

**LIHAKSEN LAADUN, KEHONKOOSTUMUKSEN JA
MAKSIMIVOIMAN MUUTOKSET VOIMAHARJOITTELUSSA**

Kolunsarka Iiris

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

VTEA006

Liikuntabiologia

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2017

Työnohjaaja: Antti Mero

TIIVISTELMÄ

Kolunsarka, Iiris (2017). Lihaksen laadun, kehon koostumuksen ja maksimivoiman muutokset voimaharjoittelussa. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 46 s.

Lihaksen laatu on alkanut saada kasvavaa huomiota, sillä sen on havaittu vaikuttavan terveyteen ja suorituskykyyn. Lihaksen laadulla tarkoitetaan lihaksen sisäisen rasvan ja sidekudoksen määrää. Heikon lihaksen laadun on todettu vaikuttavan heikentävästi suorituskykyyn, sekä olevan yhteydessä korkeampaan rasvaprosenttiin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rasvaprosentin ja lihaksen laadun yhteyttä, sekä voimaharjoittelun vaikutusta lihaksen laatuun, rasvaprosenttiin ja maksimivoimaan. **Menetelmät.** Tutkimus toteutettiin syksyllä 2016 ja koehenkilöinä oli vähintään kahden vuoden voimaharjoittelutaustan omaavia miehiä (n=14). Tutkimus tehtiin osana isompaa tutkimusta, jossa vertailtiin kahden eri kilpailuun valmistavan herkistelyjakson vaikutusta maksimivoimaan. Tutkimuksessa toteutettiin kahdeksan viikon voimaharjoittelujakso ja samat mittaukset suoritettiin tätä ennen ja sen jälkeen. Mittaukset sisälsivät uloimman reisilihaksen ultraäänikuvauksen, kehonkoostumusmittauksen Inbodylla ja kyykyn yhden toiston maksimin. **Tulokset.** Kyykyn yhden toiston maksimi parani ($p<0,001$), uloimman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi ($p<0,01$), lihaksen laatu parani ($p<0,001$) pre- ja post -mittausten välillä. Kehon rasvaprosentissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Lihaksen laadun ja kehon rasvaprosentin välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio pre-mittauksessa ($r=0,59$, $p<0,05$). **Johtopäätös.** Tulosten perusteella näyttäisi, että kahdeksan viikon voimaharjoittelulla voidaan parantaa lihaksen laatua, mutta se ei näy koko kehon rasvaprosentin muutoksena.

Avainsanat: Lihaksen laatu, maksivoima, kehon koostumus, voimaharjoittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	LUURANKOLIHAS	2
2.1	Lihaksen rakenne	2
2.2	Lihaksen poikkipinta-ala	3
2.2.1	Määrittäminen.....	3
2.3	Vastus lateralis.....	4
3	LIHAKSEN LAATU.....	5
3.1	Lihaksen laadun määrittäminen.....	5
3.2	Lihaksen laadun vaikutus suorituskyyyn.....	6
3.3	Lihaksen laatu suhteessa kehonkoostumukseen	7
3.4	Lihaksen laatu suhteessa maksimivoimaan	9
4	VOIMAHARJOITTELUN ADAPTAATIOT HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄSSÄ	10
4.1	Hermostollinen harjoittelu	11
4.2	Hypertrofinen harjoittelu	12
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	13
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	17
6.1	Koehenkilöt	17
6.2	Tutkimusasetelma.....	17
6.3	Harjoitusohjelma	18
6.4	Aineiston keräys ja analysointi.....	21
6.4.1	Ultraääni	21

6.4.2	Maksimivoima	23
6.4.3	Kehonkoostumus	25
6.4.4	Lihaksen poikkipinta-ala	25
6.4.5	Lihaksen laatu	26
6.5	Tilastolliset analyysit	26
7	TULOKSET	27
7.1	Mitattujen muuttujien muutokset Pre- ja Post 8-mittausten välillä	27
7.1.1	Lihaksen laatu	27
7.1.2	Kehonkoostumus	28
7.1.3	Maksimivoima	28
7.1.4	Lihaksen poikkipinta-ala	29
7.1.5	Lihasmassa	30
7.2	Mitattujen muuttujien väliset korrelaatiot Pre- ja Post 8-mittauksissa	31
7.2.1	Lihaksen laatu suhteessa kehonkoostumukseen	31
7.2.2	Lihaksen laatu suhteessa maksimivoimaan	33
7.2.3	Lihaksen laatu suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan	33
7.2.4	Maksimivoima suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan	33
7.2.5	Lihasmassa suhteessa uloimman reisilihaksen poikkipinta-alaan	33
8	POHDINTA	34
	LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Lihaksen toimintakyvyn on havaittu olevan yhteydessä lihaksen sisäisen rasvan määrään eli lihaksen laatuun (Fragala ym. 2015). Heikentynyt toimintakyky ei ole pelkästään seurausta lihaksen koon pienenemisestä, vaan myös sen laadun heikkenemisestä ikääntyvillä ihmisillä (Ismail ym. 2015). Lihaksen sisäisen rasvan määrän yhteyttä rasvaprosenttiin on myös tutkittu ja tutkimuksissa on havaittu suurella rasvaprosentilla olevan yhteys suurempaan lihaksen sisäisen rasvan määrään (Lauretani ym. 2006; Ryan ym. 2016; Goodpaster ym. 2001). Voimaharjoittelun tiedetään lisäävän lihaksen voimaa (Walker ym. 2014), mutta muuttaako se lihaksen laatua?

Lihaksen voimantuoton suuruuteen vaikuttavat kaksi tekijää: lihaksen poikkipinta-ala ja lihaksen hermotus (Enoka 2008, 363). Lihaksen kasvanut voimantuotto ei siis aina tarkoita kasvanutta poikkipinta-alaa. Hermostollispainotteisella harjoittelulla voidaan kehittää maksimivoimaa ilman suurempia muutoksia lihaksen poikkipinta-alassa. Voiman kasvu perustuu tällöin parantuneeseen motoriseen aktivaatioon eli hermostolliseen ohjaukseen. (Häkkinen 1990, 56; Campos ym. 2002).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten kehon koostumuksen ja lihaksen laadun muutokset ovat suhteessa toisiinsa, sekä miten nämä molemmat ovat suhteessa maksimivoiman muutoksiin voimaharjoitelleilla miehillä. Tutkimuksessa tarkastellaan myös lihaksen poikkipinta-alan muutosta suhteessa maksimivoiman muutokseen. Olettamuksena on, että maksimivoima nousee voimaharjoittelun seurauksena sekä lihaksen sisäinen rasva vähenee lihaksen parantuneen toimintakyvyn myötä, mutta lisääntyy, jos kehon rasvaprosentti nousee. Tutkimuksessa tehtävä voimaharjoittelu on hermostollispainotteista, joten suuria muutoksia poikkipinta-alassa ei oleteta tapahtuvan, vaikka maksimivoiman oletetaan kasvavan harjoittelun seurauksena.

2 LUURANKOLIHAS

Lihakset ovat molekyyllisiä rakenteita jotka muuntavat ruuasta johdettua kemiallista energiaa voimaksi. Rakenteellisten ja fysiologisten ominaisuuksien pohjalta lihaskudos jaetaan poikkijuovaiseen-, sileään- ja sydänlihaskudokseen. Kaikilla näillä lihaskudoksilla on kuitenkin yhteisiä ominaisuuksia, joita ovat sähkönjohtavuus, ärtyvyys, supistumiskyky ja sopeutumiskyky.

Luurankolihas muodostuu poikkijuovaisesta lihaskudoksesta ja se kiinnittyy aina vähintään kahteen luuhun ja supistuessaan lähentää näitä luita toisiinsa nähden saaden aikaan liikkeen. Luurankolihas toimii tahdonalaisesti ja sen toiminta perustuu motoristen yksiköiden aktivaatioon. Motorisen yksikön muodostaa motorinen hermosolu ja kaikki sen hermottamat lihassolut. Luurankolihasen voimantuotto riippuu aktivoitujen motoristen yksiköiden määrästä (rekrytointi) ja tasosta, jolla motoriset hermot lähettävät aktiopotentiaaleja (syttymistiheys). (Enoka 2008, 224-225).

2.1 Lihaksen rakenne

Lihassolut ovat kiinnittyneet yhteen kolmitasoisella sidekudos verkostolla. Endomysium ympäröi yksittäisiä lihasfiibereitä, perimysium yhdistää yksittäiset solut lihassolukimpuiksi ja epimysium ympäröi näistä muodostuvaa koko lihasta. Tämä sidekudos verkosto yhdistää lihaksen jänteeseen ja edelleen luuhun.

Sarkomeeri on lihasolun pienin toiminnallinen yksikkö, jossa vuorottelevat ohuet ja paksut supistuvat proteiinit, myofilamentit. Sarkomeerit ovat järjestäytyneet lihassolussa peräkkäin ja toisiinsa päästä päähän liittyneiden sarkomeerien sarjaa kutsutaan myofibrilliksi. Myofibrilli sisältää kaksi myofilamenttia, ohuen ja paksun. Ohut filamentti sisältää suurimmilta osiltaan proteiinia nimeltä aktiini ja paksu proteiinia nimeltä myosiini. Supistuessaan sarkomeerin aktiini ja myosiini filamentit liukuvat toistensa lomitse, jolloin lihassolu lyhenee.

Lihassolukalvo eli sarkolemma on sähköä johtava kalvo, jonka lepopotentiaalin häviäminen saa aikaan lihassupistuksen. Lihassolukalvon ympäröimä neste, sarkoplasma, sisältää kalvorakenteita, jotka kuljettavat aktivaatio signaalin solukalvolta lihassolun supistuville osille. Näitä kalvorakenteita ovat sarkoplastinen retikulumi, joka kulkee pitkittäin lihassolussa sekä transversaalit T-tubulukset, jotka kulkevat lihassolussa poikittain. Aktiopotentiaali leviää solukalvolta näitä rakenteita pitkin lihaksen sisään saaden aikaan lihassolujen supistumisen. (Enoka 2008, 205-209.).

2.2 Lihaksen poikkipinta-ala

Lihaksen poikkipinta-alalla (cross-sectional area) tarkoitetaan lihaksen poikkileikkauksen pinta-alaa, joka kertoo lihaksen koosta. Lihassolun sarkomeerit ovat järjestäytyneet peräkkäin sarjaan yhden myofibrillin sisällä sekä vierekkäin useiden myofibrillien välityksellä. Lihaksen poikkipinta-ala on riippuvainen vierekkäin olevien sarkomeerien määrästä. Lihakset, joilla on iso poikkipinta-ala, sisältävät usein lyhyitä lihassoluja järjestettynä vierekkäin useiden myofibrillien välityksellä. (Enoka 2008, 231-233). Hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena lihassolun koko kasvaa lisäten näin lihaksen poikkipinta-alan kokoa (McArdle ym. 2015, 531).

2.2.1 Määrittäminen

Paljon käytetty metodi lihaksen poikkipinta-alan määrittämiseen on magneettikuvaus (MRI). Toinen edullisempi ja helpommin saatavilla oleva tapa mitata lihaksen poikkipinta-alaa on ultraäänikuvantaminen. (Mayes ym. 2015). Sen on todettu olevan pätevä ja luotettava tapa määrittää lihaksen poikkipinta-alaa. (Mohseny ym. 2015). Lihas kuvataan ultraäänellä, jonka jälkeen kuvat tallennetaan muistitikulle ja analysoidaan ImageJ-ohjelmalla. Lihaksen poikkipinta-ala määritetään kuvasta rajaamalla haluttu lihas, jolloin ohjelma laskee sen poikkipinta-alan. (Wu & Bogie 2008)

2.3 Vastus lateralis

Vastus lateralis eli suomeksi ulompi reisilihas on yksi neljästä nelipäisen reisilihaksen (quadriceps femoris) lihaksista. Muut kolme ovat suora reisilihas (rectus femoris), keskimmäinen reisilihas (vastus intermedius) ja sisempi reisilihas (vastus medialis). Nämä neljä lihasta kiinnittyvät yhteisellä jänteellä polvilumpioon, josta jänne jatkuu polvilumpion ligamenttina sääriluun kyhmyyn (tuberositas tibiae). Nelipäisen reisilihaksen funktio on ojentaa polviniveltä. Sen antagonisti on kaksipäinen reisilihas (biceps femoris). Vastus lateralisin origot ovat ison sarvennoisen (trochanter major) ja reisiluun harjun (linea aspera) lateraaliset pinnat. (Platzer 2004, 248).

3 LIHAKSEN LAATU

Lihaksen laadulla tarkoitetaan lihaksen sisäisen rasva- ja sidekudoksen määrää. Joissain artikkeleissa, sillä viitataan myös lihaksen aerobiseen kapasiteettiin, aineenvaihduntaan, insuliiniresistanssiin ja hermostolliseen aktivaatioon. Lihaksen laatu ilmoitetaan usein lihasvoiman suhteena lihaksen massa yksikköön. Kuitenkaan vielä ei ole olemassa kansainvälistä määritelmää lihaksen laadulle. (McGregor ym. 2014).

