

**ULOMMAN REISILIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAN KASVU
21 VUOROKAUDEN VOIMAHARJOITTELUKAUSKSEN AIKANA HAR-
JOITTELEMATTOMILLA 19–34 VUOTIAILLA MIEHILLÄ;
ERI LIHASSOLUTYYPPIEN VAIKUTUS POIKKIPINTA-
ALAN KASVUUN**

Hanna Salmijärvi

Kandidaatin tutkielma
Valmennus- ja testausoppi
Kevät 2008
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työn ohjaaja: Taija Finni

TIIVISTELMÄ

Salmijärvi, Hanna 2008. Ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvu 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana harjoittelemattomilla 19–34 vuotiailla miehillä; eri lihassolutyypin vaikutus poikkipinta-alan kasvuun. Valmennus- ja testausopin kandidaatin tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos, 36s.

Voimaharjoittelu harjoittelemattomilla saa ensin aikaan nopeaa voimatason nousua, mutta lihasten kasvua eli hypertrofiaa voidaan kuvantamismenetelmillä havaita vasta 16 harjoituksen jälkeen. Tyypin I lihassoluilla on kyky vastustaa väsymystä, mutta niiden voimantuotto on melko pientä. Tyypin IIa lihassolut ovat hyvin väsymystä vastustavia ja niiden voimantuotto on suurta. Tyypin IIx lihassolut ovat nopeasti väsyviä, mutta niiden voimantuotto on suurta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia miten 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana lihassolujakauma muuttuu ja selvittää selittääkö jokin lihassolutyypin pääosin tämän 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana oletettavasti tapahtuvan lihashypertrofian.

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 18 nuorta (ikä 19–34 vuotta) harjoittelematonta miestä. Heidät arvottiin kahteen ryhmään. Toinen ryhmä harjoitteli kuntosalilla kaksi kertaa viikossa 21 viikkoa (HARJ), toinen ryhmä oli kontrolliryhmänä (KON) ja jatkoi normaalia elämäänsä tutkimuksen ajan. Ennen ja jälkeen 21 viikon seurantajaksoa kaikilta koehenkilöiltä otettiin lihassolunäytteet, mitattiin voimamuuttujat sekä reisilihaksen poikkipinta-ala magneettikuvauksella. Lihassolukoot sekä lihassolutyypit määritettiin anti-dystrofiini vasta-aineen avulla sekä histokemiallisella ATPaasi – värjäyksellä. Tilastollinen analyysi suoritettiin SPSS – tilastoanalyysiohjelmalla t-testiä käyttäen.

Kaikki voimamuuttujat kasvoivat HARJ-ryhmällä ($p < 0,05$). HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) konsentrisen jalkaprässin 1RM:ssä sekä isometrisen penkkipunnerruksen maksimituloksessa. Sekä ulomman reisilihaksen että nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi HARJ-ryhmällä ($p < 0,05$). HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin merkitsevä ero ($p < 0,05$) ulomman reisilihaksen ja nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-aloissa. Kaikissa lihassolutyypeissä havaittiin tilastollisesti merkitsevä kasvu ($p < 0,05$) 21 viikon voimaharjoittelun myötä. HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) kaikissa lihassolutyypeissä.

Aiemmin harjoittelemattomilla miehillä 21 viikon voimaharjoittelu aiheuttaa voiman, lihaksen poikkipinta-alan sekä lihassolujen pinta-alan kasvua. Lihassolutyypin jakaumassa ei havaittu tässä tutkimuksessa eroa ennen ja jälkeen 21 viikon voimaharjoittelua. Koska koehenkilöt olivat tässä tutkimuksessa harjoittelemattomia, on todennäköistä, ettei 21 viikon voimaharjoittelu vielä ehtinyt aiheuttaa muutoksia lihassolujakaumassa.

Avainsanat: lihaksen poikkipinta-ala, lihassoluhypertrofia, voimaharjoittelu

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	1
SISÄLTÖ.....	3
1 JOHDANTO.....	5
2 ENERGIANTUOTTO VOIMAHARJOITUKSESSA.....	6
3 VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTIT VASTEET.....	8
3.1 Neuraaliset vasteet.....	8
3.2 Hormonaaliset vasteet.....	9
4 VOIMAHARJOITTELUN PITKÄAIKAISET VASTEET.....	10
4.1 Neuraaliset vasteet.....	10
4.2 Hypertrofiset vasteet.....	11
4.3 Hormonaaliset vasteet.....	13
5 LIHASSOLUTYYPIT.....	15
5.1 Lihassolutyypitykset.....	15
5.2 Tyyppi I.....	15
5.3 Tyyppi Iia.....	16
5.4 Tyyppi Iix.....	16
5.5 Voimaharjoittelun vaikutukset lihassolujakaumaan.....	17
6 TUKIMUSONGELMAT JA TUTKIMUSHYPOTEEESIT.....	18
7 MENETELMÄT.....	19
7.1 Koehenkilöt.....	19
7.2 Koeasetelma.....	19
7.3 Kuntosaliharjoittelu.....	20
7.4 Aineiston keräys.....	21
7.4.1 Antropometria.....	21
7.4.2 Magneettikuvaus.....	21
7.4.3 Lihassolunäyte.....	22
7.4.4 Voimatestit.....	23
7.5 Aineiston analysointi.....	23
7.5.1 Lihaksen poikkipinta-ala.....	23
7.5.2 Lihassolunäytteen analysointi.....	24

7.5.3 Maksimivoimat ja voimantuottonopeus.....	24
7.6 Tilastolliset menetelmät.....	24
8 TULOKSET.....	25
8.1 Voima.....	25
8.2 Lihaksen poikkipinta-ala.....	26
8.3 Lihassoluhypertrofia.....	27
9 POHDINTA.....	30
LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

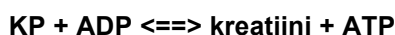
Voimaharjoittelu harjoittelemattomilla saa ensin aikaan nopeaa voimatason nousua, mutta lihasten kasvua eli hypertrofiaa voidaan kuvantamismenetelmillä havaita vasta 16 harjoituksen jälkeen. Voimatason nousu harjoittelun alussa johtuu hermostollisesta kehittymisestä, kun kyky rekrytoida motorisia yksiköitä kasvaa. Neuraalisen kehittymisvaiheen jälkeen alkaa lihaksen kasvua tapahtua. Voimakkaan vastusharjoittelujakson aikana lihassolujen proteiinisynteesi lisääntyy harjoiteltavissa lihaksissa. Kun proteiinisynteesi on suurempaa kuin proteiinien hajoaminen, voi lihaksessa tapahtua kasvua eli hypertrofiaa. Ravitseminen on oleellista voimaharjoittelun yhteydessä sillä muuten proteiinien hajoaminen on voimakkaampaa kuin proteiinisynteesi eikä kehitystä pääse tapahtumaan.

Lihassoluja on sekä hitaita että nopeita. Hitaat motoriset yksiköt hermottavat hitaita tyypin I lihassoluja, joilla on kyky vastustaa väsymystä, mutta niiden voimantuotto on melko pientä. Nopeita motorisia yksiköitä on sekä tyypin IIa lihassoluja hermottavia että tyypin IIx lihassoluja hermottavia. Tyypin IIa lihassolut ovat hyvin väsymystä vastustavia ja niiden voimantuotto on suurta. Tyypin IIx lihassolut ovat nopeasti väsyviä, mutta niiden voimantuotto on suurta.

Voimaharjoittelun on havaittu kasvattavan tyypin IIa lihassolujen prosentuaalista osuutta tyypin IIx lihassolujen kustannuksella. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia miten 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana lihassolujakauma muuttuu ja selvittää selittääkö jokin lihassolutyyppi pääosin tämän 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana oletettavasti tapahtuvan lihashypertrofian. Olettamuksena on, että lihashypertrofiaa tapahtuu ja, että suurinta hypertrofia on tyypin IIa lihassoluissa.

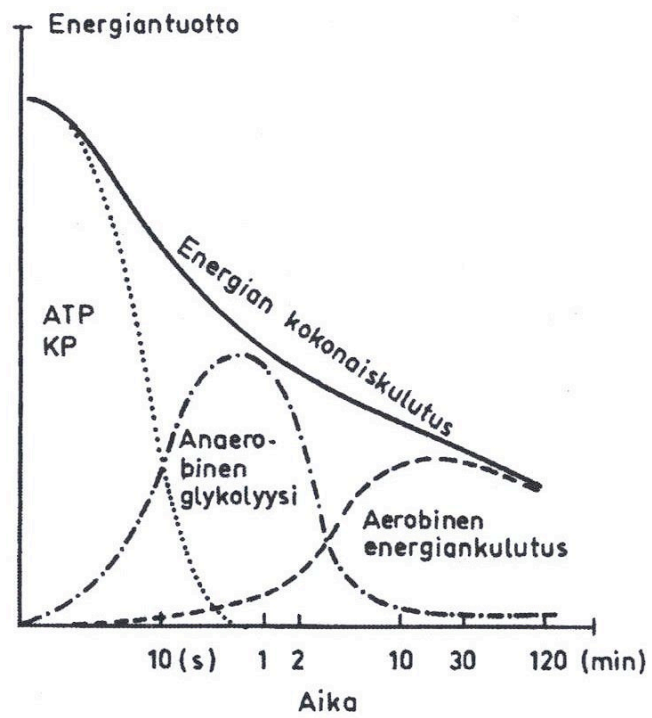
2 ENERGIANTUOTTO VOIMAHARJOITUKSESSA

Lihastoiminnassa energianlähteenä toimii adenosiiinitrifosfaatti (ATP), mutta ATP varastot riittävät vain kahden sekunnin maksimaaliseen suoritukseen. Näin ollen tulee ATP:tä tuottaa koko ajan lisää. (Maughan & Gleeson 2004.) ATP:tä voidaan muodostaa lisää kreatiinifosfaatista. Kreatiinifosfaatin reagoiessa kreatiinikinaasientsyymin katalysoimassa reaktiossa adenosiidifosfaatin (ADP) kanssa saadaan lopputuotteena ATP:a ja kreatiinia:



Kreatiinifosfaatin lisäksi ATP:tä voidaan uudelleen muodostaa anaerobisesti myös lihasten glykokeenistä glykolyysin avulla. (McArdle ym. 1996, 101–118.) Tällöin glykolyysin lopputuote pyruvaatti ei mene Krebsin sykliin, vaan se muutetaan maitohapoksi, joka dissosioituu laktaatiksi ja vetyioneiksi (Sjodin ym. 1982). Voimaharjoituksessa yksittäisen lihastyöjakson kesto on lyhyt ja työjaksojen välillä pidetään palautumisjakso. Tämän palautumisjakson aikana, 2-5 minuutissa, välittömät energianlähteet, ATP- ja kreatiinifosfaattivarastot, palautuvat lähes normaalitasolle. Lihasten glykokeenivarastojen riittävyys ei ole yleensä ongelma, sillä maksimaaliset ja submaksimaaliset työjaksot ovat normaalissa voimaharjoittelussa yleensä hyvin lyhyet. (Häkkinen 1990, 20–21.)

