

**VOIMAHARJOITTELUN TOISTUMISTIHEYDEN VAIKUTUS ALARAAJOJEN
LIHASTEN ISOMETRISEEN VOIMANTUOTTOON JA POIKKIPINTA-ALAAN 64-
75-VUOTIAILLA HENKILÖILLÄ.**

Mari Turpela

Gerontologian ja kansanterveyden pro gradu –tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän Yliopisto

Kevät 2018

TIIVISTELMÄ

Mari Turpela (2018). Voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutus alaraajojen lihasten isometriseen voimantuottoon ja poikkipinta-alaan 64–75-vuotiailla henkilöillä. Terveystieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, gerontologian ja kansanterveyden pro gradu -tutkielma, 39 s., 1 liite.

Ikääntymisen myötä lihasvoima ja -massa vähenevät muun muassa hermo-lihasjärjestelmän ikääntymisestä johtuvien muutoksien vuoksi. Tämä johtaa toimintakyvyn laskuun. Ikääntyneiden henkilöiden lihasvoimaominaisuudet voivat säilyä ja jopa kasvaa voimaharjoittelun avulla. Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää voimaharjoittelun toistumistiheyden (1–3 krt/viikko) vaikutusta alaraajojen lihasten isometriseen voimantuottoon ja poikkipinta-alaan 64–75-vuotiailla miehillä ja naisilla.

Tutkimus oli satunnaistettu ja kontrolloitu. Yhteensä 106 tutkittavaa, joilla ei ollut aiempaa säännöllistä voimaharjoittelutaustaa, satunnaistettiin kolmeen interventoryhmään (n=26, n=27, n=28) ja kontrolliryhmään (n=25). Kaikki interventoryhmät harjoittelivat kuntosalilla ensin kolmen kuukauden ajan kaksi kertaa viikossa. Seuraavan kuuden kuukauden ajan interventoryhmät osallistuivat voimaharjoitteluun yhden kerran (n=26), kaksi (n=27) tai kolme (n=28) kertaa viikossa. Voimaharjoittelu oli progressiivista ja eteni lineaarisen periodisoinnin mukaisesti lihaskestävyysharjoittelusta hypertrofisen perusvoimaharjoittelun kautta hermostollis-hypertrofiseen perusvoima- sekä nopeusvoimaharjoitteluun. Nilkan, polven ja alaraajojen ojennusvoimaa selvitettiin isometrisillä voimamittauksilla sekä etureiden ja pohkeen lihasten poikkipinta-ala ultraäänimittauksilla. Mittausvaiheita oli kolme: ennen harjoittelun aloittamista, kolmen kuukauden harjoitusjakson jälkeen ja kuuden kuukauden harjoitusjakson päätteeksi.

Tutkittavien keski-ikä oli 69 vuotta ja heistä miehiä oli 46 %. Tulokset kolmen kuukauden voimaharjoittelun vaikutuksista osoittavat, että tutkimuksen aikana interventoryhmillä kasvoi isometrinen polvenojennusvoima ($p=.012$) sekä lihaksen poikkipinta-ala suorassa (RF, $p=.001$), ulommassa (VL, $p<.001$) ja sisemmässä (VI, $p<.001$) etureiden lihaksessa ja sisemmässä kaksoiskantalihaksessa (GM, $p=.009$) kontrolliryhmään verrattuna. Molemmilla ryhmillä lisääntyi alaraajojen isometrinen ojennusvoima ($p=.005$), polven- ($p=.001$) ja nilkanojennusvoima ($p=.001$) sekä ulomman etureiden lihaksen poikkipinta-ala (VL, $p=.025$).

Tulokset kuuden kuukauden voimaharjoittelun toistumistiheyden (1–3 krt/vko) vaikutuksista osoittavat, että harjoitustiheydellä ei ollut merkitystä lihasvoimaan tai lihaksen poikkipinta-alaan. Kaikilla ryhmillä alaraajojen isometrinen ojennusvoima ($p<.001$) ja nilkanojennusvoima ($p<.001$) kehittyivät tutkimuksen aikana samalla tavalla. Tutkimuksen aikana lihaksen poikkipinta-ala pieneni kaikilla interventoryhmillä suorassa (RF, $p<.001$) ja ulommassa (VL, $p<.001$) etureiden lihaksessa sekä sisemmässä (GM, $p<.001$) ja ulommassa kaksoiskantalihaksessa (GL, $p<.001$).

Ensimmäisen kolmen kuukauden harjoitusjakson aikana kasvoi sekä isometrinen lihasvoima että lihaksen poikkipinta-ala. Seuraavan kuuden kuukauden harjoitusjakson aikana lihaksen poikkipinta-ala pieneni kaikilla interventoryhmillä, vaikka lihasvoima jatkoi kasvuaan. Suurempi harjoitustiheys ei tuonut lisäarvoa lihasvoiman tai lihaksen poikkipinta-alan kasvulle.

Asiasanat: ikääntyminen, alaraajojen lihasvoima, alaraajojen poikkipinta-ala, voimaharjoittelu, toistumistiheys

ABSTRACT

Mari Turpela (2018). Effects of resistance training frequency on maximal isometric muscle strength and cross-sectional area of lower extremity in 64–75 year old women and men. Department of Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's Thesis of Gerontology and Public Health, 39 pp., 1 appendix.

Ageing is associated with reduced muscle strength and muscle mass. This can lead to decreased functional capacity. Resistance training can maintain or even improve strength in the elderly people. The purpose of this study was to evaluate effects of resistance training frequency (1–3 trainings / week) on maximal isometric muscle strength and cross-sectional area of lower extremity in 64–75 year old women and men.

The study design was a randomized controlled trial. 106 subjects, with no previous strength training, were randomized into three intervention groups (n=26, n=27, n=28) and a control group (n=25). All intervention groups were training at the gym for the first three months twice a week. For the next six months, intervention groups took part in strength training one (n=26), two (n=27) or three (n=28) times per week depending on the intervention group. Strength training was progressive and progressed according to linear periodization from muscle endurance training to hypertrophic and power training. The extension force of the ankle, knee and lower limbs was determined by isometric force measurements. The cross-sectional area of the quadriceps and calf muscles was measured with ultrasonic. There were three measurements: before the training started, after the three-month of training and at the end of the six-month training period.

Subject's average age was 69 years and 46 % of them were men. The results of strength training efficiency show that three-month intervention had significant effect on isometric knee extension ($p=.012$) and on cross-sectional area of rectus femoris ($p=.001$), vastus lateralis ($p<.001$), vastus intermedius ($p<.001$) and gastrocnemius medialis ($p=.009$). Both groups increased the isometric extension force of the lower limbs ($p=.005$), isometric knee ($p=.001$) and ankle ($p=.001$) extension and the cross-sectional area of vastus lateralis ($p=.025$).

Results of strength training frequency show that six-month intervention had no significant effects. In all groups, the isometric extension force of the lower limbs ($p <.001$) and the isometric ankle extension ($p <.001$) developed during the study in the same way. The cross sectional area of the muscle decreased in all intervention groups in the rectus femoris ($p<.001$), vastus lateralis ($p<.001$), gastrocnemius medialis ($p<.001$) and gastrocnemius lateralis ($p<.001$).

During the first three-month training period, both isometric strength and cross-sectional area of muscle increased. During the next six-month training period, the cross-sectional area was reduced in all intervention groups, although the strength was still increasing. The resistance training frequency was irrelevant.

Key words: Ageing, muscular strength of the lower limbs, cross-sectional area of the lower limbs, strength training, frequency

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LUURANKOLIHASTEN IKÄÄNTYMISMUUTOKSET	3
2.1 Luurankolihasien toiminnan ikääntymismuutokset	3
2.2 Luurankolihasien rakenteen ikääntymismuutokset	6
3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET IKÄÄNTYNEIDEN HENKILÖIDEN LIHAKSIIN	8
3.1 Voimaharjoittelun tavoitteet ja toteutustavat	8
3.2 Voimaharjoittelun vaikutukset luurankolihasien toimintaan ja rakenteeseen	9
3.2.1 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasvoimaan ja voimantuottoon	9
3.2.2 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasien kokoon ja koostumukseen	12
3.2.3 Voimaharjoittelun toistumistiheys	13
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	16
5 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	17
5.1 Tutkimusasetelma ja tutkittavat	17
5.2 Interventio	20
5.3 Mittausmenetelmät	21
5.3.1 Kehonkoostumus tutkittavien taustatietoina	21
5.3.2 Alaraajojen isometriset voimamittaukset	21
5.3.3 Etäreiden ja pohkeen lihasien poikkipinta-alan ultraäänimittaukset	23
5.4 Tutkimusaineiston analysointi	25
6 TULOKSET	27
6.1 Tutkittavien taustatiedot	27
6.2 Intervention toteutuminen	27
6.3 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasvoimaan ja poikkipinta-alaan	27
6.4 Voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutukset lihasvoimaan ja poikkipinta-alaan	28
7 POHDINTA	30
LÄHTEET	34
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Luurankoli hasten toiminnassa ja koossa tapahtuu ikääntymisen myötä monia muutoksia (Lafortuna ym. 2014). Lihasvoiman ja -massan määrä vähenee kiihtyvästi 60 ikävuoden jälkeen (Deschenes 2004). Lihasvoima voi heikentyä jopa 20–30 % 12 vuoden aikana, kun taas lihasmassa voi vähentyä 1,4 % vuodessa (Frontera ym. 2000). Myös voimantuottoteho, lihaksen kyky tuottaa voimaa nopeasti, heikkenee ikääntymisen seurauksena (Reid ym. 2014) jopa maksimaalista lihasvoimaa enemmän (Clark ym. 2013; Thom ym. 2007).

Lihasvoiman ja voimantuottotehon heikkenemisen taustalla on lihaksen supistumisen heikentymiseen ja lihasmassan vähenemiseen liittyviä syitä. Motoristen yksikköjen toiminnan hidastuminen ja jopa määrän väheneminen ikääntymisen seurauksena vaikuttaa negatiivisesti lihasten supistumistoimintaan (Power ym. 2014; Reid ym. 2014; Kaya ym. 2013; Thom ym. 2007), kun taas lihasmassan väheneminen selittää vain pienen osan lihasvoiman ja voimantuottotehon heikentymisestä (Clark ym. 2006a; Clark ym. 2006b). Lihasmassan pieneneminen johtuu lihassolujen koon ja määrän vähenemisestä (Nilwik ym. 2013; Seene & Kaasik 2012; Verdijk ym. 2007), erityisesti II-tyypin nopeiden lihassolujen koon pienenemisestä (Nilwik ym. 2013). Ikääntymiseen liittyvä fyysisen aktiivisuuden väheneminen, ravitsemukselliset haasteet ja mahdolliset sairaudet voivat osaltaan myös lisätä lihasvoiman heikkenemistä ja lihasmassan pienenemistä.

Voimaharjoittelun on osoitettu olevan tehokas keino ikääntyvien henkilöiden lihasvoiman ja -massan ylläpitämiseen ja jopa kehittämiseen. Lihasvoima kasvaa 10–20 % voimaharjoittelun seurauksena (Ahtiainen ym. 2016; Bickel ym. 2011), kun taas lihasmassa kasvaa harjoitusjaksosta riippuen -11–30 %, keskimääräisesti 4,8 % (Ahtiainen ym. 2016). Kansainvälisten liikuntasuosituksen mukaan ikääntyvien henkilöiden monipuoliseen liikkumiseen tulisi sisältyä voimaharjoittelua kehon isoille lihasryhmille kahdesti viikossa (Oja & Titze 2011).

Voimaharjoitteluinterventioissa ikääntyvät tutkittavat ovat harjoitelleet 1–3 kertaa viikossa (Liu & Latham 2009). Pidempiaikaisten voimaharjoitteluinterventioiden mukaan näyttää siltä, että voimaharjoittelu kerran viikossa ei riitä edes ylläpitämään ikääntyvien tutkittavien saavuttamia lihasvoimaominaisuuksia (Holviala ym. 2014; Bickel ym. 2011). Ikääntymisen myötä voimaharjoittelua tarvitaan mahdollisesti kahdesti tai kolmesti viikossa (Holviala ym. 2014).

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää voimaharjoittelun toistumistiheyden (1–3 krt/viikko) vaikutusta alaraajojen lihasten isometriseen voimantuottoon ja poikkipinta-alaan 64–75-vuotiailla miehillä ja naisilla.

2 LUURANKOLIHASTEN IKÄÄNTYMISMUUTOKSET

Luurankoli hasten pääasiallisena tehtävänä on tuottaa tahdonalaista liikettä oikein ajoitettujen lihassupistusten avulla. Luurankoli hakset koostuvat poikkijuovaisesta lihaskudoksesta, jossa pitkittäiset lihassolut muodostavat kimpumaisia rakenteita, lihassolukimppuja (Nienstedt 2004). Lihassolut jaetaan kahteen päätyyppiin: I-tyyppin hitaisiin lihassoluihin ja II-tyyppin nopeisiin lihassoluihin (Fleck & Kraemer 2004). I-tyyppin lihassolut supistuvat hitaasti, mutta kestävät hyvin väsymystä. Iia- ja Iib-tyyppin lihassolut taas supistuvat nopeasti, mutta Iia-solut kestävät hyvin väsymystä, kun taas Iib-solut eivät. Motorisella yksiköllä tarkoitetaan hermosolua ja sen hermottamia lihassoluja. Mitä useampaa lihassolua hermosolu hermottaa, sitä suurempi on voimantuotto ja motorisen yksikön koko, erityisesti Iib-tyyppin lihassolun osalta (Fleck & Kraemer 2004).

Ikääntymisen myötä luurankoli haksissa tapahtuu monia määrällisiä ja laadullisia muutoksia, jotka näkyvät muun muassa lihastoiminnan heikkenemisenä sekä lihasmassan vähenemisenä (Lafortuna ym. 2014). Ikääntymiseen liittyvää lihasvoiman heikkenemistä kutsutaan dynapeniaksi (Seene & Kaasik 2012; Clark & Manini 2008) ja lihasmassan häviämistä sarkopeniaksi (Seene & Kaasik 2012; Cruz-Jentoft ym. 2010; Lambert & Evans 2002). Sarkopeniaan kuuluu uusimpien määritelmien mukaan myös lihasvoiman heikkeneminen ja toimintakyvyn lasku (Cruz-Jentoft ym. 2010). Dynapenia ja sarkopenia johtuvat monista hermoliharakenteeseen vaikuttavien tekijöiden ikääntymismuutoksista (Aagaard ym. 2010; Clark & Manini 2008). Lihasvoimaominaisuuksien heikkenemisellä on yhteys toimintakyvyn laskuun (Holviala ym. 2012; Rantanen ym. 1998).