Lihaksen sisäisellä rasvalla (intermuscular adipose tissue) tarkoitetaan lihaskalvon alla lihasfiiberien välissä olevaa rasvakudosta (Addison ym. 2014). Lihaksen sisäisellä sidekudoksella (muscle fibrosis) viitataan lihaksen sisällä olevaan sidekudokseen, jota muodostuu esimerkiksi lihasvaurioiden korjaamisen seurauksena (McGregor ym. 2014). Tässä tutkimuksessa, puhuttaessa lihaksen laadusta, tarkoitetaan lihaksen sisältämän rasva- ja sidekudoksen määrä, joka ilmoitetaan ultraäänellä mitattuna echo intensity -arvona (EI-arvo).

Lihaksen laatu on ruvennut saamaan kasvavaa huomiota, koska sen on havaittu vaikuttavan terveyteen ja suorituskykyyn (Ryan ym. 2016). Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että heikko lihaksen laatu on yhteydessä vähentyneeseen lihasvoimaan (Goodpaster ym. 2001; Fukumoto ym. 2012), suurempaan rasvaprosenttiin (Lauretani ym. 2006) ja työperäiseen suorituskykyyn (Kleinberg ym. 2016)

3.1 Lihaksen laadun määrittäminen

Perinteisesti lihaksen laatua on tutkittu tietokonekerroskuvauksella (CT) ja magneettikuvauksella (MRI), joilla pystytään määrittämään lihaksen sisäisen rasvakertymän määrä eli lihaksen sisäisen rasvaprosentti (Ryan ym. 2016). Edullisempi ja helpommin saatavilla oleva tapa tutkia lihaksen laatua on ultraäänikuvantaminen (Giles ym. 2015), jossa kuvasta saadut echo intensity (EI) arvot indikoivat lihaksen sisäisen rasva- ja sidekudoksen määrää (Ryan ym. 2016). Mitä pienempi on echo intensity arvo, sen parempi on lihaksen

laatu. Young ym. (2015) ultraäänellä saadut echo intensity arvot korreloivat vahvasti magneettikuvaksella saatujen lihasten sisäisten rasvaprosenttien kanssa, kun ne korjattiin suhteessa ihonalaisen rasvan paksuuteen.

Ryan ym. (2016) vertailivat tutkimuksessaan ihonalaisen rasvan (SFT), kehonkoostumuksen ja lihaksen laadun suhdetta. Ultraäänikuvat otettiin rectus femoriksesta reiden puolen välin kohdalta (50% reiden pituudesta). Ultraäänikuvista saatiin ImageJ-ohjelmalla echo intensity arvo sekä ihonalaisen rasvakerroksen paksuus, joka mitattiin rectus femoriksen lateraalista ja mediaalisesta reunasta, sekä sen keskeltä. Tutkimuksessa saadut echo intensity arvot korjattiin suhteessa ihonalaisen rasvan arvoihin Young ym. (2015) kaavalla $EI = raw\ EI + (SFT \times 40.5278)$. Raajat echo intensity arvot korreloivat negatiivisesti kehon rasvaprosentin kanssa, kun taas korjatut echo intensity arvot korreloivat positiivisesti ja tuottivat samankaltaisia tuloksia kuin aiemmissa tutkimuksissa, joissa mittalaitteena oli käytetty magneettikuvaa tai tietokonekerroskuvausta.

3.2 Lihaksen laadun vaikutus suorituskykyyn

Ihmisen ikääntyminen johtaa lihasmassan, lihasvoiman ja lihaksen tehon laskuun. Vaikka luurankolihasmassa korreloi hyvin luurankolihasvoiman kanssa, laskevat voima ja teho nopeammin kuin niitä tuottava luurankolihasmassa. Tätä progressiivista yhteensopimattomuutta selitetään lihaksen laadun muutoksilla. (Barbar-Artigas ym. 2012; Goodpaster ym. 2006).

Ikääntyneiden muutokset lihasvoimassa yhdistetään usein lihaksen sisäisen rasvan ja sidekudoksen lisääntymiseen. Nämä muutokset lihaksen laadussa voivat vaikuttaa negatiivisesti suorituskykyyn. Ikääntyessä myös lihaksen poikkipinta-alan koko pienenee, jolla on oma osuutensa lihaksen suorituskyvyn heikkenemisessä. (Ismail ym. 2015). Kuitenkin liiallisella lihaksen sisäisellä rasvamäärällä on yhteys alhaiseen lihasvoimaan ja heikkoon fyysiseen suoritukseen, lihaksen poikkipinta-alan koosta huolimatta. Ikääntymiseen

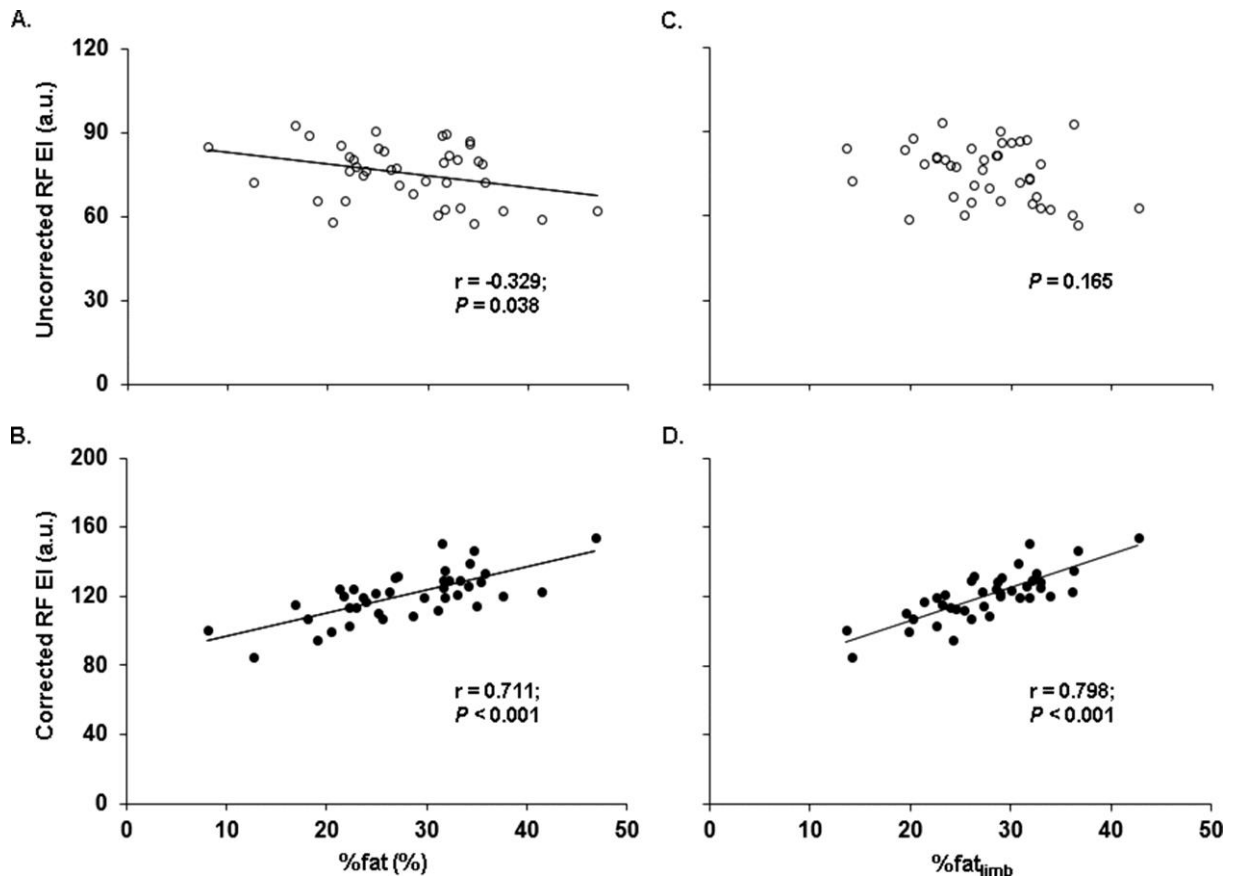
liittyvä lihaksen sisäisen rasvamäärän kasvu heikentää lihassolujen supistumiskykyä sekä koko lihaksen toimintakykyä. (Fragala ym. 2015)

Pedro ym. (2015) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin echo intensity arvojen ja suorituskyvyn välistä yhteyttä fyysisesti aktiivisilla ikääntyneillä naisilla. Suorituskyvyn mittaamiseen käytettiin 30-s sit-to-stand testiä, jossa 30 sekunnin ajan tutkittava istui tuolille (42cm) ja nousi vuorostaan seisomaan niin monta kertaa kuin ehti. Tuloksista selvisi, että pienemmät echo intensity arvot olivat yhteydessä suurempaan toistomäärään 30-s sit-to-stand testissä. Nämä tulokset tukivat ajatusta siitä, että echo intensity arvoilla on lihaksen kokoa suurempi vaikutus lihaksen toimintakykyyn. Myös Roelofs ym. (2015) maastajuoksijoille tehdyssä tutkimuksessa saatiin samankaltaisia tuloksia, kun havaittiin lihaksen suurella koolla ja pienellä echo intensity arvolla olevan positiivinen vaikutus nuorien maastajuoksijoiden suorituskyvyn ja lihasvammojen ehkäisyyn.

3.3 Lihaksen laatu suhteessa kehonkoostumukseen

Kehonkoostumus kertoo sen, mistä ainesosista keho muodostuu ja kuinka paljon eri ainesosia on suhteessa toisiinsa. Molekulaarisen mallin mukaan kehon kokonaispainon ajatellaan jakautuvan rasvamassaan ja rasvattomaan massaan. Kehonkoostumus mittaukset, kuten bioimpedanssi ja Dual x-ray absorption (DXA), olettavat kaiken rasvattoman massan olevan lihassmassaa, huomioimatta että lihaskudoksen sisällä lihassolujen välissä voi myös olla rasvakudosta (Fragala ym. 2015). Lihaksen sisäistä rasvan määrää ei siis pystytä mittaamaan näillä tavoin.

Liihallisen kehon rasvan määrä on kuitenkin havaittu olevan yhteydessä lihaksen sisään kertyvän rasvakudoksen määrään (Lauretani ym. 2006). Ryan ym. (2016) tutkimuksessa, jossa tutkittiin echo intensity arvojen ja kehon koostumuksien välistä suhdetta 40 terveellä miehellä, selvisi että echo intensity arvolla on positiivinen yhteys kokonaisrasvan (%fat) ja alueellisen rasvan (%fat_{limb}) määrään, kun echo intensity arvot korjataan suhteessa ihonalaiseen rasvaan. (KUVIO 1).



KUVIO 1. Rectus femoriksen korjattujen (B) ja ei-korjattujen (A) echo intensity -arvojen ja rasvaprosentin suhde ja rectus femoriksen korjattujen (D) ja ei-korjattujen (C) echo intensity -arvojen ja jalan rasvaprosentin suhde (Ryan ym. 2016)

Goodpaster ym. (2001) tukivat tietokonekerroskuvauksella lihaksen laatua ja vertasivat sitä painoindeksiin ja kehon kokonaisrasvan määrään 70-80 vuotiailla miehillä ja naisilla. Tulokseksi saatiin heikon lihaksen laadun olevan yhteydessä kasvavaan painoindeksiin ja kehon kokonaisrasvan määrään. Tutkimuksessa selvisi myös, että lihaksen sisältämää rasvaa oli enemmän naisilla kuin miehillä ja että se lisääntyi suhteessa korkeampaan ikään.

3.4 Lihaksen laatu suhteessa maksimivoimaan

Fukumoto ym. (2012) tekemässä tutkimuksessa nelipäisen reisilihaksen echo intensity arvolla oli huomattava korrelaatio sen tuottamaan lihasvoimaan. Tutkimuksessa lihasvoimaa mitattiin isometrisellä jalkadynamometrillä, jossa istuma-asennossa polvikulma oli 60 astetta. Polven ojentajien isometristä maksimivoimaa mitattiin kaksi kertaa kolmen sekunnin ajan, joiden välissä oli 30 sekunnin palautumisaika. Echo intensity arvoja mitattiin nelipäisestä reisilihaksesta otetuista ultraäänikuvista käyttämällä greyscale analyysia. Tutkimuksessa selvisi, että polvenojentajan eli nelipäisen reisilihaksen laatu itsessään vaikutti sen maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon.

