–30 sarjaa per lihas / per viikko) on yhteydessä lisääntyneeseen lihaskasvuun verrattuna matalampaan volyymiin (6–10 sarjaa per lihas / per viikko). Liian alhainen harjoittelun volyyymi, esimerkiksi ballististen liikkeiden aikana käytetyt kuormat ovat liian kevyitä luomaan tarvittava mekaaninen ärsyke, jotta saataisiin aikaan lihaskasvua (Cormie ym. 2011). Harjoituskuormalla ei kuitenkaan näyttäisi olevan vaikutusta

lihaskasvuun, jos liikkeet suoritetaan voimaharjoittelun aikana uupumukseen asti (Krzysztofik ym. 2019). Schoenfeldin ym. (2015) tutkimustulokset osoittivat, että matalalla kuormalla tehdyt (<60 % 1 RM) sekä kohtalaisella kuormalla tehdyt (>60 % 1 RM) toistot uupumukseen asti, saavat aikaan merkitsevää lihaskoon kasvua voimaharjoitelleilla miehillä.

Aineenvaihdunnallinen stressi. Näyttäisi sille, että 6–12 toistoa, 3–6 sarjaa tehtynä 60–80 % 1 RM:stä saadaan tuotettua suurempi aineenvaihdunnallinen stressi, minkä on todettu olevan paras ärsyke lihaskasvulle. Toinen menetelmä, jonka avulla aineenvaihdunnallista stressiä saadaan tuotettua, on harjoitella matalilla kuormilla uupumukseen asti yhdistettynä verenkierron rajoittamiseen lihaksissa. Tämä onnistuu käyttämällä esimerkiksi kiristyssiteitä raajojen ympärillä liikkeitä suorittaessa valtimoveren virtauksen vähentämiseksi ja laskimopaluun tukkimiseksi. Tämä johtaa aineenvaihduntatuotteiden kertymiseen, joka lisää aineenvaihdunnallista räsitusta. Aineenvaihdunnallista räsitusta lisää myös pudotussarjojen käyttö harjoittelussa, jolla on todettu olevan merkitsevä vaikutus lihaskasvuun. (Fink ym. 2017; Krzysztofik ym. 2019) Finkin ym. (2017) tutkimustulokset osoittivat käsivarren ojentajalihasten poikkipinta-alan merkitsevää kasvua ($10 \pm 3,7$ %) kuuden viikon pudotussarja harjoittelun jälkeen verrattuna perinteisiin sarjoihin (5.1 ± 2.1 %).

Lihasten vaurioituminen. Suurten kuormien käyttö etenkin eksentrisen lihastyön aikana lisää räsituksen aiheuttamia lihasvaurioita, mikä on yhdistetty lihaskoon kasvuun. Osa tutkimuksista on todennut pelkän eksentrisen lihastyövaiheen suorittamisen lisänneen enemmän lihasmassaa verrattuna konsentriseen lihastyövaiheeseen. Kuitenkin voimaharjoitteluohjelmat, jotka eivät aiheuttaneet merkitsevää lihasvauriota, aiheuttivat silti samanlaista lihaskasvua verrattuna niihin ohjelmiin, jotka aiheuttivat lihasvauriota. (Krzysztofik ym. 2019)

2.2 Lihasvoiman adaptaatiot

Lihaksen koko ja rakenne selittävät noin 50–70 % lihaksen supistusvoiman vaihtelusta. Näiden havaintojen pohjalta on tutkittu lihaksen rakenteellisia sekä hermolihasmuuttujia, jotka on tunnistettu vaikuttaviksi tekijöiksi voimantuotossa. (Gilliver ym. 2009) Raskas voimaharjoittelu johtaa lihaksen rakenteellisiin sekä hermostollisiin muutoksiin aiheuttaen voimantuottokyvyn kasvua (Folland & Williams 2007). Lihasvoima on yhdistelmä hermoston toimintaa sekä lihaksen spesifejä rakenteellisia ominaisuuksia. Näitä rakenteellisia

ominaisuuksia ovat lihassolutyypit, sarkomeerin pituus, lihaksen pennaatiokulma, poikkipinta-ala sekä lihaksen muoto. Hermoston toiminta puolestaan vaikuttaa lihasvoiman tuottoon motoristen yksiköiden rekrytoimisen kautta. (Jones ym. 2012) Lihasvoimaa voidaan mitata useilla eri menetelmillä, mutta tyypillisin mittausten menetelmä on yhden toiston maksimin (1 RM) mittaaminen (McArdle 2015, 502).

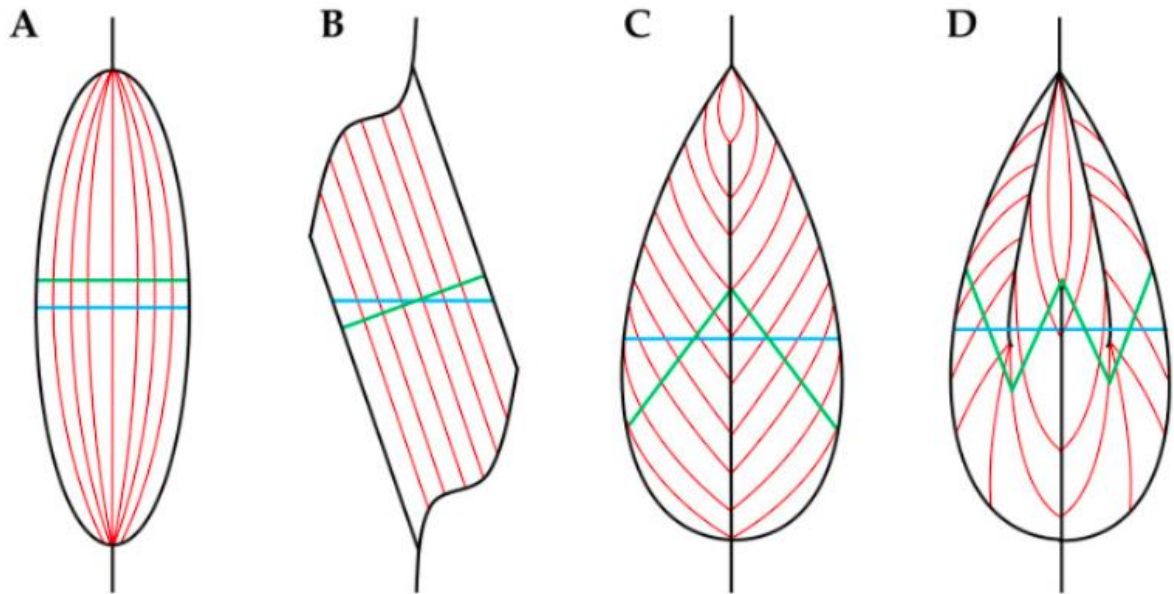
Lihassolutyypit. Kyky tuottaa maksimaalista voimaa liikkeen aikana määräytyy lihasten supistumiskyvyn mukaan. Supistumiskykyyn vaikuttavat useat rakenteelliset tekijät, mutta ensisijaisesti lihaksen lihassolutyypin ja sen ominaisuudet. Lihassolutyypit jaetaan tyypin I, tyypin IIa ja tyypin IIb mukaan. Tyypin I lihassolut tuottavat voimaa vähemmän ja hitaammin verrattuna tyypin IIa ja IIb lihassoluihin. Tyypin I lihassolulle on ominaista väsymisensietokyky, siksi tyypin I lihassoluja hyödynnetään enemmän pitkäkestoisissa, aerobisissa suorituksissa. Tyypin IIa ja IIb lihassolut pystyvät tuottamaan suuremman voiman kuin tyypin I lihassolut. Tyypin IIb lihassolut pystyvät tuottamaan suuremman voiman kuin tyypin IIa lihassolut, mutta väsyvät suorituksessa myös nopeammin. Tyypin IIa ja IIb lihassoluja hyödynnetään nopeissa ja voimaa vaativissa suorituksissa. (McArdle 2015, 374-378) Tyypin IIa ja IIb lihassoluilla on suurempi kapasiteetti tuottaa tehoa poikkipinta-alaansa nähden verrattuna tyypin I lihassoluihin (Cormie ym. 2011). Esimerkiksi Maughan ym. (1983) vertailivat tutkimuksessaan maratonjuoksijoiden sekä pikamatkan juoksijoiden eroja voimantuotossa. Pikamatkojen juoksijat osoittautuivat vahvemmiksi kuin maratonjuoksijat, mutta merkitsevää eroa ei havaittu lihaksen poikkipinta-alassa. Pikajuoksijoiden lihakset olivat vahvempia poikkipinta-alan yksikköä kohti. Tulokset viittaavat eroihin lihassolutyypissä. On todettu, että pikajuoksijoiden jalkalihakset sisältävät suuren osan tyypin II lihassoluja, kun taas maratonjuoksijoiden tyypin I lihassoluja. Lihassolutyypin vaihtelu voi siis osittain selittää voiman vaihtelua. (Maughan ym. 1983)

Sarkomeerin pituus. Luurankolihasen kyky tuottaa voimaa riippuu sarkomeerin pituudesta. Sarkomeerin pituus mahdollistaa optimaalisen päällekkäisyyden aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä. Sarkomeerin ollessa ”optimaalisen pitkinä”, poikittaissiltavaikutus on maksimaalinen, mikä mahdollistaa suurimman mahdollisen aktiivisen jännityksen. Voimantuotto heikkenee, kun sarkomeerin pituus lyhentyy ”optimaalisen pituuden” alapuolelle. Vastaavasti sarkomeeri, joka on lähempänä optimipituuttaan, pystyy tuottamaan enemmän voimaa. (Cormie ym. 2011; Muhl 1982)

Pennaatiokulma. Lihaksen pennaatiokulmalla on tärkeitä fysiologisia vaikutuksia voiman ja nopeuden väliseen suhteeseen ja täten myös maksimaaliseen voimantuottoon. Pennaatiokulmalla tarkoitetaan kalvojänteen ja lihassyiden välistä kulmaa. Pennaatiokulman kasvaessa useampia sarkomeereja voidaan järjestää rinnakkain ja lihas voi tuottaa enemmän voimaa. (McArdle 2015, 362-364) Tutkimukset raskaan voimaharjoittelun vaikutuksista lihaksen pennaatiokulman kasvuun ovat antaneet ristiriitaisia tuloksia. Osassa tutkimuksissa on osoitettu raskaan voimaharjoittelun lisäävän lihaksen pennaatiokulmaa harjoittamattomilla yksilöillä (Aagard ym. 2004), kun osassa ei ole havaittu vastaavaa muutosta (Blazevich ym. 2006). Tulokset raskaan voimaharjoittelun vaikutuksesta lihaksen pennaatiokulmaan ovat siis vielä epäselkeitä (Cormie ym. 2011).