Yksittäisen sarjan tekeminen voimaharjoituksessa kestää 2–60 sekuntiin. Ensin käytetään välittömiä energian lähteitä (ATP ja kreatiinifosfaatti, KP), ATP:n uudelleen muodostusta anaerobisesta glykolyysistä sekä aerobisesti lihaksen glykokeenistä (kuvio 1). (Maughan & Gleeson 2004.)

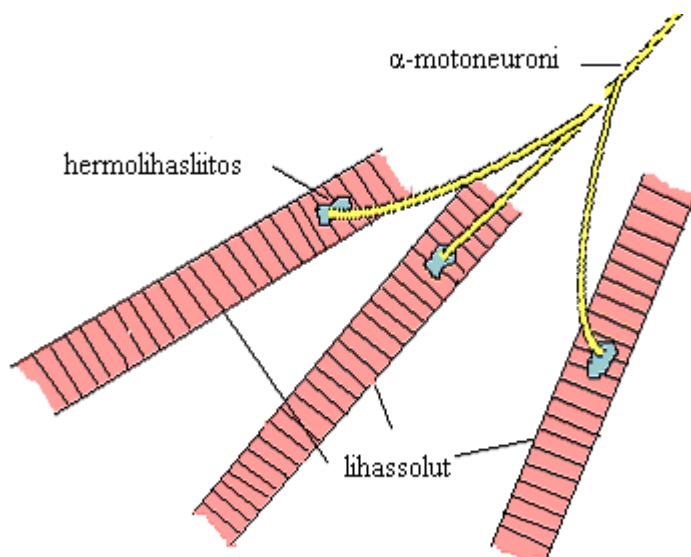


KUVIO 1. Energianlähteet intensiivisen lihastyön aikana (Keul ym. 1969).

3 VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTIT VASTEET

3.1 Neuraaliset vasteet

Yhden harjoituskerran aikana hermosto rekrytoi nopeat ja hitaat motoriset yksiköt. Motorisen yksikön muodostaa hermosolu ja sen hermottamat lihassolut (kuvio 2). Motoriseen yksikköön kuuluu α -motoneuroni eli liikehermo, jota pitkin aktiopotentiaali kulkee sähköisenä viestinä. Hermolihasliitoksen kautta aktiopotentiaali siirtyy kemiallisten välittäjäaineiden avulla lihasluun. Lihassolun supistumisen aiheuttaa tällöin lihasolun oma aktiopotentiaali, joka johtuu hermolihasliitoksen kautta purkautuneiden välittäjäaineiden aiheuttamista kemiallisista reaktioista. (Mero ym. 2004.)



KUVIO 2. Motorinen yksikkö.

Nopean motorisen yksikön hermosolu hermottaa nopeita lihassoluja. Hitaan motorisen yksikön hermosolu vastaavasti hermottaa hitaita lihassoluja. Yhden voimaharjoituksen aikana rekrytoitujen motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssiä lisätään. (Mero ym. 2004.) Voimaharjoittelu lisää hermo-lihasjärjestelmän motoristen yksiköiden maksimaalista rekrytointia etenkin nopeassa ja lyhyessä kertasuorituksessa (Häkkinen 1990, 90).

3.2 Hormonaaliset vasteet

Voimaharjoitus saattaa aiheuttaa stressivasteen hormonaalisessa säätelyjärjestelmässä. Tällöin verestä havaitaan useiden hormonien pitoisuuksien nousua. Jos yksittäinen voimaharjoitus on tarpeeksi intensiivinen ja kuormitusmäärältään riittävä, havaitaan miehillä selvä seerumin testosteronin nousu. Näihin muutoksiin vaikuttavat kuitenkin monet tekijät, kuten voimaharjoituksen intensiteetti, palautuksen määrä, harjoituksen kokonaiskesto ja urheilijan sen hetkinen psykofyysinen taso. (Häkkinen 1990, 52–53.)

Naisilla testosteronin pitoisuus on normaalisti noin kymmenesosa miesten testosteronin pitoisuudesta. Naisilla onkin havaittavissa voimaharjoituksen aikana vähäisempää seerumin testosteronin nousua kuin miehillä. Etenkin naisilla voimaharjoitus voi olla joko liian kuormittava tai liian pitkäkestoinen, jolloin seerumin testosteronipitoisuus kääntyy laskuun jo harjoituksen aikana. Tämän vuoksi on voimaharjoittelu syytä jakaa pienempiin jaksoihin. Päivän aikana voi tehdä vaikka kaksi tai useampia lyhytkestoisia voimaharjoituksia. (Häkkinen 1990, 53.)

Voimaharjoituksen akuuteista vaikutuksista muiden hormonien seerumpitoisuuksista ei ole yksiselitteisiä tutkimustuloksia. Miesvoimaurheilijoilla on kuitenkin havaittu seerumin kortisolin pitoisuuden nousua akuutin stressin vaikutuksesta. Samantapaisia tuloksia on saatu myös naisilta. Toisaalta on myös tutkimustuloksia, joissa seerumin kortisolipitoisuudet eivät muuttuneet. Ristiriitaisia tuloksia on myös seerumin lutenisoivan hormonin (LH) pitoisuuden noususta voimaharjoituksen myötä. Kasvuhormonin (GH) pitoisuuden akuutti nousu näyttäsi puolestaan olevan yhteydessä kuormituksen intensiteettiin. Seerumin kasvuhormonin pitoisuuden nousua on havaittu sekä kuntoilijoilla että urheilijoilla. Välitön nousu seerumin katekoliamiinien (adrenaliinin ja noradrenaliinin) pitoisuuksissa on yleistä voimaharjoituksen seurauksena. (Häkkinen 1990, 53–54.)

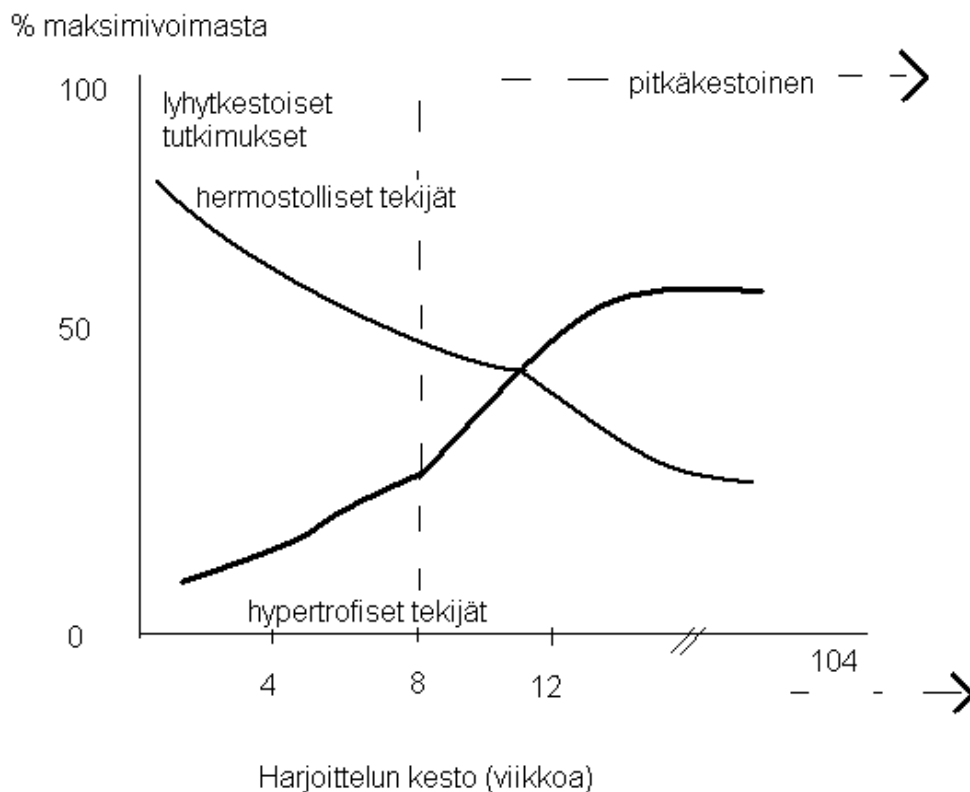
4 VOIMAHARJOITTELUN PITKÄAIKAISET VASTEET

Kuvantamismenetelmillä, kuten magneettikuvaus, tietokonetomografia ja ultraääni, on havaittu, että jo muutamien kuukausien säännöllinen voimaharjoittelu aiheuttaa lihasten koon kasvua eli lihashypertrofiaa (Folland & Williams 2007). Voimaharjoittelu harjoittelemattomilla saa ensin aikaan nopeaa voimatason nousua, joka johtuu pääosin hermostollisesta kehitymisestä. Hermostollisen kehitysvaiheen jälkeen lihasten kasvu on jo kuvantamismenetelmien avulla mahdollista havaita. Jo kahdeksan viikon säännöllisellä voimaharjoittelulla on havaittu olevan lihaksen anatomista poikkipinta-alaa kasvattavaa vaikutusta (Garfinkel & Carafelli 1992, Housh ym. 1992, Tracy ym. 1999, Abe ym. 2000). Voimakkaan vastusharjoittelujakson aikana myofibrillien proteiinisynteesi lisääntyy harjoiteltavissa lihaksissa. Kun proteiinisynteesi on suurempaa kuin proteiinien hajoaminen, voi lihaksessa tapahtua hypertrofiaa. Ravitsemus on oleellista voimaharjoittelun yhteydessä sillä muuten proteiinisynteesi on vähäisempää kuin proteiinien hajoaminen eikä kehitystä pääse tapahtumaan. (Folland & Williams 2007.)