4 VOIMAHARJOITTELUN ADAPTAATIOT HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄSSÄ

Voimaa mitataan yleisesti lihaksen tuottamana maksimaalisena voimana. Yksi yleisesti käytetty tapa on ilmoittaa voima kuormana, joka saadaan nostettua ainoastaan kerran. Tätä kutsutaan suorituksen yhden toiston maksimiksi (1RM). (Enoka 2008, 349). Lihaksen tuottamaa maksimaalista voimaa voidaan kasvattaa joko lihassolujen kokoa kasvattamalla tai parantamalla niiden hermostollista aktivointia (Enoka 2008, 363). Walker ym. (2014) tekemässä tutkimuksessa 10 viikon vastusharjoittelu lisäsi huomattavasti lihasvoimaa, sekä vanhoilla että nuorilla koehenkilöillä. Ilmeni kuitenkin, että dominoiva mekanismi, joka johti tähän lihasvoiman kasvuun, oli eri nuorten ja vanhojen välillä. Nuorilla lihasmassa eli lihassolujen koko kasvoi huomattavasti, minkä seurauksena hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky parani. Kun taas vanhoilla lihasvoiman kasvu perustui parantuneeseen lihasaktivaatioon eli hermostolliseen adaptaatioon, lihaksen koon kasvun jäädessä pieneksi. Siihen kumpi edellä mainituista mekanismeista dominoi lihasvoiman kasvussa, voidaan vaikuttaa harjoittelua manipuloimalla.

Toistettujen voimaharjoitusten adaptaatiot hermo-lihasjärjestelmässä riippuvat toteutetusta harjoitusohjelmasta. Erilaiset harjoitusvariaatiot vaikuttavat motoristen yksiköiden aktivointiin, synergistilihasten koordinointiin, tarvittavaan kehon hallinnan määrään liikkeessä ja keskushermoston sensoriseen palautteeseen. Tehokkain harjoittelustrategia on suhteuttaa tehtävä harjoittelu haluttuun tulokseen. (Enoka 2008, 349).

Vastusharjoittelu on tutkitusti tehokkain tapa kasvattaa voimaa ja lihasmassaa (Walker ym. 2014). Vastusharjoittelun eri muuttujien manipulointi kuormittaa työtä tekeviä lihaksia eri tavoin. Näitä muuttujia ovat esimerkiksi sarjojen määrä, palautumisaika, intensiteetti ja kuorma. Harjoitusärsyksen ja adaptaatiovasteen välillä näyttää olevan spesifi yhteys (Campos ym. 2002), jolloin muuttujien eli harjoitusärsyksen manipulointi aiheuttaa erilaisia adaptaatioita hermo-lihasjärjestelmässä pidemmällä aika välillä (Walker ym. 2014). Anderson ym. (1982) tutkivat kolmen hyvin erilaisen vastusharjoituksen vaikutusta voiman adaptaatioon. 45 yliopistoikäistä miestä jaettiin satunnaisesti kolmeen ryhmään: korkea

vastus/vähän toistoja (kolme kertaa 6-8 toiston maksimi), keskiverto vastus/keskiverto määrä toistoja (kaksi kertaa 30–40 toiston maksimi) ja matala vastus/paljon toistoja (kerran 100-150 toiston maksimi). Koehenkilöt harjoittelivat ryhmänsä harjoituksen mukaan yhdeksän viikon ajan kolme kertaa viikossa. Ryhmä, joka teki harjoituksen korkealla vastuksella ja vähällä määrällä toistoja, paransi eniten maksimivoimaa (1RM) ja vähiten kestovoimaa (maksimitoistot käyttäen 40 % kuromaa yhden toiston maksimista) verrattuna kahteen muuhun ryhmään.

Erityisesti voimaharjoittelun alussa vaikutukset hermo-lihasjärjestelmässä kohdistuvat harjoittelemattomilla henkilöillä hermostollisiin ohjausmekanismeihin. Näin ollen suuri voiman lisäys harjoitusjakson alussa, harjoittelemattomilla ja vähän harjoitelleilla henkilöillä, johtuu parantuneesta hermoston toiminnasta. Lihaksen saama tahdonalainen hermotuksen määrä kasvaa lisäten maksimivoimaa, ilman suurempia muutoksia lihaksen koossa. Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että voimaharjoittelun intensiteetti eli käytetyt kuormat ovat riittävän suuria. Voimaharjoittelun jatkuessa hermostollisten tekijöiden merkitys vähenee ja lihaksen koon kasvun eli hypertrofian merkitys kasvaa. (Häkkinen 1990, 56-57).

4.1 Hermostollinen harjoittelu

Vastusharjoittelu joka tehdään suurilla kuormilla (85-100% yhden toiston maksimista), pienillä toistomäärillä (1-5 toistoa) ja suhteellisen pitkällä sarjojen välisillä palautuksilla, on luokiteltu niin kutsutuksi maksimivoimaharjoitteluksi tai hermostolliseksi harjoitteluksi. Se kehittää ensisijaisesti maksimaalista voimantuottoa, ilman suurempaa lihasmassan kasvua (Häkkinen 1990, 69). Voiman kasvu siis perustuu parantuneeseen motoriseen aktivaatioon. (Campos ym. 2002).

Riippumattomuutta lihaksen koon ja voiman välillä selittää kaksi tekijää: Adaptaatioaika ja voiman kasvu ilman fyysistä aktiivisuutta. Adaptaatioajasta puhutaan kun voimaharjoittelun alussa lihaksen sähköinen aktivaatio (EMG) kasvaa nopeammin kuin lihaksen poikkipinta-ala. (Enoka 2008, 364). Narici ym. 1989 tekemässä tutkimuksessa neljä miespuolista koehenkilöä

suorittivat 60 päivän unilateraalisen voimaharjoittelu jakson, jota seurasi 40 päivän harjoittelemattomuus. Tutkimuksessa mitattiin integroitua EMG:tä (iEMG), nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alaa ja maksimaalista isometristä supistusta. Tuloksissa selvisi, että poikkipinta-alan kasvu selitti vain 40 % voiman kasvusta, kun taas 60 % johtui kasvaneesta neuraalisesta ohjauksesta. Voiman kasvusta, ilman fyysistä aktivaatiota, on esimerkkinä cross-education: harjoitetaan pelkästään toista raajaa, mutta vastakkaisenkin raajan tuottama voima kasvaa, sekä mielikuva harjoittelu, jonka seurauksena lihaksen tuottamaa voima kasvaa ilman muutoksia lihassolujen ominaisuuksissa. (Enoka 2008, 364).

Neuraalisen ohjauksen parantuessa lihasten välinen ja sisäinen koordinaatio tehostuu. Tällä tarkoitetaan, että liikkeeseen tarvittavien lihasten rekrytointi ja niiden lihastyö tehostuu ja taas liikettä estävät lihakset kytketään oikea-aikaisesti pois päältä. Jos hermosto kykenee rekrytoimaan lihaksen kaikki lihassolut suurella impulssitiheydellä, voidaan pienestäkin lihaksesta saada ulos suuri voima. (Enoka 2008, 366, 224).

4.2 Hypertrofinen harjoittelu

Hypertrofisessa voimaharjoittelussa voimantuotto perustuu kasvaneeseen lihaksen poikkipinta-alaan ja se kasvattaa ensisijaisesti lihasmassaa ja väsymyksen sietokykyä. Lihaksen hypertrofiolla tarkoitetaan siis lihaksen poikkipinta-alan kasvua. Tähän tähtäävä voimaharjoittelu tehdään pienemmillä kuormilla (60-85% yhden toiston maksimista (1RM)), suurilla toistomäärillä (6-14 toistoa) ja sarjojen välinen palautus pidetään suhteellisen lyhyenä, alle 90 sekunnissa. (Häkkinen 1990, 71; Campos ym. 2002). Lihaksen poikkipinta-alan kasvu johtuu proteiinisynteesin kiihtymisestä. Tämä kiihtynyt proteiinien muodostus mahdollistaa myofibrillien kasvun, kiihtyneen aktiini- ja myosiinimolekyylien valmistuksen seurauksena. Näiden molekyylien kiihtynyt kasvu taas aikaan saa vierekkäin olevien sarkomeerien määrän lisääntymisen johtaen lihassyiden paksuuden kasvuun. (Enoka 2008, 371)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tällä tutkimuksella oli tarkoituksena selvittää miten lihaksen laatu ja poikkipinta-ala, maksimivoima ja kehonkoostumus muuttuvat kahdeksan viikon hermostollispainotteisen voimaharjoittelun seurauksena, sekä miten lihaksen laatu muuttuu suhteessa kehonkoostumukseen ja maksimivoiman kasvuun. Lisäksi tutkitaan, miten lihaksen poikkipinta-ala muuttuu suhteessa maksimivoimaan.

Tutkimusongelma 1: Miten kyykyn yhdentoiston maksimi (1 RM) muuttuu kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena?

Tutkimushypoteesi 1: Kyykyn yhden toiston maksimin oletetaan kasvavan kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena.

Perustelu 1: Lihaksen tuottamaa maksimaalista voimaa voidaan kasvattaa joko lihassolujen kokoa kasvattamalla tai parantamalla niiden hermostollista aktivaatiota (Enoka 2009, 363). Vastusharjoittelu on tutkitusti tehokkain tapa kasvattaa voimaa ja lihasmassaa (Walker ym. 2014). Vastusharjoittelun seurauksena maksimivoiman tulisi siis kasvaa.

Tutkimusongelma 2: Miten kehon rasvaprosentti muuttuu kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena?

Tutkimushypoteesi 2: Kehon rasvaprosentti pienenee kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena.

Perustelut 2: Gambassi ym. (2016) tekemässä tutkimuksessa sekä koehenkilöiden rasvaprosentti, että rasvanmäärä (kg) pienenevät merkittävästi 12 viikon voimaharjoittelun seurauksena. Rasvanmäärä väheni kolmella kilolla ja rasvaprosentti pieneni kahdella prosentilla. Myös Ribeiro ym. (2014) tekemässä tutkimuksessa havaittiin samanlaisia

tuloksia. Koehenkilöiden rasvaprosentti pieneni 12 viikon voimaharjoitusjakson seurauksena. Rasvaprosentti voi pienentyä, vaikka rasvanmäärä pysyisikin muuttumattomana. Jos lihasmassa kasvaa ja paino nousee, rasvan prosentuaalinen osuus jää pienemmäksi.

Rasvaprosentin mittaaminen kertoo yleensä pinnallisen rasvakudoksen perusteella ennusteita---nyt kuitenkin lihaksen sisäisen rasvan mittausta---pitäisikö huomioida perustelussa ?

Tutkimusongelma 3: Miten lihaksen laatu muuttuu kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena?

Tutkimushypoteesi 3: Lihaksen laadun oletetaan paranevan kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena.

Perustelu 3: Tutkimusten perusteella lihaksen laatu paranee lihaksen toimintakyvyn parantuessa (Fragala ym. 2015; Pedro ym. 2015). Liiallisella lihaksen sisäisellä rasvamäärällä on todettu olevan yhteys alhaiseen lihasvoimaan ja heikkoon fyysiseen suorituskykyyn (Fragala ym. 2015). Fukumoto ym. (2012) tekemässä tutkimuksessa nelipäisen reisilihaksen echo intensity -arvolla oli huomattava korrelaatio sen tuottamaan lihasvoimaan. Tutkimuksessa selvisi, että polven ojentajan eli nelipäisen reisilihaksen laatu itsessään vaikutti sen maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon. Tästä voisi päätellä, että kasvanut maksimivoima puoltaisi pienentynyttä echo intensity -arvoa eli parantunutta lihaksen laatua.

Tutkimusongelma 4: Miten lihaksen laatu muuttuu suhteessa kehon rasvaprosenttiin?

Tutkimushypoteesi 4: Lihaksen laadun oletetaan muuttuvan rasvaprosentin muutosten seurauksena.

Perustelu 4: Tutkimusten mukaan lihaksen laatu muuttuu kehon rasvaprosentin muutosten seurauksena (Lauretani ym. 2006; Ryan ym. 2016). Lauretani ym. (2006) tutkimuksessa

selvisi liiallisen kehon rasvan määrän olevan yhteydessä lihaksen sisään kertyvän rasvakudoksen määrään. Lisäksi Goodpaster ym. (2001) tekemässä tutkimuksessa havaittiin heikon lihaksen laadun olevan yhteydessä kasvaneeseen kehon kokonaisrasvan määrään. Nämä tutkimukset puoltavat ajatusta siitä, että lihaksen laadulla on yhteys kehon rasvaprosenttiin. Mitä suurempi on rasvaprosentti, sitä heikompi laatu ja toisin päin.

Tutkimusongelma 5: Miten lihaksen poikkipinta-ala muuttuu suhteessa voiman muutokseen?

Tutkimushypoteesi 5: Lihaksen poikkipinta-alan oletetaan kasvavan suhteessa voiman muutokseen.