Poikkipinta-ala. Useat tutkimukset ovat osoittaneet lihaksen poikkipinta-alan olevan suuri määrittävä tekijä voimantuotossa (Cormie ym. 2011; Krzysztolik ym. 2019; Suchomel ym. 2018). Kuitenkin osassa aiheeseen liittyvistä tutkimuksista on havaittu ristiriitaisia tuloksia lihaksen poikkipinta-alan ja voiman välillä (Jones ym. 2012). Esimerkiksi Jones ym. (2012) ovat havainneet lisääntyneitä voiman kasvua ilman muutosta lihaksen poikkipinta-alassa. Erskine ym. (2010) havaitsivat, että lihasvoiman kasvu ei korreloi lihaksen poikkipinta-alan kanssa. Tulokset osoittivat, että lihaskasvun vaihtelu ei selitä vaihtelua voiman kasvulle. Erskine ym. (2010) selittävät tuloksia yksilöllisillä vasteilla voimaharjoittelulle. Joillain yksilöillä voima saattaa lisääntyä aktiinin ja myosiinin lisääntymisen seurauksena, joka johtaa lihaksen poikkipinta-alan kasvuun. Puolestaan toisilla voi parantua kyky välittää voimaa sivusuunnassa jänteeseen, mikä johtaa suurempaan voiman kasvuun kuin poikkipinta-alan kasvuun.

Lihaksen muoto. Lihaksen poikkipinta-alaan vaikuttaa yksittäisten lihassolujen järjestäytyminen lihaksessa sekä lihaksen muoto. Lihas voi olla muodoltaan sukkulamainen, puolisuikkalainen, täyssuikkalainen tai monisuikkalainen (kuva 1). Muodoltaan sukkulamaisessa lihaksessa yksittäiset lihassyöt kulkevat rinnakkain lihaksen pituusakselin suuntaisesti. Suikkalaisissa lihaksissa yksittäiset lihassyöt kulkevat taas viistosti lihaksen pituusakseliin nähden. Suikkalaiset lihakset eli pennaatiolihakset muodostavat suuremman poikkipinta-alan lihakseen, sillä samaan lihastilavuuteen mahtuu enemmän sarkomeereja rinnakkain. (Jorgenson ym. 2020)



KUVA 1. Lihaksen erilaisia muotoja: (A) sukkulamainen lihas, (B) puolisulkainen lihas, (C) täyssulkainen lihas ja (D) monisulkainen lihas. Sininen viiva mittaa lihaksen anatomista poikkipinta-alaa ja vihreä viiva lihaksen fysiologista poikkipinta-alaa. (Jorgenson ym. 2020)

Hermosto. Kyky tuottaa maksimivoimaa liikkeen aikana ei rajoitu pelkästään lihaksen rakenteellisiin ominaisuuksiin, vaan myös hermoston kykyyn aktivoida lihaksia. Hermosto ohjaa lihasten aktivoitumista ensisijaisesti motoristen yksiköiden rekrytoinnin, syttymistaajuuden, synkronoinnin sekä lihasten välisten koordinaation muutoksilla. Lihaksen tuottama voima on riippuvainen lihaksen käyttämien motoristen yksiköiden määrästä ja tyypistä. Motoriset yksiköt rekrytoituvat systemaattisessa järjestyksessä voiman lisääntyessä asteittain tahdonalaisen supistuksen aikana. Suhteellisen pienet hermosolut eli alfa-motoneuronit, jotka hermottavat tyypin I lihassoluja, aktivoituvat aluksi alhaisilla voimatasoilla. Suuremmat alfa-motoneuronit, jotka hermottavat tyypin IIa ja IIb lihassoluja, aktivoituvat puolestaan korkeimmilla voimakynnyksillä. Maksimaalisen voimantuoton edellyttämien, tyypin IIa ja IIb lihassolujen motoristen yksiköiden rekrytoiminen on voimantuoton kannalta hyödyllistä, sillä ne ovat sopeutuneet nopeaan ja tehokkaaseen lihaksen supistamiseen (Cormie ym. 2011; Guyton & Hall 2015, 75). Voimaharjoittelun oletetaan johtavan motoristen yksiköiden lisääntyneeseen rekrytoimiseen, korkean kynnyksen motoristen yksiköiden ensisijaiseen rekrytoimiseen tai motoristen yksiköiden rekrytointikynnyksen alenemiseen. Kaikki nämä mahdolliset sopeutumistavat voivat johtaa lihaksen lisääntyneeseen jännitykseen ja parempaan voimantuottoon. (Cormie ym. 2011)

2.3 Yksilölliset vasteet voimaharjoitteluun

Voimaharjoittelun aikaansaamat muutokset lihaskoossa ja voimassa vaihtelevat yksilöiden välillä riippuen, miten lihakset sopeutuvat harjoitteluun (Ahtiainen ym. 2016). Vaikka harjoitteluohjelmiin sisältyy yleensä suhteellisen intensiteetin ja keston mukaan määräytyvää harjoittelua, jotkin näistä menetelmistä saattavat onnistua luomaan homeostaattista räsitusta yksilöiden välille paremmin kuin toiset menetelmät. Yksilöllinen vaihtelu harjoitteluun, jota ei voida selittää geneettisillä vaikutuksilla, voi liittyä harjoitteluohjelmaan tai elämäntapatekijöihin, kuten harjoittelutaustaan. Lisäksi harjoittelun jälkeinen palautuminen vaihtelee yksilöiden välillä muun muassa unen, psykologisen stressin ja fyysisen aktiivisuuden kautta. Jos yleinen stressi ja palautuminen ovat epätasapainossa, jotkin yksilöt voivat sopeutua huonosti harjoittelun aikaan saamiin vasteisiin. Ravitsemuksella on myös todettu olevan vaikutus harjoitteluvasteeseen. Näyttöä on esimerkiksi siitä, että ruokailutottumukset voivat vaikuttaa lihasmassan kasvuun. Runsasproteiinisella ruokavaliolla voidaan optimoida lihasmassan kasvu voimaharjoittelujaksolla, mikä voi vaikuttaa yksilöiden eroihin lihasmassan kasvussa. Tietty määrä yksilöllisestä vaihtelusta voi johtua myös mittausvirheistä, mikä on otettava huomioon tarkasteltaessa tuloksia. (Mann ym. 2014; Roberts ym. 2018)

Riippumatta edellä mainituista tekijöistä, yksilöt reagoivat eri tavalla voimaharjoitteluun. Osa yksilöistä osoitti poikkeuksellisen suuria vasteita (high responder, HR) tai vastaavasti toiset poikkeuksellisen pieniä vasteita (low responder, LR) voimaharjoittelulle. Osa yksilöistä ei osoita vastetta harjoittelulle ollenkaan (non-responder, NR). Tapa jolla yksilöt reagoivat voimaharjoitteluun, etenkin genotyyppiin ja harjoitusvasteen yhteydessä on edelleen epäselviä. Ei esimerkiksi tiedetä, pysyykö harjoitusvasteen vaihteluun liittyvä geneettinen varianssi johdonmukaisena eri harjoitusmuodoissa, harjoitusohjelman rakenteissa ja kestossa. (Mann ym. 2014)

Eri tutkimuksissa on käytetty erilaisia kriteerejä yksilöiden luokittelussa HR ja LR ryhmiin. Esimerkiksi Rantilä ym. (2021) sekä Mobley ym. (2018) määrittelivät tutkimuksissaan yksilöt ulomman reisilihaksen eli vastus lateralsen (VL) poikkipinta-alan kasvun mukaan. Rantilän ym. (2021) tutkimuksessa HR:ksi määriteltiin ne yksilöt, joilla VL poikkipinta-ala kasvoi yli 15 %. LR:ksi määriteltiin ne, joilla kasvu oli alle 4,5 %. Mobleyn ym. (2018) tutkimuksessa HR:n keskiarvoinen kasvu oli 0.69 cm ja LR:n 0,11 cm. Ahtiainen ym. (2016) käyttivät

tutkimuksessaan VL poikkipinta-alan lisäksi myös voiman kehittymistä luokitellessa HR:t. HR:ksi määriteltiin ne yksilöt, joiden voima oli kasvanut yli 32,60 % 1 RM testissä.

3 HIGH RESPONDER

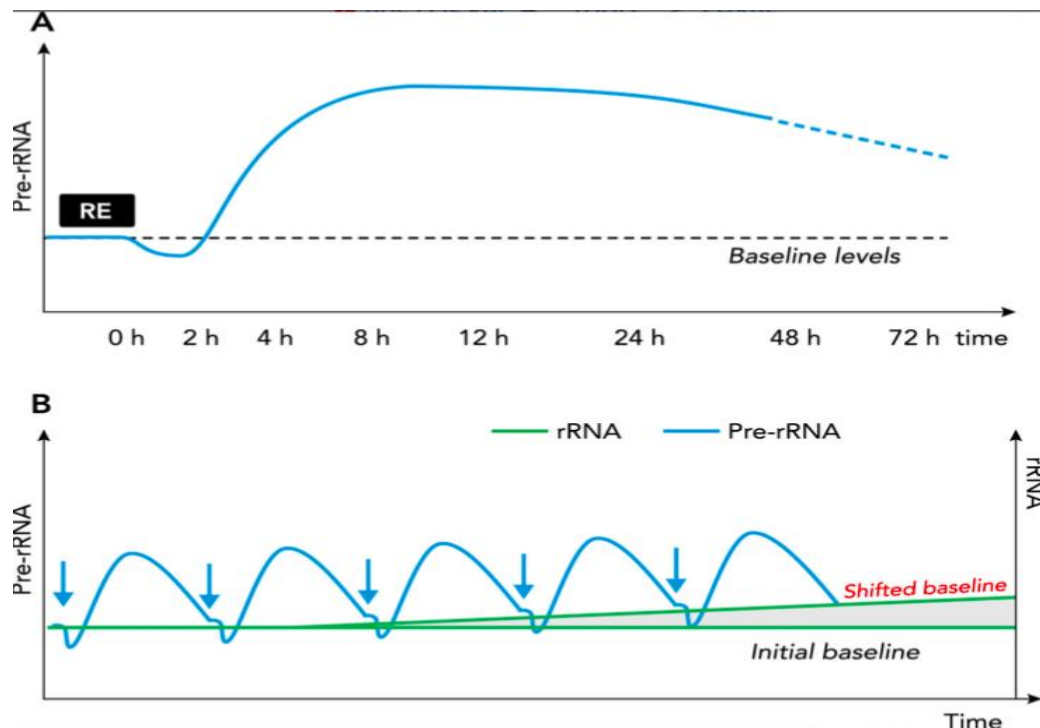
HR:lla voi olla luontainen kyky saada suurempia voimaharjoittelun aikaansaamia vasteita lihaksiin (Mobley ym. 2018). Selittäviä tekijöitä yksilöiden suuremman kehityksen takana voi olla sateliittisolujen suurempi kertyminen lihassoluihin, suuremmat ribosomipitoisuudet, kokonais-RNA:n lisääntyminen, tiettyjen mikro-RNA:iden ilmentyminen sekä sidekudoksen vaikutus lihasmassan kertymiseen (Davidsenin ym. 2011; Figueiredo & McCarthy 2018; Mobley ym. 2018; Petrella ym. 2008).