Hypertrofia on voimakkainta harjoittelun kahden ensimmäisen kuukauden ajan, jonka jälkeen lihashypertrofia tasaantuu tai hidastuu. (Narici ym. 1996.) Vakuuttavaa näyttöä tälle löytyy kehonrakentajilla toteutetussa harjoittelututkimuksessa, sillä 24 viikon hauislihasharjoittelujakson aikana kehonrakentajien hauislihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa ei tapahtunut juurikaan muutosta (Alway ym. 1992).

4.1 Neuraaliset vasteet

Voimaharjoittelu aiheuttaa harjoittelemattomalle ensimmäisten 2-8 harjoitteluviikon aikana voimatason nousua. Harjoittelun alussa lihaksen poikkipinta-ala ei kuitenkaan kasva. Tämä johtuu siitä, että kyky aktivoida motorisia yksiköitä (kuvio 3) paranee harjoittelun alkuvaiheessa. Harjoittelija oppii käyttämään voimaa paremmin erilaisissa vastusharjoitteissa. Harjoittelun alussa onkin voimantuoton kasvun todettu johtuvan pääosin lihaksen tahdonalaisen aktivoinnin kasvamisesta. (Kraemer ym. 1996.)



KUVIO 3. Teoreettinen malli voimaharjoittelun hermostollisista ja hypertrofisista tekijöistä (mukaeltu lähteestä Kraemer ym.1996).

4.2 Hypertrofiset vasteet

Lihasmassan kehittäminen ja ylläpito riippuu kuuden tekijän vuorovaikutuksesta: 1) genetiikka, 2) fyysinen aktiivisuus, 3) ravitsemus, 4) hormonaaliset tekijät, 5) hermoston aktivointi ja 6) ympäristötekijät. Lihasta tulee ylikuormittua, jotta hypertrofiaa voi tapahtua. Iällä ei ole todettu olevan merkitystä lihassolujen harjoitus adaptaatiolle. Lihasten on todettu vastaavan harjoitteluun hypertrofisesti samalla tavalla vanhoilla kuin nuorillakin. (McArdle ym. 2001, 529–533.) Lihashypertrofiaa on havaittu tapahtuvan noin 16 harjoituskerran jälkeen (Kraemer ym. 1996).

Proteiinisynteesi. Voimakkaan vastusharjoittelujakson aikana myofibrillien proteiinisynteesi lisääntyy harjoitettavissa lihaksissa. Huippunsa proteiinisynteesi saavuttaa mahdollisesti noin 24 tuntia harjoituksen jälkeen, mutta se pysyy kiihtyneenä 36–48 tuntia. Proteiinien hajoamista tapahtuu samaan aikaan proteiinisynteesin kanssa, mutta suhteellisesti vähemmän kuin proteiinisynteesiä. Yhteisvaikutuksena on, että proteiinitasapaino on positiivinen. Kiihtynyt proteiinisynteesi johtuu pääosin tehostuneesta lähetti-RNA:n translaatiovaiheesta. (MacDougall 2003.) Proteiinisynteesin kiihtymisen vuoksi kasvaa myofibrillien pinta-ala ja lukumäärä, mutta myofibrillien pakkaustiheydessä ei tapahdu muutosta (MacDougall 1986).

Sidekudos. Koko lihaksen poikkipinta-ala kasvaa, kun yksittäisten lihassolujen koko kasvaa. Yksittäisen lihassolun kasvu johtuu myofibrillien koon ja määrän kasvusta. Poikkipinta-alan kasvuun vaikuttaa lihassolun kasvun lisäksi myös lihaksen sidekudoksen kasvu. (Häkkinen 1990, 73.) Sidekudoksen kasvu on kuitenkin vain pienenä osana lihaskasvua, sillä sen määrä lihaksessa on noin 13 %, joten sen kapasiteetti vaikuttaa lihaskoon kasvuun on tämän takia vähäinen (MacDougall ym. 1984).

Ravitsemus ja hormonit hypertrofiassa. Proteiinitasapainon paraneminen lihasharjoituksessa todettiin jo edellä. Kuitenkin jos ravintoaineiden saanti on puutteellista, proteiinitasapaino pyysyy negatiivisena eli katabolisena lihasharjoituksesta huolimatta. Aminohappojen saatavuus on erityisen tärkeää. Näin voidaan maksimoida proteiinisynteesin stimulointi ja tuottaa suurta lihasanaboliaa. Proteiinisynteesiä ja hypertrofiaa säätelevät hormoneista erityisesti insuliini ja testosteroni. Insuliini inhiboi proteiinien hajoamisen lisääntymistä. Proteiinisynteesissä insuliinilla on niin sanotusti salliva rooli. Harjoitusta ennen tulisi saada hiilihydraatteja ja aminohappoja, sillä harjoituksen aikana verenkierto lisääntyy ja aminohapot pääsevät tällöin nopeasti rakennusaineiksi. Juuri ennen harjoitusta nautitut hiilihydraatit ja aminohapot ovatkin tästä syystä havaittu tehokkaammiksi kuin heti harjoituksen jälkeen nautitut. (Tipton & Wolfe 2001.)

Lihassoluhypertrofia. Ihmistutkimuksissa lihassoluhypertrofiaa voidaan ainoastaan arvioida lihassolunäytteitä ottamalla, ja tämän vuoksi raportoidut tulokset keskimääräisestä lihassoluhypertrofiasta pitkäaikaisen voimaharjoittelun seurauksena ovat hyvin vaihtelevia. (Folland & Williams 2007.) Hypertrofiaa voidaan havaita sekä hitaissa että nopeissa lihassoluissa. Tutkimuksissa suhteellinen nopeiden eli tyypin II lihassolujen hy-

hypertrofia on yleensä ollut suurempaa kuin hitaiden eli tyypin I lihassolujen hypertrofian voimaharjoittelun seurauksena. (MacDougall 2003.) Lihassolujen hypertrofia kasvattaa myös lihaksen poikkipinta-alaa, mikä parantaa lihaksen maksimivoimaa. (Häkkinen 1990, 56–60.) Kuuden kuukauden hauislihasharjoittelu kasvatti tyypin I lihassoluja 27 % ja tyypin II lihassoluja 33 % (MacDougall ym. 1980), kun taas 14 viikon hauislihasharjoittelu aiheutti keskimäärin 16 % lihassolukasvun (Aagaard ym. 2001). Syitä raportoitujen tulosten vaihteluun voivat olla lihassolunäytteiden näytteenottokohdan vaihtelu, yksilöllinen vaste harjoitteluun sekä erot harjoittelun ärsykeissä (Folland & Williams 2007).

Hyperplasia. Ihmisillä hyperplasiaa eli lihassolujen jakautumista ei ole pystytty todistamaan menetelmällisten vaikeuksien vuoksi, mutta joissain eläintutkimuksissa harjoittelun seurauksena tapahtuneesta hyperplasiasta on näyttöä (Fleck & Kraemer 2004, 83).

4.3 Hormonaaliset vasteet

Testosteronin pitoisuutta lepotilassa voimaharjoittelun aikana on tutkittu, mutta tulokset ovat olleet ristiriitaisia (Kraemer & Ratamess, 2005). Kohonneita testosteronin pitoisuuksia on havaittu joissakin tutkimuksissa (Ahtiainen ym. 2003; Kraemer ym. 1999), kun taas toisissa ei ole havaittu eroa harjoittelemattomiin (Potteiger ym. 1995). Ahtiainen ym. (2003) raportoi, että seitsemän viikon määräpainotteinen voimaharjoittelujakso nosti vapaan ja totaalisen testosteronin pitoisuuksia verrattuna voimaharjoittelujaksoa ennen mitattuihin pitoisuuksiin. Lisäksi Raastad ym. (2001) raportoi 12 % vähenemisen testosteronin pitoisuuksiin lepotilassa raskaan vastusharjoittelun aikana. Muutoksia testosteronin pitoisuuksien lepoarvoissa saattaa tapahtua, jos harjoittelun määrässä tai intensiteetissä tapahtuu suuria muutoksia. Arvot palannevat kuitenkin lähtötasolle palattaessa normaaliin harjoittelurytmiin. (Kraemer & Ratamess, 2005.)

Kasvuhormonin pitoisuuden lepoarvoissa ei ole havaittu muutoksia voimaharjoittelun myötä naisilla eikä miehillä (Häkkinen ym. 2000; Kraemer ym. 1999; Marx ym. 2001; McCall ym. 1999). Tätä löydöstä tukee se, että olympiatason painonnostajilla ja voi-

maurheilijoilla kasvuhormonin pitoisuuksien lepoarvot ovat samanlaisia verrattuna vähemmän harjoitelleisiin (Ahtiainen 2003).

Lepotilan kortisolipitoisuudet viittaavat yleensä pitkäaikaiseen harjoittelustressiin. Kortisolipitoisuuden lepoarvoissa ei ole havaittu tapahtuvan selkeää muutosta normaalin voimaharjoittelun vaikutuksesta. Eri tutkimuksissa on havaittu sekä pitoisuuden alenemista että pitoisuuden nousua (Kraemer & Ratamess, 2005.)