Perustelut 5: Tutkimuksessa tehtävässä kahdeksan viikon voimaharjoittelujaksossa kyykyn harjoittelu on hermostollispainotteista. Kuitenkin tässä harjoitusohjelmassa kaikki tukiliikkeet (polvenojennus, prässä) toteutettiin hypertrofisina koko harjoitusjakson ajan ja ensimmäiset viisi viikkoa oli myös kyykyn osalta hermostollis-hypertrofista harjoittelua, joten uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan oletetaan kasvavan hypertrofisen harjoittelun seurauksena. Maksimivoimaa saa hermostollispainotteisesti treenaten ilman merkittävää lihaskasvua eli poikkipinta-alan muutosta (Häkkinen 1990, 69). Hermostollisessa voimaharjoittelussa, missä toistot pidetään pieninä ja kuormat suurina, voiman kasvu perustuu kasvaneen poikkipinta-alan sijaan ainakin osittain lihaksen parantuneeseen motoriseen aktivaatioon (Campos ym. 2002). Lisäksi voimaharjoittelun alussa lihaksen sähköinen aktivaatio kasvaa nopeammin kuin lihaksen poikkipinta-ala (Enoka 2009, 364). Narici ym. (1989) tekemässä tutkimuksessa noin kahdeksan viikkoa kestäneen voimaharjoitusjakson seurauksena aloittelevilla kuntoilijoilla kasvaneesta voimasta, lihaksen poikkipinta-alan kasvu selitti vain 40% ja loput 60% selittyi kasvaneella neuraalisella ohjauksella. Erityisesti voimaharjoittelun alussa vaikutukset hermo-lihasjärjestelmässä kohdistuvat harjoittelemattomilla henkilöillä hermostollisiin ohjausmekanismeihin. Näin ollen suuri voiman lisäys harjoitusjakson alussa, harjoittelemattomilla ja vähän harjoitelleilla henkilöillä, johtuu parantuneesta hermoston toiminnasta. Voimaharjoittelun jatkuessa hermostollisten tekijöiden merkitys vähenee ja lihaksen koon kasvun eli hypertrofian merkitys kasvaa. (Häkkinen 1990, 56-57). Kahdeksan

viikkoa kestävän hermostollispainotteisen voimaharjoittelun seurauksena tapahtuva kykyyn maksimivoiman kasvu voidaan siis ajatella johtuvan enemmän kasvaneesta neuraalisesta ohjauksesta kuin kasvaneesta poikkipinta-alasta.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus tehtiin osana isompaa tutkimusta, jossa selvitettiin kahden erilaisen herkistelyjakson vaikutusta maksimivoiman kasvuun voimaharjoitelleilla miehillä. Tämä tutkimus tehtiin osana isompaa tutkimusta, jossa selvitettiin kahden erilaisen herkistelyjakson vaikutusta maksimivoiman kasvuun voimaharjoitelleilla miehillä. Tässä isommassa tutkimuksessa täsmälleen samanlaisia mittauksia oli jokaisella tutkittavalla tämän ajanjakson aikana neljä kertaa. -1-mittaus oli ensimmäisellä viikolla, pre-mittaus toisella viikolla, kolmas eli post 8-mittaus yhdeksännellä viikolla ja neljäs eli taper 2-mittaus 11 viikolla eli viimeisellä viikolla. Tässä tutkimuksessa on huomioitu kahdet mittaukset, pre- ja post 8-mittaukset, joiden välissä suoritettiin kahdeksan viikon voimaharjoitusjakso. Ensimmäisellä mittauskerralla (-1) koehenkilöiden reiteen tatuoitui pieni piste, joka kertoi kohdan ultraäänimittaukseen. Tätä samaa tatuoitua kohtaa käytettiin jokaisessa mittauksessa.

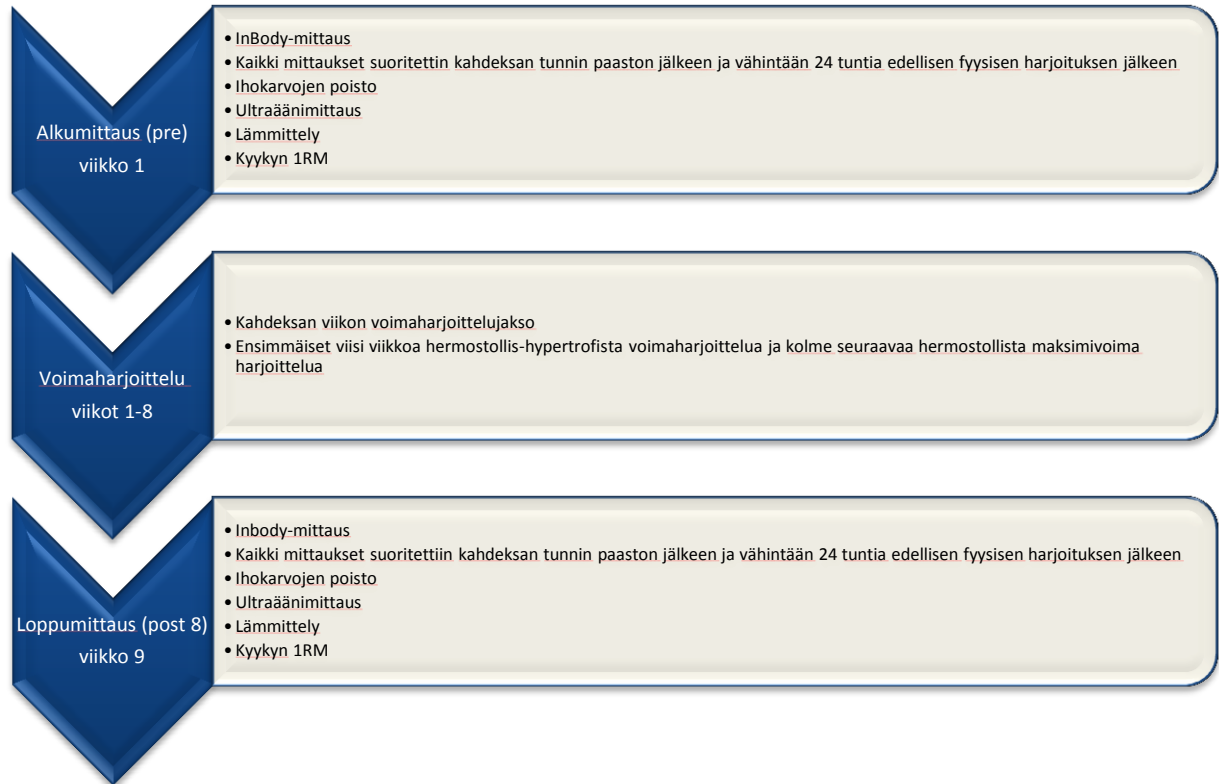
6.1 Koehenkilöt

Tutkimuskohteena olivat 21–30-vuotiaita miehet, joilla tuli olla vähintään kahden vuoden voimaharjoittelutausta. Tutkimukseen valittiin 24 miestä, joiden ikä vaihteli välillä 21-30 vuotta. Tilastolliseen käsittelyyn ja tulosten analysointiin valittiin 14 henkilöä (ikä $25,9 \pm 2,8$ v, pituus $181,6 \pm 5,1$ cm, paino $83,0 \pm 10,8$ kg). Analysoimatta jätettiin tapaukset, jotka keskeyttivät. Ennen mittauksia koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen, jossa kerrottiin tutkimuksen kulku, koehenkilön oikeudet, edut ja riskit. Tutkimuksella oli Jyväskylän yliopiston Eettisen toimikunnan lausunto.

6.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin 14 viikon aikana välillä 12.9 - 22.12.2016 Jyväskylässä liikuntabiologian laitoksen mittaustiloissa. Mittaukset suoritettiin aina vähintään kahdeksan tunnin paaston jälkeen ja vähintään 24 tuntia edellisestä raskaasta fyysisestä kuormituksesta.

Lihaksen ultraäänikuva otettiin aina ennen maksimivoimatestejä. Koehenkilöiden harjoittelu tapahtui Viveca-rakennuksen kuntosalilla valvotuissa olosuhteissa. Kokonaisuudessaan yhden koehenkilön mittaus- ja harjoittelujakso kesti yhdeksän viikkoa, joista ensimmäisellä ja viimeisellä viikolla olivat mittaukset (KUVIO 2.).



KUVIO 2. Tutkimusasetelma

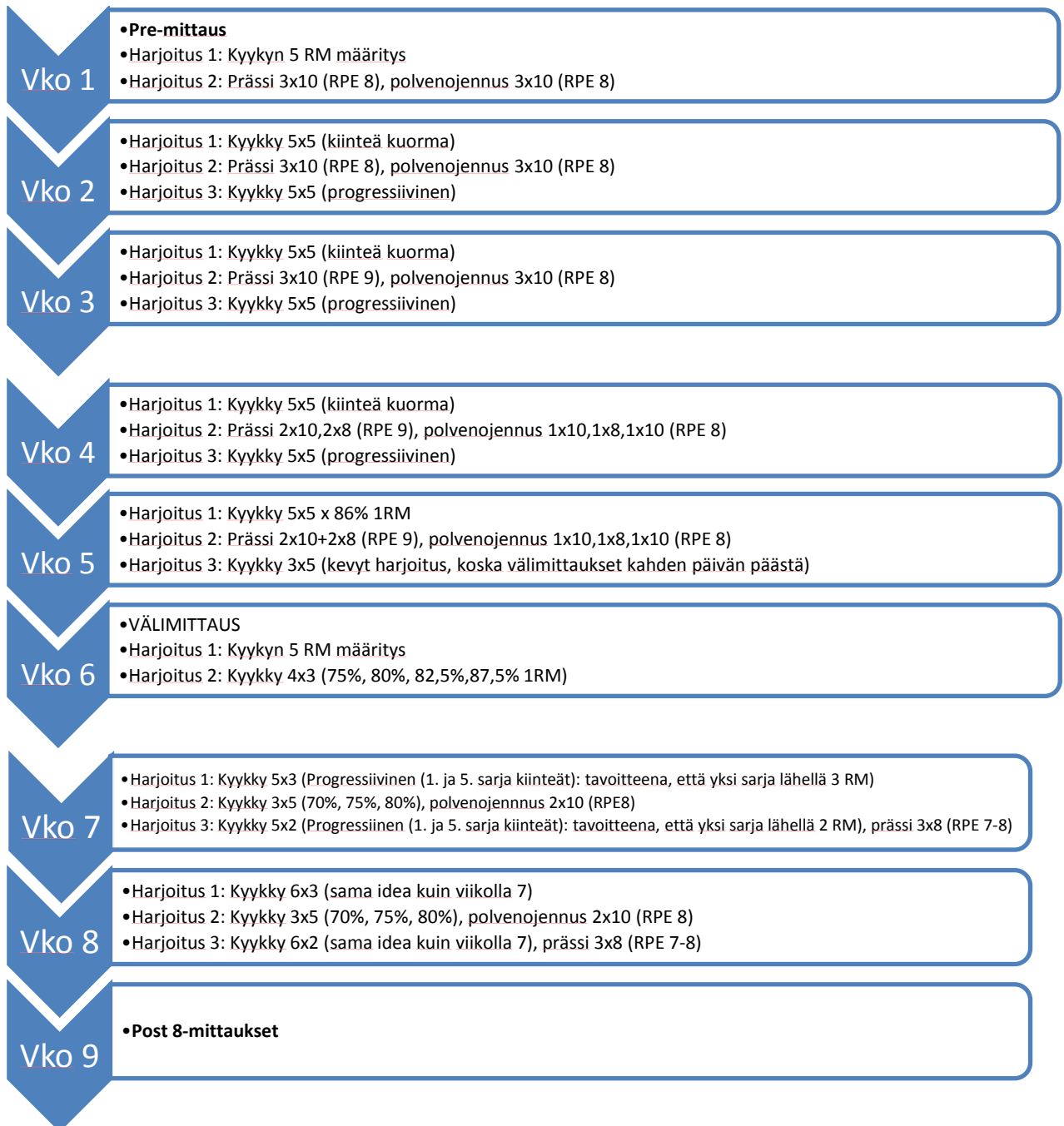
6.3 Harjoitusohjelma

Harjoitusohjelma kesti yhteensä kahdeksan viikkoa ja se aloitettiin samalla viikolla Pre-mittausten kanssa (vko 1). Ensimmäiset viisi viikkoa oli hermostollis-hypertrofista harjoittelua ja viimeiset kolme viikkoa olivat hermostollista maksimivoimaa kehittävää voimaharjoittelua. Pääliikkeenä oli kyykky ja penkkipunnerrus, jotka suoritettiin

ensimmäisellä viidellä viikolla suuremmalla volyymilla ja pienemmällä intensiteetillä ja seuraavalla kolmella viikolla suuremmalla intensiteetillä ja pienemmällä volyymilla.