Sateliittisolut. Sateliittisolut sijaitsevat luurankolihasessa, myofibrillien reunalla ja niillä on keskeinen rooli lihasmassan kasvun edistämässä sekä vaurioituneen lihaskudoksen korjaamisessa (Snijders ym. 2015). Pidemmän aikavälin voimaharjoittelu voi lisätä sateliittisolujen lukumäärää ja niiden kertymistä soluiksi, mikä puolestaan edistää lihaskasvua. Tämä vaikutus voi olla voimakkaampaa HR ryhmään kuuluvilla kuin LR ryhmään kuuluvilla. (Mobley ym. 2018) Esimerkiksi Petrella ym. (2008) havaitsivat sateliittisolujen lukumäärän kasvaneen enemmän HR ryhmällä verrattuna LR ryhmään 16 viikon voimaharjoittelujakson jälkeen. HR ryhmällä havaittiin kaksinkertainen määrä sateliittisoluja verrattuna kohtalaisen vasteen omaavaan (MOD) ryhmään ja kolminkertainen määrä NR ryhmään. Tutkimuksessa kävi myös ilmi, että HR ryhmällä oli enemmän sateliittisoluja per lihassyty jo ennen voimaharjoitusjaksoa. Tutkimukset ovat osoittaneet sateliittisolujen lukumäärän olevan yhteydessä lihaksen fysiologisen poikkipinta-alan kasvuun voimaharjoittelun seurauksena. Havainnot yhdessä todistavat, että sateliittisolujen kertyminen lihassoluihin on osallinen lihasmassan kasvun edistämässä. (Mobley ym. 2018; Snijders ym. 2015)

Ribosomien biogeneesi. Tutkimuksissa on havaittu yksilöllisiä eroja ribosomien biogeneesissä vasteena voimaharjoittelulle (Mobley ym. 2018). Ribosomien biogeneesi eli ribosomien määrän kasvu on monimutkainen prosessi, joka sisältää ribosomaalisen RNA:n ja ribosomaalisten proteiinien synteesin. Ribosomit ovat siis entsyymattinen makromolekyylikone, joka vastaa proteiinisynteesistä. Ribosomien biogeneesi on osoittautunut tärkeäksi lihaksen poikkipinta-alan kasvun ja ylläpidon säätelijäksi muuttamalla solun translaatiokapasiteettiä. (Chaillou ym. 2014; Figueiredo & McCarthy 2018) Tutkiessaan HR ja LR ryhmiä, Mobley ym. (2018) havaitsivat, että HR ryhmän lihasmassan lisääntymisen lisäksi myös ribosomin biogeneesi lisääntyi vasteena voimaharjoittelulle. Mobley ym. (2018) havaitsivat HR:lla merkitsevän +30 %:n muutoksen VL:n paksuudessa sekä 32 %:n muutoksen

lihaksen ribosomipitoisuudessa 12 viikon voimaharjoitusjakson jälkeen. Puolestaan LR:lla VL:n paksuus lisääntyi vain 4 % ja lihaksen ribosomipitoisuus vain 8 %. Tutkimus kuitenkin osoitti, että kokonais-RNA:n muutos selitti vain noin 8 % VL:n poikkipinta-alan muutoksesta, joten ribosomien biogeneesiä ei voida pitää vahvana lihaksen poikkipinta-alan kasvun ennustajana.

On havaittu, että kokonais-RNA:n kasvu saattaa olla vastuussa lihaskasvuun liittyvästä lisääntyneestä proteiinisynteesistä ja ribosomien määrän kasvusta (Figueiredo & McCarthy 2018). Yksittäinen harjoittelu nostaa rRNA:n esiasteen tasoja, mutta se ei ole vielä riittävä määrä lisäämään kypsän rRNA:n määrää merkitsevästi. Kuitenkin usein toteutettu voimaharjoittelu johtaa lopulta kypsien rRNA:iden kertymiseen, mikä johtaa kokonais-RNA:n lisääntyneeseen pitoisuuteen (kuva 2). Tämä voimaharjoitusten jälkeinen translaatiokapasiteetin kasvu korreloi merkitsevästi lihasmassan kasvuun. Kun otetaan huomioon, että voimaharjoittelun jälkeinen rRNA:n kertymisen suuruus on yhdistetty lihaskasvuun, translaatiokapasiteetin pitäisi johtaa korkeampaan proteiinisynteesin nopeuteen. Tutkimukset tarjoavat vakuuttavia todisteita, että translaatiokapasiteetti on määräävä tekijä, joka ohjaa voimaharjoittelun aiheuttamaa luustolihasen kasvua. (Chaillou ym. 2014; Figueiredo & McCarthy 2018; Mann ym. 2014) Kuvassa 2 esitetään translaatiokapasiteetin muutos ja kokonais-RNA:n kertyminen soluihin voimaharjoittelun jälkeen.



KUVA 2. Translaatiokapasiteetin muutos yhden voimaharjoituksen jälkeen (A). Yksi voimaharjoitus lisää merkittävästi ribosomin biogeneesiä neljän tunnin kuluttua harjoittelusta, jatkuen 48 tuntiin asti ilman muutosta translaatiokapasiteetissa. Translaatiokapasiteetin muutos usean voimaharjoituksen jälkeen (B). Useat voimaharjoitukset lisäävät kokonais-RNA:n pitoisuutta, mikä kasvattaa lihasten translaatiokapasiteettia. Sininen viiva kuvastaa rRNA:n esiastetta. Vihreä viiva kuvastaa rRNA:ta. (Figueiredo & McCarthy 2018)

Mikro-RNA:t. Mikro-RNA:iden on todettu säätelevän geenien ilmentymistä (Rivas ym. 2014). Tietyt lihaksen mikro-RNA:t voivat ilmentyä eri tavalla HR:n ja LR:n välillä. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi insuliininkaltaisen kasvutekijän (IGF-1) mRNA-tason säätelyyn ja siten lihaksen kasvuun voimaharjoittelun seurauksena. (Roberts ym. 2018) Esimerkiksi Davidsen ym. (2011) havaitsivat, että tietyt lihaksen mikro-RNA:t voivat muuttua eri tavoin HR:lla ja LR:lla voimaharjoittelujakson aikana. Davidsenin ym. (2011) tutkimuksessa tietyt mikro-RNA:t vähenivät LR:lla, kun HR:lla nämä mikro-RNA:t pysyivät muuttumattomina. Tutkimuksessa havaittiin myös, että IGF-1 mRNA-tasot kasvoivat ainoastaan HR:lla, mikä viittaa siihen, että HR:t saattavat kokea suurempia muutoksia IGF-1 ilmentymisessä, mikä on tärkeä tekijä lihaksen kasvussa (Davidsen ym. 2011). Myös Bammanin ym. (2007) tutkimuksessa havaittiin IGF-1 mRNA-tasojen nousu voimaharjoittelun seurauksena. HR:lla IGF-1 mRNA-tasojen nousu oli suurempaa verrattuna MOD ja NR ryhmiin. Petrella ym. (2008) eivät kuitenkaan havainneet muutosta kasvutekijä IGF-1 määrässä HR:n ja LR:n välillä.

On havaittu myös muita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa HR ryhmän suurempaan lihasmassan kehittymiseen. Mobley ym. (2018) havaitsivat, että intervention alussa HR ryhmän VL oli paksuudeltaan merkitsevästi pienempi verrattuna LR ryhmään kun taas intervention jälkeen HR ryhmän VL paksuus oli suurempi. Suurempi kehitys voi siis selittyä lähtötason VL paksuudella. Edellä mainittu havainto voi myös selittyä HR ryhmän suuremmalla potentiaalilla lihasten plastisuudelle. Lisääntynyt ribosomin biogeneesi sekä soluväliaineen komponentit voivat liittyä tähän ilmiöön, sillä sidekudoksella on suuri vaikutus lihaskudoksen kasvuun. (Mobley ym. 2018)

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia voimaharjoittelun aiheuttamia lihaskoon ja lihasvoiman vasteita harjoittelemattomilla yksilöillä. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, kuuluvatko lihasmassan kasvun HR:t myös voiman kasvun HR ryhmään.

Tutkimuskysymys: Ovatko lihasmassan kasvun HR:t myös voiman kasvun HR:ta?

Hypoteesi ja perustelut: Lihasmassan kasvun HR ei ole HR myös voiman kasvulle, vaikka näyttöä on siitä, että lihaksen poikkipinta-ala korreloi lihasvoiman kanssa (Cormie ym. 2011; Jones ym. 2012; Krzysztofik ym. 2019), ja että lihaksen poikkipinta-ala on suuri määrittävä tekijä voimantuotossa (Jones ym. 2012; Suchomel ym. 2018). Tutkittaessa lihasmassan kasvulle HR:ta, on huomioitavaa, etteivät samoista yksilöistä kaikki ole HR:ta voiman kehitykselle. Erskinen ym. (2010) tutkimuksessa kahdeksasta HR:sta lihasmassan kasvulle, vain kaksi oli HR:ta myös voiman kasvulle. Ahtiainen ym. (2016) havaitsivat saman ilmiön, mutta LR:lla. Myös Mann ym. (2014) yhtyvät tuloksiin, että HR yhdelle harjoitusvasteelle ei välttämättä ole HR toiselle harjoitusvasteelle.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkielma oli osa laajempaa Jyväskylän yliopiston voimaharjoittelututkimusta. Tutkielma toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisessä tiedekunnassa vuoden 2023 kevään-syksyn aikana. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää ovatko lihassmassan kasvun HR:t myös voiman kasvun HR:ta.

5.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat sosiaalisen median sekä sanomalehtien kautta rekrytoituja 18–45-vuotiaita naisia ja miehiä. Poissulkukriteerinä olivat aikaisempi systemaattinen voimaharjoittelutausta (viimeisen 6 kuukauden aikana), ylipaino (BMI yli 35 kg/m²) sekä sairaudet tai lääkitys, jotka voivat vaikuttaa voimaharjoitteluohjelman tekoon tai testaamiseen. Tutkittavat, joiden harjoitukseen osallistuminen oli alle 85 % poistettiin loppuanalyyseistä.