2.1 Luurankoli hasten toiminnan ikääntymismuutokset

Ikääntymismuutoksista huolimatta yksittäinen toimiva lihassolu pyrkii säilyttämään supistumisominaisuutensa mahdollisimman hyvin (Reid ym. 2014). Lihasvoima alkaa kuitenkin heikentyä kiihtyvästi erityisesti 60 ikävuoden jälkeen (Deschenes 2004). Pitkittäistutkimukset osoittavat lihasvoiman heikkenevän alaraajoissa 14–16 % vuosikymmenessä (Hughes ym. 2001) tai jopa 20–30 % 12 vuoden aikana (Frontera ym. 2000). 70–80-vuotiaiden miesten nilkan ja polven ojennuksen lihasvoima on jopa 40 % heikompi 20–30-vuotiaisiin miehiin verrattuna (Morse ym. 2004). Miesten lihasvoima on suurempaa kuin naisilla kaikissa lihas-

ryhmissä ja ikäluokissa, mutta toisaalta miehillä lihasvoima heikkenee absoluuttisesti enemmän kuin naisilla (Hughes ym. 2001).

Lihassoiman vaihtelua yksilöiden välillä selittää moni tekijä. Lihassoimaan vaikuttaa muun muassa lihasten käyttöaste (Kortebein ym. 2008; Deschenes 2004). Esimerkiksi jo 10 päivän vuodelepo terveillä ikääntyneillä henkilöillä heikentää lihasvoimaa, voimantuottoa ja toimintakykyä merkittävästi (Kortebein ym. 2008). Toisaalta vaihtelua lihasvoimassa määrittää kehon paino, sillä isomman massan vuoksi lihasvoima voi olla suurempi (Lafortuna ym. 2014). Myös perintö- ja ympäristötekijät vaikuttavat yksilöiden väliseen vaihteluun lihasvoiman osalta (Tiainen ym. 2004). Laaja 27 vuoden seuranta tutkimus osoitti käden puristusvoiman keskimääräistä suuremman (>1 % vuodessa) heikkenemisen olevan yhteydessä alkumittauksessa korkeampaan ikään ja erilaisiin sairauksiin (Rantanen ym. 1998). Seurantamittauksessa 27 vuoden jälkeen käden puristusvoima oli toisaalta säilynyt suurempana niillä tutkittavilla, joilla jo alkumittauksessa se oli ollut isompi kuin tutkittavilla, joilla se oli ollut pienempi (Rantanen ym. 1998).

Ikääntymisestä johtuvan lihasvoiman heikkenemisen taustalla on lihaksen poikkipinta-alan pieneneminen ja lihaskudoksen korvautuminen rasvalla ja sidekudoksella (Aagaard ym. 2010). Lihasten käyttämättömyydestä johtuva lihasmassan surkastuminen selittää kuitenkin vain noin 10 % ikääntymisen myötä tapahtuvasta lihasvoiman heikkenemisestä (Clark ym. 2006a; Clark ym. 2006b). Lihassoima heikkenee suhteellisesti enemmän kuin lihasmassa vähenee, joten lihasvoiman heikentymisen taustalla on myös laadullisia lihaksen supistumiseen liittyviä syitä (Seene & Kaasik 2012). Tätä onkin selvitetty poikkileikkaustutkimuksilla, joissa on verrattu ikääntyviä henkilöitä ja nuoria aikuisia keskenään. Kaya ym. (2013) pinsettioitetta ja Powerin ym. (2014) polven ojennusta koskevissa tutkimuksissa havaittiin yhteys motoristen yksikköjen lukumäärän vähenemisen ja lihasvoiman heikkenemisen välillä. Lihassoima heikkenee ikääntyessä, kun usean motorisen yksikön toiminta sammuu (Kaya ym. 2013; Power ym. 2014).

Toisaalta edelleen toiminnassa olevien motoristen yksikköjen voimantuoton havaittiin säilyvän hyvin ikääntymisestä huolimatta (Power ym. 2014). Tämä johtuu motoristen yksikköjen aktivointitoiminnan mukautumisesta (Power ym. 2014; Ling ym. 2009), sillä ikääntyessä isommat motoriset yksiköt alkavat tuottaa voimaa jo alemmilla voimantuottotasoiilla (Ling ym. 2009). Tällöin hienomotoriikkaa vaativat suoritukset heikentyvät, ja liikkeet muuttuvat

karkeamotorisiksi (Power ym. 2014). Toiminnassa olevien motoristen yksikköjen väheneminen ja muuttunut aktivointijärjestys vaikeuttaa ja hidastaa päivittäisiä toimintoja (Ling ym. 2009; Power ym. 2014).

Ikääntymisen myötä heikkenee sekä dynaaminen että isometrinen lihastyö, mutta heikkeneminen ei tapahdu kaikissa lihastyötavoissa samassa suhteessa. Eksentrisen lihastyön näyttää heikentyvän ikääntymisen myötä vähemmän kuin konsentrisen ja isometrisen lihastyön (Power ym. 2012b). Ikääntyneillä tutkittavilla heikommat ja hitaammat lihassupistukset aiheuttavat kuitenkin enemmän lihasuupumusta nuoriin tutkittaviin verrattuna (Dalton ym. 2010; Power ym. 2012a).

Maksimaalinen lihasvoima ei ole ainoa asia, joka heikkenee ikääntymisen seurauksena. Myös voimantuottoteho, eli lihaksen kyky tuottaa voimaa nopeasti, heikkenee (Reid ym. 2014). 70–85-vuotiaiden naisten ja miesten kolmen vuoden seuranta tutkimuksessa voimantuottoteho laski 6 % vuodessa, kun taas isometrisessä lihasvoimassa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia, ja etureiden poikkipinta-alakin pieneni vain 3 % vuodessa (Clark ym. 2013). Thom ym. (2007) raportoivat tutkimuksessaan, että pohkeen voimantuottoteho oli 69–82-vuotiailla jopa 80 % alhaisempi kuin 19–35-vuotiailla, kun taas lihasvoima oli vain 48,5 % pienempi. Terveillä ikääntyneillä henkilöillä voimantuottotehon lasku johtuu lihasaktivaation hidastumisesta ja siitä seuraavasta lihasvoiman heikkenemisestä (Reid ym. 2014; Thom ym. 2007). Thom ym. (2007) taas arvioivat tarkemmin tutkimuksessaan, että voimantuottotehon lasku johtuu lihaksen rakenteen muutoksista. Lihassolujen lyheneminen (vähemmän sarkomeerejä ja poikkitaissilloja) aiheuttaa lihassupistusten hidastumista sekä ikääntymisprosessin ja fyysisen aktiivisuuden väheneminen myosiiniketjujen toiminnan heikentymistä. Lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala vaikuttaa voimantuottotehoon vain hyvin vähän (Thom ym. 2007), kun taas lihasmassan ja fyysisen aktiivisuuden väheneminen vaikuttaa Morsen ym. (2004) tutkimuksen mukaan juuri voimantuottotehon heikentymiseen.

Lihassoima ja voimantuottoteho heikkenevät ikääntymisen seurauksena myös veteraaniurheilijoilla samassa suhteessa kuin vastaavanikäisillä kontrollihenkilöillä (Pearson ym. 2002). Absoluuttisessa lihasvoimassa ja voimantuottotehossa on kuitenkin suuria eroja, sillä 85-vuotias painonnostaja on yhtä voimakas kuin 65-vuotias terve kontrollihenkilö (Pearson ym. 2002).

2.2 Luurankolihasrakenteen ikääntymismuutokset

Ikääntymisen seurauksena tapahtuvat muutokset luurankolihasrakenteen koossa ja koostumuksessa ovat melko huomattavia. Kehon painoon suhteutettu lihasmassa alkaa vähetä jo 30 ikävuoden jälkeen ja absoluuttinen lihasmassa 50 ikävuoden jälkeen (Janssen ym. 2000). Lihasmassan väheneminen kiihtyy entisestään 60 ikävuoden jälkeen (Deschenes 2004). Lihasmassaa häviää 50 ikävuoteen mennessä noin 10 % ja 80 ikävuoteen mennessä jopa puolet (Lexell ym. 1988). Fronteran ym. (2000) 12 vuoden pitkittäistutkimuksen mukaan lihasmassa pienenee noin 1,4 %:n vuosivauhtia. Myös lihasmassan koostumus muuttuu ikääntyessä, sillä lihaskudosta korvautuu rasvalla ja sidekudoksella (Aagaard ym. 2010; Sipilä & Suominen 1996).

Naisilla on vähemmän sekä kehon painoon suhteutettua että absoluuttista lihasmassaa kuin miehillä kaikissa ikäluokissa, mutta erot miesten ja naisten välillä ylävartalon lihasmassassa ovat suuremmat kuin alavartalon lihasmassassa (Janssen ym. 2000). Ikääntymisen seurauksena alavartalon lihasmassa vähenee ylävartalon lihasmassaa enemmän sekä miehillä että naisilla (Janssen ym. 2000). Yksilöiden välillä lihasmassan määrän vaihtelua selittää fyysisen aktiivisuuden (Deschenes 2004) lisäksi muun muassa kehon paino. Ylipainoisilla ihmisillä lihasten poikkipinta-ala on usein isompi kuin normaalipainoisilla ihmisillä, mutta motorinen suorituskyky voi olla silti heikompaa (Lafortuna ym. 2014). Lihasmassan määrän vaihteluun yksilöiden välillä vaikuttaa myös ravinnosta saatavan proteiinin määrä. Ikääntyvät henkilöt saattavat syödä vähemmän proteiinipitoista ruokaa kuin nuoret henkilöt (Mero ym. 2013).

Lihasmassan väheneminen ikääntymisen seurauksena johtuu lihassolujen koon pienenemisestä ja määrän vähenemisestä (Nilwik ym. 2013; Seene & Kaasik 2012; Verdijk ym. 2007; Lambert & Evans 2002; Lexell ym. 1988). Nilwikin ym. (2013) tutkimuksessa 71-vuotiaiden tutkittavien etureiden lihaksen poikkipinta-ala oli 14 % pienempi ja II-tyypin lihassolujen keskimääräinen koko jopa 29 % pienempi kuin 23-vuotiaiden tutkittavien. Lexell ym. (1988) raportoivat lihassolujen määrän vähenevän ikääntymisen seurauksena merkittävästi, kun taas Nilwikin ym. (2013) tutkimuksen mukaan ikääntyvien tai nuorten tutkittavien lihassolujen määrässä ei ollut eroa. Ikääntymisen seurauksena II-tyypin lihassolut pienenevät enemmän kuin I-tyypin lihassolut (Nilwik ym. 2013; Lexell ym. 1988). Toisaalta Verdijkin ym. (2007) tutkimuksen mukaan I-tyypin lihassolujen koossa ei näytä tapahtuvan merkittävää muutosta ikääntymisen seurauksena. Näyttää siltä, että lihasmassan väheneminen ikääntymisen seurauksena johtuu ensisijaisesti II-tyypin lihassolujen pienenemisestä (Nilwik ym. 2013; Lambert

& Evans 2002). II-tyypin lihassolujen pienenemisestä on vastuussa satelliittisolujen toimintaa estävä myostatiiniproteiini (McKay ym. 2012). Normaaleissa olosuhteissa satelliittisolujen tehtävänä on korjata ja kasvattaa lihasmassaa, mutta kyky heikkenee ikääntymisen myötä (Verdijk ym. 2007).

Ikääntymiseen liittyvän lihasmassan vähenemiseen vaikuttavat fyysisen aktiivisuuden lasku (Cruz-Jentoft ym. 2010), ravitsemukselliset tekijät, kuten liian vähäinen energian ja proteiinin saanti (Mero ym. 2013; Cruz-Jentoft ym. 2010; Lambert & Evans 2002) ja esimerkiksi sairaudet (Cruz-Jentoft ym. 2010). Sarkopenia lisää toimintakyvyn häiriöiden ja kuolleisuuden riskiä (Cruz-Jentoft ym. 2010). Onkin tärkeää pyrkiä ehkäisemään sarkopeniaan liittyvää lihasmassan ja -voiman vähenemistä (Nilwik ym. 2013; Lexell ym. 1988).

3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET IKÄÄNTYNEIDEN HENKILÖIDEN LIHAKSIIN

Voimaharjoittelussa kehon lihakset tuottavat voimaa ulkoista vastusta vastaan. Säännöllisellä ja progressiivisella voimaharjoittelulla voimaominaisuudet kehittyvät erityisen tehokkaasti. Kansainväliset laajaan tutkimusnäyttöön perustuvat liikuntasuositukset, kuten the American College of Sports Medicine (ACSM), ohjeistavat aikuisille ja yli 65-vuotiaille henkilöille kaksi kertaa viikossa tapahtuvaa voimaharjoittelua koko kehon isoille lihasryhmille voimaominaisuuksien ylläpitämiseksi ja niiden kasvattamiseksi (Oja & Titze 2011). Voimaharjoittelua on tutkittu yhä enenevässä määrin noin 90-luvulta asti, ja tutkimusartikkeleita löytyy paljon. Näissä tutkimuksissa voimaharjoitteluinterventiot on toteutettu hyvin eri tavoin. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet voimaharjoittelun ylläpitävän lihasvoimaa, lihasmassaa sekä voimantuottoa ja jopa kehittävän näitä ominaisuuksia ikääntyneillä tutkittavilla (Ahtiainen ym. 2016; Tiggemann ym. 2016; Walker ym. 2015; Holviala ym. 2014; Walker & Häkkinen 2014; Mero ym. 2013; Nilwik ym. 2013; Gurjao ym. 2012; Holviala ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; Bickel ym. 2011; Strasser ym. 2009; de Vos ym. 2008; Holviala ym. 2006; Reeves ym. 2006; Beneka ym. 2005; Kalapotharakos ym. 2004; Reeves ym. 2004; Morganti ym. 1995). Fyysisen toimintakyvyn ja liikkumiskyvyn säilymisen kannalta on tärkeää kehittää voimaominaisuuksia monipuolisesti voimaharjoittelun ydinkohtien mukaisilla tavoilla, joita esitellään seuraavassa kappaleessa.