Kyykyn tukiliikkeet polvenojennus ja jalkaprässi tehtiin koko harjoitusjakso hypertrofisina (toistot 8-12). Lisäksi tukiliikkeinä käytettiin selänojennusta ja polvenkoukistusta, jotka olivat myös koko harjoitusjakson hypertrofisia (8-15 toistoa). Kaikkia tukiliikkeitä painotettiin enemmän ensimmäisellä viidellä viikolla, sillä silloin kyykkyä tehtiin harvemmin.

Koko harjoitusohjelman ajan harjoiteltiin myös penkkipunnerrusta samalla kaavalla kuin kyykkyä ja tehtiin ylävartalon harjoituksia tukiliikkeinä sille. Koko harjoitusjakson ajan kehitettiin myös keskivartalon hallintaa tekemällä staattisia pitoja (selän antiiekstensio). Kuviossa 5 on esitetty kahdeksan viikon harjoitusohjelma alavartalon liikkeiden osalta ja mainiten ainoastaan ne liikkeet, joissa ulompi reisilihas oli osallisena.



KUVIO 3. Harjoitusohjelma.

6.4 Aineiston keräys ja analysointi

Tutkimuksessa käytettiin ultraäänikuvia lihaksen laadun ja poikkipinta-alan mittaamiseen, bioimpedanssia kehonkoostumuksen arviointiin ja kyykyn yhden toiston maksimia kyykyn maksimivoiman mittaamiseen.

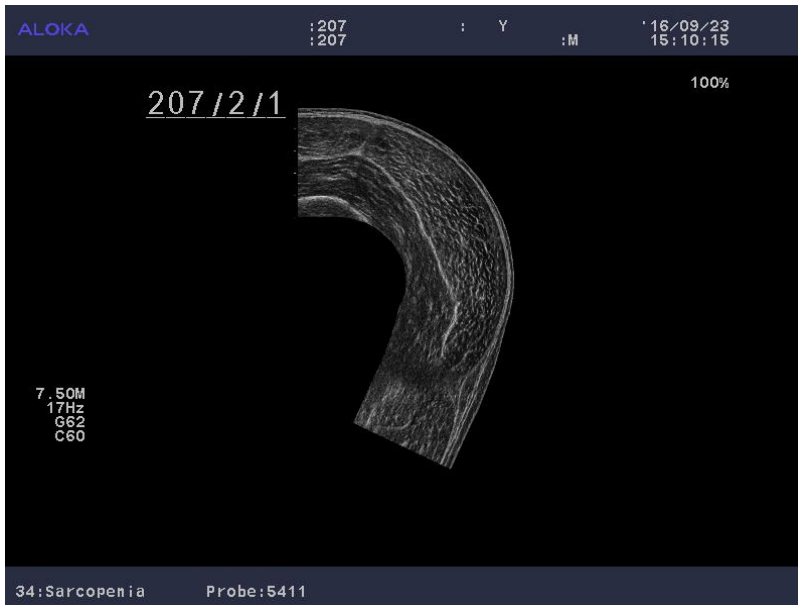
6.4.1 Ultraääni

Aluksi koehenkilön oikeasta reidestä ajeltiin karvat ja mittauspiste ultraäänilaitetta varten määritettiin SENIAM:in mukaan uloimman reisilihaksen pintaelektrodin kiinnityskohtaan. Ensimmäisellä mittauskerralla (-1 mittaus) tähän kyseiseen kohtaan tehtiin tatuointikoneella pieni piste. Tutkimuksessa otettiin ultraäänilaitteella (Aloka Alpha 10) (KUVA 1) panoraamakuvaa (extended view) oikean jalan uloimmasta reisilihaksesta tatuoidun pisteen osoittaessa kuvattavan kohdan. Koehenkilö asettui makaamaan selälleen tasolle ja pyrki olemaan mahdollisimman rentona. Hänen polviensa alle asetettiin putkilo, joka tuki polvet jokaisessa mittauksessa samaan kulmaan. Lisäksi nilkkojen väliin sisäkehräksien kohdalle asetettiin tuki, joka piti jalat jokaisessa mittauksessa samalla etäisyydellä toisistaan. Kaikki ultraäänilaitteen asetukset pidettiin vakioina koko tutkimuksen ajan. Kuvattava syvyys oli aina 5 cm, kirkkaus 60 ja tapa mitata standard. Ultraäänipäähän kiinnitettiin äänipään tasaista liikkumista vakauttava vaahtomuovinen tuki.



KUVA 1. Aloka Alpha 10 ultraäänilaitte. Oikealla näkyy tutkimuksessa käytetty äänipää.

Sama mittaaja toimi jokaisella mittauskerralla ultraäänilaitteen käyttäjänä. Äänipäätä liikutettiin käsin mediaaliselta puolelta lateraaliseksi saaden kuvaan koko uloimman reisilihaksen, sekä pyrkien saamaan kuvaan osan suoraa reisilihasta, osan reisiluuta ja osan kaksipäistä reisilihasta. Äänipäätä pyrittiin liikuttamaan mahdollisimman kevyesti luomatta sille painetta. Iholle levitettiin siirtogeliä (transmission gel) akustisen kytkennän parantamiseksi. Jokaisella mittauskerralla tallennettiin ulkoiselle muistitikulle kolme onnistunutta kuvaa. Ne nimettiin koehenkilön, mittauskerran ja otoksen mukaan. KUVA 2 on esimerkki yhdestä tallennetusta kuvasta.



KUVA 2. Ultraäänikuva uloimmasta reisilihaksesta

6.4.2 Maksimivoima

Tutkimuksessa takakykyyn yhden toiston maksimia testattiin Smith-laitteessa (KUVA 3). Siinä tanko liikkui pelkästään vertikaalisuunnassa. Ensimmäisellä mittauskerralla koehenkilöt saivat valita mieleisensä jalkojen asennon, josta vakioitiin jalkojen leveys ja niiden paikka suhteessa tankoon. Jalkojen leveys mitattiin varpaiden ja kantapäiden kohdalta ja paikka suhteessa tankoon määritettiin lattiassa olevan teipin avulla, josta mitattiin etäisyys kantapäähän. Koehenkilöt saivat siis itse päättää jalkaterien asennon, sekä kyykyn leveyden. Kyykyn syvyys vakioitiin asentoon, jossa molemmat reidet saavuttivat vaakatason lattiaan nähden. Tälle korkeudelle asetettiin takapuolen alle joustava kuminauha, jonka koehenkilö tunki laskeutuessaan vaakatasoon. Reisien saavutettua vaakataso testin valvojalta tuli käsky nousta ylös. Kuminauhan korkeus merkattiin ylös ja samaa korkeutta käytettiin jokaisella mittaus kerralla. Kyykky tuli myös jokaisella mittaus kerralla suorittaa samoilla jalkineilla tai vaihtoehtoisesti kokonaan ilman jalkineita. Rankkaa fyysistä kuormitusta tuli välttää 24 tuntia ennen maksimivoimatestiä. Suorituksessa valvottiin tekniikkaa. Selän tuli pysyä suorana ja keskivartalon tiukkana. Kyykyn nousuvaiheen tuli tapahtua polvia ja lantiota ojentamalla.

Käsien otelevyden sai itse valita jokaisella nostokerralla ja ote oli high-bar eli tanko niskan takana.

Ennen suoritusta koehenkilö suoritti vakioidun noin viisi minuuttia kestävän alkulämmittelyn, johon kuului ensiksi kolme minuuttia suhteellisen kevyttä, lievästi sykettä nostavaa, pyöriäilyä kuntopyörällä. Tämän jälkeen suoritettiin molempien jalkojen extensio-flexio ja abductio-adductio heilautukset pitäen polvi mahdollisimman ojennettuna. Seuraavaksi toteutettiin 10 kehonpainokyykyä, joita seurasi viisi sivukyykyä molemmilla jaloilla. Viimeiseksi tehtiin vielä kolme askelkyykyä molemmille jaloille, joissa ala-asennossa tehtiin 3-5 kevyttä pumpaavaa liikettä.

Maksimivoiman testaus aloitettiin suorittamalla 10 vakioitua kyykyä pelkällä tangolla, jonka paino oli 26 kg. Seuraavaksi tankoon laitettiin kuorma, jolla pystyisi suorittamaan noin 10 toiston maksimin. Toistoja tällä kuormalla suoritettiin viisi. Kolmannessa suorituksessa tehtiin kolme toistoa kuormalla, jolla olisi pystytty suorittamaan 5-6 toiston maksimi. Näiden lämmittelysuoritusten väliset palautukset pidettiin lyhyinä alle minuutissa. Lämmittelysarjojen jälkeen lähdettiin lähestymään yhden toiston maksimia nostaen kuormaa jokaiselle suoritus kerralle. Pienin mahdollinen kuorman lisäys oli 2,5 kg, jolloin tangon molempiin päihin laitettiin 1,25 kg levypainot. Palautumisaika suoritusten välissä oli 2-3 minuuttia. Ajanotto aloitettiin edellisen suorituksen käynnistyessä ja siitä kolmen minuutin jälkeen tehtiin seuraava suoritus. Ensimmäisellä mittaus kerralla kuormien määrittämiseksi käytettiin avuksi koehenkilön omia tuntemuksia ja seuraavilla mittaus kerroilla edellisiä tuloksia. Yhden toiston maksimisuorituksiksi hyväksyttiin suoritus, jossa kuorma saatiin kokonaan ylös, keskivartalo pysyi hallinnassa, ylös työntö tapahtui lantiota ja polvia ojentamalla ja kyykyn syvyys oli vaaditun mukainen.



KUVA 3. Jalkakyykyssä käytetty Smith-laite.

6.4.3 Kehonkoostumus

Kehonkoostumus mitattiin bioimpedanssilla ja siinä käytettiin InBody-laitetta (InBody720 body composition analyzer, Biospace Co. Ltd, Seoul, South Korea). Ennen laitteeseen asettumista jalkapohjat ja kämmenet pyyhittiin antiseptisellä aineella ja riisuuduttiin alusvaatteisilleen. Laitteeseen asetuttiin seisomaan siten, että jalkapohjat peittivät koko anturit. Käsiin otettiin kahvat ja kädet pidettiin suorina alaviistoon osoittaen. InBody käynnistettiin ja se laati raportin kehonkoostumuksesta.

6.4.4 Lihaksen poikkipinta-ala

ImageJ on Java:n kuvan käsittely ja analysointi ohjelma, joka toimii Linux, Windows ja Mac ohjelmistoissa. Sen tarjoaa ilmaiseksi Yhdysvaltain terveysvirasto (National Institutes of

Health). (Wu ym. 2008). Sama mittaja, joka oli ottanut ultraäänikuvat, myös analysoi ne. Ultraääni kuva tuotiin ohjelmaan muistitikulta ja sen analysointi alkoi asettamalla tiedossa oleva skaala (1cm), jonka jälkeen haluttu lihas (ROI = Range of interest) rajattiin mahdollisimman tarkasti. Lihas pyrittiin rajaamaan mahdollisimman huolellisesti ympäröivän lihassolukalvon sisäpintojen mukaan, kuitenkin ottamatta sitä rajaukseen sisälle. ImageJ-ohjelma laski lihaksen poikkipinta-alan rajatusta kuvasta (ROI), kun ohjelmaan skaalattiin kuvasta tiedetty mitta (1cm).