Tutkimukseen ilmoittautuneista 478 täytti kyselylomakkeen, ja heistä 204 aloitti tutkimuksen. Lopputestit tekivät kokonaisuudessaan 174 tutkittavaa, joista 117 oli naisia ja 57 miehiä. Tutkittavien antropometriset tiedot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tutkittavien antropometriset tiedot.

	Ikä (v)	BMI (kg/m ²)	Massa (kg)	Rasvaprosentti (%)
n= 174	36,1 ± 6,4	26,0 ± 4,3	75,8 ± 15,5	29,6 ± 8,6

BMI, painoindeksi.

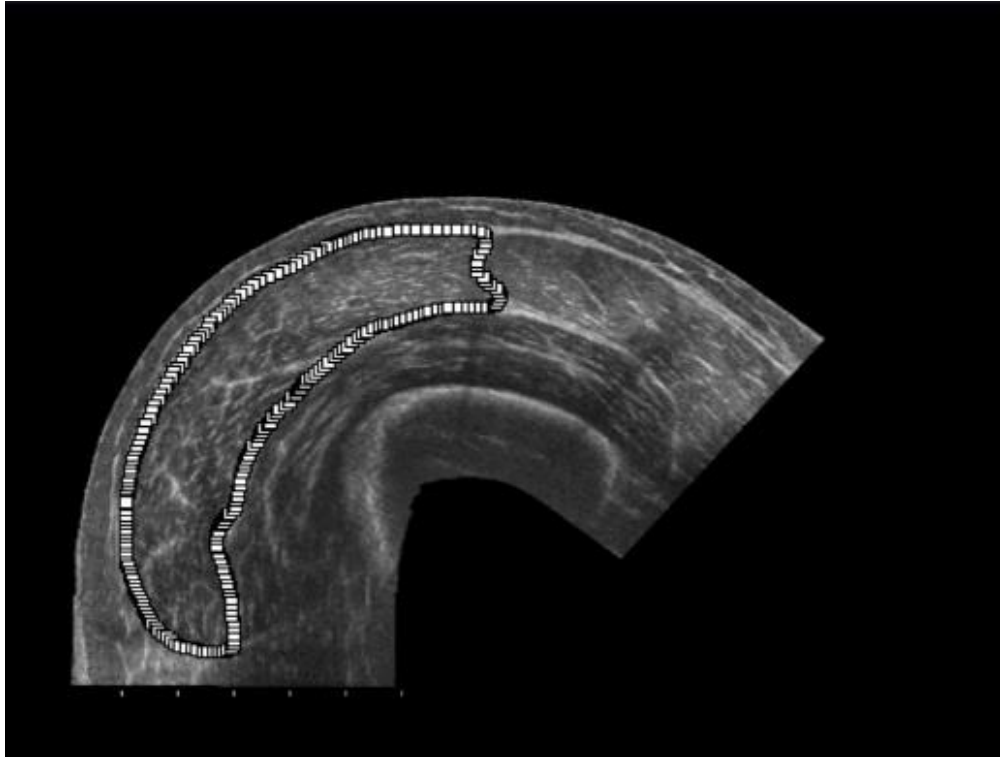
5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu

Tutkittavat suorittivat 12 viikon voimaharjoittelujakson, johon kuului kaksi mittauskertaa: ennen harjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Voimaharjoitteluohjelma sekä testit suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnassa. Tutkimuksessa mitattiin tämän tutkielman muuttujien lisäksi kevennyshyppy kontaktimatolla sekä hallitsevan käden puristusvoima istuma-asennossa käyttäen säädettävää dynamometrituolia. Lisäksi tutkittavilta mitattiin kehonkoostumus Inbody 720 -bioimpedanssilaitteella sekä paastoverinäyte aamulla

klo 7–9.30 välisenä aikana. Kehonkoostumusmittaus sekä paastoverinäytteenotto mitattiin erillisenä kertana voimatestien kanssa.

Voimaharjoitteluohjelma. Voimaharjoittelujakso kesti 12 viikkoa, joka sisälsi yhteensä 23 voimaharjoitusta. Voimaharjoitusohjelma sisälsi kokovartalon voimaliikkeitä, kuten jalkaprässin, polven ojennuksen, penkkipunnerruksen, alataljan sekä hauiskäännön. Yhden lämmittelysarjan lisäksi jokaista liikettä tehtiin kolme sarjaa 2 minuutin tauoilla. Jokaisen liikkeen viimeinen sarja suoritettiin uupumukseen saakka. Liikkeiden tavoitetoistomäärät olivat 8–12 toiston välillä. Harjoituskuormaa lisättiin, jos tutkittavat pystyivät suorittamaan tavoitetoistomäärän määrätyllä painolla. Jos tutkittavat eivät päässeet määrätyllä painolla tavoitetoistomäärään, harjoituskuormaa laskettiin. Kaikki voimaharjoitukset suoritettiin valvonnan alla. Voimaharjoittelu tutkimuksen ulkopuolella oli kielletty.

Lihaksen poikkipinta-alan mittaus. Tutkittavien oikean jalan ulomman reisilihaksen (vastus lateralis) poikkipinta-alaa (CSA) mitattiin ultraäänellä (SSD- α 10, Aloka, Tokio, Japani), jossa oli 13 MHz:n lineaarinen anturi (pituus 60 mm) laajennetun näkökentän tilassa. Ennen mittauksia tutkittavien reiden luurankoliuksen pituus mitattiin. Ultraäänikuvat otettiin reisiluun puolesta välistä (40 % lateraalisen epikondyylin ja anteriorisen ylemmän suoliluun harjanteen välisestä etäisyydestä) merkatun kohdan permanenttitussilla, jotta sama ultraäänikohta pystyttäisiin tunnistamaan loppumittauksissa. Jokaiselta tutkittavalta otettiin kolme poikittaissuuntaista ultraäänikuvaa. Ultraäänikuvat analysoitiin ImageJ:n (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, Yhdysvallat) ohjelmalla. Kuvassa 3 näkyy ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan ultraäänikuva.



KUVA 3. Ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan ultraäänikuva.

Lämmittely. Ennen alku- ja loppumittauksia, tutkittavat suorittivat saman alkulämmittelyn. Lämmittely alkoi kolmen minuutin kuntopyöräilyllä. Kuntopyöräilyä seurasi 10 kehonpainokyykkyä, viisi askelkyykkyä per jalka, viisi mittarimatoa (eteentaivutus, josta tutkittavat siirtyvät punnerrusasentoon ja takaisin) ja viisi polven halausta päkiän varaan nousten.

Voimatestausta jalkaprässissä. Polvi- ja lonkkanivelen ojentajien maksimivoima testattiin horisontaalisessa jalkaprässissä (DAVID 210 jalkaprässi, Helsinki, Suomi). Tutkittavat istuivat jalkaprässilaitteessa selkä kiinni selkänojassa pitäen kiinni kahvoista. Selkätukea säädettiin jokaiselle tutkittavalle niin, että polvikulma olisi mahdollisimman lähelle 65° . Polvikulma mitattiin goniometrillä. Ennen 1 RM yrityksiä tutkittavat tekivät kaksi lämmittelysarjaa, ensin 10 toistoa 40–60 % arvioidusta 1 RM:stä, seuraavaksi viisi toistoa 60–80 % arvioidusta 1 RM:stä. Lämmittelysarjojen välissä pidettiin minuutin tauko. Lämmittelysarjojen jälkeen tutkittavat suorittivat 1 RM yrityksiä. Tutkittavalle ohjeistettiin 1 RM testaus ennen yrityksiä. Tutkija auttoi ennen varsinaista suoritusta jalkojen ojennuksessa vetämällä jalkatuesta. Varsinainen suoritus alkoi tutkittavan antamasta äänimerkistä tutkittavan polvien ollessa ojennettuna. Tutkittava palautti jalat koukkuun rauhallisesti omaan tahtiin. Kuorman pysähtyessä ala-asentoon, tutkija antoi äänimerkein, jolloin tutkittava sai lähteä yrittämään

jalkojen ojennusta. Suoritus hylättiin, jos tutkittava ei pystynyt ojentamaan jalkojaan kuorman kanssa tai jos tutkittava lähti suorittamaan yritystä ennen tutkijan antamaa äänimerkkiä. 1 RM yritysten välissä pidettiin kolmen minuutin tauko. Onnistuneen suorituksen jälkeen kuormaa lisättiin epäonnistumiseen saakka tutkijan arvioinnin mukaan. Tulos määriteltiin 2,5 kg tarkkuudella. 1 RM pyrittiin selvittämään 4–5 yrityksen aikana, tarvittaessa yrityksiä suoritettiin enemmän. Tutkija kannusti tutkittavaa jokaisella yrityksellä. Kuvassa 4 jalkaprässin yhden toiston maksimin suoritus.



KUVA 4. Jalkaprässin yhden toiston maksimin suoritus.

5.3 Tilastolliset menetelmät

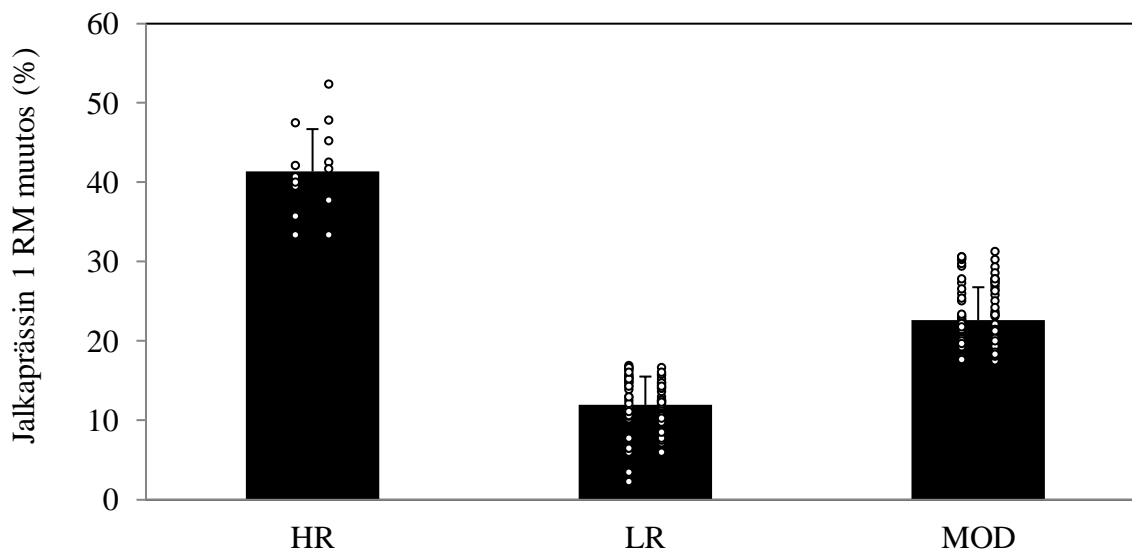
Tulokset käsiteltiin SPSS Statistics 28.0.1.1 (IBM Corporation, Armonk, NY, Yhdysvallat) ja Microsoft Excel versio 16.81 taulukkolaskentaohjelmalla (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Yhdysvallat). Koko tutkimuksen suorittaneiden $n=174$ joukosta poistettiin vielä seitsemän tutkittavaa ennen lopullisia analyyseja epäonnistuneiden ultraäänikuvien, ponnistuspäänsärkyjen, jalkavaivojen ja runsaan painonlaskun takia. Yksi tutkittava jätettiin pois loppuanalyyseistä, sillä tutkittava suoritti jalkaprässin yhden toiston maksimin yhdellä jalalla. K-keskiarvojen klusterianalyysi suoritettiin koko tutkimusjoukolle $n=167$. Koko tutkimusjoukon muuttujien normaalijakaumat testattiin Kolmogorov-Smirnov testillä, sillä tutkittavia oli yli 50. HR ryhmien normaalijakaumat testattiin Shapiro-Wilkin testillä, sillä heitä oli alle 50 tutkittavaa. Tutkielmassa HR:t saatiin K-keskiarvojen klusteroinnilla. K-keskiarvojen klusterianalyysia käytettiin jakamaan tutkittavat kolmeen eri klusteriin