3.1 Voimaharjoittelun tavoitteet ja toteutustavat

Lihassoiman kasvaminen johtuu lihaksen massan kasvusta ja hermostollisesta adaptaatiosta eli liikehermoston kehittyvästä kyvystä käskyttää lihaksia ja koordinoita liikesuoritusta (Folland & Williams 2007; Fleck & Kraemer 2004; Lambert & Evans 2002). Tavoitteet määrittelevät voimaharjoittelun toteutusta. Lihassoimaa voidaan lisätä hermostollisella maksimivoimaharjoittelulla, jossa toistoja tehdään 1–5 yhtä sarjaa kohden, sekä hypertrofisella perusvoimaharjoittelulla, jossa on 6–12 toistoa sarjassa. Maksimivoimaharjoittelulla tavoitellaan hermostollista adaptaatiota kun taas hypertrofisella harjoittelulla lihaksen poikkipinta-alan kasvua. Lihaskestävyyttä kehitetään yli 15 toiston sarjoilla ja nopeusvoimaa 1–10 toiston sarjoilla, mutta tällöin käytetyt kuormat ovat yhden toiston maksimikuormasta noin puolet (Fleck & Kraemer 2004).

Lisäksi on paljon erilaisia mahdollisuuksia vaihdella voimaharjoittelun toteutusta maksimaalisen kehittymisen saavuttamiseksi. Näistä tärkeimpiä ovat harjoitusfrekvenssi eli harjoituksen toistumistiheys, liikeharjoitteet ja niiden järjestys, palautusten kesto sarjojen jälkeen, volyymi eli toistojen ja sarjojen lukumäärä sekä intensiteetti eli käytetyn kuorman suuruus merkittynä esimerkiksi prosentteina yhden toiston maksimista (de Salles ym. 2009; Holviala ym. 2006; Fleck & Kraemer 2004). Sarjat, toistot ja käytettävät kuormat voidaan ilmoittaa tässä järjestyksessä esimerkiksi seuraavalla tavalla: 3x4–6x90%.

3.2 Voimaharjoittelun vaikutukset luurankolihasen toimintaan ja rakenteeseen

Tutkimusten mukaan säännöllisellä ja progressiivisella voimaharjoittelulla voidaan kehittää ikääntyvien henkilöiden lihasvoimaominaisuuksia, ja voimaharjoittelun onkin todettu olevan erittäin tärkeä harjoittelumuoto juuri ikääntyville henkilöille (Liu & Latham 2009). Tutkimuksissa voimaharjoitteluinterventiot toteutettiin ACMS:n suositusten mukaisilla tavoilla (Oja & Titze 2011). Voimaharjoitteluinterventiot sisälsivät harjoitusliikkeitä pääasiassa koko keholle, vaikka mielenkiinnon kohteina olivat alaraajojen lihasvoiman ja -massan mittaaminen. Ikääntymisen myötä toimintakyvyn säilyttäminen on yhä tärkeämpi tavoite, ja alaraajojen riittävät lihasvoimaominaisuudet ovat edellytys toimintakyvyn säilymiselle (Holviala ym. 2012).

3.2.1 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasvoimaan ja voimantuottoon

Hypertrofinen voimaharjoittelu kahdesta kolmeen kertaa viikossa kehittää ikääntyvien tutkittavien lihasvoimaa merkittävästi 4–6 kuukauden harjoitusjakson aikana (Ahtiainen ym. 2016; Holviala ym. 2014; Mero ym. 2013; Nilwik ym. 2013; Holviala ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; Bickel ym. 2011; Strasser ym. 2009; Holviala ym. 2006; Beneka ym. 2005; Reeves ym. 2004). Viidestä kuuteen kuukauden voimaharjoittelun seurauksena lihasvoima kasvaa noin 10–20 % (Ahtiainen ym. 2016; Bickel ym. 2011).

Lihassoima kehittyy myös lyhytkestoisemman, vain 10–12 viikon, voimaharjoitteluinterventio seurauksena (Walker & Häkkinen 2014; Kalapotharakos ym. 2004). Morgantin ym. (1995) tutkimuksessa lihasvoiman kasvun huippu sijoittui 12. viikon kohdalle, Meron ym.

(2013) tutkimuksessa 10,5. viikon kohdalle ja Bickelin ym. (2011) tutkimuksessa jo 8. viikon kohdalle. Voikin olla, että ikääntyneet tutkittavat ilman aiempaa voimaharjoittelutaustaa saavuttavat suurimman lihasvoiman kehityksen melko nopeassa ajassa.

Maksimaalista lihasvoimaa voidaan parhaiten kehittää korkeaintensiteettisellä eli hermostollis-hypetrofisella voimaharjoittelulla, jossa tehdään neljästä kuuteen toistoa yhtä sarjaa kohden 90 %:lla yhden toiston maksimista. Benekan ym. (2005) tutkimuksessa verrattiin matalan, kohtuullisen ja korkean intensiteetin voimaharjoittelun vaikutusta 16 viikon ajan. Ikääntyneet tutkittavat harjoittelivat kolme kertaa viikossa. Eniten lihasvoima kasvoi korkean intensiteetin harjoitteluryhmällä, vaikka myös muut ryhmät kehittyivät (Beneka ym. 2005).

Voimaharjoittelun vaihtelevaa intensiteettiä on tutkittu Hunterin ym. (2001) ja Newtonin ym. (2002) tutkimuksissa. Voimaharjoittelu toteutettiin kolme kertaa viikossa, toisessa tutkimuksessa 10 viikon ajan (Newton ym. 2002) ja toisessa kuuden kuukauden ajan (Hunter ym. 2001). Tarkoituksena oli selvittää intensiteetiltään vaihtelevan voimaharjoittelun vaikutuksia nuorten (30 v.) ja ikääntyvien (61 v.) tutkittavien välillä lihasvoimassa ja voimantuottotehossa (Newton ym. 2002) tai verrata vaihtelevan ja korkean intensiteetin harjoittelun vaikutuksien eroja keskenään (Hunter ym. 2001). Vaihtelevan intensiteetin voimaharjoittelussa viikon jokaisella harjoituskerralla käytettiin erilaisia intensiteettikuormia; Hunterin ym. (2001) tutkimuksessa tehtiin kaksi 10 toiston sarjaa 80 %:lla yhden toiston maksimista (korkeaintensiteetti) viikon ensimmäisessä harjoituksessa, toisessa 65 %:lla (kohtuullinen) ja kolmannessa 50 %:lla (matala). Newtonin ym. (2002) tutkimuksessa jokaisessa harjoituksessa tehtiin 3–6 sarjaa, mutta viikon ensimmäinen harjoitus painottui hypertrofiseen perusvoima-, toinen hermostolliseen maksimivoima- ja kolmas nopeusvoimaharjoitteluun. Tutkimukset eivät sisältäneet kontrolliryhmää, sillä eri harjoitusryhmiä verrattiin toisiinsa.

Lihasvoima näyttää kehittyvän sekä Hunterin ym. (2001) että Newtonin ym. (2002) tutkimuksissa kaikilla tutkittavilla. Vaihtelevan intensiteetin voimaharjoitteluryhmällä lihasvoiman kehittyminen oli Hunterin ym. (2001) tutkimuksessa seurausta paremmasta lihasaktivaatiosta eli hermostollisesta adaptaatiosta, kun taas Newtonin ym. (2002) tutkimuksessa lihasvoiman ja voimantuottotehon kehittyminen johtui ensisijaisesti II-tyypin lihassolujen lukumäärästä ja poikkipinta-alasta. Tutkittavilla, joiden lihasvoima ja voimantuottoteho kehittyivät enemmän voimaharjoittelun seurauksena, havaittiin olevan suhteessa enemmän nopeita lihassoluja kuin hitaita (Newton ym. 2002). Isompi lukumäärä nopeita lihassoluja mahdollisti myös niiden

poikkipinta-alan kasvun harjoittelun seurauksena ja tätä kautta erityisesti voimantuottotehon kehittymisen (Newton ym. 2002). Ikääntyneillä henkilöillä erityisesti alaraajojen riittävä voimantuottoteho on tärkeä toimintakykyyn vaikuttava tekijä, sillä voimantuottotehon kehittymisen voimaharjoittelun seurauksena on havaittu parantavan myös dynaamista tasapainoa ja kävelynopeutta (Holviala ym. 2012).

Tutkimuksissa ikääntyneiden terveiden tutkittavien voimantuottotehon kehittymistä on selvitetty myös hieman epätyypillisesti koko kehon hypertrofisella voimaharjoitteluinterventiolla (Tiggemann ym. 2016; Walker ym. 2015; Gurjao ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; de Vos ym. 2008). Tällöin harjoituskertoja on viikossa ollut kaksi, sarjoja yhdellä harjoituskerralla kahdesta neljään ja toistoja yhtä sarjaa kohden 8–15, ja intensiteetti on vaihdellut tutkimuksesta riippuen. Tiggemannin ym. (2016) tutkimuksessa tutkittavat itse arvioivat intensiteettiä RPE-taulukon (Borgin asteikko) mukaisesti, kun taas de Vosin ym. (2008) tutkimuksessa eri harjoitusryhmät harjoittelivat yhden toiston maksimista joko 20 %:lla, 50 %:lla tai 80 %:lla. Wallersteinin ym. (2012) tutkimuksessa käytettiin nopeusvoimaharjoittelulle tyypillistä intensiteettiä, 30–50 %:lla yhden toiston maksimista.

Tutkimustulokset voimantuottotehon kehittymisestä hieman vaihtelevat, sillä Walkerin ym. (2015) tutkimuksessa ei havaittu perinteisen hypertrofisen voimaharjoitteluintervention parantavan voimantuottotehoa, vaikka muissa edellä mainituissa tutkimuksissa (Tiggemann ym. 2016; Gurjao ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; de Vos ym. 2008) voimantuottoteho kehittyi hypertrofisenkin voimaharjoitteluintervention ansiosta. Ainoastaan 20 %:n intensiteetti ei parantanut voimantuottotehoja yhtä tehokkaasti kuin muut intensiteettitasot (de Vos ym. 2008).

Myös konsentrisen työvaiheen suoritusnopeudella on merkitystä voimantuottotehon kasvuun, vaikka voimaharjoittelu olisi hypertrofista. Harjoitusliikkeen konsentrisen vaihe, joka suoritetaan niin nopeasti kuin mahdollista, parantaa voimantuottotehoa kolmen tai neljän kuukauden voimaharjoittelun seurauksena enemmän kuin hidas (2–3 sekunnin) konsentrisen vaihe ikääntyneillä henkilöillä, joilla on hieman tai ei lainkaan toimintakyvyn rajoitteita (Ramirez-Campillo ym. 2014; Marsh ym. 2009; Fielding ym. 2002).

Voimaharjoittelu kehittää sekä ikääntyneiden että nuorten tutkittavien lihasvoimaa ja voimantuottotehoa (Ahtiainen ym. 2016; Newton ym. 2002). Ahtiaisen ym. (2016) tutkimuksessa

kuitenkin havaittiin, että kaikenikäisistä miehistä ja naisista löytyy niin sanottuja ”low responder” -henkilöitä, jotka eivät reagoi harjoitteluärsykkeeseen niin hyvin kuin muut, mahdollisesti geeniperimästä johtuen. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että ikääntyvien henkilöiden tulisi harjoitella monipuolisesti ja sisällyttää ohjelmaansa sekä hypertrofista että nopeusvoimatyypillistä harjoittelua (Wallerstein ym. 2012; Newton ym. 2002). Halutessaan parantaa erityisesti voimantuotto-ominaisuuksia, on harjoitusohjelma tällöin syytä suunnitella tätä tavoitetta tukevaksi (Walker ym. 2015; Gurjao ym. 2012).

3.2.2 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasten kokoon ja koostumukseen

Hypertrofisen voimaharjoittelu kasvattaa ikääntyneiden tutkittavien lihasten kokoa eli lihasmassaa (Walker ym. 2015; Walker & Häkkinen 2014; Mero ym. 2013; Nilwik ym. 2013; Kalpotharakos ym. 2004). Vaihtelu yksilöiden välillä on suurta: lihasmassan kasvu viidestä kuuteen kuukauden harjoitusjakson aikana voi olla jopa 30 %, vaikka keskiarvo sijoittuu 4,8 %:n kohdalle (Ahtiainen ym. 2016). Ikääntyneillä tutkittavilla lihasmassa näyttää kuitenkin kasvavan voimaharjoittelun seurauksena suhteessa vähemmän kuin lihasvoima (Ahtiainen ym. 2016).

Walkerin ja Häkkisen (2014) tutkimuksessa todetaan, että ikääntyvillä (noin 65-vuotiailla) tutkittavilla lihasmassaominaisuudet eivät kehity hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena yhtä paljon kuin nuorilla (noin 29-vuotiailla) tutkittavilla. Myös Meron ym. (2013) tutkimuksessa nuorten tutkittavien lihassolut kasvoivat voimaharjoittelun myötä enemmän kuin ikääntyneiden tutkittavien. Näyttääkin siltä, että vaikka voimaharjoittelu olisi hypertrofista, ikääntyneillä tutkittavilla voima kasvaa lihasaktivaation ja voimantuottokehittymisen seurauksena, kun taas nuorilla tutkittavilla voima lisääntyy lihaksen poikkipinta-alan kasvaessa (Walker & Häkkinen 2014).

Ikääntyneillä tutkittavilla sekä I-tyypin että II-tyypin lihassolut kasvavat voimaharjoittelun seurauksena (Mero ym. 2013; Nilwik ym. 2013). Lihaksen poikkipinta-alan kasvun voidaan ajatella olevan kuitenkin vahvasti yhteydessä II-tyypin lihassolujen kokoon, sillä ne kasvavat voimaharjoittelun seurauksena enemmän kuin I-tyypin lihassolut (Nilwik ym. 2013; Newton ym. 2002). Nilwikin ym. (2013) tutkimuksessa II-tyypin lihassolut ennen voimaharjoittelua olivat merkitsevästi pienemmät kuin I-tyypin lihassolut, ja voimaharjoittelun jälkeen ne olivat keskimäärin samankokoiset.

Jo aiemmin Newton ym. (2002) havaitsivat tutkimuksessaan lihaksen poikkipinta-alan ja II-tyyppin lihassolujen lukumäärän välillä yhteyden. Lihaksen poikkipinta-ala kasvoi voimaharjoittelun seurauksena enemmän silloin, kun tutkittavilla oli suhteessa vähemmän I-tyyppin kuin II-tyyppin lihassoluja (Newton ym. 2002). Näyttää siltä, että II-tyyppin lihassolujen lukumäärä säilyy säännöllisellä voimaharjoittelulla (Newton ym. 2002). Tällöin myös niiden kokoa voidaan ylläpitää ja jopa kasvattaa ikääntymisen aiheuttamien heikkenemismuutosten ehkäisemiseksi. Voimaharjoittelun myötä lihasvoima, voimantuotto ja kokonaisuudessaan fyysinen toimintakyky on mahdollista säilyttää mahdollisimman pitkään (Nilwik ym. 2013; Newton ym. 2002).