5 LIHASSOLUTYYPIT

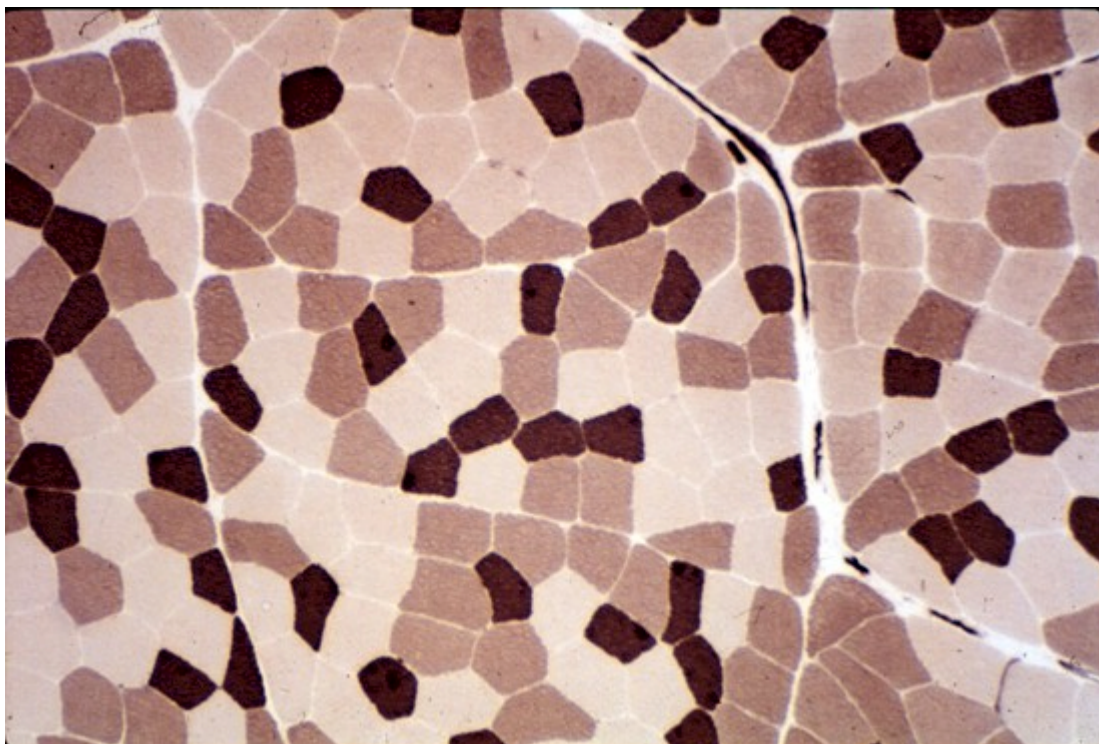
5.1 Lihassolutyypitykset

Lihassolut eivät ole kaikki samanlaisia, vaan ne poikkeavat toisistaan nopeudessa, kestävydessä sekä maksimaalisessa voimatuotossa. Lihassolutyyppejä voidaan määrittää niissä sijaitsevien myosiiniraskasketjuproteiinien (MHC) eri isoformien avulla. Nisäkkäiden lihassoluista on löydetty tähän mennessä kymmenen MHC isoformia. (Moss ym. 1995; Pette & Staron 1997.) Ihmisillä on havaittu olevan kolmea nopeaa lihassolutyyppeä (tyyppi Iia, tyyppi Iix ja tyyppi Iib) sekä yhtä hidasta lihassolutyyppeä, tyyppiä I (Smerdu ym. 1994). Tyypin Iib lihassoluja on havaittu ihmisellä vain erittäin vähän ja harvoissa lihaksissa (Fitts & Widrick 1996). Tyyppi I on hitain, mutta kestävin, tyyppi Iia on nopea ja melko kestävä ja tyyppi Iix on nopein ja vahvin, mutta nopeasti väsyvä (Pette 2002). Yleensä lihassolutyyppejä I, Iia ja Iix löytyy jokaisesta luurankolihaksesta, mutta niiden jakauma riippuu lihaksen toiminnallisesta roolista (Ross & Pawlina 2006, 283).

5.2 Tyyppi I

Tyypin I lihassolut eli hitaat oksidatiiviset lihassolut ovat hitaasti supistuvia ja väsymystä kestäviä. Nämä lihassolut vastustavat väsymystä parhaiten, mutta niiden myosiini ATPaasi reaktion on kaikista hitain. Tuoreessa näytteessä nämä pienet tyypin I lihassolut näkyvät punaisina (kuvio 4). Niissä on runsaasti mitokondrioita, myoglobiinia sekä sytokromiryhmiä. (Ross & Pawlina 2006, 283.)

Tyypin I lihassolut esiintyvät nisäkkäiden raajalihaksissa sekä muuttolintujen rintalihaksissa. Ihmisellä tyypin I lihassolut ovat tärkeässä asemassa selän pitkissä lihaksissa, jotka ylläpitävät ihmisen pystyasentoa. Kestävyysurheilijoilla on suuri prosentuaalinen osuus näitä lajille ominaisia hitaasti supistuvia, mutta väsymystä vastustavia lihassoluja. (Ross & Pawlina 2006, 283.)



KUVIO 4. Lihassolutyypit. Tummalla värjättyt ovat tyypin I lihassoluja, vaaleanpunaiset ovat tyypin IIa lihassoluja ja vaaleat ovat tyypin IIx lihassoluja.

5.3 Tyypin IIa

Tyypin IIa lihassolut eli nopeat oksidatiiviset glykolyttiset lihassolut supistuvat nopeasti ja vastustavat väsymystä. Tyypin IIa lihassoluissa on paljon glykogeenia. Toisin kuin tyypin I lihassolut, tyypin IIa lihassolut pystyvät anaerobiseen glykolyysiin. Tuoreessa näytteessä tämän lihassolutyypin erottaa keskisuuresta koostaan. Tyypin IIa lihassoluissa on paljon mitokondrioita sekä korkea myoglobiinipitoisuus. Neljänsadan ja kahdeksansadan metrin juoksijoilla, keskimatkojen uimareilla sekä jääkiekkopelaajilla on suuri prosentuaalinen osuus tyypin IIa lihassoluja. (Ross & Pawlina 2006, 283.)

5.4 Tyypin IIx

Tyypin IIx lihassolut eli nopeat glykolyttiset lihassolut muodostavat korkean lihasjännityksen, supistuvat nopeasti sekä väsyvät nopeasti. Myosiini ATPaasi nopeus on suurin näissä lihassoluissa. Toisaalta tyypin IIx lihassolut väsyvät nopeasti ja muodostavat

maitohappoa. Nämä lihassolut kontrolloivat nopeita, tarkkoja liikkeitä. Neuraalinen kontrollointi on tarkinta tyypin Ix lihassoluissa, sillä niissä on eniten hermolihasliitoksia. Tyypin Ix lihassoluissa on vähiten mitokondrioita sekä myoglobiinia ja niihin on varastoituneena paljon glykogeeniä, joten anaerobinen entsyymiaktiivisuus on korkea. Painonnostajilla, sprinttereillä sekä muilla yleisurheilijoilla on suuri prosentuaalinen osuus tyypin Ix lihassoluja. (Ross & Pawlina 2006, 283.)

5.5 Voimaharjoittelun vaikutukset lihassolujakaumaan

Voimaharjoittelun vaikutuksista lihassolujakaumaan on havaittu samankaltaisia tuloksia kun kestävyysharjoittelullakin. Jo vuonna 1967 Holloszy raportoi, että säännöllinen kestävyysurheilu lisää raajojen luurankolihaksien mitokondrioita sekä oksidatiivista kapasiteettia. Kestävyysharjoittelun seurauksena on havaittu jopa tyypin IIa lihassolujen prosentuaalisen osuuden kasvua tyypin Ix lihassolujen kustannuksella. Sekä histokemiallisen määrittämisen että geelielektroforeesin avulla on havaittu, että tyypin Ix lihassolujen prosentuaalinen osuus vähenee voimaharjoittelun myötä, kun taas tyypin IIa lihassolujen prosentuaalinen osuus kasvaa (Fitts & Widrick 1996.).

6 TUKIMUSONGELMAT JA TUTKIMUSHYPOTEESIT

Tutkimusongelma. Miten eri lihassolutyypin kasvu vaikuttaa koko ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaan ja voimien kasvuun 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana 19–34 vuotiailla miehillä?

Tutkimushypoteesi 1. Voima kasvaa 21 viikon voimaharjoittelun myötä harjoittelemattomilla miehillä

0-hypoteesi 1. 21 viikon voimaharjoittelulla ei ole vaikutusta voimaan harjoittelemattomilla miehillä.

Tutkimushypoteesi 2. Ulomman reisilihaksen sekä nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvaa 21 viikon voimaharjoittelun myötä harjoittelemattomilla miehillä (Garfinkel & Carafelli 1992, Housh ym. 1992, Tracy ym. 1999, Abe ym. 2000).

0-hypoteesi 2. 21 viikon voimaharjoittelulla ei ole vaikutusta lihaksen poikkipinta-alaan harjoittelemattomilla miehillä.

Tutkimushypoteesi 3. Lihassoluhypertrofiaa tapahtuu ja se on voimakkainta tyypin Iia lihassoluissa 21 viikon harjoittelujakson myötä harjoittelemattomilla miehillä (MacDougall 2003).

0-hypoteesi 3. 21 viikon voimaharjoittelulla ei ole vaikutusta lihassolujen pinta-alaan.

Tutkimushypoteesi 4. Lihassolujakauma muuttuu 21 viikon voimaharjoittelun myötä siten, että tyypin Iia lihassolujen määrä kasvaa ja tyypin Iix lihassolujen määrä vähenee (Fitts & Widrick 1996).

0-hypoteesi 4. 21 viikon voimaharjoittelu ei aiheuta muutosta lihassolujakaumassa.

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 18 (ikä 19–34 vuotta) tervettä suomalaisista miestä. Koehenkilöillä ei ollut juurikaan aiempaa kokemusta voimaharjoittelusta. Koehenkilöt jaettiin kahteen ominaisuuksiltaan tasaiseen ryhmään satunnaistetusti (taulukko 1):

- 1) voimaharjoitteluryhmä (n=9) ja
- 2) kontrolliryhmä, jossa koehenkilöt osallistuvat mittauksiin ja jatkoivat normaalia elämänryhtiään, mutta eivät harjoitelleet (n=9).

Ennen tutkimukseen osallistumista koehenkilöille kerrottiin tutkimuksen tarkoitus ja he täyttivät ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoi puoltavan lausunnon lihassolunäytteiden ottoon. Tämä tutkimus oli osa Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen tutkimusprojektia: ”Luurankolihasen fysiologinen ja molekyylibiologinen mukautumien kuuden kuukauden voimaharjoittelujakson aikana”.