6.4.5 Lihaksen laatu

Echo intensity mitataan ImageJ-ohjelmalla käyttämällä kirkkausskaalausta ultraäänikuvaan, jossa tarkasteltava lihas on rajattu mahdollisimman huolellisesti lihassolukalvon sisäpintaa pitkin (ROI). Kuvalle tehdään greyscale -analyysi, joka määrittää kuvasta harmaan eri sävyjä mustan ollessa toinen ääripää ja valkoisen toinen. (Fukumoto ym. 2012, Roelofs ym. 2015). Musta ei päästä valoa ollenkaan läpi, kun taas valkoinen päästää kaiken mahdollisen. Lihaksen sisältämät ei-supistuvat kudokset, esimerkiksi rasva- ja sidekudos, päästävät valoa läpi ja näkyvät sen tähden ultraäänikuvassa vaaleana värinä. Greyscale -analyysi määrittää ultraäänikuvasta mustan ja valkoisen värin suhteen, joka ilmoitetaan Echo intensity -arvona. Mitä korkeampi echo intensity -arvo on, sitä enemmän lihaksessa on rasva- ja sidekudosta. (Pillen ym. 2009)

6.5 Tilastolliset analyysit

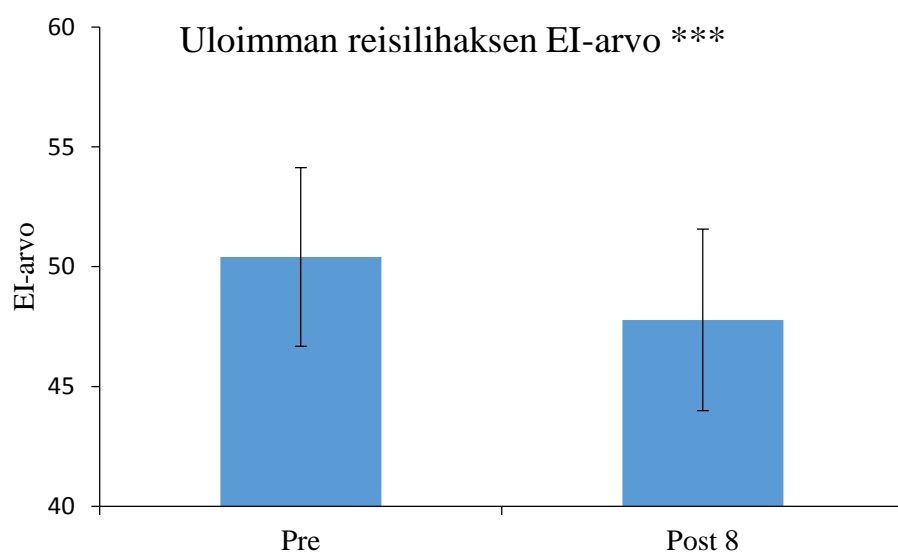
Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin Excel 2010 ja 2013 -ohjelmaa (Microsoft Corp. Redmond, USA) sekä IBM SPSS Statistics 22.0 -ohjelmaa (IBM Corp. Armonk, NY, USA). Kaikista tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Muuttujien normaalijakautuneisuudet tarkastettiin Shapiro-Wilk -testillä. Kaikki muuttujat olivat normaalijakautuneita. Normaalijakautuneiden muuttujien vertailuun käytettiin parillista t-testiä. Tilastollisen merkitsevyyden tasoiksi määritettiin $p < 0,001$ ***; $p < 0,01$ ** ja $p < 0,05$ *

7 TULOKSET

7.1 Mitattujen muuttujien muutokset Pre- ja Post 8-mittausten välillä

7.1.1 Lihaksen laatu

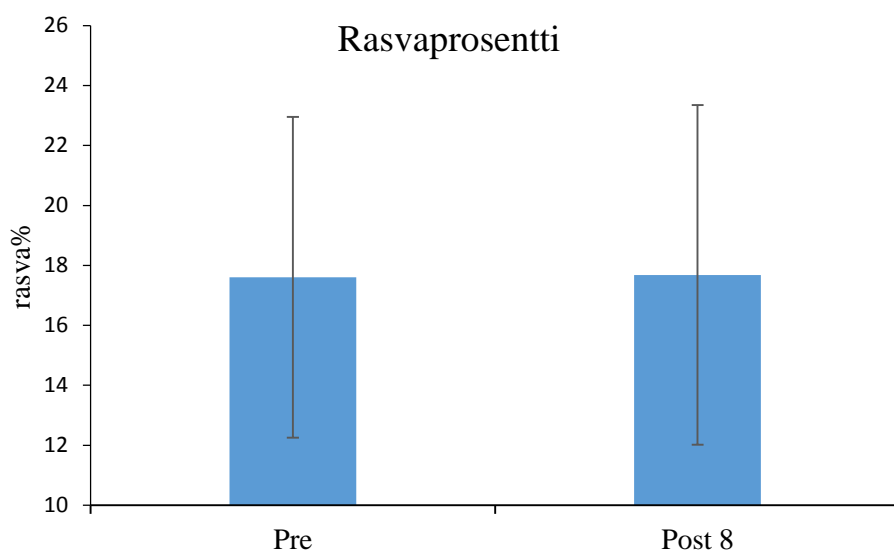
Tutkimuksessa mitattiin lihaksen laatua echo intensity-arvolla eli EI-arvolla. EI-arvon muutos oli tilastollisesti erittäin merkitsevä Pre- ja Post 8 -mittauksien välillä ($p < 0,001$). EI-arvo Pre-mittauksessa oli $50,4 \pm 3,7$ ja Post 8 -mittauksessa $47,8 \pm 3,8$. EI-arvo pieneni voimaharjoittelujakson seurauksena 5,4 %. EI-arvon muutos on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. Muutokset uloimman reisilihaksen EI-arvoissa kahdeksan viikon voimaharjoittelujakson seurauksena. Pre = ennen voimaharjoittelua, Post 8 = voimaharjoittelun jälkeen. (***) = $p < 0,001$).

7.1.2 Kehonkoostumus

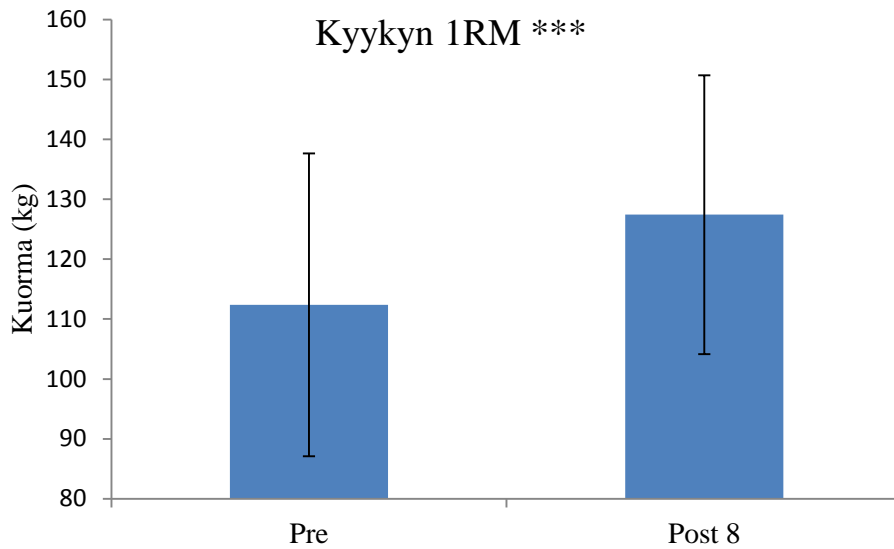
Tutkimuksessa tarkasteltiin kehonkoostumuksen mittauksessa kehon rasvaprosenttia. Kehon rasvaprosentissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa Pre- ja Post 8-mittauksien välillä ($p > 0,05$). Rasvaprosentti oli Pre-mittauksessa $17,6 \% \pm 5,3$ ja Post 8-mittauksessa $17,7\% \pm 5,7$. Kehon rasvaprosentin muutos oli siis vain 0,1 prosenttia. Kehon rasvaprosentin muutos on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Muutokset kehon rasvaprosentissa kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena. Pre = ennen voimaharjoittelua, Post 8 = voimaharjoittelun jälkeen.

7.1.3 Maksimivoima

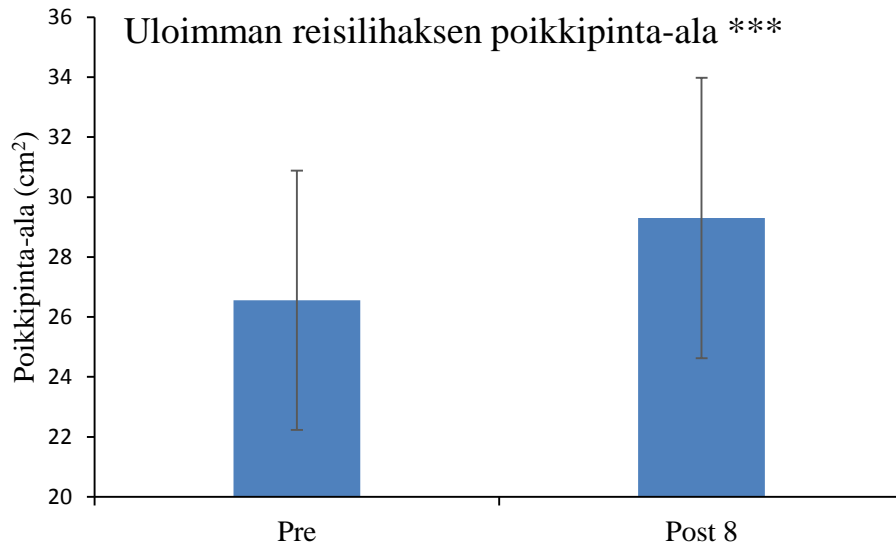
Tutkimuksessa mitattiin kyykyn yhdentoiston maksimia (1RM). Kyykyn yhden toiston maksimissa oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ero Pre- ja Post 8-mittausten välillä ($p < 0,001$). Kyykyn 1RM oli Pre-mittauksessa $112,4 \pm 25,3$ kg ja Post 8-mittauksessa $127,4 \pm 23,3$ kg. Prosentuaalinen kasvu oli 13,3 %. Kyykyn 1RM muutos voimaharjoituksen seurauksena on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Muutokset kyykyn yhdentoiston maksimissa (1RM) kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena. Pre = ennen voimaharjoittelua, Post 8 = voimaharjoittelun jälkeen. (***) = $p < 0,001$.

7.1.4 Lihaksen poikkipinta-ala

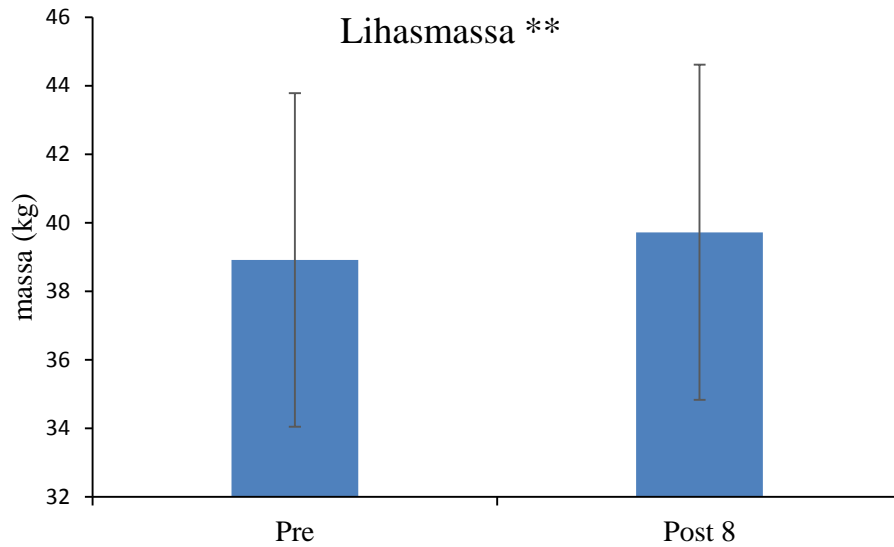
Tutkimuksessa mitattiin uloimman reisilihaksen poikkipinta-alaa. Poikkipinta-alassa oli tilastollisesti merkitsevä ero Pre- ja Post 8-mittausten välillä ($p < 0,01$). Poikkipinta-alan suuruus oli Pre-mittauksessa $26,6 \pm 4,3 \text{ cm}^2$ ja Post 8-mittauksessa $29,3 \pm 4,7 \text{ cm}^2$. Prosentuaalinen kasvu oli 10,2 %. Poikkipinta-alan muutos voimaharjoitusjakson seurauksena on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Muutokset uloimman reisilihaksen poikkipinta-alassa kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena. Pre = ennen voimaharjoittelua, Post 8 = voimaharjoittelun jälkeen. (***) = $p < 0,001$).

7.1.5 Lihasmassa

Tutkimuksessa mitattiin lihasmassan (kg) määrää. Lihasmassassa oli tilastollisesti merkitsevä ero Pre- ja Post-mittausten välillä ($p < 0,01$). Lihasmassan määrä oli pre-mittauksessa $38,9 \pm 4,9$ kg ja Post 8-mittauksessa $39,7 \pm 4,9$ kg. Prosentuaalinen kasvu oli 2,1 %. Lihasmassan muutos on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Muutokset lihasmassan määrässä kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena. Pre = ennen voimaharjoittelua, Post 8 = voimaharjoittelun jälkeen. (***) = $p < 0,01$).

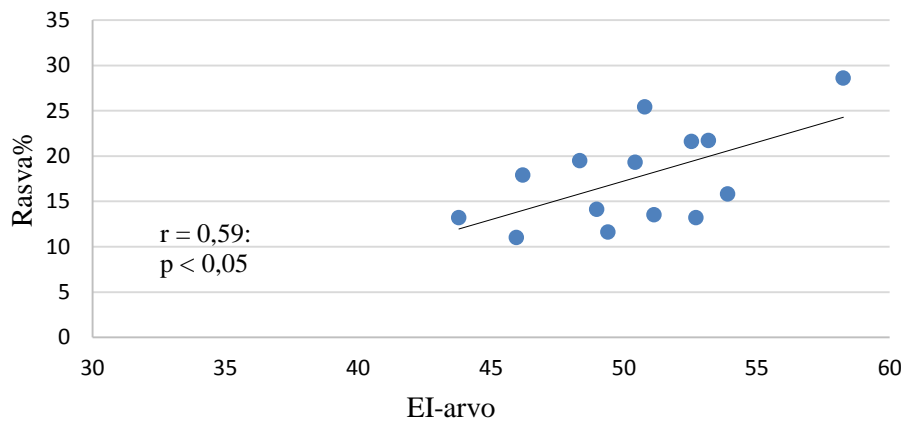
7.2 Mitattujen muuttujien väliset korrelaatiot Pre- ja Post 8-mittauksissa

7.2.1 Lihaksen laatu suhteessa kehonkoostumukseen

EI-arvolla ja rasvaprosentilla esiintyy tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio Pre-mittauksessa ($r=0,59$ ja 2-suuntaisen testin p -arvo = $0,03$). Tämä korrelaatio on esitetty kuviossa 9.