Voimaharjoittelun lisäksi myös ravitsemukselliset tekijät vaikuttavat lihaksen poikkipinta-alan ylläpitämiseen ja kasvuun. Meron ym. (2013) tutkimuksessa nuorten tutkittavien, joiden lihaksen poikkipinta-ala kasvoi enemmän kuin ikääntyneillä tutkittavilla, kokonaisenergian ja proteiinin saanti ravinnosta oli myös suurempaa. Ikääntyneiden henkilöiden olisi tärkeää kiinnittää huomiota voimaharjoittelun ohessa myös ravitsemuksellisiin asioihin lihasmassan lisäämiseksi (Mero ym. 2013).

Reeves ym. (2006; 2004) ovat huomanneet tutkiessaan hypertrofisen voimaharjoittelun vaikutuksia, että ikääntyneillä henkilöillä hermostolliset sekä lihasrakenteiden ja jännealueiden ominaisuudet kehittyvät voimaharjoittelun seurauksena. Lihasaktivaatio ja lihasten välinen koordinaatio paranee sekä lihasmassa kasvaa ja muutoksia tapahtuu myös lihaksen arkkitehtuurissa. Myös jänteiden vetolujuuden kasvaessa ja joustavuuden lisääntyessä voimantuotto paranee (Reeves ym. 2006; Reeves ym. 2004). Voimaharjoittelulla voidaan lieventää monia ikääntymisen aikaansaamia muutoksia tuki- ja liikuntaelimestössä (Reeves ym. 2006; Reeves ym. 2004) ja parantaa toimintakykyä (Holviala ym. 2012).

3.2.3 Voimaharjoittelun toistumistiheys

Harjoittelun toistumistiheys tarkoittaa yksittäisten harjoituskertojen määrää tietyn ajan kuluessa, esimerkiksi lihasryhmää kohden viikossa. Kuten aiemmin todettiin, kansainväliset liikuntasuosituksot ohjeistavat aikuisille ja ikääntyville henkilöille koko kehon isoille lihasryhmille voimaharjoittelua kaksi kertaa viikossa (Oja & Titze 2011). Voidaankin ajatella, että ikääntyvät henkilöt harjoittelevat yhdestä kolmeen kertaa viikossa.

Voimaharjoittelun vaikutuksia selvittävässä tutkimuksissa ikääntyneet tutkittavat ovat harjoitelleet kaksi (Ahtiainen ym. 2016; Tiggemann ym. 2016; Walker ym. 2015; Walker & Häkkinen 2014; Mero ym. 2013; Holviala ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; de Vos ym. 2008; Holviala ym. 2006; Morganti ym. 1995) tai kolme (Nilwik ym. 2013; Gurjao ym. 2012; Strasser ym. 2009; Reeves ym. 2006; Beneka ym. 2005; Kalapotharakos ym. 2004; Reeves ym. 2004) kertaa viikossa. Hyvin harvassa tutkimuksessa voimaharjoittelua on toteutettu kerran viikossa (Liu & Latham 2009).

Voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutuksia lihasvoimaan ja -massaan selvittäviä tutkimuksia on tehty vain muutamia. Niissä tutkittavat on jaettu interventioryhmiin, jotka harjoittelivat eri tiheyksillä viikkoa kohden. Ferrarin ym. (2016) ja Padilhan ym. (2015) tutkimuksissa verrattiin kaksi ja kolme kertaa viikossa tapahtuvan voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutuksia keskenään, kun taas Holvialan ym. (2014) tutkimuksessa ryhmät harjoittelivat kerran tai kaksi kertaa viikossa. Ferrarin ym. (2016) ja Holvialan ym. (2014) tutkimuksissa toistumistiheyden vaikutuksia selvittävää harjoitusjaksoa edelsi noin viiden kuukauden jakso, jossa kaikki tutkittavat harjoittelivat joko kolme (Ferrari ym. 2016) tai kaksi (Holviala ym. 2014) kertaa viikossa. Tutkittavat eivät siis olleet enää aloittelijoita, kun heidät satunnaistettiin eri tiheyksillä harjoitteleviin ryhmiin. Holvialan ym. (2014) tutkimuksessa havaittiin, että kerran viikossa tapahtuva voimaharjoittelu ei riittänyt edes ylläpitämään aiemmin saavutettuja voimaominaisuuksia. Voimaharjoittelu kaksi kertaa viikossa riitti ylläpitämään voimaominaisuudet naisilla, mutta ei miehillä (Holviala ym. 2014) Holvialan ym. (2014) tutkimuksen mukaan miehet tarvitsisivat voimaominaisuuksien ylläpitämiseen jopa kolme harjoituskertaa viikossa. Sen sijaan Ferrarin ym. (2016) tutkimuksessa miehet kehittivät edelleen voimaominaisuuksiaan 10 viikon aikana huolimatta siitä, oliko harjoituskertoja viikossa kaksi tai kolme. Padilhan ym. (2015) tutkimuksessa havaittiin, että ikääntyneille naisille, joilla ei ole aiempaa voimaharjoittelutaustaa, riittää kaksi kertaa viikossa tapahtuva voimaharjoittelu voimaominaisuuksien kehittämiseksi.

Bickel ym. (2011) ovat tutkineet harjoituskertojen vähentämisen vaikutuksia aiemmin kolme kertaa viikossa harjoitustiheydellä saavutettujen voimaominaisuuksien ylläpitämiseen. Tutkimuksessa havaittiin, että harjoittelu kerran viikossa riittää ylläpitämään voimaominaisuudet noin 28-vuotiailla tutkittavilla, mutta ei ikääntyneillä tutkittavilla (Bickel ym. 2011). Näyttää siltä, että ikääntymisen myötä tarvitaan 2–3 voimaharjoitusta viikossa ylläpitämään aiemmin

saavutetut lihasvoimaminaisuudet tai jopa kehittämään niitä (Fisher ym. 2017; Ferrari ym. 2016; Padilha ym. 2015; Holviala ym. 2014; Bickel ym. 2011). Kerran viikossa toteutettu voimaharjoittelu sen sijaan riittää ylläpitämään aiemmin saavutetut tasapaino- ja liikkumiskykyominaisuudet (Holviala ym. 2014).

Ikääntyvien henkilöiden voimaharjoittelun toistumistiheyteen ja muuhun harjoittelun annosteluun liittyvät asiat ovat tärkeitä tutkimusaiheita, jotta voidaan määritellä riittävä, ei liiallinen, harjoittelu hyötyjen saamiseksi (Fisher ym. 2017). Ikääntyneiden henkilöiden tulisi pystyä sitoutumaan harjoitteluun, sillä säännöllisyys on tärkeä asia ikääntyvien lihasvoiman ja -massan ylläpitämisessä (Fisher ym. 2017). Toistumistiheyden lisäksi harjoittelun annostusta voidaan muokata harjoituskerran intensiteettiä tai volyymia säätämällä (Holviala ym. 2014).

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tässä tutkielmassa selvitetään voimaharjoittelun toistumistiheyden (1–3 krt/viikko) vaikutusta alaraajojen lihasten isometriseen voimantuottoon ja poikkipinta-alaan 64–75-vuotiailla miehillä ja naisilla.

Tutkimuskysymykset:

1. Onko voimaharjoittelulla vaikutuksia alaraajojen isometriseen ojennusvoimaan ja lihasten poikkipinta-alaan?
2. Onko voimaharjoittelun toistumistiheydellä (1–3 krt/vko) vaikutuksia alaraajojen isometriseen ojennusvoimaan ja lihasten poikkipinta-alaan?

5 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

5.1 Tutkimusasetelma ja tutkittavat

Tämä pro gradu -tutkielma on osa laajempaa tutkimusta, jossa selvitettiin ikääntyvien henkilöiden voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutusta hermo-lihasjärjestelmän rakenteeseen ja suorituskykyyn sekä terveyteen ja harjoittelumotivaatioon.

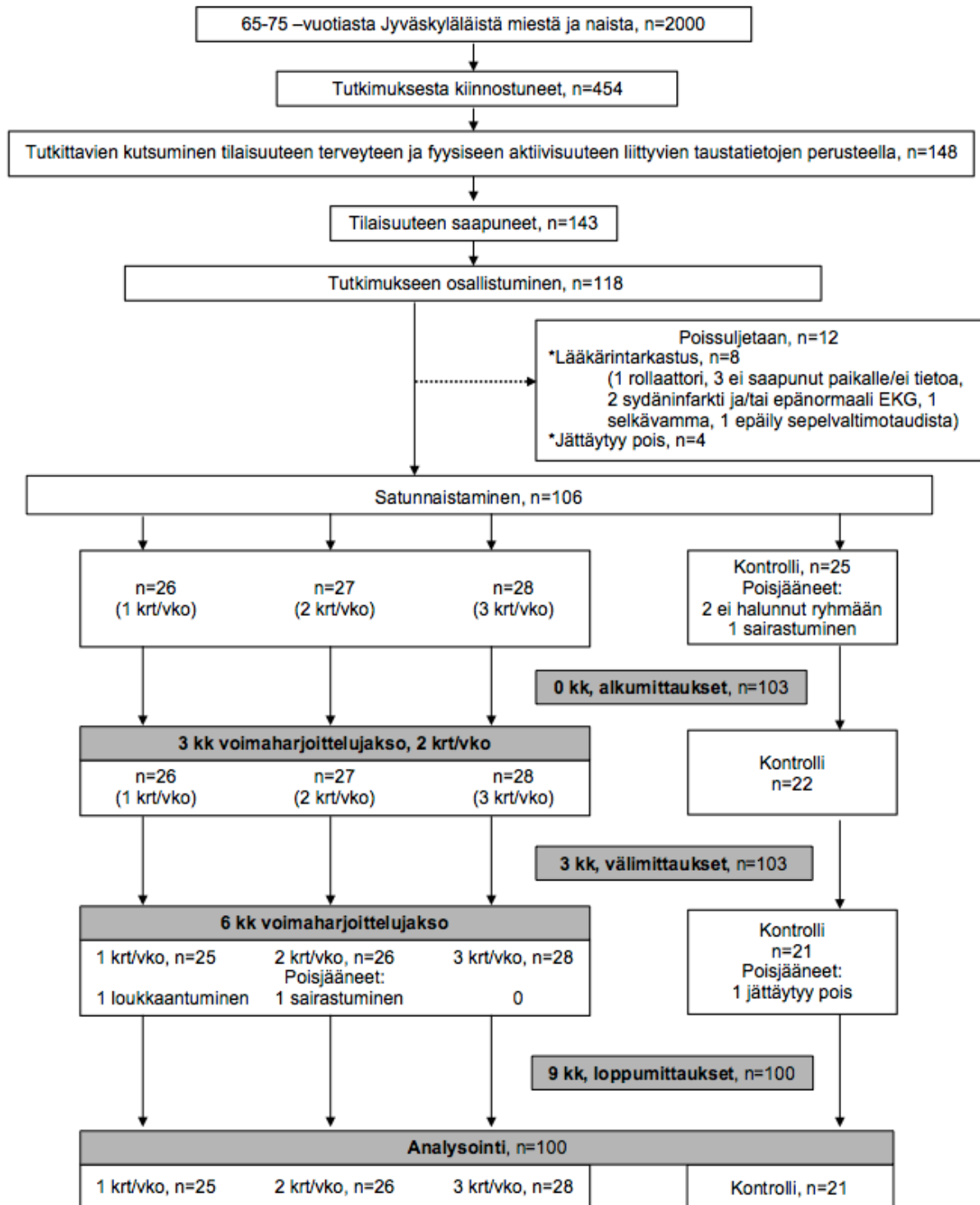
Kyseessä oli satunnaistettu kontrolloitu tutkimus (randomized controlled trial, RCT), joka sisälsi voimaharjoittelutiheydeltään kolme erilaista interventioryhmää sekä kontrolliryhmän. Kokonaisuudessaan voimaharjoitteluinterventio oli kestoltaan yhdeksän kuukautta. Mittaukset tehtiin kolmessa vaiheessa: ennen harjoittelun aloittamista, kolmen kuukauden harjoitusjakson jälkeen ja kuuden kuukauden harjoitusjakson päätteeksi.

Lokakuussa 2014 lähetettiin 2 000:lle satunnaisesti valitulle 65–75-vuotiaalle jyvaskyläläiselle henkilölle kirje tutkimukseen liittyen. Henkilötiedot saatiin Väestörekisterikeskukselta. Yhteensä 454 henkilöä osoitti kiinnostuksensa osallistua tutkimukseen täyttämällä verkossa tutkijoiden suunnitteleman rekisteröinti- ja kyselylomakkeen, ja heistä 148 henkilöä kutsuttiin lomakkeella selvitettyjen terveyteen ja fyysiseen aktiivisuuteen liittyvien taustatietojen perusteella infotilaisuuteen. Sisäänottokriteerit olivat keskimäärin vähemmän kuin kolme tuntia viikossa kestävyystyyppisen liikunnan harrastaminen, aikaisemman ja säännöllisen voimaharjoittelutaustan puuttuminen, kehon painoindeksin (BMI) arvo alle 37 ja liikkumiskyky ilman liikkumisen apuvälinettä. Poissulkukriteerit olivat alaraajojen nivelrikosta tai rustovaurioista johtuvat tekonivelet, testosteronikorvaushoito viimeisten 10 vuoden sisällä, vakavat sydän- ja verisuonitaudit sekä liikuntavammat viimeisten 6 kuukauden sisällä.

Yhteensä 143 henkilöä saapui tilaisuuteen, jossa heille kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta ja vaatimuksista. Tilaisuudessa 118 henkilöä allekirjoitti informoidun suostumuslomakkeen. Tutkimukselle saatiin Jyvaskylän Yliopiston eettisen toimikunnan puoltava lausunto, ja tutkimus toteutettiin tutkimuseettisten periaatteiden mukaisesti.