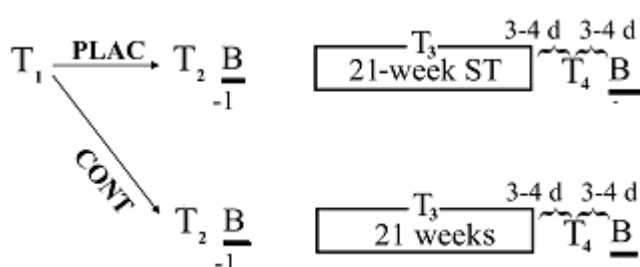
TAULUKKO 1. Koehenkilöiden taustatiedot ryhmittäin (keskiarvo \pm keskihajonta SD).

Muuttuja	Plaseboryhmä	Kontrolliryhmä
n	9	9
Ikä (vuotta)	27,2 \pm 3,0	24,9 \pm 2,7
Paino (kg)	74,7 \pm 8,5	75,7 \pm 8,1
Pituus (cm)	181,0 \pm 5,8	182,6 \pm 4,8
Jalkaprässin maksimivoima suhteessa omaan painoon (kg/kg)	2,2 \pm 0,4	2,2 \pm 0,4

7.2 Koeasetelma

Voimaharjoitteluryhmä harjoitteli ohjatusti kaksi kertaa viikossa 21 viikon ajan. Voimaharjoitusten välillä oli aina vähintään kaksi päivää. Harjoittelu oli progressiivista ja koko kehoa kuormittavaa. Kontrolliryhmäläiset jatkoivat normaalia fyysisesti aktiivista/ei-aktiivista elämäänsä 21 viikon ajan.

Tutkimus koostui miinus-, nolla-, väli- ja loppumittauksista. Miinusmittauksissa mitattiin antropometria (pituus, paino ja rasvaprosentti neljän pisteen ihopoimumenetelmällä) ja voimantuottokykyä. Nollamittaukset tehtiin kaksi viikkoa miinusmittausten jälkeen. Nollamittauksissa antropometrian sekä voimien mittaamisen lisäksi otettiin lihassolunäyte sekä tehtiin magneettikuvaus. Puolivälimittaukset tehtiin 10,5 viikkoa harjoittelun alkamisen jälkeen. Puolivälimittauksissa mitattiin antropometriset ominaisuudet. Loppumittaukset tehtiin 21 viikon harjoittelujakson jälkeen. Loppumittauksissa antropometrian sekä voimien lisäksi otettiin lihassolunäyte ja magneettikuva. Kuviossa 5 näkyy tutkimuksen kulku.



KUVIO 5. Tutkimuksen kulku. ST=raskas voimaharjoittelujakso. B=ulomman reisilihaksen lihassolunäyte. T = voimatestit, antropometriset testit, magneettikuvaukset (T₁ =ennen kontrollijaksoa (miinusmittaukset), T₂ = kontrollijakson jälkeen, T₃ = 10,5 viikkoa ST: alkamisesta, T₄ = 21 viikkoa ST:n alkamisesta). PLAC=voimaharjoitteluryhmä, CONT=kontrolliryhmä.

7.3 Kuntosaliharjoittelu

Kuntosaliharjoittelujakso (ST, kuvio 5) kesti 21 viikkoa ja sisälsi kaksi harjoitusta viikkoa kohden. Harjoitusten välillä vaadittiin vähintään kahden päivän tauko. Jokaisessa harjoituksessa oli mukana ohjaaja, joka tiesi harjoittelun vaatimukset. Jokainen harjoitus sisälsi seuraavat liikkeet: kaksi harjoitusta reiden ojentajalihaksille, bilateraallinen jalkaprässi sekä bilateraallinen polven ojennus ja bilateraallinen polven koukistus. Harjoitteleluohjelma sisälsi myös harjoitteita, jotka kuormittivat muita vartalon päälihasryhmiä, kuten rinta- ja olkapäänseutu, yläselkä, vartalon ojentajat ja koukistajat, käsivarren ojentajat ja koukistajat, nilkan ojentajat sekä lonkan lähentäjät ja loitontajat. Pääpaino harjoittelussa oli kuitenkin tutkimuksen pääasiallisena kohteena olleella ulommalla reisilihaksella. Ulomman reisilihaksen rakennetta ja toimintaa on tutkittu eniten, joten, jotta

tämän tutkimuksen tuloksia voidaan tulkita verrattuna muihin tutkimuksiin mahdollisimman hyvin, oli tutkimuksen pääasiallisena kohteena ulompi reisilihas. Harjoittelu suoritettiin 40–85 % kuormilla yhden toiston maksimista progressiivisesti. Sarjojen määrä nousi 2-3 sarjasta 3-5 sarjaan. Toistojen määrä laski 15–20 toistosta 5-6 toistoon 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana. Kaikissa harjoitteissa kuormat määritettiin yksilöllisesti jokaisen harjoituksen aikana 21 viikon ajan.

7.4 Aineiston keräys

7.4.1 Antropometria

Pituus mitattiin 0,1 cm:n tarkkuudella seinään asetetulla mittanauhalla. Paino ja rasvaprosentti mitattiin yön yli kestäneen paaston jälkeen. Paino mitattiin 0,1 kg:n tarkkuudella kalibroidulla henkilövaakalla. Rasvaprosentti mitattiin neljän ihopoimun (olkavarren ojentaja-, haisuilihas-, lavanalus- ja suoliluun harjanteen ihopoimut) menetelmällä ihopoimupihdeillä. Rasvaprosentti määritettiin Durnin & Womersleyn (1974) yhtälöiden perusteella laaditun muuntotaulukon mukaisesti.

7.4.2 Magneettikuvaus

Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alan magneettikuvaukset suoritettiin Keski-Suomen Magneettikeskuksessa (Philips Gyroscan, Intera 1.5t). Koehenkilöt kävivät magneettikuvauksissa ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa sekä sen jälkeen. Kuvauspaikalla koehenkilö makasi paikoillaan 20 minuuttia, jotta kehon nesteet tasoittuisivat tasaisesti koko kehoon. Koehenkilölle piirrettiin reisilihakseen viisi sagitaalista viivaa siten, että yksi oli suoliluun etuyläkärjen ja polven ulomman nivelraon puolella välissä, kaksi sen alapuolella 2 cm välein ja kaksi sen yläpuolella 2 cm välein. Koehenkilö asetettiin selinmakuulle ja nilkka asetettiin tyynylle reisilihaksen ollessa rentona kuvauksen aikana. Koehenkilö kiinnitettiin lantion kohdalta kiinni mittauspöytään. Koehenkilöä pyydettiin olla jännittämättä sekä liikuttamatta jalkojaan kuvauksen aikana. Kuvauksen kokonaiskesto oli noin viisi minuuttia. Kuva otettiin viidestä yllämainitusta kohdasta.

7.4.3 Lihassolunäyte

Kokenut lääkäri otti kaikkien koehenkilöiden lihassolunäytteet steriileissä olosuhteissa. Lihassolunäyte otettiin ulommasta reisilihaksesta suoliluun etuyläkärrjen ja polven ulomman nivelraon välisen etäisyyden puolivälistä noin 2,5 senttimetrin syvyydestä. Ensimmäisellä mittauskerralla lääkäri tarkisti mittauskohdan ultraäänilaitteella varmistukseen, ettei neula osu verisuoniin tai hermoihin. Koehenkilö piti jäätä näytteenottokohdassa 15 minuuttia ennen puudutusta. Tämän jälkeen lääkäri puudutti Lidocain - paikallispuudutteella näytteenottokohdan. Puudutteen annettiin vaikuttaa 5-10 minuuttia, jolloin näytteenottokohdassa pidettiin taas jäätä. Näytteenottoa puhdistettiin huolellisesti amisept -puhdistusaineella. Avustaja antoi lääkärille kirurgin veitsen steriilisti. Lääkäri leikkasi ihoon noin 1 cm pituisen viillon, josta Bergströmin 5 mm lihassolunäyteneula työnnettiin lihakseen. Avustaja antoi lääkärille lihassolunäytteenottoneulan sekä letkun. Letkun päässä oli ruutta, jolla imettiin neulaan saatu lihassolunäyte syvemmälle neulan sisälle. Lääkäri antoi neulan sisältöineen toiselle avustajalle, joka tarkasti näytteen koon sekä laadun ja asetteli sen blokille. Lääkäri laittoi tämän jälkeen haavaan perhosteipin sekä liimasiteen. Lihassolutyyppejä ja -kokoa varten tarvittu blokkipala jäädytettiin nestemäisellä typellä -160 °C:een. Sitä jäädytettiin jäädytetyllä isopentaanilla vähintään viiden sekunnin ajan näytteen nopean jäätymisen mahdollistamiseksi.