jalkaprässin 1 RM:n sekä VL:n poikkipinta-alan muutosten perusteella. Klusterit nimitettiin HR:ksi, LR:ksi ja MOD:ksi. Yksittäisessä testissä muuttujien ollessa normaalisti jakautuneita, keskiarvojen eroja jalkaprässin 1 RM:ssä ja VL:n poikkipinta-alan muutoksessa klusterien välillä analysoitiin yksisuuntaisella ANOVA:lla. Lihaksen poikkipinta-alan sekä jalkaprässin 1 RM muutoksien eroja klusterien välillä testattiin normaalisti jakautuneilla muuttujilla riippumattomien otosten t-testillä. Todennäköisyys sille, että samat tutkittavat olivat sekä lihasmassan kasvun HR:ta että voiman kasvun HR:ta selvitetiin binomitodennäköisyysjakaumalla. Kaikkien tilastollisten testien merkitsevyys määriteltiin $p < 0,05$ kohdalle.

6 TULOKSET

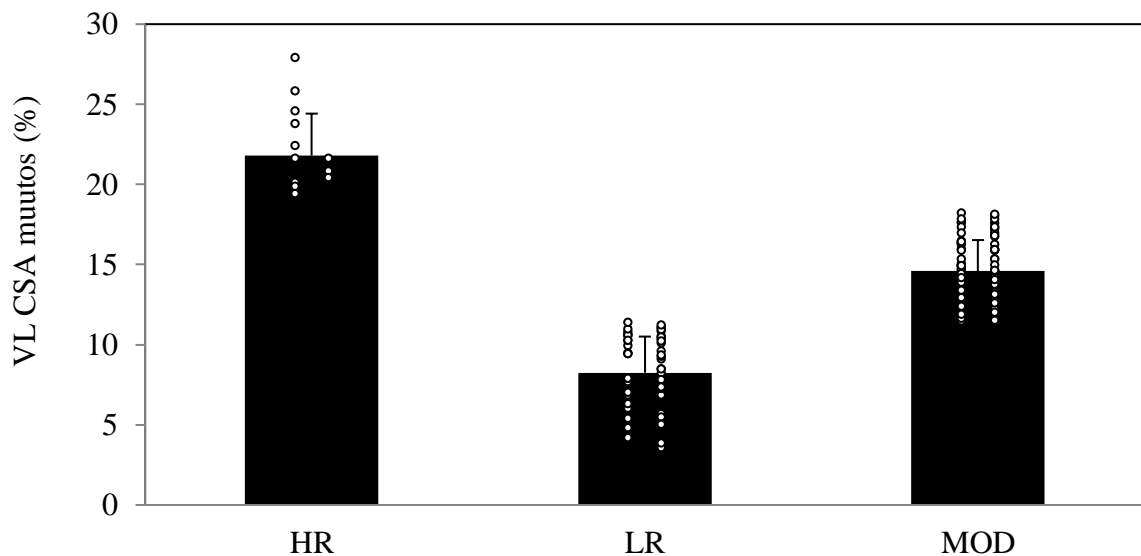
Tuloksissa tarkastellaan jalkaprässin yhden toiston maksimin (1 RM) ja ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan (VL CSA) muutoksia 12 viikon voimaharjoittelujakson jälkeen. Tuloksia tarkastellaan koko tutkimusjoukosta klusterianalyysillä jaettujen ryhmien (HR, LR, MOD) välillä. Lisäksi lihaksen poikkipinta-alan HR ryhmästä otettuja 14:ää eniten kehittynettä tutkittavaa vertaillaan jalkaprässin 1 RM HR ryhmän 14:ään eniten kehittyneeseen tutkittavaan, ja tarkastellaan, onko molemmissa HR ryhmissä samoja yksilöitä.

Kuvassa 5 on esitetty jalkaprässin yhden toiston maksimin (1 RM) tulokset ryhmien välillä. Kaikkien ryhmien keskinäisessä vertailussa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja jalkaprässin yhden toiston maksimissa. Ryhmien HR ja LR välillä havaittiin HR ryhmän suurempi keskimääräinen kehitys jalkaprässin yhden toiston maksimissa verrattuna LR ryhmään (41,38 % vs. 11,96 %, $p < 0,01$). HR ja MOD ryhmien välillä keskimääräinen muutos oli myös suurempaa HR ryhmällä (41,38 % vs. 22,64 %, $p < 0,01$). MOD ja LR ryhmien välillä MOD ryhmällä muutos oli keskimääräisesti suurempaa (22,64 % vs. 11,96 %, $p < 0,01$).



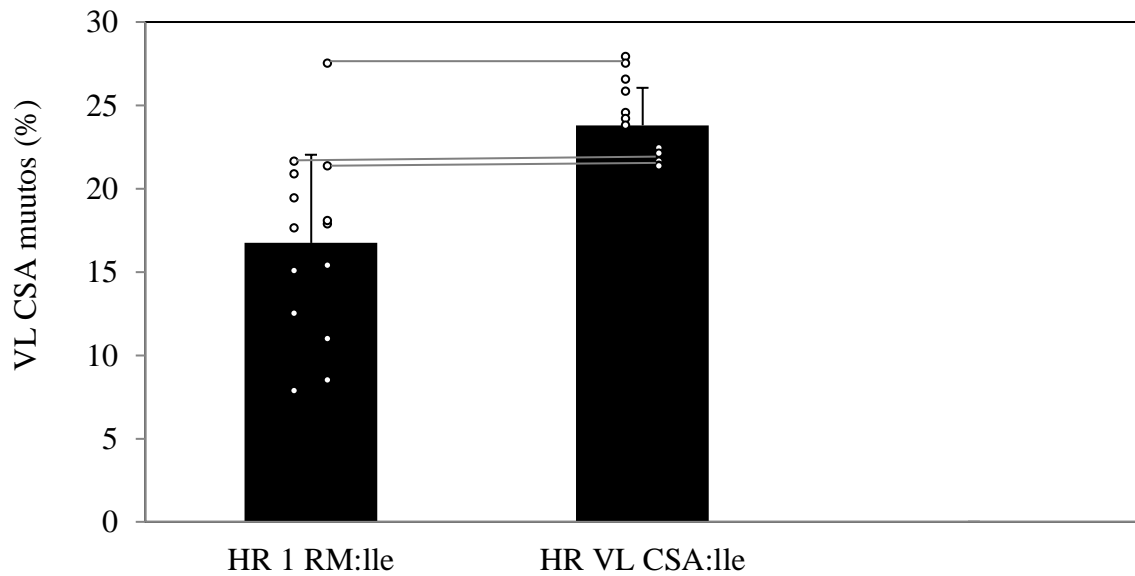
KUVA 5. Jalkaprässin yhden toiston maksimin (1 RM) muutokset. HR= high responder, LR= low responder, MOD= moderate responder. Pisteet kuvaavat jokaisen tutkittavan tulosta kyseiselle muuttujalle. Ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevät erot.

Kuvassa 6 on esitetty ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan (VL CSA) tulokset ryhmien välillä. Kaikkien ryhmien keskinäisessä vertailussa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja ulomman reisilihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa. HR ja LR ryhmien välillä HR ryhmä osoitti suurempaa muutosta lihaksen poikkipinta-alassa (21,80 % vs. 8,25 %, $p < 0,01$). HR ryhmän lihaksen poikkipinta-alan kehitys oli myös suurempaa verrattuna MOD ryhmään (21,80 % vs. 14,59 %, $p < 0,01$). MOD ja LR ryhmien välillä MOD ryhmä osoitti suurempaa kehitystä lihaksen poikkipinta-alassa (14,59 % vs. 8,25 %, $p < 0,01$).



KUVA 6. Ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan (VL CSA) muutokset ryhmien välillä. HR= high responder, LR= low responder, MOD= moderate responder. Pisteet kuvaavat jokaisen tutkittavan tulosta kyseiselle muuttujalle. Ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevät erot.

Kuvassa 7 on esitetty kahden eri HR ryhmän tulokset ulomman reisilihaksen anatomiselle poikkipinta-alalle (VL CSA). Molemmista HR ryhmistä vain kolme samaa tutkittavaa osoitti olevansa HR:ta jalkaprässin 1 RM:n sekä VL CSA:n muutokselle. Todennäköisyysarvoksi sille, että kolme samaa tutkittavaa kuuluvat molempiin HR ryhmiin on $p=0,098$. Tulos osoittaa merkitsevyyssarvon sille, ettei HR ryhmien välisillä tutkittavilla ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä toisiinsa.



KUVA 7. Ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan (VL CSA) muutokset HR ryhmien välillä. Viivat yhdistävät niiden tutkittavien tuloksia, jotka kuuluvat molempiin HR ryhmiin (jalkaprässin 1 RM muutokselle sekä VL CSA:n muutokselle). HR 1 RM:lle= yksilöt, jotka kuuluvat jalkaprässin 1 RM:n high responder ryhmään. HR VL CSA:lle= yksilöt, jotka kuuluvat VL CSA:n high responder ryhmään. Pisteet kuvaavat jokaisen tutkittavan tulosta kyseiselle muuttujalle.