Suostumuslomakkeen allekirjoittaneista henkilöistä 8 suljettiin pois lääkärintarkastuksen yhteydessä muun muassa terveydellisten syiden perusteella ja 4 jättäytyi pois henkilökohtaisista syistä. Tutkimukseen osallistui lopulta 106 tutkittavaa, jotka satunnaistettiin tietokonepohjais-

sella arvonnalla neljään ryhmään. Kolmeen interventioryhmään kuului 26, 27 ja 28 tutkittavaa ja kontrolliryhmään 25. Satunnaistamisen jälkeen 2 henkilöä jättäytyi pois tutkimuksesta, sillä he eivät halunneet tulla valituksi kontrolliryhmään, ja 1 henkilö kontrolliryhmästä sairastui. Alkumittauksiin osallistui 103 tutkittavaa. Alkumittauksien jälkeen interventioryhmään kuuluvat tutkittavat osallistuivat kolmen kuukauden voimaharjoittelujaksoon kaksi kertaa viikossa. Tätä seurasivat välimittaukset, joihin osallistui 103 tutkittavaa. Välimittauksien jälkeen interventioryhmiin kuuluvat tutkittavat osallistuivat kuuden kuukauden voimaharjoittelujaksoon. Interventioryhmiä oli kolme, joista yksi ryhmä harjoitteli kerran, toinen kaksi kertaa ja kolmas kolme kertaa viikossa. Voimaharjoittelujakson aikana 1 henkilö loukkaantui, 1 henkilö sairastui ja 1 henkilö jättäytyi pois. Loppumittauksiin osallistui 100 tutkittavaa, joiden tulokset raportoidaan tässä tutkielmassa. Tutkimuksen kulkukaavio esitetään kuviossa 1.



Kuvio 1. Tutkimuksen kulkukaavio.

5.2 Interventio

Alkumittauksien jälkeen kaikki interventioryhmiin kuuluneet tutkittavat harjoittelivat kuntosalilla 12 viikon ajan (kolmen kuukauden voimaharjoittelujakso) kaksi kertaa viikossa tunnin kerrallaan lihaskestävyystyypillisesti eli suorittaen useita toistoja suhteellisen kevyellä vastuksella. Tämän harjoittelujakson tavoitteena oli totuttaa tutkittavat voimaharjoitteluun kuntosalilla. Välimittauksien jälkeen interventioryhmät osallistuivat 24 viikon ajan (kuuden kuukauden voimaharjoittelujakso) 60 minuuttia kestäväään voimaharjoitteluun ryhmästä riippuen yhden kerran, kaksi tai kolme kertaa viikossa. Harjoittelu toteutettiin Jyväskylän Yliopiston Liikunta-rakennuksen kuntosalilla. Kuntosalilla oli aina tutkimushenkilökunnasta valvoja paikalla ohjaamassa ja kannustamassa tutkittavia sekä huolehtimassa heidän turvallisuudestaan.

Interventio jakotettiin yhdeksään eri osaan, ja harjoittelu eteni lineaarisen periodisoinnin mukaisesti lihaskestävyysharjoittelusta hypertrofisen perusvoimaharjoittelun kautta hermostollis-hypertrofiseen perusvoima- sekä nopeusvoimaharjoitteluun (Liite 1). Kevennetty ohjelma toteutui joka neljäs viikko, jolloin käytetyt kuormat olivat 75 % suurimmasta käytössä olleesta kuormasta. Voimaharjoittelussa käytettiin voimaharjoittelulaitteita, taljoja ja vapaita painoja (levytangot ja käsipainot). Intervention loppua kohden kasvoi niiden harjoitteiden osuus, joissa käytettiin vapaita painoja. Jokaisessa harjoituksessa suoritettiin 6–9 harjoitetta koko keholle ohjelmasta riippuen. Liitteessä 1 esitetään harjoittelun ohjelmointi yksityiskohtaisesti. Ohjelmointi noudattaa kansainvälisiä laajaan tutkimusnäyttöön perustuvia ACSM:n liikuntasuosituksia, joiden tavoitteena on ylläpitää ikääntyvien henkilöiden lihasvoimaa ja luustoterveyttä toimintakyvyn säilyttämiseksi sekä kaatumisten ehkäisemiseksi (Oja & Titze 2011).

Tutkittavia ohjeistettiin suorittamaan yksinkertainen lämmittely ennen harjoitusta sisältäen joko kuntopyörällä polkemista, juoksumatolla juoksemista tai kävelemistä. Tämän lisäksi ensimmäistä alaraajojen lihasvoimaan kohdistuvaa harjoitetta tuli suorittaa kevyellä kuormalalla noin 20 toistoa. Tutkittavia ohjeistettiin pääasiassa kirjallisesti venyttelemään kunkin harjoitustuokion päätteeksi. Tutkittavat täyttivät jokaisesta harjoittelukerrasta päiväkirjaa, johon he merkitsivät muun muassa käyttämänsä sarjapainot. Kontrolliryhmäläiset osallistuivat vain alku-, väli- ja loppumittauksiin ja muutoin jatkoivat normaalia elämäänsä tekemättä suuria muutoksia liikunta- tai ruokailutottumuksiinsa.

5.3 Mittausmenetelmät

Kaikki mittaukset järjestettiin Jyväskylän Yliopiston liikuntatieteellisen tiedekunnan laboratoriossa. Kaikissa mittausvaiheissa (0 kk, 3 kk ja 9 kk) suoritettiin kaikki samat mittaukset ja ne pyrittiin toteuttamaan samassa järjestyksessä ja samaan aikaan jokaisen tutkittavan kohdalla.

5.3.1 Kehonkoostumus tutkittavien taustatietoina

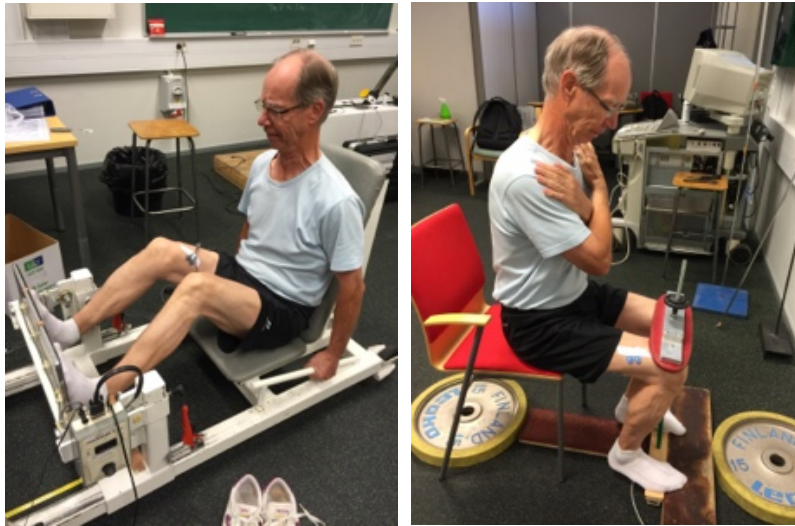
Pituus ja paino (Taulukko 1) mitattiin alkumittauksien yhteydessä (0 kk). Tutkittavan pituus selvitettiin seinään kiinnitetyn pituusmitan avulla, jolloin tutkittava seiso i selkä seinää vasten ilman sukia. Paino mitattiin digitaalisella henkilöva'alla (Seca 708, Seca, Espoo, Suomi), ja mitattaessa tutkittavalla oli päällään t-paita ja shortsit. Kehon painoindeksi (BMI) laskettiin jakamalla tutkittavan paino (kg) tutkittavan pituuden (m) neliöllä.

5.3.2 Alaraajojen isometriset voimamittaukset

Maksimaaliset lihasvoimamittaukset suoritettiin aina samassa järjestyksessä. Ensimmäiseksi mitattiin maksimaalinen alaraajojen isometrinen ojennusvoima, toiseksi isometrinen polvenojennus ja viimeiseksi isometrinen nilkanojennus. Ennen alkumittauksia tutkittavat tutustuivat voimamittauksiin erillisellä käynnillä. Kaikki voimamittaukset tehtiin Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen suunnittele milla ja valmistamilla laitteilla. Tutkittava suoritti testit ilman kenkiä, sukkasillaan. Kaikissa testeissä tutkittavia ohjeistettiin tuottamaan mahdollisimman paljon ja tasaisen nopeasti voimaa NYT-komennon jälkeen. Tutkittava piti maksimaalista yritystä yllä noin kolmen sekunnin ajan SEIS-komentoon asti, ja häntä kannustettiin koko suorituksen ajan.

Alaraajojen ojennusvoimaa mitattiin jalkaprässilaitteella istuma-asennossa (kuva 1). Mittauksen aikana tutkittavan tuli pitää pakarat ja alaselkä kiinni penkissä ja kädet kiinni kahvoissa. Jalat asetettiin voimalevyille merkityille kohdille. Mittauksen aikana tutkittavan polvikulma oli 107 astetta ja lantiokulma 110 astetta. Kukin tutkittava teki kolme maksimaalista suoritusta. Tarvittaessa suorituksia oli vielä neljäs ja viides, jos kolmas ja neljäs yritys paransivat edellistä yritystä viisi prosenttia. Suoritusten välissä oli minuutin palautusaika. Analyysihin

otettiin mukaan paras maksimivoimatulos (N). Voimasignaalit rekisteröitiin 2000 Hz:n taajuudella Signal 4.14-ohjelmistoa (CED Ltd., Cambridge, England) ja A/D-muunninta (CED Power 1401; CED Ltd., Cambridge, England) käyttäen. Tässä tutkimuksessa isometrisen jalkaprässimittauksen kahden eri päivinä suoritettujen mittauksen toistettavuudesta kertova intra-class correlation -arvo (ICC) oli 0,958 ja variaatiokerroin (CV%) oli 7,3 %.



KUVA 1. Esimerkkisuoritus maksimaalisesta isometrisestä jalkaprässistä ja nilkanojennuksesta.

Polven ja nilkan maksimaalinen isometrinen ojennusvoima mitattiin voimadynamometrillä tutkittavan oikeasta jalasta. Polvenojennusvoiman mittauksissa mitattavan jalan polvikulma oli 110 astetta ja jalka oli kiinnitetty reidestä ja nilkasta mittauslaitteeseen. Mittauksen ajaksi tutkittavan lantio stabiloitiin paikalleen lantiovyön avulla ja vasen jalka lepäsi tuolilla. Nilkanojennusvoiman mittauksen aikana tutkittava istui kädet rintakehän päälle ristittyinä käsituellisessa ja pehmustetussa tuolissa, jonka korkeus oli 45 cm. Tutkittavan päkiät tulivat laudalle ja polvet levyn alle (kuva 1). Polvikulma vaihteli tutkittavien välillä, mutta nilkan kulma oli 90 astetta.

Jalkaprässin tavoin tutkittava sai suorittaa kolme maksimaalista yritystä polven- ja nilkanojennusvoimaa mitattaessa. Tarvittaessa suorituksia oli vielä neljäs ja viides, jos kolmas ja neljäs yritys paransivat edellistä yritystä viisi prosenttia. Suorituksien välissä oli minuutin palautusaika. Voimasignaalit rekisteröitiin 2000 Hz:n taajuudella Signal 4.14-ohjelmistoa (CED Ltd., Cambridge, England) ja A/D-muunninta (CED Power 1401; CED Ltd., Cambrid-

ge, England) käyttäen. Analyyseihin otettiin mukaan paras maksimivoimatulos (kg), mutta analyyseissä huomioitiin vipuvarren pituus (Nm). Tässä tutkimuksessa isometrisen polvenojennusmittauksen kahden eri päivinä suoritettujen mittauksen toistettavuudesta kertova ICC-arvo oli 0,952 ja CV-arvo 8,3 %. Nilkanojennusmittauksen ICC-arvo oli 0,901 ja CV-arvo 8,5 %.

5.3.3 Etureiden ja pohkeen lihasten poikkipinta-alan ultraäänimittaukset

Suoran (m. rectus femoris), ulomman (m. vastus lateralis) ja keskimmäisen (m. vastus intermedius) etureiden lihasten sekä pohkeen sisemmän (m. gastrocnemius medialis) ja ulomman (m. gastrocnemius lateralis) kaksoiskantalihasten poikkipinta-ala mitattiin ultraäänilaitteella (SSD-a10, Aloka Co. LTd, Tokyo, Japan). Jokaiselta tutkittavalta mitattiin oikea jalka saman henkilön suorittaessa mittaukset kaikissa vaiheissa.

Etureiden lihakset mitattiin reisiluun lateraalikondyylin ja ison sarvennoisen puolivälistä (Ah-tiainen ym. 2010; Walker ym. 2013). Mittauskohta vakioitiin tekemällä tatuointipiste reiden ulkosyrjään. Mittauksen aikana tutkittavat makasivat tutkimuspöydällä rentona tyyny pään alla ja jalat sidottuna noin lantion levyiseen asentoon (kuva 2). Tarvittaessa tutkittavan polvi-
en alla oli koroke, jota käytettiin jatkossakin kaikissa mittausvaiheissa.

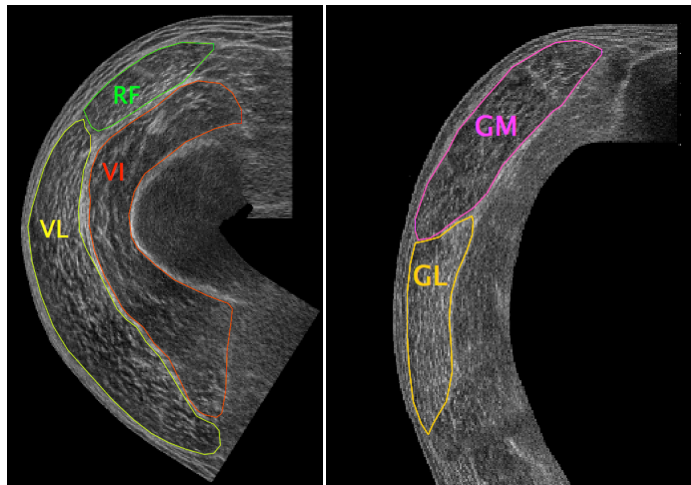


KUVA 2. Esimerkki tutkittavan mittausasennosta etureiden ja kaksoiskantalihaksen poikkipinta-alan ultraäänikuvantamisen aikana.

Pohkeen kaksoiskantalihasta mitattaessa tutkittava makasi rentona päinmakuulla tutkimuspöydällä tyyny pään tai rintakehän alla ja mitattavana oleva jalka taustalevyyn sidottuna nilkka koukistetussa asennossa (kuva 2). Samankaltaista mittausasentoa on käytetty Rosenbergin ym. (2014) tutkimuksessa. Kaksoiskantalihaksen mittauskohdaksi määritettiin 30 % sääriluun pituudesta, fibulan lateraalimalleolin ja tibian lateraalikondyylin väliltä, polven suunnasta. Säären ulkosyrjään tehtiin tatuointipiste mittauskohdan vakioimiseksi.