7.4.4 Voimatestit

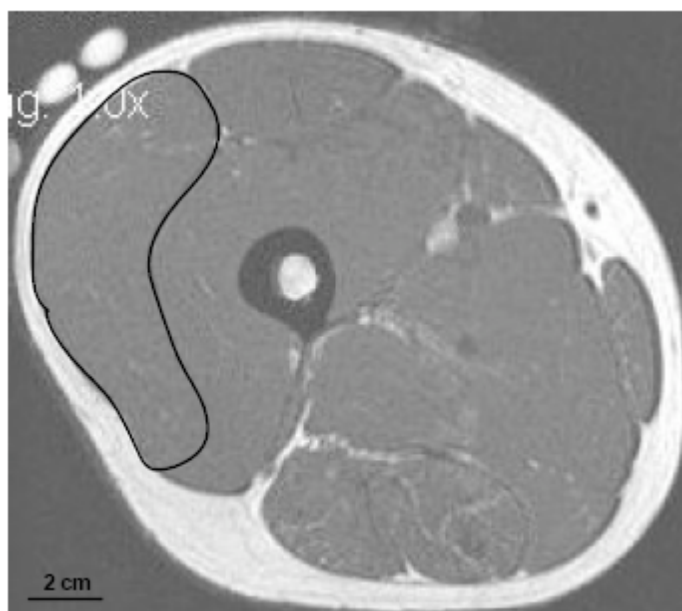
Voimatesteissä koehenkilö lämmitteli viisi minuuttia polkupyöräergometrillä. Lämmittelyn jälkeen tehtiin kolme maksimaalista suoristusta isometrisessä jalkaprässilaitteessa 107° polvikulmalla minuutin palautuksilla. Tarkoituksena oli tuottaa mahdollisimman paljon voimaa mahdollisimman nopeasti. Tämän jälkeen etsittiin bilateraalin dynaamisen jalkaprässin maksimi 3-5 yrityksellä. Laitteena oli David 200 ja polvikulmien tuli olla alle 70°. Jokaisen yrityksen välissä pidettiin yhden minuutin palautus. Laitteena oli David 200 ja polvikulmien tuli olla alle 70°. 50 %:lla dynaamisen jalkaprässin maksimista tehtiin nopeusvoimasuoritus, eli suoristettiin jalat mahdollisimman nopeasti. Tämä toistettiin kaksi kertaa, minuutin palautuksilla. Isometrinen penkkipunnerrusmaksi-

mi mitattiin myös David 210 – laitteessa istuen. Kyynärvarret olivat 90° kulmassa olkavarsiin nähden ja olkavarret suoraan sivuille suunnattuna vartalosta. Kolme suoritusta tehtiin siten, että voimaa tuotettiin mahdollisimman paljon ja mahdollisimman nopeasti. Jokaisen yrityksen välissä pidettiin yhden minuutin palautus. Tuloksissa käytettiin kaikista voimatesteistä parasta suoritusta. Jokaista koehenkilöä kannustettiin maksimaaliseen suoritukseen samalla tavalla kaikissa mittauksissa.

7.5 Aineiston analysointi

7.5.1 Lihaksen poikkipinta-ala

Analysointi suoritettiin manuaalisesti piirtämällä Osiris -ohjelmalla. Ulomman reisilihaksen (m. vastus lateralis, kuvio 6) poikkipinta-ala sekä nelipäisen reisilihaksen (m. quadriceps femoris) koko poikkipinta-ala analysoitiin neljästä mitatusta kohdasta. Näiden summaa ja keskiarvoa käytettiin tuloksissa.



KUVIO 6. Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala-analysointi.

7.5.2 Lihassolunäytteen analysointi

Kryostaatilla (-20° C) leikattiin 10 µm paksuisia poikkileikkeitä lihassolunäytteistä. Lihassolutyypit (I, IIa, IIb ja IIc) määritettiin histokemiallisella ATPaasi – värjäyksellä (Brooke & Kaiser 1970). Eri lihassolutyypit eroteltiin käyttäen neljää eri preinkubaatioliuosta; pH 4,2, pH 4,6, pH 9,4 ja pH 10,3. Tilastollisiin analyysihin tyyppiin IIc lihassolujen pinta-aloja ei otettu mukaan, koska niitä oli niin vähäinen määrä. Tuloksissa vertailtiin lihassolutyypien keskiarvoisen koon muutosta 21 viikon seurantajakson aikana. Lihassolujen rajat määritettiin anti-dystrofiini vasta-aineen avulla. Tallennetut kuvat määritettävistä poikkileikkeistä analysoitiin Tema Image-Analysis System – laitteen (Scan Beam) avulla. Mikroskoopin sisältävää videoskooppia (Olympus BX 50) ja värivideokameraa (Sanyo High Resolution CCD) käytettiin jokaisen lihassolutyyppin keskiarvoisten pinta-alojen laskemiseen.

7.5.3 Maksimivoimat ja voimantuottonopeus

Voimien mittauksessa käytettiin Cambridge Electronic Designing Power 1401 tiedonkeruulaitteistoa. Analogisdigitaalismuuntimen kautta voimat munnettiin digitaaliseen muotoon näkyviin tietokoneelle Signal 2.15 ohjelmaan. Signal 2.15 – ohjelman keräys-taajuus oli 2000 Hz ja sen avulla analysoitiin maksimivoimat.

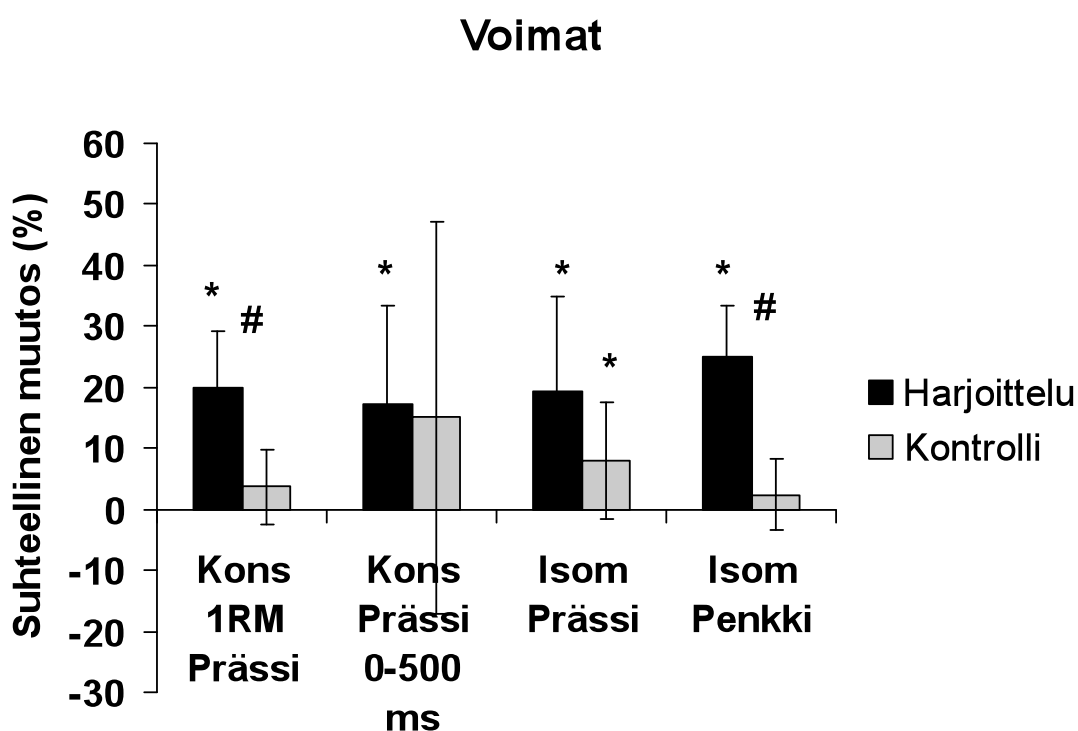
7.6 Tilastolliset menetelmät

Tilastollisessa analyysissä käytettiin SPSS 12.0 ohjelmaa. Ajan myötä tapahtuvia muutoksia ryhmän sisällä tutkittiin kahden riippuvan otoksen odotusarvojen yhtäsuuruuden t-testillä (parittainen t-testi). Ryhmien eroja vertailtiin kahden riippumattoman otoksen odotusarvojen yhtäsuuruuden t-testillä (t-testi). Holm-Bonferronin post hoc -testiä käytettiin vaikutusten paikallistamiseen kuten Atkinson (2002) on ehdottanut. Merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

8 TULOKSET

8.1 Voima

Kaikki voimamuuttujat kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) HARJ-ryhmällä. KON-ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä kasvu ($p < 0,05$) ainoastaan isometrisen jalkaprässin maksimituloksessa. HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) konsentrisen jalkaprässin 1RM:ssä sekä isometrisen penkkipunnerruksen maksimituloksessa. Kuviossa 7 on esitettyä voimamuuttujien tulosten muutokset 21 viikon seurantajakson aikana ryhmittäin. Taulukosta 2 näkyvät voimamuuttujien absoluuttiset arvot ennen ja jälkeen 21 viikon seurantajaksoa.



KUVIO 7. Voimien muutokset 21 viikon seurantajakson aikana. Tähti (*) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) pre- ja post – mittausten välillä. Ruudukko (#) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) HARJ- ja KON-ryhmien välillä.

TAULUKKO 2. Voimamuuttujien arvot ennen (pre) ja jälkeen (post) 21 viikon seurantajaksoa. Luvut ovat muotoa: keskiarvo \pm keskihajonta (ka \pm sd). kg = kilogramma, N = newton.

		pre	post
HARJ	Kons 1RM (kg)	164 \pm 30	195 \pm 23
	Isom Prässi (N)	3624 \pm 1344	4163 \pm 1369
	Kons Prässi 0-500 ms (N)	2206 \pm 567	2651 \pm 590
	Isom Penkki (N)	621 \pm 149	783 \pm 174
KON	Kons 1RM (kg)	168 \pm 24	173 \pm 22
	Isom Prässi (N)	3882 \pm 978	4202 \pm 5512
	Kons Prässi 0-500 ms (N)	2221 \pm 454	2498 \pm 605
	Isom Penkki (N)	608 \pm 118	623 \pm 130

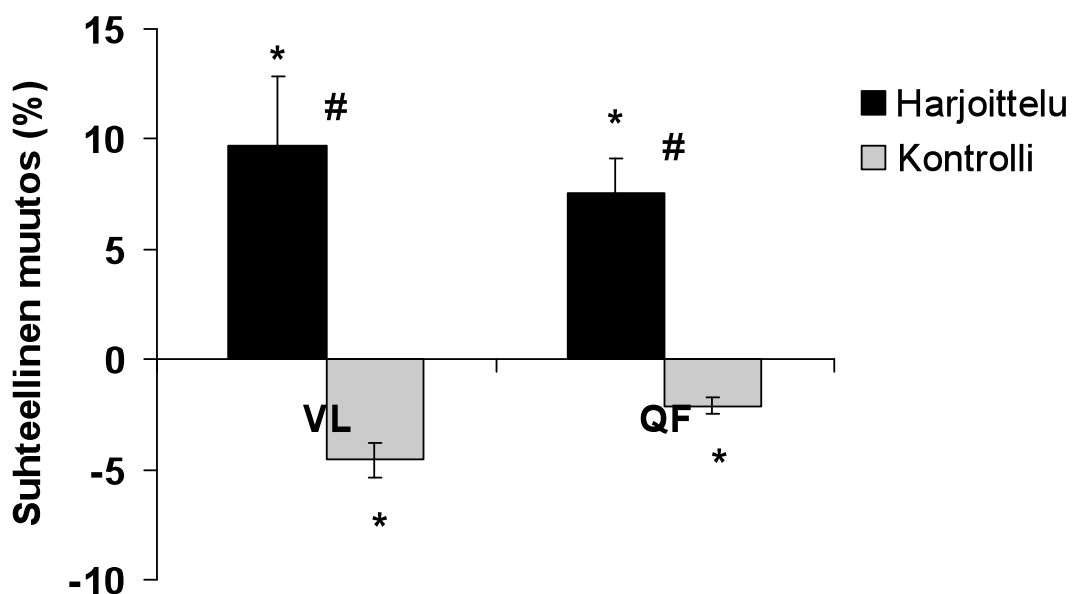
8.2 Lihaksen poikkipinta-ala

Lihaksen poikkipinta-alan suhteelliset muutokset (%) ryhmittäin ovat esitettyinä kuviossa 8. Sekä ulomman reisilihaksen (VL) että nelipäisen reisilihaksen (QF) poikkipinta-ala kasvoi HARJ-ryhmällä ($p < 0,05$). Sekä ulomman reisilihaksen että nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala pieneni KON-ryhmällä ($p < 0,05$). HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) ulomman reisilihaksen ja nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-aloissa. Taulukossa 3 on esitettyinä lihasten poikkipinta-alojen absoluuttiset arvot.