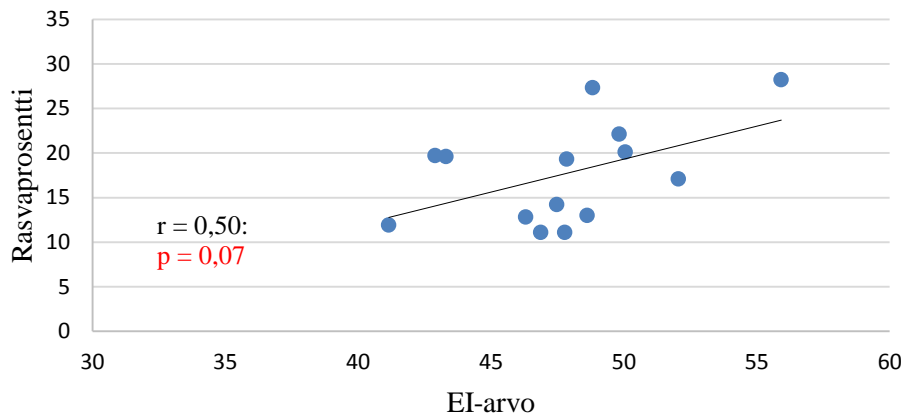
Post 8-mittauksessa rasvaprosentilla ja EI-arvolla esiintyy positiivinen korrelaatio, mutta se oli vain suuntaa-antava tilastollisesti ($r=0,50$ ja 2-suuntaisen testin p -arvo = $0,07$). Tämä korrelaatio on esitetty kuviossa 10.

Rasvaprocentin ja EI-arvon korrelaatio Pre-mittauksessa



KUVIO 9. Rasvaprocentin ja EI-arvon korrelaatio Pre-mittauksessa.

Rasvaprocentin ja EI-arvon korrelaatio Post 8-mittauksessa



KUVIO 10. Rasvaprocentin ja EI-arvon korrelaatio Post 8-mittauksessa.

7.2.2 Lihaksen laatu suhteessa maksimivoimaan

Lihaksen laadun eli EI-arvon ja kyykyn yhdentoiston maksimin välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota Pre-mittauksessa ($r=-0,30$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,29$) tai Post 8-mittauksessa ($r=-0,07$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,81$)

7.2.3 Lihaksen laatu suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan

Lihaksen laadun eli EI-arvon ja lihaksen poikkipinta-alan välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota Pre-mittauksessa ($r=0,12$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,68$) tai Post 8-mittauksessa ($r=0,17$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,57$)

7.2.4 Maksimivoima suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan

Kyykyn yhdentoiston maksimin ja uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan välillä havaitaan positiivinen korrelaatio, mutta se ei ole tilastollisesti merkitsevä Pre-mittauksessa ($r=0,44$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,12$) tai Post 8-mittauksessa ($r=0,40$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,16$), kun tilastollisen merkitsevyyden rajana pidetään $p<0,05$.

7.2.5 Lihasmassa suhteessa uloimman reisilihaksen poikkipinta-alaan

Lihasmassan ja uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan välillä havaitaan positiivinen korrelaatio, mutta se on vain suuntaa-antava Pre-mittauksessa ($r=0,52$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,06$) tai Post 8-mittauksessa ($r=0,48$ ja 2-suuntainen p-arvo = $0,08$), kun tilastollisen merkitsevyyden rajana pidetään $p<0,05$.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kahdeksan viikon voimaharjoittelujakson vaikutusta lihaksen laatuun, poikkipinta-alaan, maksimivoimaan ja kehonkoostumukseen. Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella näiden muuttujien välisiä korrelaatioita. Lihaksen laatu on alkanut saada kasvavaa huomiota, koska sen on havaittu vaikuttavan terveyteen ja suorituskykyyn (Ryan ym. 2016). Lihaksen laadulla viitataan lihaksen sisäiseen rasva- ja sidekudosmäärään. Mitä vähemmän lihaksessa on sisäistä rasvaa, sitä parempi on sen laatu. Tätä mitattiin tutkimuksessa echo intensity -arvoilla (EI-arvo), joissa pienentynyt EI-arvo viittaa vähentyneeseen lihaksen sisäiseen rasvamäärään eli lihaksen parantuneeseen laatuun. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että heikko lihaksen laatu on yhteydessä vähentyneeseen lihasvoimaan (Goodpaster ym. 2001, Fukumoto ym. 2012), sekä suurempaan rasvaprosenttiin (Lauretani ym. 2006). Aikaisempien tutkimusten mukaan voimaharjoittelun on todettu parantavan maksimivoimaa ja kasvattavan lihaksen poikkipinta-alaa (Walker ym. 2014), sekä pienentävän kehon rasvaprosenttia (Gambassi ym. 2016). Tämän tutkimuksen päälöydös on se, että lihaksen laatu näyttäisi parantuvan, vaikka rasvaprosentissa ei havaittu muutoksia.

Tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitseviä muutoksia havaittiin maksimivoimassa, lihasmassassa ja lihaksen poikkipinta-alassa, jotka kasvoivat, sekä lihaksen laadussa, joka parani alku- ja loppumittausten välillä. Rasvaprosentissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia mittausten välillä. Tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota havaittiin pelkästään lihaksen laadun ja rasvaprosentin välillä. Korrelaatio oli positiivinen ja osoitti heikon lihaksen laadun eli suuren lihaksen sisäisen rasvamäärän olevan yhteydessä suurempaan kehon rasvaprosenttiin. Samansuuntaisia tuloksia saatiin Goodpaster ym. (2001) tekemässä tutkimuksessa. Myös uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan ja kyykyn yhdentoiston maksimin, sekä lihasmassan ja uloimman reisilihaksen poikkipinta-alan välillä havaittiin positiivista korrelaatiota, mutta kummassakaan se ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

Lihaksen laatu. Lihaksen laatu parani eli EI-arvo pieneni tilastollisesti erittäin merkitsevästi Pre- ja Post 8-mittausten välillä. Sen prosentuaalinen muutos oli 5,5 %. Tutkimusten mukaan EI-arvon pieneneminen tarkoittaa sitä, että kahdeksan viikon voimaharjoittelun seurauksena lihaksen sisäinen rasvamäärä on vähentynyt, sillä EI-arvot indikoivat lihaksen sisäisen rasva- ja sidekudoksen määrää (Ryan ym. 2016). Tutkimusten mukaan lihaksen sisäisen rasvan määrällä ja kehon kokonaisrasvan määrällä (rasva%) on positiivinen korrelaatio (Goodpaster ym. 2001, Lauretani ym. 2006). Tässä tutkimuksessa saatiin samanlaisia tuloksia, kun näiden kahden muuttujan välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio Pre-mittauksessa, ennen voimaharjoitusjaksoa (KUVIO 9). Kuitenkin voimaharjoitusjakson jälkeen tehdyissä Post 8-mittauksissa tuloksiksi saatiin lähes muuttumattomana pysynyt kokonaisrasvan määrä ja pienentynyt EI-arvo. Post 8-mittauksessa näiden kahden muuttujan välillä havaittiin edelleen positiivinen korrelaatio, mutta se oli heikompi kuin Pre-mittauksessa, sekä tilastollisesti ei-merkitsevä. Tutkimus osoitti tutkimushypoteesin 3 (lihaksen laatu paranee voimaharjoittelun seurauksena) oikeaksi ja tutkimushypoteesin 4 (lihaksen laatu muuttuu rasvaprosentin muutosten seurauksena) vääräksi. Kahdeksan viikon voimaharjoitusjakso ei saanut muutoksia aikaan kehon kokonaisrasvan määrässä mutta sitä vastoin, lihaksen sisäisen rasvan määrä oli vähentynyt ja lihaksen laatu siis parantunut voimaharjoitusjakson seurauksena.

Tutkimuksessa saatiin ristiriitaisia tuloksia Ryan ym. (2015) tutkimustulosten kanssa, joissa EI-arvo korreloi negatiivisesti rasvaprosentin kanssa, ellei sitä korjattu suhteessa ihonalaisen rasvaan Young ym. (2015) kaavalla $EI = \text{raw EI} + (\text{SFT} \times 40.5278)$ (KUVA 1). Tässä tutkimuksessa niin kutsuttu raaka EI-arvo (raw EI) korreloi positiivisesti rasvaprosentin kanssa. Jatkotutkimuksissa olisikin merkittävää tutkia muuttuuko korrelaatio, kun raat EI-arvot korjataan suhteessa ihonalaiseen rasvaan Young ym. (2015) kaavalla.

Tutkimusten mukaan lihaksen laatu on yhteydessä suorituskykyyn (Catheja ym. 2015, Pedro ym. 2015, Roelofs ym. 2015). Lihaksen sisäisen rasvan määrän kasvu heikentää lihassolujen supistumiskykyä, sekä koko lihaksen toimintakykyä (Fragala ym. 2015). Tässä tutkimuksessa kahdeksan viikon voimaharjoittelujakso paransi kyykyn yhdentoiston maksimia, sekä lihaksen

laatua. Näiden välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Voidaan kuitenkin tehdä johtopäätös, että kahdeksan viikon voimaharjoittelujakso sai aikaan uloimman reisilihaksen suorituskyvyn parantumisen, sekä sen sisäisen rasvan määrän pientymisen ja laadun parantumisen, ilman muutoksia rasvaprosentissa.

Kehonkoostumus. Tutkimuksissa on havaittu voimaharjoittelun pienentävän kehon rasvaprosenttia (Ribeiro ym. 2014, Gambassi ym. 2016) ja kokonaisrasvan määrää, sekä lisäävän kehon rasvattoman massan määrää (Donges & Duffield 2012). Tässä tutkimuksessa kehonkoostumuksen mittauksissa ei havaittu merkittäviä muutoksia missään näistä edellä mainituista muuttujista, joten tulokset ovat ristiriidassa edellä mainittujen tutkimusten kanssa. Tutkimus osoitti hypoteesin 3 (rasvaprosentti pienenee voimaharjoittelun seurauksena) vääräksi. Voimaharjoittelu ei saanut aikaan rasvaprosentin pientymistä. Syy miksi kahdeksan viikon voimaharjoittelulla ei rasvaprosentti pienentynyt, löytyy todennäköisesti voimaharjoittelujakson kokonaisliikunnan määrästä, energian kulutuksesta suhteessa sen saantiin tai harjoitusjakson pituudesta. Useissa tutkimuksissa, joissa tulokseksi on saatu rasvaprosentin pientyminen, voimaharjoitusjakson kesto on ollut 12 viikkoa. Tämän tutkimuksen voimaharjoitusjakson kesto oli vain kahdeksan viikkoa ja sen aikana voimaharjoittelu toteutettiin ohjelmoidusti ja valvotusti, jolloin muu fyysinen aktiivisuus oli rajoitettua. Kun tavoitteena on rasvan vähentäminen, pitää energiatasapainon olla negatiivinen. Toisin sanoen pitää energiaa saada vähemmän kuin kuluttaa. Jos koehenkilön kokonaisliikunnan määrä ja sitä kautta energiankulutus pieneni voimaharjoitusjakson aikana, mutta energian saanti pysyi samana, oli seurauksena kasvanut rasvaprosentti. Koehenkilöiden energian saannista ja kulutuksesta ei ole tietoa, joten ei voida varmasti sanoa miten se on muuttunut voimaharjoitusjakson aikana. Jatkossa olisi merkittävää tutkia rasvaprosentin muutoksia voimaharjoittelussa siten, että energiansaantia ja -kulutusta pystyttäisiin seuraamaan.