7 POHDINTA

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää ovatko lihasmassan kasvun HR:t myös voiman kasvun HR:ta. Lopullisessa analyysissä olleet tutkittavat $n=167$ jaettiin kolmeen eri ryhmään (HR, LR, MOD) jalkaprässin yhden toiston maksimin ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan muutoksen perusteella. Tässä tutkielmassa keskityttiin tutkimaan kahta HR ryhmää ja selvittämään, ovatko samat tutkittavat HR:ta molemmille muuttujille (jalkaprässin 1 RM muutokselle ja VL CSA:n muutokselle). Tuloksista kävi ilmi, että yhteensä 28 HR:sta vain kolme tutkittavaa kuului molempiin HR ryhmiin. Tulos osoitti, ettei HR ryhmien välisillä tutkittavilla ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä toisiinsa ($p=0,098$).

7.1 Lihasmassan kasvun high responderien yhteys voiman kasvun high respondereihin

Asetetun hypoteesin mukaan kaikki lihasmassan kasvun HR:t eivät olleet myös voiman kasvun HR:ta. Tuloksissa havaittiin vain kolmen tutkittavan kuuluvan molempiin HR ryhmiin. Samanlaisia tuloksia on osoitettu muun muassa Erskisen ym. (2010) tutkimuksessa, jossa kahdeksasta HR ryhmään kuuluvasta lihasmassan kasvulle vain kaksi kuului myös voiman kasvun HR ryhmään. Ahtiainen ym. (2016) tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia, mutta LR ryhmälle, jossa vain 2 % tutkittavista kuului molempiin LR ryhmään, lihasmassan kasvulle ja voiman kasvulle. Myös Mann ym. (2014) viittaavat tutkimuksessaan samanlaisiin tuloksiin, HR yhdelle harjoitusvasteelle ei välttämättä ole HR toiselle harjoitusvasteelle.

Useat tutkimukset ovat osoittaneet lihaksen poikkipinta-alan korreloivan lihasvoiman kanssa (Cormie ym. 2011; Krzysztofik ym. 2019) ja sen olevan suuri määrittävä tekijä voimantuotossa (Suchomel ym. 2018). On kuitenkin tehty voimaharjoitteluun suunnattuja tutkimuksia, missä ei ole havaittu lihaksen poikkipinta-alan selittävän voiman kasvua yksilöillä tai on todettu niiden välisen yhteyden olevan heikko. Tulokset kertovat enemmänkin yksilöiden eroista voimaharjoittelun aikaansaamaan vasteeseen. (Ahtiainen ym. 2016; Erskine ym. 2010; Jones ym. 2012) Samoja yksilöllisiä eroja osoitti myös tämän tutkielman tulokset: yhteensä 28 HR:sta vain kolme tutkittavaa osoittautui olevan HR sekä lihasmassan kasvulle että voiman kasvulle. On mahdollista, että ne jotka eivät ole kasvattaneet lihaksen poikkipinta-alaa samassa suhteessa lihasvoiman kanssa, ovat parantaneet kykyä välittää voimaa sivusuunnassa jänteeseen, joka johtaa suurempaan voimaan kuin poikkipinta-alan kasvuun. Vastaavasti toisilla yksilöillä

aktiinin ja myosiinin määrä on saattanut lisääntyä enemmän voimaharjoittelun seurauksena, mikä on johtanut lihaksen poikkipinta-alan suhteelliseen kasvuun. (Erskine ym. 2010) Toisaalta kyse voi olla myös ensisijaisesti sarkoplasmisesta lihaskasvusta eli lihassolujen soluliman laajenemisesta voimaharjoittelun seurauksena. Sarkoplasmisessa lihaskasvussa on kyse soluliman kasvusta eikä supistuvien proteiinien, mikä ei saa aikaan yhtä suurta voiman kasvu. Sarkoplasmisen lihaskasvun on oikeastaan todettu vähentävän lihastyöhön osallistuvien supistuvien proteiinien, kuten aktiinin sekä myosiinin pitoisuuksia. (Haun ym. 2019b) Haun ym. (2019b) havaitsivat tutkittavilla sarkoplasmista lihaskasvu kuuden viikon voimaharjoittelujakson jälkeen. Tosin voimaharjoitteluohjelman volyyymi oli korkeampi sekä tutkittavat olivat aiemmin voimaharjoitelleita verrattuna tämän tutkielman tutkittaviin, joten suoria johtopäätöksiä ei voida tehdä. Todettakoon niin kuin Ahtiainen ym. (2016), Erskinen ym. (2010) ja Jones ym. (2012) tutkimuksissaan totesivat, niin tämänkin tutkielman tulokset lihaksen poikkipinta-alan ja voiman yhteydestä osoittivat yksilöllisen vaihtelun näihin muuttujiin. Ne yksilöt, jotka osoittivat poikkeuksellisen suurta vastetta lihaksen poikkipinta-alan kasvuun, eivät osoittaneet poikkeuksellisen suurta vastetta voiman kasvuun ja toisin päin.

Lihassolutyyppin on todettu vaikuttavan voiman kasvuun. Tyypin II lihassolut pystyvät tuottamaan suuremman voiman verrattuna tyypin I lihassoluihin johtuen niiden suuremmasta kapasiteetista tuottaa tehoa poikkipinta-alaansa nähden. (Cormie ym. 2011; Gilliver ym. 2009) Tästä näyttöä on antanut Maughan ym. (1983) tutkimuksessaan. Lihassolutyyppin vaihtelu voi siis osittain selittää joidenkin yksilöiden parempaa voiman kehittymistä myös tässä tutkielmassa. Ne yksilöt, jotka omaavat enemmän tyypin II lihassoluja, ovat voineet kehittyä nopeammin erityisesti jalkaprässin 1 RM:ssä, verrattuna niihin yksilöihin, jotka omaavat enemmän tyypin I lihassoluja. Maughanin ym. (1983) tutkimus antoi myös viitteitä siihen, että tyypin I ja tyypin II lihassoluilla ei ole merkitsevää yhteyttä lihaksen poikkipinta-alaan. Tämä selittäisi sitä, miksi tässä tutkielmassa jotkin yksilöt pystyivät kehittämään voimaansa jalkaprässin 1 RM:ssä poikkeuksellisen paljon, mutta eivät lihaksen poikkipinta-alaansa.

Lihaksen rakenne ja koko selittävät noin 50–70 % lihaksen supistusvoiman vaihtelusta, minkä vuoksi hermolihasjärjestelmän vaikutusta voimantuottokykyyn on tutkittu paljon (Gilliver ym. 2009). Lihasvoiman kasvu voi johtua suurelta osin hermoston sopeutumisesta voimaharjoitteluun ensimmäisten harjoituskuukausien aikana (Ahtiainen ym. 2016). Eri tutkimuksissa on osoitettu voimaharjoittelun aiheuttamaa EMG (elektromyografia) aktiivisuuden lisääntymistä vastus lateraliksessa ja / tai vastus medialiksessa tutkittavilla

(Holviala ym. 2014; Mikkola ym. 2012; Walker ym. 2014). Ne, jotka kuuluivat voiman kasvun HR ryhmään, mutta ei lihasmassan kasvun HR ryhmään, ovat voineet siis kasvattaa lihasvoimaansa enemmän hermostollisilla tekijöillä, kuten lisäämällä lihasten sähköistä aktiivisuutta tai motoristen yksiköiden nopeammalla rekrytoimisella verrattuna niihin, joilla lihaksen poikkipinta-ala kasvoi enemmän. Ahtiaisen ym. (2016) tutkimus osoitti, että tämä on mahdollista, sillä osa lihaksen poikkipinta-alan kasvun LR ryhmästä kuului HR ryhmään lihasvoiman kasvulle, mikä osoittaa poikkeuksellisen suuren hermostollisen sopeutumisen voimaharjoitteluun.

Biologiset tekijät voivat vaikuttaa voimaharjoittelun aikaansaamiin vasteisiin lihaksissa. Erityisesti HR:lla uskotaan olevan ”luontainen” kyky saada suurempia vasteita aikaan verrattuna LR:hin. (Moblely ym. 2018) Näitä ”luontaisia” kykyjä ovat biologiset tekijät, kuten sateliittisolut. Sateliittisoluilla on keskinäinen rooli lihasmassan kasvun edistämässä sekä vaurioituneen lihaskudoksen korjaamisessa (Snijders ym. 2015). On mahdollista, että lihasmassan kasvun HR:lla kertyy enemmän sateliittisoluja lihakseen, mikä mahdollistaa suuremman lihaskasvun verrattuna LR tai MOD ryhmiin. Tätä väitettä tukee Petrellan ym. (2008) sekä Snijdersin ym. (2015) tutkimukset. Moblely ym. (2018) eivät puolestaan havainneet sateliittisolujen kertymisen olevan yhteydessä VL:n paksuuteen. Toisaalta Petrella ym. (2008) havaitsivat runsasta sateliittisolujen kertymistä ainoastaan nuorilla miehillä eikä vanhemmilla miehillä tai naisilla. Snijders ym. (2015) antavat kuitenkin vahvaa näyttöä siitä, että ihmistutkimuksista saadut havainnot viittaavat sateliittisolujen keskeiseen rooliin lihaskuitujen korjaamisessa sekä uudelleenmuodostumisessa vasteena voimaharjoittelulle.

Toinen biologinen tekijä, joka voi vaikuttaa yksilöllisiin eroihin, on ribosomien biogeneesin tehokkuus. Ribosomien biogeneesi on päätekijä proteiinisynteesin eli proteiinien valmistamisen ja solujen kasvun lisäämisessä (Chaillou ym. 2014). Ribosomien biogeneesissä on havaittu olevan eroja etenkin HR ja LR ryhmien välillä. Mobleyn ym. (2018) tutkimuksessa HR:n ribosomien biogeneesin tehokkuus lisääntyi merkittävästi yhdessä lihasmassan kanssa vasteena voimaharjoittelulle. Mobleyn ym. (2018) tutkimustulokset voivat mahdollisesti myös viitata tämän tutkielman tuloksiin. Lihasmassan kasvun HR:lla ribosomipitoisuus on voinut kasvaa suurissa määrin voimaharjoittelun seurauksena, mikä on johtanut myös suurempaan VL:n poikkipinta-alan kasvuun. Puolestaan LR:lla ribosomipitoisuuden kasvu on voinut jäädä alhaisemmaksi niin kuin VL:n poikkipinta-alan kasvu. Mobleyn ym. (2018) tutkimuksessa kokonais-RNA:n muutos selitti kuitenkin vain noin 8 % VL:n poikkipinta-alan muutoksesta,

joten ribosomien biogeneesiä ei voida pitää vahvana lihaksen poikkipinta-alan kasvun ennustajana.