TAULUKKO 3. Lihaksen poikkipinta-alojen absoluuttiset arvot (cm²) ennen (pre) ja jälkeen (post) 21 viikon seurantajaksoa. Luvut ovat muotoa: keskiarvo \pm keskihajonta (ka \pm sd).

		pre	post
HARJ	VL	107 \pm 19	116 \pm 19
	QF	312 \pm 34	335 \pm 33
KON	VL	113 \pm 12	109 \pm 13
	QF	315 \pm 41	312 \pm 38

Lihaksen poikkipinta-ala

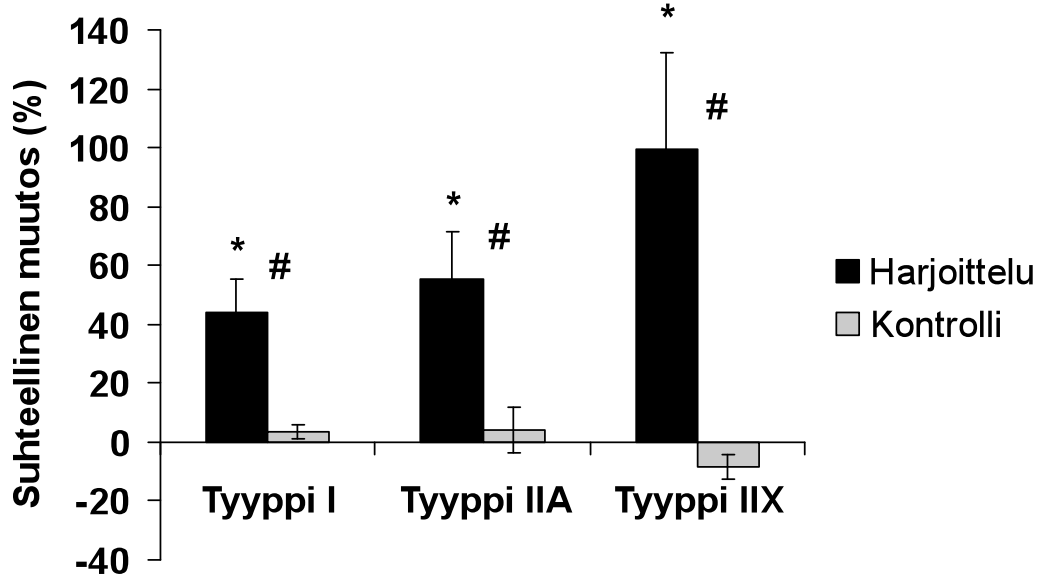


KUVIO 8. Lihaksen poikkipinta-alan muutokset 21 viikon seurantajakson aikana. Tähti (*) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) pre- ja post – mittausten välillä. Ruudukko (#) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) HARJ- ja KON-ryhmien välillä. VL = ulompi reisilihas ja QF = nelipäinen reisilihas.

8.3 Lihassoluhypertrofia

Kaikissa lihassolutyypeissä havaittiin tilastollisesti merkitsevä kasvu ($p < 0,05$) 21 viikon voimaharjoittelun myötä. HARJ- ja KON-ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) kaikissa lihassolutyypeissä (kuvio 9). Lihassolutyyppien kasvuissa 21 viikon voimaharjoittelun myötä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri lihassolutyyppien väleillä (taulukko 4.) Lihassolujakaumassa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa pre- ja post-mittausten välillä (kuvio 10).

Lihassolujen pinta-alat

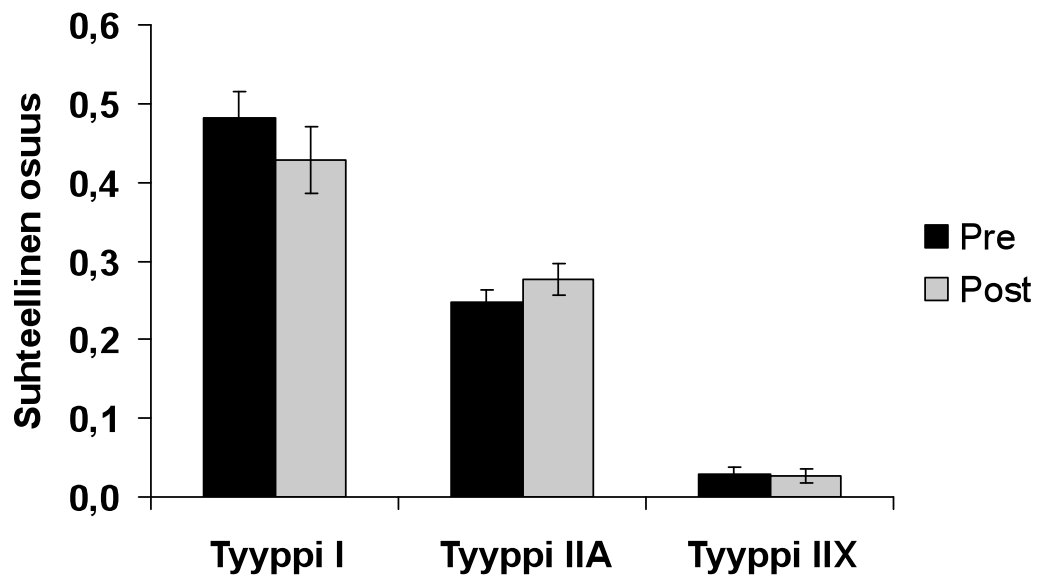


KUVIO 9. Lihassolujen keskiarvoisten pinta-alojen muutokset 21 viikon seurantajakson aikana. Tähti (*) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) pre- ja post – mittausten välillä. Ruudukko (#) merkitsee tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$) HARJ- ja KON-ryhmien välillä.

TAULUKKO 4. Lihassolujen keskiarvoisten pinta-alojen muutokset 21 viikon seurantajakson aikana HARJ-ryhmällä (keskiarvo \pm keskivirhe SE). Eri lihassolutyyppien kasvun väliset p-arvot.

	Muutokset (%)		Muutosten erot (%)	p-arvo
Tyyppi I	44,0 \pm 11,4	Tyyppi I vs. Tyyppi IIA	11,2 \pm 4,6	0,43
Tyyppi IIA	55,2 \pm 16,0	Tyyppi I vs. Tyyppi IIX	55,3 \pm 21,3	0,11
Tyyppi IIX	99,3 \pm 32,7	Tyyppi IIA vs. Tyyppi IIX	44,1 \pm 16,7	0,49

Lihassolujakaumat pre-post



KUVIO 10. Voimaharjoitteluryhmän lihassolujakaumat ennen (pre) ja jälkeen (post) 21 viikon voimaharjoittelujaksoa. Luvut ovat suhteellisia osuuksia.

9 POHDINTA

Oletuksen mukaan, 21 viikon voimaharjoittelu aiheutti kasvua kaikissa voimamuuttujissa (konsentrisen jalkaprässin 1RM, konsentrisen jalkaprässin nopeusvoima, isometrisen jalkaprässin maksimitulos ja isometrisen penkkipunnerruksen maksimitulos). Myös lihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi harjoitteluryhmällä 21 viikon seurantajakson aikana sekä ulommassa reisilihaksessa että nelipäisessä reisilihaksessa, kuten aiemman tutkimusnäytön perusteella saattoi olettaa (Garfinkel & Carafelli 1992, Housh ym. 1992, Tracy ym. 1999, Abe ym. 2000). Kaikkien lihassolutyyppeiden pinta-alat kasvoivat merkitsevästi HARJ-ryhmällä 21 viikon seurantajakson aikana. Mitään tilastollisia eroavaisuuksia ei havaittu eri lihassolutyyppeiden kasvujen välillä eikä lihassoluja-kaumassa 21 viikon seurantajakson aikana.

Voima ja lihaksen poikkipinta-ala

Voimassa ja lihaksen poikkipinta-alassa havaittiin hypoteesien mukaiset kasvut 21 viikon voimaharjoittelun myötä harjoittelemattomilla miehillä (Garfinkel & Carafelli 1992, Housh ym. 1992, Tracy ym. 1999, Abe ym. 2000). Harjoittelu- ja kontrolliryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) konsentrisen jalkaprässin 1RM:ssä sekä isometrisen penkkipunnerruksen maksimituloksessa, mutta ei konsentrisen jalkaprässin nopeusvoimassa eikä isometrisen jalkaprässin maksimituloksessa. Se, että konsentrisen jalkaprässin nopeusvoimassa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa harjoittelu ja kontrolliryhmien välillä, viittaa siihen, että aiemmin harjoittelemattomilla 21 viikon voimaharjoittelu kasvattaa suhteessa enemmän maksimivoimaa kuin nopeusvoimaa.