Mittauksen aikana ultraäänilaitteen äänipäätä liikutettiin mitattaessa kohtisuorassa ihoon piirrettyä viivaa pitkin raajan mediaalipuolelta lateraalipuolelle. Etureiden lihasten poikkipinta-aloja mitattaessa laitteen äänipäässä käytettiin styroxista apuvälinettä vakauden lisäämiseksi. Anturin ja ihon väliaineena käytettiin vesipohjaista geeliä panoraamakuvien saamiseksi.

Yhdeltä mittausajankohdalta tallennettiin neljä panoraamakuvaa yhtä tutkittavaa kohden, joista kolme kuvaa analysoitiin manuaalisesti ImageJ-tietokoneohjelman (versio 1.48) avulla (kuva 3).



KUVA 3. Esimerkki etureiden ja pohkeen ultraäänikuvantamisen panoraamakuvasta.

ImageJ-ohjelma laskee poikkipinta-alan aiemmin asetetun mittakaavan perusteella. Dataa käsiteltäessä analyyseissä päätettiin käyttää kahden lähimmän poikkipinta-ala-arvon saanutta keskiarvoa, sillä osassa tutkittavien kuvista vain kahdesta onnistuttiin saamaan luotettava poikkipinta-ala-arvo. Haasteita kuvantamisen onnistumiselle asettaa mittajaan taidot johtuen mittauksen vaihtelevasta ja dynaamisesta luonteesta. Toisaalta mittajaan taidot harjaantuvat kokemuksen kertyessä (Ahtiainen ym. 2010). Erityisesti paine, jolla äänipäätä painetaan ihoa

vasten, vaikuttaa kuvien luotettavuuteen (Ahtiainen ym. 2010). Myös tutkittavan kehonkoostumus vaikuttaa mittauksen onnistumiseen, sillä suuri rasvakudoksen määrä voi olla rajoite selvien kuvien saamiselle (Lento & Primack 2008). Monissa tutkimuksissa ultraäänikuvantaminen lihaksen poikkipinta-alojen määrittämisessä on todettu luotettavaksi, toistettavaksi, helpoksi ja edulliseksi mittaustavaksi (Rosenberg ym. 2014; Ahtiainen ym. 2010; Lento & Primack 2008). Tämän tutkimuksen ultraäänikuvantamisen kahtena eri päivänä suoritettujen mittausten toistettavuudesta kertovat arvot olivat suoran etureiden lihaksessa ICC=0,819 ja CV%=8,4 %, ulomman etureiden lihaksessa ICC=1,000 ja CV%=2,0 %, keskimmäisen etureiden lihaksessa ICC=0,977 ja CV%=4,9 %, sisemmässä kaksoiskantalihaksessa ICC=0,990 ja CV%=2,6 % sekä ulommassa kaksoiskantalihaksessa ICC=0.970 ja CV%=25 %.

5.4 Tutkimusaineiston analysointi

Aineiston analysointi aloitettiin tarkastelemalla interventio- ja kontrolliryhmien tausta- ja päävastemuuttujien kuvailevia tietoja, kuten havaintojen lukumääriä eli frekvenssejä (n), keskiarvoja (ka), keskihajontoja (kh) sekä minimi- ja maksimiarvoja. Aineiston normaalijakaumaa tarkasteltiin histogrammeilla sekä Shapiro-Wilk'n testillä. Interventio- ja kontrolliryhmien välisiä eroja taustamuuttujien osalta testattiin jatkuvien muuttujien kohdalla yksisuuntaisella varianssianalyysillä (one-way ANOVA) sekä luokiteltujen muuttujien kohdalla ristiintaulukoinnilla ja χ^2 -testillä. Mittauksien toistettavuutta eli kahden eri päivinä suoritettujen mittausten vaihtelua tutkittiin intra-class correlation coefficient (ICC) -arvolla sekä variaatiokertoimella (CV%) excel-pohjaisella kaaviolla. Harjoituskertojen osallistumisprosentit laskettiin jakamalla toteutuneet harjoituskerrat niiden mahdollisella maksimimäärällä. Muutosprosentit laskettiin jakamalla viimeisimmän ja aiemman mittaustuloksen erotus viimeisimmällä mittaustuloksella.

Tilastollinen analyysi toteutettiin kahdessa vaiheessa toistettujen mittausten varianssianalyysillä. Ensimmäisessä vaiheessa voimaharjoitteluintervention vaikutuksia päävastemuuttujiin tarkasteltiin kahden ensimmäisen aikapisteen välillä ensin kaikki interventioryhmät ja kontrolliryhmä erikseen. Sitten sama toistettiin yhdistämällä interventioryhmät ja vain kontrolliryhmä erikseen. Havaittiin, että ensimmäisen vaiheen tulokset eivät eronneet siitä huolimatta, olivatko interventioryhmät analyysissä erikseen vai yhdessä, joten interventioryhmät päätettiin yhdistää tulosten esittelyssä. Toisessa vaiheessa tarkasteltiin kahden jälkimmäisen aikapisteen välillä toteutuneen voimaharjoitteluintervention toistumistiheyden vaikutuksia päävas-

temuuttujiin pelkästään interventioryhmien kesken. Tällöin kontrolliryhmä jätettiin analyysistä pois.

Toistettujen mittausten varianssianalyysi sopii kokeelliseen tutkimukseen (Nummenmaa 2009), jossa samoja tutkittavia mitataan vähintään kahdessa aikapisteessä. Analyysit toteutettiin imputoidulla aineistolla. Imputoinnilla tarkoitetaan aineiston täydentämistä ja se toteutettiin tässä analyysissä manuaalisesti korvaamalla tutkittavan puuttuva mittaustulos edellisellä mittaustuloksella. Ilman imputointia toistettujen mittausten varianssianalyysi jättäisi kokonaan analyysistä pois ne tutkittavat, joilta puuttuu jonkin aikapisteen mittaustulos. Kolmen kuukauden välimittaukseen imputoitiin keskimmäisen etureiden poikkipinta-alan tulos yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä kaksi ja jalkaprässin tulos yhdelle tutkittavalle kontrolliryhmästä. Yhdeksän kuukauden loppumittaukseen imputoitiin ulomman kaksoiskantalihaksen poikkipinta-alan tulos yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä yksi, isometristen voimamittauksien tulokset yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä kaksi, suoran ja ulomman etureiden lihaksien poikkipinta-alan tulokset yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä kaksi, polvenojennuksen tulos yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä kolme, ulomman kaksoiskantalihaksen poikkipinta-alan tulos yhdelle tutkittavalle interventioryhmästä kolme sekä kontrolliryhmästä yhdelle tutkittavalle nilkanojennuksen tulos, yhdelle tutkittavalle polvenojennuksen tulos ja yhdelle tutkittavalle jalkaprässin tulos.

Tilastolliset analyysit tutkimusaineistolle toteutettiin IBM SPSS Statistics tilastoanalyysiohjelmalla (versio 22). Tilastollisten testien merkitsevyystasoksi asetettiin $p < 0.05$.

6 TULOKSET

6.1 Tutkittavien taustatiedot

Tutkittavien perustietoja ennen voimaharjoitteluintervention aloittamista esitetään taulukossa 1. Tutkittavien keski-ikä oli 69 vuotta ja miehiä heistä oli 46 prosenttia. Ryhmät eivät eronneet toisistaan tarkasteltavien taustamuuttujien osalta.

TAULUKKO 1. Tutkittavien taustatiedot interventio- ja kontrolliryhmissä (ka, kh).

	Interventioryhmät			Kontrollit (n=22)	P-arvo
	1 krt/vko (n=26)	2krt/vko (n=27)	3krt/vko (n=28)		
Miehiä, n (%)	12 (46)	11 (41)	12 (43)	12 (55)	0.788
Ikä (v)	69.8 ± 2.5	68.9 ± 3.0	69.5 ± 2.8	69.2 ± 2.3	0.612
Paino (kg)	76.5 ± 14.5	80.6 ± 14.1	81.5 ± 14.7	74.5 ± 11.6	0.235
Pituus (cm)	166.8 ± 8.8	167.9 ± 7.3	167.4 ± 9.3	167.5 ± 8.7	0.976
BMI	27.3 ± 3.3	28.5 ± 4.4	29.0 ± 4.1	26.4 ± 2.6	0.068

Yksisuuntainen varianssianalyysi (One-way ANOVA) jatkuville muuttujille, ristiintaulukointi ja χ^2 -testi luokitteluasteikolliselle muuttujalle.

6.2 Intervention toteutuminen

Ensimmäisen kolmen kuukauden aikana oli 24 harjoittelukertaa kuntosalilla. Osallistuminen harjoituskertoihin toteutui hyvin (ryhmä 1: 98%±4, ryhmä 2: 96%±5, ryhmä 3: 96%±4). Seuraavan kuuden kuukauden aikana harjoittelukertoja yhden kerran viikossa harjoittelevien ryhmässä oli 24 (97%±5), kaksi kertaa viikossa harjoittelevien ryhmässä 48 (97%±6) ja kolme kertaa viikossa harjoittelevien ryhmässä 72 (93%±7). Syinä harjoittelukertojen puuttumiseen olivat muun muassa sairaudet, matkat ja unohdukset.

6.3 Voimaharjoittelun vaikutukset lihasvoimaan ja poikkipinta-alaan

Kolmen kuukauden harjoittelun jälkeen tapahtuneita vaikutuksia tutkittavien alaraajojen isometrisessä voimantuotossa sekä reiden etuosan ja pohkeen lihasten poikkipinta-alaan esite-

tään taulukossa 2. Myös ajan ja ryhmän omavaikutukset sekä yhdysvaikutus päävastemuuttujiin esitetään tässä taulukossa.

Tutkimuksen aikana interventoryhmillä kasvoi isometrinen polvenojennusvoima ($p=.012$) sekä lihaksen poikkipinta-ala suorassa (RF, $p=.001$), ulommassa (VL, $p<.001$) ja sisemmässä (VI, $p<.001$) etureiden lihaksessa ja sisemmässä kaksoiskantaliuksessa (GM, $p=.009$) kontrolliryhmään verrattuna. Molemmilla ryhmillä lisääntyi alaraajojen isometrinen ojennusvoima ($p=.005$), polven- ($p=.001$) ja nilkanojennusvoima ($p=.001$) sekä ulomman etureiden lihaksen poikkipinta-ala (VL, $p=.025$).

TAULUKKO 2. Voimaharjoitteluinterventio (2 krt/vko, 0–3kk) vaikutukset alaraajojen isometriseen voimantuottoon sekä etureiden ja pohkeen lihasten poikkipinta-alaan 65–75-vuotiailla miehillä ja naisilla (ka, kh).

	Interventoryhmät (<i>n</i> =78-79)			Kontrolliryhmä (<i>n</i> =19-21)			p-arvo		
	0	3	Δ%	0	3	Δ%	Yhdys- vaikutus	Ryhmä	Aika
Jalkaprässi (N)	2273 ±828	2433 ±905	7 ±9	2276 ±681	2311 ±666	2 ±2	0,066	0,769	0,005
Polven- ojennus (Nm)	154 ±49	166 ±50	8 ±4	162 ±45	164 ±48	1 ±6	0,012	0,780	0,001
Nilkan- ojennus (Nm)	306 ±89	319 ±95	4 ±7	304 ±84	323 ±88	6 ±5	0,490	0,976	0,001
RF	4,4 ±1,2	4,5 ±1,2	3 ±3	4,8 ±0,9	4,5 ±0,9	-7 ±-1	0,001	0,523	0,091
VL	14,4 ±3,2	15,5 ±3,3	8 ±4	14,2 ±2,0	13,6 ±2,2	-4 ±6	<0,001	0,153	0,025
VI	16,5 ±4,9	17,5 ±4,4	6 ±6	17,6 ±3,5	16,9 ±3,5	-4 ±0	<0,001	0,771	0,140
GM	10,9 ±2,6	11,2 ±2,8	3 ±8	11,2 ±2,5	11,0 ±2,5	-2 ±3	0,009	0,984	0,486
GL	5,4 ±1,7	5,5 ±1,5	2 ±-5	5,5 ±1,5	5,4 ±1,4	-2 ±-4	0,180	0,920	0,924

Δ%=Muutosprosentti, RF=suora etureiden lihas, VL=ulompi etureiden lihas, VI=keskimmäinen etureiden lihas, GM=sisempi kaksoiskantalihas, GL=ulompi kaksoiskantalihas

6.4 Voimaharjoittelun toistumistiheyden vaikutukset lihasvoimaan ja poikkipinta-alaan

Kuuden kuukauden harjoittelun jälkeen tapahtuneita vaikutuksia tutkittavien alaraajojen isometrisessä voimantuotossa sekä reiden etuosan ja pohkeen lihasten poikkipinta-alaan esite-

tään taulukossa 3. Myös ajan ja ryhmän omavaikutukset sekä yhdysvaikutus päävastemuuttujiin esitetään tässä taulukossa.

Harjoitustiheydellä ei ollut merkitystä lihasvoimaan tai lihaksen poikkipinta-alaan. Kaikilla ryhmillä alaraajojen isometrinen ojennusvoima ($p<.001$) ja nilkanojennusvoima ($p<.001$) kehittivät tutkimuksen aikana samalla tavalla. Lihaksen poikkipinta-ala pieneni kaikilla interventioryhmillä suorassa (RF, $p<.001$) ja ulommassa (VL, $p<.001$) etureiden lihaksessa sekä sisemmässä (GM, $p<.001$) ja ulommassa kaksoiskantalihasessa (GL, $p<.001$).

TAULUKKO 3. Voimaharjoitteluintervention toistumistiheyden (1–3 krt/vko, 3–9kk) vaikutukset alaraajojen isometriseen voimantuottoon sekä etureiden ja pohkeen lihasten poikkipinta-alaan 65–75-vuotiailla miehillä ja naisilla (ka, kh).