Aiemmissa tutkimuksissa on ilmennyt eroja lihaksen mikro-RNA:ssa HR ja LR ryhmien välillä. Mikro-RNA:t voivat vaikuttaa IGF-1 mRNA-tason säätelyyn ja siten lihaksen kasvuun voimaharjoittelun seurauksena (Roberts ym. 2018). Tästä ristiriitaisia tuloksia ovat antaneet muun muassa Davidsenin ym. (2011) ja Petrellan ym. (2008) tutkimukset. Davidsenin ym. (2011) tutkimustulosten perusteella HR:lla IGF-1 mRNA-tasot voi nousta lihasmassan kasvun yhteydessä, mikä tehostaa entisestään anabolista signalointia. Myös Bammanin ym. (2007) tutkimus tukee tätä väitettä. Petrella ym. (2008) eivät kuitenkaan havainneet vastaavaa tulosta tutkimuksessaan. Todettakoon, että tutkimusnäytön puolesta on siis vielä epäselvää, onko tietyillä mikro-RNA:lla vaikutusta lihaksen kasvuun tai ilmenevätkö ne eri tavalla yksilöiden välillä. Potentiaalisesti mikro-RNA:t ovat voineet vaikuttaa lihasmassan kasvun HR ryhmän yksilöiden parempaan kehittymiseen verrattuna voiman kasvun HR ryhmän yksilöihin.

Se, millä perusteella tutkittavat jaetaan ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan ja jalkaprässin yhden toiston maksimin HR, LR ja MOD ryhmiin perustuu kasvun muutokselle voimaharjoittelujakson jälkeen. Mobley ym. (2018) havaitsivat, että intervention alussa HR ryhmään kuuluvien VL oli paksuudeltaan merkitsevästi pienempi verrattuna LR ryhmään, kun taas intervention jälkeen HR:n VL paksuus oli suurempi. On siis mahdollista, että tässä tutkimuksessa lihasmassan kasvun HR ryhmään kuuluvien VL:n poikkipinta-ala oli keskimääräisesti LR ryhmään kuuluvien VL:n poikkipinta-alaa pienempi tai vaihtoehtoisesti jalkaprässin 1 RM HR ryhmään kuuluvia pienempi. Tämä voisi selittää, miten osa yksilöistä osoitti suurta kehitystä VL:n poikkipinta-alassa, mutta ei jalkaprässin 1 RM:ssä. Tämä selitys puoltaa myös osaltansa tutkielman tuloksia, missä vain kolme tutkittavaa lihasmassan kasvun HR ryhmästä oli myös voiman kasvun HR:ta. Toki lihasmassan kasvun HR:n suurempi kehitys voi selittyä myös niiden suuremmalla potentiaalilla lihasten plastisuudelle, jolla on suuri vaikutus lihaskudoksen kasvuun (Mobley ym. 2018).

Ravitsemuksella on merkittävä rooli yksilön lihasmassan kasvuun ja lihaksen sopeutumisessa voimaharjoittelulle. Etenkin runsasproteiinisella ruokavaliolla voidaan optimoida lihasmassan kasvu voimaharjoittelujaksolla, mikä voi vaikuttaa yksilöiden eroihin lihasmassan kasvussa. (Ahtiainen ym. 2016; Roberts ym. 2018) Vaikka ravitsemuksen vaikutusta ei voida kokonaan sulkea pois tämän tutkielman tuloksista, sillä on todennäköisesti vain vähäinen merkitys

lihasvoiman ja lihaskoon perusteella jaotelluissa HR, LR ja MOD ryhmissä tai HR ryhmien välisten yksilöiden vertailussa.

Ei voida varmuudella sanoa syitä siihen, miksi vain kolme tutkittavaa kuului molempiin, lihasmassan kasvun ja voiman kasvun HR ryhmiin, sillä mahdollisia potentiaalisia tekijöitä ei ole mitattu tässä tutkimuksessa tutkittavilta. Hermolihasjärjestelmän toiminta sekä lihassolutyypit ovat tekijöitä, jotka voivat selittää, miksi osa tutkittavista kuuluivat voiman kasvun HR ryhmään, mutta eivät lihasmassan kasvun HR ryhmään. Toisaalta biologiset tekijät, kuten sateliittisolujen runsaampi määrä, ribosomien biogeneesin tehokkuus sekä tiettyjen mikro-RNA:iden ilmeneminen saattavat selittää miksi osa yksilöistä kuuluu lihasmassan kasvun HR ryhmään, mutta ei puolestaan voiman kasvun HR ryhmään. Lisäksi on muita muuttujia, jotka voivat selittää vaihtelua, näitä ovat alkutestien alempi lähtötaso sekä ravitsemus. Jotta voitaisiin varmuudella sanoa, mitkä tekijät tutkittavien taustalla ovat vaikuttaneet tämän tutkielman tuloksiin, yksityiskohtaisempia mittausten menetelmiä olisi kaivattu. Tämän tutkielman tulokset kuitenkin osoittivat, että yksilöt, jotka osoittavat poikkeuksellisen suuria muutoksia lihaksen poikkipinta-alan kasvulle eivät osoita poikkeuksellisen suuria muutoksia voiman kasvulle.

7.2 Virhelähteet

Fysiologiset muuttujat, jotka liittyvät yksilöiden väliseen vaihteluun lihasmassan kasvussa ja voiman kasvussa voimaharjoittelun seurauksena ovat hyvin monimutkaisia ilmiöitä ja vaikeita tutkia. Tässä tutkimuksessa ei mitattu tutkittavilta lihaksen rakenteellisia muutoksia, hermostollisia muuttujia tai biologisia tekijöitä, joilla on voinut olla vaikutusta yksilöiden välisiin eroihin. Tässä tutkielmassa tuloksia pohdittiin vain, mitkä potentiaaliset tekijät voisivat selittää tutkielmassa saatuja tuloksia.

Tutkittavilta mitattiin jalkaprässin 1 RM sekä VL poikkipinta-ala, joiden kehityksen perusteella tutkittavat jaettiin kolmeen eri klusteriin. Jalkaprässin suorittamiseen vaaditaan koko nelipäisen reisilihaksen työtä eli vastus lateralista, vastus medialista, vastus intermediusta sekä rectus femorista. Lisäksi pakaralihakset, etenkin gluteus maximus tekee lihastyötä toiston aikana (Sjöberg ym. 2021). Tässä tutkielmassa mitattiin ainoastaan VL poikkipinta-ala jalkaprässin 1 RM yhteydessä, joten muiden maksimivoimaan vaikuttavien lihaksien poikkipinta-ala tai sen

muutos ei ole tiedossa, jotka ovat mahdollisesti vaikuttanut tutkielmassa saatuihin tuloksiin. Tutkielman tuloksia analysoitaessa ei otettu myöskään huomioon lihaksen päivittäistä koon vaihtelua. Lihaskoko voi vaihdella päivän mukaan kerryttäen nestettä lihakseen johtuen päivittäisestä fyysisestä aktiivisuudesta tai ravitsemuksen tilasta (Ahtiainen ym. 2016).

Täytyy ottaa myös huomioon, että tutkimuksessa käytetty voimaharjoitteluohjelma ei ole välttämättä sopinut jokaiselle yksilölle. Jotta lihasmassan kasvu ja voiman kasvu saataisiin toteutettua, on luotava lihaksille mekaanista jännitystä, elimistölle aineenvaihdunnallinen stressi sekä vaurioittaa lihaskudosta (Krzysztofik ym. 2019). On mahdollista, että joku näistä tekijöistä ei ole toteutunut kaikille yksilöille tai muuten voimaharjoitusohjelma ei ole ollut optimaalinen lihasmassan kasvulle tai voiman kasvulle. Jotta optimaalinen harjoittelumuoto saataisiin toteutettua, jokaiselle pitäisi tehdä yksilöllinen harjoitteluohjelma palvelen yksilön tarpeita.

On myös tutkittavasta riippuvia tekijöitä, jotka ovat voineet vaikuttaa tutkimustuloksiin. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään räsitystä mittauksia edeltävänä päivänä, mutta tutkittavien välillä on voinut esiintyä eroja psyykkisessä ja fyysisessä vireystilassa. Tutkimukseen haettiin tutkittavia, jolla ei ole ollut systemaattista voimaharjoittelutaustaa viimeisen 6 kk aikana, mutta ei voida olla varmoja, ovatko tutkittavat harrastaneet voimaharjoittelua viimeisen 6 kk aikana.

Tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät ovat voineet vaikuttaa tutkimustuloksiin. Ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaa mitattiin ultraäänellä. Vaikka sama tutkija suoritti alku- ja loppumittauksissa reiden kuvantamisen mittausvirheiden vähentämiseksi, on todennäköistä, että oppimista on tapahtunut mittauksien yhteydessä. Oppimisen merkitys korostuu etenkin anturin kohdistamassa paineessa ihoa vasten, joka voi aiheuttaa huomattavia vaihteluita lihaskokoon. Tästä huolimatta tässä tutkielmassa käytetty ultraäänimenetelmä on kuitenkin havaittu luotettavaksi menetelmäksi muissa tutkimuksissa (esim. Ahtiainen ym. 2010).

7.3 Yhteenveto

Tämän tutkielman tulokset osoittavat, että voimaharjoittelun aiheuttama lihaskoon ja lihasvoiman vaste vaihtelee huomattavasti harjoittelemattomilla yksilöillä. Niin kuin tutkielman hypoteesi antoi olettaa, vain kolme tutkittavaa jotka kuuluivat HR ryhmään lihaksen

poikkipinta-alan muutoksessa, kuuluivat myös HR ryhmään jalkaprässin yhden toiston maksimissa. Lihaskoon ja voiman vaihtelua voivat selittää lihaksen rakenteelliset ominaisuudet, kuten lihassolutyypin ja lihaksen poikkipinta-ala sekä hermolihasjärjestelmän toiminta (Cormie ym. 2011; Jones ym. 2012). Erityisesti vaihtelua HR, LR ja MOD ryhmien välillä selittävät biologiset tekijät, joista on aiempaa tutkittua näyttöä. Näyttäisi sille, että HR ryhmään kuuluvilla yksilöillä sateliittisolujen runsaampi määrä, ribosomien biogeneesin tehokkuus, tiettyjen mikro-RNA:n ilmeneminen ja lihasten plastisuus saattavat selittää parempaa kehitystä sekä lihaskoossa että lihasvoimassa (Davidsenin ym. 2011; Figueiredo & McCarthy 2018; Mobley ym. 2018; Petrella ym. 2008). Täytyy kuitenkin muistaa, että alkutestien lähtötasolla sekä ravitsemuksella on aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan vaikutus tutkimustuloksiin, joilla on vastaavasti saattanut olla myös vaikutus tässä tutkielmassa esiintyviin tuloksiin (Ahtiainen ym. 2016; Mobley ym. 2018; Roberts ym. 2018). Lopuksi todettakoon, että HR:n määrittely riippuu mitattavasta muuttujasta. Ei siis välttämättä ole olemassa pelkästään voimaharjoittelun HR:ta vaan tietyn muuttujan HR:ta. Tässä tutkielmassa jaetut HR:t ovat siis joko lihasmassan kasvun HR:ta tai vaihtoehtoisesti voiman kasvun HR:ta, ei kokonaisuudessaan voimaharjoittelun HR:ta