Kontrolliryhmällä havaittiin merkitsevä ero isometrisessä jalkaprässissä. Vaikka tutkimuksen alussa järjestettiin miinusmittaukset, kontrolliryhmällä on saattanut tapahtua oppimista. Toisaalta missään muussa voimamuuttujassa vastaavaa tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu, joten tätä kontrolliryhmässä havaittua tilastollista merkitsevyyttä voidaan pitää sattumana. On toki mahdollista, että kontrolliryhmän muutama maksimaalinen puristus on kasvattanut maksimivoimantuottoa.

Lihassoluhypertrofia

Lihassoluhypertrofiaa havaittiin tyypissä I, Iia ja Iix, mutta vastoin hypoteesia, hypertrofian määrässä ei ollut eroa eri lihassolutyyppien välillä. Lihassoluhypertrofia oli merkittävästi suurempaa harjoittelu- kuin kontrolliryhmällä. Vastoin hypoteesia, lihassolujakaumassa ei havaittu tilastollista eroa pre- ja post-mittausten välillä. Trendi oli kuitenkin havaittavissa: tyyppin Iia lihassolujen osuus kasvoi ja tyyppin I lihassolujen osuus väheni voimaharjoittelujakson myötä. Se, että konsentrisen jalkaprässin nopeusvoimassa ei havaittu tilastollisesti merkittävää eroa harjoittelu- ja kontrolliryhmien välillä, viittaisi siihen, että aiemmin harjoittelemattomilla miehillä 21 viikon voimaharjoittelu ei aiheuta suhteessa niin suurta muutosta nopeusvoimassa kuin maksimivoimassa, ja näin ollen tilastollisesti merkitsevät muutokset lihassolujakaumassakin jäivät havaitsematta. Kasvu tyyppin Iix lihassolujen pinta-alassa oli runsasta voimaharjoittelun myötä, mutta niiden prosentuaalinen osuus on niin vähäinen, ettei se aiheuttanut muutosta lihassolujakaumassa. Kasvu tyyppin Iix lihassolujen pinta-aloissa oli ristiriitainen aiemman tutkimuksen tulosten kanssa, jossa havaittiin, että tyyppin Iix lihassolujen prosentuaalinen osuus väheni (Fitts & Widrick 1996). Aiemmin harjoittelemattomilla miehillä 21 viikon voimaharjoittelu kasvattaa siis tasaisesti kaikkien lihassolujen pinta-alaa, mutta ei aiheuta muutosta lihassolujakaumassa.

Tutkimuksen ongelmia

Lihاسبiopsiatutkimuksissa on yleisesti ongelmana, että tutkittava lihasnäyte on hyvin pieni osa suurta lihasta. Vaikka lihasnäyte otettiin samasta kohtaa ennen ja jälkeen 21 viikon seurantajaksoa, ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että muutokset johtuvat lihasnäytteen näytteenottokohdan muuttumisesta. Minimoidaksemme tämän mahdollisuuden käytimme tässä tutkimuksessa ultraäänikuvaa, jotta näytteenottokohdat olisivat hyvin lähellä toisiaan. Lihاسبiopsia on kuitenkin paras invasiivinen menetelmä tutkia lihassolutason muutoksia ihmisellä. Jos voimaharjoittelua olisi suoritettu kolme kertaa viikossa, olisi harjoittelemattomilla saatettu havaita suurempia muutoksia lihassolujakaumassa, kuten esimerkiksi Fittsin ja Widrickin tutkimuksessa (1996). Kaksi kertaa viikossa suoritettava voimaharjoittelu ei aiheuttane riittävän suurta ärsykettä lihassolutason muutoksiin.

Johtopäätökset

Aiemmin harjoittelemattomilla miehillä 21 viikon voimaharjoittelu aiheuttaa voiman, lihaksen poikkipinta-alan sekä lihassolujen pinta-alan kasvua. Lihassolutyypin jakaumassa ei havaittu tässä tutkimuksessa eroa ennen ja jälkeen 21 viikon voimaharjoittelua. Aiemman tutkimusnäytön perusteella oletettiin, että tyyppin Iia lihassolujen määrä kasvaisi 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena ja tyyppin Iix lihassolujen määrä vähenisi (Fitts & Widrick 1996). Koska koehenkilöt olivat tässä tutkimuksessa harjoittelemattomia, heillä ei todennäköisesti vielä tämä 21 viikon voimaharjoittelu ehtinyt aiheuttaa muutoksia lihassolujakaumassa. Jos samat koehenkilöt jatkaisivat säännöllistä voimaharjoittelua vielä kahdesta kolmeen vuoteen, voitaisiin aiemman tutkimusnäytön mukaisia muutoksia lihassolujakaumassa havaita (Fitts & Widrick 1996).

LÄHTEET

- Abe, T., DeHoyos, D. Pollock, M. & Garzarella, L. 2000. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology* 81, 174-180.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A. & Alen, M. 2003. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 555-563.
- Alway, S.E., Grumbt, W.H., Stray-Gundersen, J. & Gonyea, W.J. 1992. Effects of resistance training on elbow flexors of highly competitive bodybuilders. *Journal of Applied Physiology* 72, 1512-1521.
- Atkinson, G. 2002. Analysis of repeated measurements in physical therapy research: multiple comparisons amongst level means and multifactorial design. *Physical Therapy in Sport* 3, 191–203.
- Durnin, J.V.G.A. & Womersley, J. 1974. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16-72 years. *British Journal of Nutrition* 32, 77-97.
- Fitts, R. H. & Widrick, R. H. 1996. Muscle mechanics: Adaptations with exercise-training. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 24, 427-473.
- Folland, J. & Williams A. 2007. The adaptations to strength training morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 2, 145-168.
- Garfinkel, S. & Cafarelli, E. 1992. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 24, 1220-1227.
- Holloszy, J.O. 1967. Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise in mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *Journal of Biological Chemistry*, 242, 2278–2282.
- Housh, D., Housh, T., Johnson, G. & Chu, W. 1992. Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73, 65-70.

- Häkkinen, K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet: vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A. & Kraemer, W. J. 2000. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *Journals of Gerontology Biological Sciences and Medical Sciences*, 55, B95-105.
- Keul, J., Doll, E. & Keppler, D. 1969. Muskelstoffwechsel. Barth Verlag, München.
- Teoksessa Häkkinen, K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet, vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi. Gummerus kirjapaino OY, Jyväskylä, 20.
- Komi, P. V. 2003. Strength and power in sport. Blackwell Science Ltd, Osney Mead, Oxford OX2 0EL, UK.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J. Evans, W. J. 1996. Strength and power training: Physiological mechanism of adaptation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24, 363-397.
- Kraemer W. J., Häkkinen, K. & Newton, R. U. 1999. Effects of heavy-resistance training strength on hormonal response patterns in younger vs older men. *Journal of Applied Physiology*, 87, 982-92.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. 2005. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sport Medicine*, 35, 339–361.
- MacDougall, J.D. 2003. Hypertrophy and Hyperplasia. Teoksessa Komi, P.V. (Toim.) Strength and Power in Sport. Blackwell Science Ltd, UK, 252–264.
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.B, Sale, D.G., Moroz, J.R. & Sutton, J.R. 1980. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 43, 25-34.
- MacDougall, J.D. 1986. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. Teoksessa Jones, N. L., McCartney, N. & McComas, A.L. Human Muscle Power. 1986. Human Kinetics, Champaign, Illinois, 269-288.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Always, S.E. & Sutton, J.R. 1984. Muscle fiber number in triceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of Applied Physiology* 57(5), 1399-1403.

- Marx, J. O., Ratamess, N. A., & Nindl, B. C. 2001. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medical Science of Sports Exercise*, 33, 635-643.
- Maughan, R. & Gleeson, M. 2004. *The biochemical basis of sport performance*. Oxford University press, 68-80.
- McArdle, W. D., Katch, F.I. & Katch, V. L. 2001. *Exercise Physiology – Energy, Nutrition and human performance*. 5. painos. Lippincott Williams & Wilkins.
- McCall G. E., Byrnes, W. C. & Fleck, S. J. 1999. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24, 96-107.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. 2004. *Urheiluvallmennus*. Lahti. VK-Kustannus Oy, 251–282.
- Moss, R. L., Diffie, D. M. Greaser, M. L. 1995. Contractile properties of skeletal muscle fibers in relation to myofibrillar protein isoforms. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 126, 1-63.
- Narici, M., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claasesen, H., Gavardi, C., Conti, M. & Cerretelli, P. 1996. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica* 157, 175-186.
- Pette, D. 2002. The adaptative potential of skeletal muscle fibers. *Canadian Journal of Applied Physiology* 27, 423-228.
- Pette, D. Staron, R. S. 1997. Mammalian skeletal muscle fiber type transition. *News in Physiological Sciences*, 8, 153-157.
- Potteiger, J. A., Judge, L. W. & Cerny, J. A. 1995. Effects of altering training volume and intensity on body mass, performance, and hormonal concentrations in weight-event athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 55-58.
- Raastad, T., Glomsheller, T. & Bjoro, T. 2001. Changes in human skeletal muscle contractility and hormone status during 2 weeks of heavy strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 54-63.
- Ross, M. H. & Pawlina, W. 2006. *Histology a text and atlas with correlated cell and molecular biology*. 5. painos. Lippincott Williams & Wilkins.
- Sjödín, B., Schele, R. & Karlsson, J. 1982. The physiological background of onset of

- blood lactate accumulation (OBLA). Teoksessa Komi P.V. (toim.) Exercise and Sport Biology 12. Human Kinetics Publishers Champaign, Illinois, 43 - 56.
- Smerdu, V., Karsch-Mizrachi, I., Campione, M., Leinwand, L. & Schiaffino, S. 1994. Type Iix myosin heavy chain transcripts are expressed in type Iib fibers of human skeletal muscle. American Journal of Physiology: Cell Physiology, 267, C1723-C1728.
- Tipton, K.D. & Wolfe, R.R. 2001. Exercise, protein metabolism and muscle growth. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 11, 109-132. Human Kinetics Publisher, Inc.
- Tracy, B., Ivey, F. Hurlbut, D., Martel, G., Lemmer, J., Siegel, E., Metter, E., Fozard, J., Fleg, J. & Hurley, B. 1999. Muscle quality: II. Effects of strength training in 65- to 75yr-old men and women. Journal of Applied Physiology 86, 195-201.