	1 (n=24-25)			2 (n=25-26)			3 (n=27-28)			p-arvot		
	3	9	Δ%	3	9	Δ%	3	9	Δ%	Yhdysvaikutus	Ryhmä	Aika
Jalkaprässi (N)	2113 ±925	2315 ±970	10 ±5	2622 ±870	2847 ±932	9 ±7	2542 ±874	2741 ±943	8 ±8	0,944	0,098	<0,001
Polvenojennus (Nm)	161 ±57	166 ±58	3 ±2	172 ±49	170 ±47	-2 ±4	164 ±47	164 ±45	0 ±4	0,325	0,827	0,737
Nilkanojennus (Nm)	313 ±119	330 ±112	5 ±6	327 ±87	349 ±90	7 ±4	318 ±80	333 ±78	5 ±3	0,700	0,807	<0,001
RF	4,9 ±1,5	4,4 ±1,6	-10 ±2	4,4 ±1,1	4,0 ±0,9	-9 ±17	4,4 ±1,0	4,0 ±0,8	-9 ±16	0,896	0,297	<0,001
VL	15,3 ±3,9	14,2 ±3,5	-7 ±12	15,3 ±2,9	14,7 ±3,0	-4 ±1	15,9 ±3,0	15,3 ±3,0	-4 ±0	0,323	0,579	<0,001
VI	17,1 ±5,2	17,0 ±5,0	0 ±4	16,6 ±3,5	16,4 ±3,3	-1 ±5	18,7 ±4,1	18,4 ±4,1	-2 ±0	0,665	0,188	0,206
GM	10,9 ±3,3	10,5 ±2,9	-4 ±12	11,3 ±2,5	11,1 ±2,5	-2 ±2	11,4 ±2,7	10,8 ±2,8	-5 ±3	0,258	0,777	<0,001
GL	5,3 ±1,7	4,8 ±1,6	-9 ±8	5,5 ±1,8	5,2 ±1,9	-5 ±5	5,8 ±1,3	5,4 ±1,3	-8 ±6	0,351	0,445	<0,001

Δ%=Muutosprosentti, RF=suora etureiden lihas, VL=ulompi etureiden lihas, VI=keskimmäinen etureiden lihas, GM=sisempi kaksoiskantalihas, GL=ulompi kaksoiskantalihas

7 POHDINTA

Kolmen kuukauden voimaharjoitteluintervention aikana tutkittavien polven isometrinen ojennusvoima kasvoi ja alaraajojen lihasten poikkipinta-ala suureni. Seuraavan kuuden kuukauden voimaharjoitteluintervention aikana muutokset voimassa ja pinta-alassa olivat samanlaisia harjoittelun toistumistiheydestä huolimatta. Alaraajojen isometrinen ojennusvoima ja nilkanojennusvoima kehittyivät merkitsevästi kaikilla ryhmillä, vaikka samalla poikkipinta-ala suorassa ja ulommassa etureiden lihaksissa sekä molemmissa kaksoiskantalihaksissa pieneni merkitsevästi.

Tämän tutkimuksen tulos ensimmäisen kolmen kuukauden harjoittelujakson osalta tukee aiempien tutkimusten tuloksia, joiden mukaan voimaharjoittelu kehittää ikääntyvien henkilöiden voimaominaisuuksia ja lihasmassaa (Ahtiainen ym. 2016; Walker ym. 2015; Holviala ym. 2014; Walker & Häkkinen 2014; Mero ym. 2013; Nilwik ym. 2013; Holviala ym. 2012; Gurjao ym. 2012; Wallerstein ym. 2012; Strasser ym. 2009; Holviala ym. 2006; Reeves ym. 2006; Beneka ym. 2005; Kalapotharakos ym. 2004; Reeves ym. 2004). Prosentuaalinen muutos lihasvoiman osalta jäi tässä tutkimuksessa kuitenkin aiemmin raportoitua heikommaksi. Ahtiaisen ym. (2016) tutkimuksessa lihasvoiman kasvu oli noin 21 % ja tässä tutkimuksessa alle 10 %. Lihasmassan osalta aiemmin raportoitu keskimääräinen muutos oli 4,8 % (Ahtiainen ym. 2016) ja tässä tutkimuksessa samansuuntaisesti 3–8 %.

Tässä tutkimuksessa seuraavan kuuden kuukauden voimaharjoittelujakso kohdistui harjoittelun toistumistiheyden (1–3 krt/vko) vaikutuksiin ikääntyneillä tutkittavilla, jotka eivät enää ole aloittelijoita. Harjoittelun toistumistiheydellä ei ollut vaikutusta lihasvoimaan eikä lihaksen poikkipinta-alaan. Jokaisella ryhmällä lihasvoima kuitenkin kasvoi harjoitusjakson aikana tasaisesti, kun taas lihaksen poikkipinta-ala pieneni.

Aiemmissä tutkimuksissa harjoittelu kerran viikossa ei riittänyt edes ylläpitämään aiemmin saavutettuja voima- ja lihasmassaominaisuuksia (Holviala ym. 2014; Bickel ym. 2011). Tässä tutkimuksessa myös kerran viikossa tapahtuva voimaharjoittelu kehitti lihasvoimaa. Holvialan ym. (2014) tutkimuksessa kaksi kertaa viikossa toteutettu voimaharjoittelu riitti ylläpitämään aiemmin saavutetut lihasvoimaominaisuudet naisilla, muttei miehillä. Ferrarin ym. (2016) tutkimuksessa miesten voimaominaisuudet jopa kehittyivät, kun he harjoittelivat kaksi tai kolme kertaa viikossa. Tämän tutkimuksen tulos siitä, että jo kerran viikossa toteutetusta voi-

maharjoittelusta on hyötyä, on merkittävä ikääntyneiden henkilöiden harjoitteluun sitoutumisen ja sen säännöllisyyden kannalta. Suurempi voimaharjoittelun toistumistiheys ei tuonut lisäarvoa lihasvoiman tai lihaksen poikkipinta-alan kasvulle.

Tässä tutkimuksessa vaikuttavin harjoittelujakso oli ensimmäinen kolme kuukautta. Tällöin sekä lihasvoima että lihaksen poikkipinta-ala kasvoivat. Aiemmissä tutkimuksissa havaittiin lihasvoiman kasvun huipun sijoittuvan 8–12 viikon kohdalle (Mero ym. 2013; Bickel ym. 2011; Morganti ym. 1995). Ikääntyneet henkilöt, joilla ei ole aiempaa voimaharjoittelutaustaa, kehittyvät aloittelijoina nopeasti, mutta myöhemmin kehitys tasaantuu (Holviala ym. 2014). Tämän tutkimuksen tulos siitä, että jokaisella harjoitusryhmällä lihaksen poikkipinta-ala kuitenkin pieneni seuraavan kuuden kuukauden harjoitusjakson aikana, on odottamaton. Syy saattaa liittyä lihaksen sisäiseen rasvakudokseen, jota on erityisesti ikääntyneen henkilön lihaskudoksessa (Sipilä & Suominen 1996). Ultraäänikuvantamisessa lihaksen sisäinen rasvakudos sisältyy automaattisesti analyysiin (Sipilä & Suominen 1996). Voimaharjoittelun vaikutuksesta lihasmassa kasvaa, mutta samalla lihaksen koostumus muuttuu, jolloin mahdollinen lihasmassan kasvu ei näy poikkipinta-alan kasvua mittaavassa ultraäänikuvantamisessa (Sipilä & Suominen 1996). Ikääntyneen henkilön lihaksen koostumuksen arvioinnissa saattaa olla hyödyllistä käyttää myös muita tutkimusmenetelmiä ultraäänikuvantamisen lisäksi.

Tämän tutkimuksen vahvuutena on sen tutkimusasetelma eli satunnaistettu kontrolloitu koe, jossa voimaharjoitteluintervention kesto oli yhdeksän kuukautta. Suurin osa voimaharjoittelututkimuksista kestää alle kuusi kuukautta (Liu & Latham 2009). Harjoitusryhmät eivät eronneet toisistaan, ja interventio toteutui harjoitusryhmien osalta hyvin, sillä tutkittavien sitoutuminen harjoituksiin oli korkea. Intervention vahvuutena oli myös progressiivinen harjoitusohjelma, ja tutkittavat yleisesti kokivat innostuvansa ja saaneensa motivaatiota omaehtoiseen harjoitteluun. Mittausmenetelmät olivat yleisesti hyväksytyjä, ja samat henkilöt suorittivat mittaukset kaikissa vaiheissa.

Tutkimuksen heikkoutena oli esimerkiksi eri kokoiset ryhmät. Interventioryhmiin satunnaistettiin enemmän tutkittavia kuin kontrolliryhmään, sillä tutkittavien kadon ajateltiin olevan suurempaa interventioryhmissä, erityisesti kolme kertaa viikossa harjoittelevien ryhmässä, kuin kontrolliryhmässä. Tutkittavia jäi interventioryhmistä pois ennakoitua vähemmän ja toisaalta kato osoittautui suuremmaksi kontrolliryhmässä kuin interventioryhmissä. Kontrolli-

ryhmän kato johtui tutkittavien tyytymättömyydestä tulla satunnaistetuksi harjoittelemattoon kontrolliryhmään. Interventioryhmät olivat lopulta suurempia kuin kontrolliryhmä.

Myös mittauksiin saattaa sisältyä epätarkkuuksia ja virheitä. Lihaksen poikkipinta-alamittaukset ultraäänikuvantamisella saatettiin mitata väärästä kohdasta, ja myös jalkojen asento saattoi vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen. Mittaukset pyrittiin kuitenkin vakioimaan tatuointipisteellä ja mittauskohdan valokuvaamisella. Isometrisissä voimamittauksissa esimerkiksi laitteiden toimimattomuus saattoi johtaa datan puuttumiseen. Mittaajia ei tutkimuksessa sokkoutettu. Mittaaja siis toimi tutkimuksessa myös ohjaajana kuntosaliharjoituksissa, ja näin ollen tiesi mihin interventioryhmään tutkittava kuului. Tämän vuoksi jotakuta tutkittavaa saatettiin kohdella eri tavoin tarkoituksettomastikin.

Tutkimus toteutettiin tutkimuseettisten periaatteiden mukaisesti. Ennen tutkimusta kutsutuille henkilöille järjestettiin infotilaisuus tutkimuksen tarkoituksesta ja mahdollisista riskeistä. Tutkittavat olivat vapaaehtoisia, ja heidän itsemääräämisoikeutensa kuului mahdollisuus keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa. Keskeyttämiseen liittyvään päätöksentekoon kuului keskustelu tutkijan kanssa. Voidaan siis päätellä, että tutkittavilla oli riittävästi tietoa tutkimukseen osallistumisesta ja vapaaehtoisuudesta. Poissulkukriteerien ansiosta tutkimukseen eivät osallistuneet henkilöt, joilla intensiivinen voimaharjoittelu ja mittaukset olisivat mahdollisesti lisänneet riskiä komplikaatioihin ja tapaturmiin esimerkiksi vakavan sairauden vuoksi. Toisaalta tutkimukseen osallistuneet henkilöt olivat kotona asuvia itsenäisiä ikääntyneitä henkilöitä, jotka oletettavasti hyötyivät ohjatusta voimaharjoittelusta. Tutkimuksen lääkäri oli konsultoitavissa harjoittelusta johtuvissa terveyteen liittyvissä asioissa.

Voimaharjoittelun on todettu olevan helppo ja tehokas keino ikääntyvien henkilöiden lihasmassan ja -voiman kehittämiseen ja tätä kautta toimintakyvyn parantamiseen (Liu & Latham 2009). Suomessa ikääntyvien henkilöiden määrä lisääntyy, ja tämä luo taloudelle resurssipaineita. Ikääntyvien henkilöiden osallistaminen voimaharjoitteluun on siis myös edullinen keino ylläpitää heidän lihasvoimaansa ja tätä kautta toimintakykyään mahdollisimman pitkään. Jatkokutkimukset kerran viikossa toteutuneen voimaharjoittelun hyötyjen arvioinnista antaisivat arvokasta tietoa, sillä tällä hetkellä voimaharjoitteluinterventiot on pääasiassa toteutettu toistumistiheydellä kaksi tai kolme kertaa viikossa. Ikääntyvällä henkilöllä esteet voimaharjoittelun toteuttamiseen voivatkin kasvaa isoiksi. Sellaisten voimaharjoittelun toteuttamistapojen

löytäminen, joilla saavutetaan maksimaalinen hyöty riittävän vähäisellä panostuksella, olisi tärkeää.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S. P. & Kjaer, M. 2010. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20 (1), 49-64.
- 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. *European journal of applied physiology* 108 (2), 273-279.
- 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 (Dordrecht, Netherlands)* 38 (1), 10-015-9870-1. Epub 2016 Jan 15.
- Beneka, A., Malliou, P., Fatouros, I., Jamurtas, A., Gioftsidou, A., Godolias, G. & Taxildaris, K. 2005. Resistance training effects on muscular strength of elderly are related to intensity and gender. *Journal of science and medicine in sport* 8 (3), 274-283.
- Bickel, C. S., Cross, J. M. & Bamman, M. M. 2011. Exercise dosing to retain resistance training adaptations in young and older adults. *Medicine and science in sports and exercise* 43 (7), 1177-1187.
- Clark, B. C., Fernhall, B. & Ploutz-Snyder, L. L. 2006a. Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting: I. Skeletal muscle contractile properties and applied ischemia efficacy. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 101 (1), 256-263.
- Clark, B. C. & Manini, T. M. 2008. Sarcopenia \neq dynapenia. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 63 (8), 829-834.
- Clark, B. C., Manini, T. M., Bolanowski, S. J. & Ploutz-Snyder, L. L. 2006b. Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting: II. Neurological properties and motor imagery efficacy. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 101 (1), 264-272.
- Clark, D. J., Pojednic, R. M., Reid, K. F., Patten, C., Pasha, E. P., Phillips, E. M. & Fielding, R. A. 2013. Longitudinal decline of neuromuscular activation and power in healthy older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 68 (11), 1419-1425.
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., Martin, F. C., Michel, J. P., Rolland, Y., Schneider, S. M., Topinkova, E., Vandewoude, M., Zamboni, M. & European Working Group on Sarcopenia in Older People 2010. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and Ageing* 39 (4), 412-423.