KIITOKSET

Haluan kiittää Pekka Matomäkeä hänen antamistaan neuvoista tämän tutkielman tulosten tulkinnasta sekä tutkielman tulosten mahdollistamisesta.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjaer-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.
- Ahtiainen, J. P., Walker, S., Peltonen, H., Holviala, J., Sillanpää, E., Karavirta, L., Sallinen, J., Mikkola, J., Valkeinen, H., Mero, A., Hulmi, J. J. & Häkkinen, K. (2016). Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age* 38 (1), 10. doi: 10.1007/s11357-015-9870-1.
- Ahtiainen, J. P., Hoffren, M., Hulmi, J. J., Pietikäinen, M., Mero, A. A., Avela, J. & Häkkinen, K. (2010). Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. *Eur J Appl Physiol* 108 (2), 273-279. doi: 10.1007/s00421-009-1211-6.
- Bamman, M. M., Petrella, J. K., Kim, J-S., Mayhew, D. L. & Cross, J. M. (2007). Cluster analysis tests the importance of myogenic gene expression during myofiber hypertrophy in humans. *J Appl Physiol* 102 (6), 2232-2239. doi: 10.1152/jappphysiol.00024.2007.
- Bickel, C. S., Cross, J. M. & Bamman, M. M. (2011). Exercise dosing to retain resistance training adaptations in young and older adults. *Med Sci Sports Exerc* 43 (7), 1177-1187. doi: 10.1249/MSS.0b013e318207c15d.
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Deans, N. & Zhou, S. (2006). Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle & Nerve* 35 (1), 78-86. doi: 10.1002/mus.20666.
- Chaillou, T., Kirby, T. J. & McCarthy, J. J. (2014). Ribosome biogenesis: emerging evidence for a central role in the regulation of skeletal muscle mass. *J Cell Physiol* 229 (11), 1584-1594. doi: 10.1002/jcp.24604.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41 (1), 17–38. doi: 10.2165/11537690-000000000-00000.
- Davidson, P. K., Gallagher, I. J., Hartman, J. W., Tarnopolsky, M. A., Dela, F., Helge, J. W., Timmons, J. A. & Phillips, S. M. (2011). High responders to resistance exercise training demonstrate differential regulations of skeletal muscle microRNA expression.

- American physiological society 110 (2), 309-317. doi: 10.1152/jappphysiol.00901.2010.
- Erskine, R. M., Jones, D. A., Williams, A. G., Stewart, C. E. & Degens, H. (2010). Inter-individual variability in the adaptation of human muscle specific tension to progressive training. *European Journal of Applied Physiology* 110 (6), 1117-1125. doi: 10.1007/s00421-010-1601-9.
- Figueiredo, V. C. (2019). Revisiting the roles of protein synthesis during skeletal muscle hypertrophy induced by exercise. *American Journal of Physiology*. doi: 10.1152/ajpregu.00162.2019.
- Figueiredo, V. C. & McCarthy, J. J. (2019). Regulation of Ribosome Biogenesis in Skeletal Muscle Hypertrophy. *Physiology (Bethesda)* 34 (1), 30-42. doi: 10.1152/physiol.00034.2018.
- Fink, J., Schoenfeld, B. J., Kikuchi, N. & Nakazato, K. (2017). Effects of drop set resistance training on acute stress indicators and long-term muscle hypertrophy and strength. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 58, 597-605. doi: 10.23736/S0022-4707.17.06838-4.
- 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.
- Gilliver, S. F., Degens, H., Rittweger, J., Sargeant, J. & Jones, D. A. (2009). Variation in the determinants of power of chemically skinned human muscle fibers. *Experimental Physiology* 94 (19), 1070-1078. doi: 0.1113/expphysiol.2009.048314.
- Guyton, A. C., Hall, J. E. (2015). *Textbook of Medical Physiology*. 13 painos. Philadelphia, PA: Saunders.
- Haun, C. T., Vann, C. G., Roberts, B. M., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J. & Roberts, M. D. (2019a). A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matter but So Does the Measurement. *Sec. Exercise Physiology* 10. doi: 10.3389/fphys.2019.00247.
- Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., Fox, C. D., Johnson, C. A., Parry, H. A., Kavazis, A. N., Moon, J. R., Badisa, V. L., Mwashote, B. M., Ibeanusi, V., Young, K. C. & Roberts, M. D. (2019b). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS One* 14 (6). doi: 10.1371/journal.pone.0215267.

- Holviala, J., Kraemer, W., J., Sillanpää, E., Karppinen, H., Avela, J., Kauhanen, A., Häkkinen, A. & Häkkinen, K. (2012). Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol* 112, 1335-1347. doi: 10.1007/s00421-011-2089-7.
- Jorgenson, K. W., Phillips, S. M. & Hornberger, T. A. (2020). Identifying the Structural Adaptations that Drive the Mechanical Load-Induced Growth of Skeletal Muscle: A Scoping Review. *Cells* 9 (1658), 1–32. doi:10.3390/cells9071658.
- Jones, E. J., Bishop, P. A., Woods, A. K. & Green, J. M. (2012). Cross-Sectional Area and Muscular Strength. *Sports Medicine* 38, 987-994. doi: 10.2165/00007256-200838120-00003.
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Wojdala, G. & Golas, A. (2019). Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *Int J Environ Res Public Health* 16 (24), 4897. doi: 10.3390/ijerph16244897.
- Mann, T. N., Lamberts, R. P. & Lamberts, M. I. (2014). High Responders and Low Responders: Factors Associated with Individual Variation in Response to Standardized Training. *Sports Medicine* 44, 1113-1124. doi: 10.1007/s40279-014-0197-3.
- Maughan, R. J., Watson, J. S. & Weir, J. (1983). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50, 309-318. doi: 10.1007/BF00423237.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. 8. painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Mero, A. A., Hulmi, J. J., Salmijärvi, H., Katajavuori, M., Haverinen, M., Holviala, J., Ridanpää, T., Häkkinen, K., Kovanen, V., Ahtiainen, J. P. & Selänne, H. (2012). Resistance training induced increase in muscle fiber size in young and older men. *European Journal of Applied Physiology* 113, 641-650. doi: 10.1007/s00421-012-2466-x.
- Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M. & Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular and Cardiovascular Adaptations During Concurrent Strength and Endurance Training in Untrained Men. *Int J Sports Med* 33 (9), 702-710. doi: 10.1055/s-0031-1295475.
- Mobley, C. B., Haun, C. T., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Kephart, W. C., Romero, M. A., Osburn, S. C., Vann, C. G., Young, K. C., Beck, D. T., Martin, J. S., Lockwood, C. M. & Roberts, M. D. (2018). Biomarkers associated with low, moderate, and high vastus

- lateralis muscle hypertrophy following 12 weeks of resistance training. Plos one. doi: 10.1371/journal.pone.0195203.
- Muhl, Z. F. (1982). Active length-tension relation and the effect of the muscle pinnation on fiber lengthening. *Journal of Morphology* 173 (3), 285-292. doi: 10.1002/jmor.1051730305.
- Rivas, D. A., Lessard, S. J., Rice, N. O., Lustgarten, M. S., So, K., Goodyear, L. J., Parnell, L. D. & Fielding, R. A. (2014). Diminished skeletal muscle microRNA expression with aging is associated with attenuated muscle plasticity and inhibition of IGF-1 signaling. *FASEB J* 9, 4133-4147. doi: 10.1096/fj.14-254490.
- Roberts, M. D., Haun, C. T., Mobley, C. B., Mumford, P. W., Romero, M. A., Roberson, P. A., Vann, C. G. & McCarthy, J. J. (2018). Physiological Differences Between Low Versus High Skeletal Muscle Hypertrophic Responders to Resistance Exercise Training: Current Perspectives and Future Research Directions. *Frontiers in Physiology* 9, 834. doi: 10.3389/fphys.2018.00834.
- Räntilä, A., Ahtiainen, J. P., Avela, J., Restuccia, J., Kidgell, D. & Häkkinen, K. (2021). High Responders to Hypertrophic Strength Training Also Tend to Lose More muscle Mass and Strength During Detraining Than Low Responders. *J Strength Cond Res* 35 (6), 1500-1511. doi: 10.1519/JSC.0000000000004044.
- Petrella, J. K., Kim, J., Mayhew, D. L., Cross, J. M. & Bamman, M. M. (2008). Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *Journal of Applied Physiology* 104 (6), 1736-1742. doi: 10.1152/jappphysiol.01215.2007.
- 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., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B. & Sonmez, G. T. (2015). Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (10), 2954-2963. doi: 10.1519/JSC.0000000000000958.
- Sjöberg, M., Berg, H. E., Norrbrand, L., Andersen, M. S., Gutierrez-Farewik, E. M., Sundblad, P. & Eiken, O. (2021). Comparison of Joint and Muscle Biomechanics in Maximal Flywheel Squat and Leg Press. *Front Sports Act Living* 3. doi: 10.3389/fspor.2021.686335.

- Smith, M. A., Sexton, C. L., Smith, K. A., Osburn, S. C., Godwin, J. S., Beausejour, J. P., Ruple, B. A., Goodlett, M. D., Edison, J. L., Fruge, A. D., Robinson, A. T., Gladden, L. B., Young, K. C. & Roberts, M. D. (2023). Molecular predictors of resistance training outcomes in young untrained female adults. *J Appl Physiol* 134 (3), 491-507. doi: 10.1152/jappphysiol.00605.2022.
- Snijders, T., Nederveen, J. P., McKay, B. R., Joanisse, S., Verdijk, L. B., van Loon, L. J. & Parise, G. (2015). Satellite cells in human skeletal muscle plasticity. *Frontiers in Physiology* 6, 283. doi: 10.3389/fphys.2015.00283.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine* 48 (4), 765-785. doi: 10.1007/s40279-018-0862-z.
- Walker, S., Peltonen, H., Sautel, J., Scaramella, C., Kraemer, W. J., Avela, J. & Häkkinen, K. (2014). Neuromuscular Adaptations to Constant vs. Variable Resistance Training on Older Men. *Int J Sports Med* 35 (1), 69-74. doi: 10.1055/s-0033-1343404.