Maksimivoima ja poikkipinta-ala. Kyykyn yhden toiston maksimi parani voimaharjoittelujakson seurauksena tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Tämä tulos saa tukea Walker ym. (2014) ja Anderson ym. (1982) tutkimuksista, joissa maksimivoima parani

voimaharjoittelun seurauksena. Anderson ym. (1982) tutkimus osoitti juuri suurilla kuormilla ja pienillä toistoilla tehtävän hermostollisen harjoittelun, joista tässä tutkimuksessa käytetty voimaharjoitusjakso pääosin koostui, parantavan maksimivoimaa parhaiten. Prosentuaalinen muutos oli 13,3 %. Tämä tutkimus tulos osoittaa tutkimushypoteesin 1 (kyykyn yhden toiston maksimi kasvaa voimaharjoittelun seurauksena) oikeaksi. Kyykyn yhdentoiston maksimi mittaa nimensä mukaisesti lihasten tuottamaa maksimaalista voimaa. Lihaksen tuottamaa maksimaalista voimaa voidaan kasvattaa joko lihassolujen kokoa kasvattamalla tai parantamalla niiden hermostollista aktiivisuutta (Enoka 2009, 363). Tässä tapauksessa on todennäköisesti tapahtunut molempia. Uloimman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi voimaharjoittelujakson seurauksena tilastollisesti merkitsevästi, prosentuaalisen kasvun ollessa 10,2 %. Tämä osoittaa tutkimushypoteesin 5 (lihaksen poikkipinta-ala kasvaa suhteessa voimanmuutokseen) oikeaksi. Hermostolliset tekijät pelaavat isoa roolia voiman kasvussa vain harjoittelemattomilla tai vähän harjoitelleilla henkilöillä. Voimaharjoittelun jatkuessa hermostollisten tekijöiden merkittävyys pienenee ja lihaksen koon merkitys kasvaa. (Häkkinen 1990, 56-57). Koehenkilöillä tuli olla vähintään kahden vuoden voimaharjoittelu tausta, joten tästä syystä voiman kasvussa lihaksen hypertrofia oli merkittävässä roolissa, vaikka voimaharjoittelu oli hermostollispainotteista.

Poikkipinta-alan ja kyykyn yhden toiston maksimin välillä havaittiin positiivinen korrelaatio, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tämä korrelaatio oli kuitenkin heikompi Post 8-mittauksessa joka osoittaa, ettei voiman kasvu selity pelkästään poikkipinta-alan kasvulla, sillä se kasvoi suhteessa vähemmän kuin voima. Lihaksen hermostollinen aktiivisuus on siis parantunut voimaharjoitusjakson seurauksena ja se on yhdessä kasvaneen poikkipinta-alan kanssa saanut aikaan lihaksen tuottaman voiman kasvun. Kyykyn yhdentoiston maksimin parantumisesta voidaan osaltaan selittää oppimisvaikutuksella, sekä keskivartalon hallinnan paranemisella. Kyykky suoritettiin Smith-laitteessa, joka oli lähes kaikille koehenkilöille entuudestaan vieras, joten oppimisvaikutuksella on todennäköisesti ollut osansa tulosten paranemisessa. Tukilihaksien, kuten vatsalihasten ja selän ojentajalihasten isometrisellä aktiivisuudella on merkittävä rooli kyykätessä, niiden stabilisoidessa keskivartaloa

(Schoenfeld 2010). Keskivartalon hallinnan kehittyessä saadaan liikettä stabilisoitua paremmin ja mahdollisesti nostettua suurempia kuormia.

Tutkimuksen rajoitteet. Tähän tutkimukseen liittyy jonkin verran rajoitteita, joten tuloksia tulee tarkastella varauksella. Tutkimuksen otanta oli kohtalaisen pieni (n=14), joten tuloksia ei voida suoraan yleistää isommalle joukolle. Tutkimuksessa otetut ultraääni kuvat otettiin vapaalla kädellä ajan säästämiseksi, joten ne eivät välttämättä olleet otettu millilleen samasta paikasta jokaisella mittauskerralla. Kuvat myös analysoitiin käsin rajaten tietokoneen hiirellä piirtäen haluttu alue (ROI). Rajatessa aluetta mittaajan tuli tulkita kuvasta missä lihaksen kalvon ulkorajat menevät. Tuloksesta riippuen jokaisen mittauskerran kolme kuvaa eivät välttämättä antaneet täsmälleen samaa poikkipinta-alaa tai EI-arvoa.

Yhteenveto ja käytännön sovellutukset. Tutkimus osoitti, että voimaharjoittelu voi parantaa lihaksen laatua. Paljon keskustelua herättää se, onko voimaharjoittelu hyvä keino painon pudotukseen. Tämä tutkimus antaa viitteitä siitä, että voimaharjoittelu ei ole kovin tehokas keino koko kehon rasvanpolttoon. Tulos olisi kuitenkin voinut olla eri, jos koehenkilöiden ruokavaliota ja energiansaantia olisi myös kontrolloitu, sillä perusedellytys rasvan määrän vähenemiselle on se, että energian kulutus on sen saantia suurempaa. Vaikka rasvaprosentti pysyi muuttumattomana, saatiin lihaksen sisäisen rasvan määrää pienennettyä voimaharjoittelulla. Voimaharjoittelulla on siis suuri merkitys lihaksen laadun parantamisessa. Lihaksen laadun heikkenemistä on tutkittu paljon ikääntyvillä naisilla, joilla sillä on todettu olevan yhteys lihasvoimaan ja heikkoon fyysiseen suoritukseen, lihaksen poikkipinta-alan koosta huolimatta (Fragala ym. 2015). Vaikka tutkimukset osoittavat rasvaprosentilla ja lihaksen laadulla olevan positiivinen korrelaatio, osoittaa tämä tutkimus että lihaksen laatua voidaan parantaa ilman, että se vaatisi rasvan määrän vähentämistä. Voimaharjoittelulla saadaan siis vähennettyä pelkästään lihaksen sisäistä rasvaa. Mielenkiintoista on se, että päteekö tämä myös toisinpäin. Saataisiinko kehon kokonaisrasvan määrää vähentämällä lihaksen laatua parannettua vai vaatiiko se lihaksen toimintakyvyn kehittämistä?

LÄHTEET

- Addison, O., Marcus, R. L., LaStayo, P. C. & Ryan, A. S. 2014. Intermuscular Fat: A Review of the Consequences and Causes. *International Journal of Endocrinology*. Volume 2014, 11 pages.
- Alegre, L. M., Jimenez, F., Gonzalo-Orden, J. M., Martin-Acero, R. & Aguado, X. 2006. Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *Journal of Sports Science*, 24 (5), pp 501-508
- Anderson, T. & Kearney, J. T. 1982. Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (1), pp 1-7.
- Barbat-Artigas, S., Rolland, Y., Zamboni, M. & Aubertin-Leheudre, M. 2012. How to assess functional status: A new muscle quality index. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*. 16 (1).
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, E. K., Ratamess, N. A., William, K. J. & Staron, R. S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, (88), pp 50-60.
- Donges, C. E. & Duffield, R. 2012. Effects of resistance or aerobic exercise training on total and regional body composition in sedentary overweight middle-aged adults. *Applied Physiology, Nutrition & metabolism*, 37, pp. 499-509.
- Enoka, R. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. Fourth Edition. Human Kinetics.
- Fragala, M. S., Kenny, A. M. & Kuchel G. A. 2015. Muscle Quality in Aging: a Multi-Dimensional Approach to Muscle Functioning with Applications for Treatment. *Sport Med* (45), pp 641-658.
- Fukumoto, Y., Ikezoe, T., Yamada, Y., Tsukagoshi, R., Nakamura, M., Mori, N., Kimura, M. & Ichihashi, N. 2012. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *European Journal of Applied Physiology*. 112 (4), pp 1519-1525.

- Gambassi, B. G., Rodrigues, B., Feriani, D. J., Almeida, F. J. F., Sauaia, B. A., Schwingel, P. A., Moraes, O. A., Pulcherio, J. O. B., Andrade, M. F. B. & Mostarda, C. T. 2016. Effects of resistance training of moderate intensity on heart rate variability, body composition, and muscle strength in healthy elderly women. *Sport Sciences for Health*. 12 (3), pp. 389-395.
- Giles, L. S., Webster, K. E., McClelland, J. A. & Cook, J. 2015. Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Physical Therapy in Sport* 16, pp 45-52.
- Goodpaster, B. H., Carlson, C. L., Visser, M., Kelley, D. E., Scherzinger, A., Harris, T. B., Stamm, E. & Newman, A. B. 2001. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC study. *Journal of Applied Physiology*, 90 (6), pp. 2157-2165.
- Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. V., Simonsick, E. M., Tylavsky, F. A., Visser, M. & Newman, A. B. 2006. The Loss of Skeletal Muscle Strength, Mass, and Quality in Older Adults: The Health, Aging and Body Composition Study. *The Journals of Gerontology*. 61 (10), pp 1059-1064.
- Häkkinen, K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet: Vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi. Gummerrus Kirjapaino Oy.
- Ismail, C., Zabal, J., Hernandez, H. J., Woletz, P., Manning, H., Teixeira, C., DiPietro, L., Blackman, M. R. & Harris-Love, M. O. 2015. Diagnostic ultrasound estimates of muscle mass and muscle quality discriminate between women with and without sarcopenia. *Front. Physiol.* 6:302.
- Kawakami, Y., Abe, T. & Fukunaga, T. 1993. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than normal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 74 (6), pp 2740-2744.
- Kawakami, Y., Abe, T. & Fukunaga, T. 2006. Human Skeletal Muscle Size and Architecture: Variability and Interdependence. *American Journal of Human Biology*, 18, pp 845-848.
- Kleinberg, C. R., Ryan, E. D., Tweedell, A. J., Barnette, T. J. & Wagoner, C. H. 2016. Influence of lower extremity muscle size and quality on stair-climb performance in

- career firefighters. *Journal of strength and conditioning research*, 30 (6), pp. 1613-1618.
- Lauretani, F., Bandinelli, S., Bartali, B., Di Iorio, A., Giacomini, V., Corsi, A. M., Guralnik, J. M. & Ferrucci, L. 2005. Axonal degeneration affects muscle density in older men and women. *Neurobiol Aging*, 27 (8), pp 1145-1154.
- Mayes, J. S., Baird-Colt, P. H. & Cook, J. L. 2015. Ultrasound imaging is a valid method of measuring the cross-sectional area of the quadratus femoris muscle. *Journal of Dance medicine & Science*, 19 (1).
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. Eight Edition. Wolters Kluwer.
- McGregor, R. A., Cameron-Smith, D. & Poppitt, S. D. 2014. It is not muscle mass: a review of muscle quality, composition and metabolism during ageing as determinants of muscle function and mobility in later life. *Longevity & Healthspan* 3:9. BioMed Central Ltd.
- Mohseny, B., Nijhuis, T. H., Hundepool, C. A., Janssen, W. G., Selles, R. W. & Coert, J. H. 2015. Ultrasonographic quantification of intrinsic hand muscle cross-sectional area; Reliability and validity for predicting muscle strength. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96 (5), pp 845-853.
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E. & Cerretelli, P. 1989. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59 (4), pp. 310-319
- Pedro, L., Regis, R., Anderson, R., Eurico, N. W. & Ronei, S. P. (2015). Muscle quality, but not muscle thickness, is decreased in different age groups of active older women. *Brazilian Journal of Kineanthropometry & Human Performance*, 17 (3), pp 347-356.
- Pillen, S., Van Dijk, J. P., Weijers, G., Raijmann, W., De Korte, C. L. & Zwarts, M. J. 2009. Quantitative gray-scale analysis in skeletal muscle ultrasound: A comparison study of two ultrasound devices. *Muscle & Nerve*, 39 (6), pp. 781-786.
- Platzer, W. 2004. *Color Atlas of Human Anatomy*, vol. 1: Locomotor System. Fifth Edition, pp 248.

- Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., Pina, F. L. C., Souza, M. F., Nascimento, M. A., Santos, L., Antunes, M. & Cyrino, E. S. 2014. Resistance training in older women: Comparison of single vs. multiple sets on muscle strength and body composition. *Isokinetics and Exercise Science* 23, pp 53-60.
- Roelofs, E. J., Smith-Ryan, A. E., Malia, M. N., Wingfield, H. L., Trexler, E. T. & Walker, N. 2015. Muscle Size, Quality, and Body Composition: Characteristics of Division 1 Cross-Country Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29 (2), pp 290-296.
- Ryan, E.D., Shea, N. W., Gerstner, G. R., Barnette, T. J., Tweedell, A. J. & Kleinberg C. R. 2016. The influence of subcutaneous fat on the relationship between body composition and ultrasound-derived muscle quality. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41 (10), pp 1104-1107.
- Schoenfeld, B. J. 2010. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *J Stregth Cond Res*. 24 (12), pp 3497-3506.
- Walker, S. & Häkkinen, K. 2014. Similar increases in strength after short-term resistance training due to different neuromuscular adaptations in young and older man. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (11), pp. 3041-3048.
- Wu, G. A. & Bogie, K. 2009. Assessment of gluteus maximus muscle area with different image analysis programs. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90 (66), PP. 1048-1054.
- Young, H., Jenkins, N. T., Zhao, Q. & McCully, K. K. 2015. Measurement of Intramuscular Fat by Muscle Echo Intensity. *Muscle Nerve*, 52 (6), pp 963-971.