- Dalton, B. H., Power, G. A., Vandervoort, A. A. & Rice, C. L. 2010. Power loss is greater in old men than young men during fast plantar flexion contractions. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 109 (5), 1441-1447.
- de Salles, B. F., Simao, R., Miranda, F., Novaes Jda, S., Lemos, A. & Willardson, J. M. 2009. Rest interval between sets in strength training. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 39 (9), 765-777.
- de Vos, N. J., Singh, N. A., Ross, D. A., Stavrinou, T. M., Orr, R. & Fiatarone Singh, M. A. 2008. Effect of power-training intensity on the contribution of force and velocity to peak power in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 16 (4), 393-407.
- Deschenes, M. R. 2004. Effects of aging on muscle fibre type and size. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 34 (12), 809-824.
- Ferrari, R., Fuchs, S. C., Krueel, L. F., Cadore, E. L., Alberton, C. L., Pinto, R. S., Radaelli, R., Schoenell, M., Izquierdo, M., Tanaka, H. & Umpierre, D. 2016. Effects of Different Concurrent Resistance and Aerobic Training Frequencies on Muscle Power and Muscle Quality in Trained Elderly Men: A Randomized Clinical Trial. *Aging and disease* 7 (6), 697-704.
- Fielding, R. A., LeBrasseur, N. K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K. & Fiatarone Singh, M. A. 2002. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (4), 655-662.
- Fisher, J. P., Steele, J., Gentil, P., Giessing, J. & Westcott, W. L. 2017. A minimal dose approach to resistance training for the older adult; the prophylactic for aging. *Experimental gerontology* 99, 80-86.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. 2004. *Designing resistance training programs*. (3rd ed. 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* (Auckland, N.Z.) 37 (2), 145-168.
- Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fielding, R. A., Fiatarone, M. A., Evans, W. J. & Roubenoff, R. 2000. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 88 (4), 1321-1326.
- Gurjao, A. L., Gobbi, L. T., Carneiro, N. H., Goncalves, R., Ferreira de Moura, R., Cyrino, E. S., Altimari, L. R. & Gobbi, S. 2012. Effect of strength training on rate of force development in older women. *Research quarterly for exercise and sport* 83 (2), 268-275.
- Holviala, J., Häkkinen, A., Alen, M., Sallinen, J., Kraemer, W. & Häkkinen, K. 2014. Effects of prolonged and maintenance strength training on force production, walking, and balance in aging women and men. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24 (1), 224-233.
- 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. *European journal of applied physiology* 112 (4), 1335-1347.

- Holviaia, J. H., Sallinen, J. M., Kraemer, W. J., Alen, M. J. & Häkkinen, K. K. 2006. Effects of strength training on muscle strength characteristics, functional capabilities, and balance in middle-aged and older women. *Journal of strength and conditioning research* 20 (2), 336-344.
- Hughes, V. A., Frontera, W. R., Wood, M., Evans, W. J., Dallal, G. E., Roubenoff, R. & Fiatarone Singh, M. A. 2001. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 56 (5), B209-17.
- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., McLafferty, C. L., Jr, Zuckerman, P. A., Landers, K. A. & Bamman, M. M. 2001. High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (10), 1759-1764.
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z. M. & Ross, R. 2000. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 89 (1), 81-88.
- Kalopotharakos, V. I., Michalopoulou, M., Godolias, G., Tokmakidis, S. P., Malliou, P. V. & Gourgoulis, V. 2004. The effects of high- and moderate-resistance training on muscle function in the elderly. *Journal of Aging and Physical Activity* 12 (2), 131-143.
- Kaya, R. D., Nakazawa, M., Hoffman, R. L. & Clark, B. C. 2013. Interrelationship between muscle strength, motor units, and aging. *Experimental gerontology* 48 (9), 920-925.
- Kortebein, P., Symons, T. B., Ferrando, A., Paddon-Jones, D., Ronsen, O., Protas, E., Conger, S., Lombeida, J., Wolfe, R. & Evans, W. J. 2008. Functional impact of 10 days of bed rest in healthy older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 63 (10), 1076-1081.
- Lafortuna, C. L., Tresoldi, D. & Rizzo, G. 2014. Influence of body adiposity on structural characteristics of skeletal muscle in men and women. *Clinical physiology and functional imaging* 34 (1), 47-55.
- Lambert, C. P. & Evans, W. J. 2002. Effects of aging and resistance exercise on determinants of muscle strength. *Journal of the American Aging Association* 25 (2), 73-78.
- Lento, P. H. & Primack, S. 2008. Advances and utility of diagnostic ultrasound in musculoskeletal medicine. *Current reviews in musculoskeletal medicine* 1 (1), 24-31.
- Lexell, J., Taylor, C. C. & Sjostrom, M. 1988. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *Journal of the neurological sciences* 84 (2-3), 275-294.
- Ling, S. M., Conwit, R. A., Ferrucci, L. & Metter, E. J. 2009. Age-associated changes in motor unit physiology: observations from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 90 (7), 1237-1240.

- Liu, C. J. & Latham, N. K. 2009. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *The Cochrane database of systematic reviews* (3):CD002759. doi (3), CD002759.
- Marsh, A. P., Miller, M. E., Rejeski, W. J., Hutton, S. L. & Kritchevsky, S. B. 2009. Lower extremity muscle function after strength or power training in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 17 (4), 416-443.
- McKay, B. R., Ogborn, D. I., Bellamy, L. M., Tarnopolsky, M. A. & Parise, G. 2012. Myostatin is associated with age-related human muscle stem cell dysfunction. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 26 (6), 2509-2521.
- 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. 2013. Resistance training induced increase in muscle fiber size in young and older men. *European journal of applied physiology* 113 (3), 641-650.
- Morganti, C. M., Nelson, M. E., Fiatarone, M. A., Dallal, G. E., Economos, C. D., Crawford, B. M. & Evans, W. J. 1995. Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training in older women. *Medicine and science in sports and exercise* 27 (6), 906-912.
- Morse, C. I., Thom, J. M., Davis, M. G., Fox, K. R., Birch, K. M. & Narici, M. V. 2004. Reduced plantarflexor specific torque in the elderly is associated with a lower activation capacity. *European journal of applied physiology* 92 (1-2), 219-226.
- Newton, R. U., Häkkinen, K., Häkkinen, A., McCormick, M., Volek, J. & Kraemer, W. J. 2002. Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (8), 1367-1375.
- Nienstedt, W. 2004. *Ihmisen fysiologia ja anatomia* /. (15. uud. p. painos) Helsinki: WSOY. Lisäpainokset: 16. p. 2006 (654 s.). - 17. p. 2008.
- Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B. B., van Kranenburg, J., Verdijk, L. B. & van Loon, L. J. 2013. The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Experimental gerontology* 48 (5), 492-498.
- Nummenmaa, L. 2009. *Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät*. (1. p., uud. laitos. painos) Helsinki: Tammi. Lisäpainokset: 2. p. 2010. - 3. p. 2011.
- Oja, P. & Titze, S. 2011. Physical activity recommendations for public health: development and policy context. *The EPMA journal* 2 (3), 253-259.
- Padilha, C. S., Ribeiro, A. S., Fleck, S. J., Nascimento, M. A., Pina, F. L., Okino, A. M., Venturini, D., Barbosa, D. S., Mayhew, J. L. & Cyrino, E. S. 2015. Effect of resistance training with different frequencies and detraining on muscular strength and oxidative stress biomarkers in older women. *Age (Dordrecht, Netherlands)* 37 (5), 104-015-9841-6. Epub 2015 Sep 30.

- Pearson, S. J., Young, A., Macaluso, A., Devito, G., Nimmo, M. A., Cobbold, M. & Harridge, S. D. 2002. Muscle function in elite master weightlifters. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (7), 1199-1206.
- Power, G. A., Allen, M. D., Booth, W. J., Thompson, R. T., Marsh, G. D. & Rice, C. L. 2014. The influence on sarcopenia of muscle quality and quantity derived from magnetic resonance imaging and neuromuscular properties. *Age (Dordrecht, Netherlands)* 36 (3), 9642.
- Power, G. A., Dalton, B. H., Rice, C. L. & Vandervoort, A. A. 2012a. Power loss is greater following lengthening contractions in old versus young women. *Age (Dordrecht, Netherlands)* 34 (3), 737-750.
- Power, G. A., Rice, C. L. & Vandervoort, A. A. 2012b. Increased residual force enhancement in older adults is associated with a maintenance of eccentric strength. *PloS one* 7 (10), e48044.
- Ramirez-Campillo, R., Castillo, A., de la Fuente, C. I., Campos-Jara, C., Andrade, D. C., Alvarez, C., Martinez, C., Castro-Sepulveda, M., Pereira, A., Marques, M. C. & Izquierdo, M. 2014. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental gerontology* 58, 51-57.
- Rantanen, T., Masaki, K., Foley, D., Izmirlian, G., White, L. & Guralnik, J. M. 1998. Grip strength changes over 27 yr in Japanese-American men. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 85 (6), 2047-2053.
- Reeves, N. D., Narici, M. V. & Maganaris, C. N. 2006. Musculoskeletal adaptations to resistance training in old age. *Manual therapy* 11 (3), 192-196.
- Reeves, N. D., Narici, M. V. & Maganaris, C. N. 2004. In vivo human muscle structure and function: adaptations to resistance training in old age. *Experimental physiology* 89 (6), 675-689.
- Reid, K. F., Pasha, E., Doros, G., Clark, D. J., Patten, C., Phillips, E. M., Frontera, W. R. & Fielding, R. A. 2014. Longitudinal decline of lower extremity muscle power in healthy and mobility-limited older adults: influence of muscle mass, strength, composition, neuromuscular activation and single fiber contractile properties. *European journal of applied physiology* 114 (1), 29-39.
- Rosenberg, J. G., Ryan, E. D., Sobolewski, E. J., Scharville, M. J., Thompson, B. J. & King, G. E. 2014. Reliability of panoramic ultrasound imaging to simultaneously examine muscle size and quality of the medial gastrocnemius. *Muscle & nerve* 49 (5), 736-740.
- Seene, T. & Kaasik, P. 2012. Muscle weakness in the elderly: role of sarcopenia, dynapenia, and possibilities for rehabilitation. *European Review of Aging and Physical Activity* 9 (2), 109-117.
- Sipilä, S. & Suominen, H. 1996. Quantitative ultrasonography of muscle: detection of adaptations to training in elderly women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 77 (11), 1173-1178.

- Strasser, B., Keinrad, M., Haber, P. & Schobersberger, W. 2009. Efficacy of systematic endurance and resistance training on muscle strength and endurance performance in elderly adults--a randomized controlled trial. *Wiener klinische Wochenschrift* 121 (23-24), 757-764.
- Thom, J. M., Morse, C. I., Birch, K. M. & Narici, M. V. 2007. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *European journal of applied physiology* 100 (5), 613-619.
- Tiainen, K., Sipilä, S., Alen, M., Heikkinen, E., Kaprio, J., Koskenvuo, M., Tolvanen, A., Pajala, S. & Rantanen, T. 2004. Heritability of maximal isometric muscle strength in older female twins. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 96 (1), 173-180.
- Tiggemann, C. L., Dias, C. P., Radaelli, R., Massa, J. C., Bortoluzzi, R., Schoenell, M. C., Noll, M., Alberton, C. L. & Kruegel, L. F. 2016. Effect of traditional resistance and power training using rated perceived exertion for enhancement of muscle strength, power, and functional performance. *Age* (Dordrecht, Netherlands) 38 (2), 42-016-9904-3. Epub 2016 Mar 23.
- Verdijk, L. B., Koopman, R., Schaart, G., Meijer, K., Savelberg, H. H. & van Loon, L. J. 2007. Satellite cell content is specifically reduced in type II skeletal muscle fibers in the elderly. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism* 292 (1), E151-7.
- Walker, S. & Häkkinen, K. 2014. Similar increases in strength after short-term resistance training due to different neuromuscular adaptations in young and older men. *Journal of strength and conditioning research* 28 (11), 3041-3048.
- Walker, S., Hulmi, J. J., Wernbom, M., Nyman, K., Kraemer, W. J., Ahtiainen, J. P. & Häkkinen, K. 2013. Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European journal of applied physiology* 113 (9), 2233-2244.
- Walker, S., Peltonen, H. & Häkkinen, K. 2015. Medium-intensity, high-volume "hypertrophic" resistance training did not induce improvements in rapid force production in healthy older men. *Age* (Dordrecht, Netherlands) 37 (3), 9786-015-9786-9. Epub 2015 Apr 25.
- Wallerstein, L. F., Tricoli, V., Barroso, R., Rodacki, A. L. F., Russo, L., Aihara, A. Y., da Rocha Correia Fernandes, A., de Mello, M. T. & Ugrinowitsch, C. 2012. Effects of strength and power training on neuromuscular variables in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 20 (2), 171-185.

LIITTEET

Liite 1. Harjoittelun ohjelmointi

		Kuukausi								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Harj.tyyppi	LK	LK	LK	HYP	HYP	MV	HYP	MV	NV
	Intensiteetti (%1RM)	40-60	40-60	40-60	60-75	75-85	85-90	60-85	85-90	30-80
	Sarjat toistot	2 16-20	2-3 14-16	2-3 15	2-3 10-12	2-4 8-10**	2-4 4-6	3-4 8-12	3-5 4-6	4 6-8
	Lepo (min)	1	0,5/2-4*	0/1	2	1-2	2-3	1-2	2-4	3
Liikkeet										
Alavartalo	Jalkaprässi	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Polven ojennus	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Polven koukistus	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Pohjenuosu istuen	X	X	X	X	X	X	X		
	Askelkyykky							X		X
	Pohjenuosu seisten							X	X	X
	Takakyykky							X	X	X
	Maastaveto							X		X
Ylävartalo	Rintapunnerrus laitteessa	X	X	X	X	X	X			
	Ylätaljaveto	X	X	X	X	X	X		X	
	Ojentajat taljassa	X	X	X	X	X				
	Pystypunnerrus laitteessa	X	X	X	X	X	X			
	Alataljasoutu	X	X	X	X	X	X		X	X
	Hauiskääntö taljassa	X	X	X						
	Vipunostot seisten käsipainoilla		X	X					X	
	Rintalihakset laitteessa					X	X	X	X	
	Hauiskääntö tangolla/käsipainoilla				X	X				
	Penkkipunnerrus							X	X	X
	Yhden käden kulmasoutu							X		
	Pystypunnerrus käsipainoilla							X	X	X
	Avustettu leuanveto laitteessa							X		X
	Vatsarutistus lattialla kehonpainolla	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Selänojennus laitteessa	X	X	X	X	X	X	X		X
Vatsarutistus laitteessa	X	X	X	X		X		X		
Selänojennus lattialla kehonpainolla				X	X	X	X	X	X	

LK=Lihaskestävyys, HYP=Hypertrofinen perusvoima, MV=Maksimivoima, NV=Räjähtävä nopeusvoima, *=supersarjat: lepo liikkeen jälkeen/lepo supersarjan jälkeen,

**=Pyramidisarjat: 1x10, 1x9, 2x8 (sarjat x toistot).