

**VOIMA-, KESTÄVYYS- JA YHDISTETYN HARJOITTELUN
VAIKUTUKSET YLÄ- JA ALARAAJOJEN
LIHASHYPERTROFIAAN JA MAKSIMIVOIMAAN SEKÄ
MAKSIMAALISEEN KESTÄVYSSUORITUSKYKYYN
KESKI-ikäisillä naisilla**

Niina Rinkinen

Pro Gradu -tutkielma

Valmennus- ja testausoppi

Kevät 2007

Jyväskylän yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Työn ohjaaja: Keijo Häkkinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	5
2	LUURANKOLIHAKSEN HYPERTROFIA.....	7
	2.1 Hypertrofiamekanismi.....	7
	2.2 Hypertrofia	8
	2.3 Hyperplasia	10
	2.3.1 Jakautuminen.....	10
	2.3.2 Satelliittisolut	10
3	HYPERTROFIA-ASTEeseen VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	13
	3.1 Perimä	13
	3.2 Fyysinen aktiivisuus.....	14
	3.3 Ravitsemus	14
	3.4 Hormonit	15
4	VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHASHYPERTROFIAAN, MAKSIMIVOIMAAN JA KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN	17
	4.1 Voimaharjoittelu	17
	4.2 Kestävyysharjoittelu.....	21
5	YHDISTETYN HARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHASHYPERTROFIAAN, MAKSIMIVOIMAAN JA KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN	24
	5.1 Hypertrofia	25
	5.2 Maksimivoima	27
	5.3 Kestävyysuorituskyky	31
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	35
	6.1 Tutkimusongelmat	36
7	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	37
	7.1 Koehenkilöt.....	37
	7.2 Tutkimusasetelma	38
	7.3 Tutkimusmenetelmät.....	40
	7.3.1 Lihaspaksuus	40
	7.3.2 Maksimivoima	43

7.3.3	Maksimaalinen hapenottokyky ja maksimaalinen polkuteho	44
7.3.4	Tilastolliset menetelmät	45
8	TULOKSET	46
8.1	Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutus lihaspaksuuteen	46
8.2	Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset ylä- ja alaraajan maksimivoimatuloksiin	51
8.3	Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn	57
8.4	Hypertrofian ja maksimivoiman yhteydet.....	60
8.5	Hypertrofian yhteydet kestävyystuloksiin.....	61
9	POHDINTA	63
9.1	Tulosten yhteenveto	63
9.2	Ylä- ja alaraajojen ojentajien ja koukistajien lihaspaksuudet.....	64
9.3	Ylä- ja alaraajojen ojentajien ja koukistajien maksimaaliset isometriset voimatulokset	66
9.4	Maksimaalinen kestävyysuorituskyky.....	68
9.5	Johtopäätökset.....	69
	LÄHTEET.....	71

1 JOHDANTO

Voimaharjoittelun on todettu saavan aikaan lihaskoon kasvua eli hypertrofiaa harjoitettavissa lihaksissa, jota voidaan todentaa esimerkiksi ultraäänilaitteella lihaspaksuutta mittaamalla. Lihaskoon kasvu aiheutuu pääosin yksittäisten lihasfiibereiden koon kasvusta (esim. Ahtiainen ym. 2003). Fiibereiden koon kasvun (hypertrofia) ohella niiden lukumääräkin voi mahdollisesti lisääntyä (hyperplasia) (Wilmore & Costill 2004, 92). On mahdollista, että olemassa olevien lihasfiibereiden pitkittäissuuntaisen halkeamisen ohella harjoittelun stimuloimaa hyperplasiaa voi tapahtua normaalisti hiljaisten, mutta esimerkiksi lihasvaurioissa aktivoituvien satelliittisolujen aktivoitumisen kautta (Hawke & Gerry 2001).

Tutkimuksissa on havaittu voimaharjoittelun saavan aikaan lihasten hypertrofiaa. Mm. Cureton ym. (1988) havaitsivat 16 viikon voimaharjoittelun lisäävän olkalihaksen poikkipinta-alaa naisilla 23 %. Myös Abe ym. (2000) havaitsivat naisilla yläraajassa 12-21 % ja alaraajassa 7-9 % lihasten paksuuntumista 12 viikon harjoittelulla. Bell ym. (2000) raportoivat voimaharjoittelun saaneen aikaan merkitsevää hypertrofiaa voimaharjoitteluryhmällä jo kuuden harjoitusviikon jälkeen sekä naisilla että miehillä. Yhdistelmäharjoittelu sai aikaan merkitsevää hypertrofiaa vasta 12 viikon harjoittelun jälkeen. Kestävyysharjoittelun ei havaittu saaneen aikaan hypertrofiaa.

Kestävyysharjoittelun yhdistäminen voimaharjoitteluun voi heikentää voiman kehitystä (esim. Häkkinen ym. 2003). LeMura ym. (2000) kuitenkin havaitsivat tutkimuksessaan naisten ylä- ja alaraajojen voimatasojen kasvavan sekä voima- (29 % ja 38 %) että yhdistetyllä ryhmällä (19 % ja 25 %) samankaltaisesti. Kestävyysryhmällä ei havaittu merkitseviä parannuksia tuloksissa. Myös Bell ym. (2000) saivat samankaltaisia tuloksia tutkimuksessaan voima- ja yhdistetyn ryhmän kasvujen ollessa yhtä merkitseviä ($P < 0,05$).

Yhdistelmäharjoittelun ei ole havaittu vaikuttavan kestävyys suorituskyvyn kehittymiseen. McCarthy ym. (1995) tutkimuksessa maksimaalinen hapenottokyky kasvoi miehillä merkitsevästi sekä kestävyys- (18 %) että yhdistetyllä

2 LUURANKOLIAKSEN HYPERTROFIA

Lihaskudos on dynaamista ja adaptoitumiskykyistä kudosta, jonka kokoa ja voimantuottokykyä voidaan kasvattaa harjoittelulla ja menettää harjoittelemattomuudella. Lihasadaptaatiot ovat harjoitusspesifejä. (Wilmore & Costill 2004, 90.)

Lihassoiman ja tehon parantamiseen ei aina vaadita lihashypertrofiaa, koska myös neuraaliset adaptaatiot saavat aikaan lihasvoiman ja tehon kasvua. Voimaharjoittelun alkuvaiheessa, n. 8-10 viikon ajan, suurin osa voimanlisäyksestä tapahtuu hermo-lihasjärjestelmän neuraalisen adaptaation vaikutuksesta. Tällöin lihassolujen rekrytointi tehostuu, keskushermoston aktivaatiotaso nousee sekä motoristen yksiköitten synkronisaatio kehittyy. (McArdle ym. 2001, 532.) Pidemmällä ajanjaksolla lihasvoimatasojen nousu johtuu pääosin harjoitettavien lihasten hypertrofisista muutoksista. (Häkkinen ym. 1992; Wilmore & Costill 2004, 96, 97.)

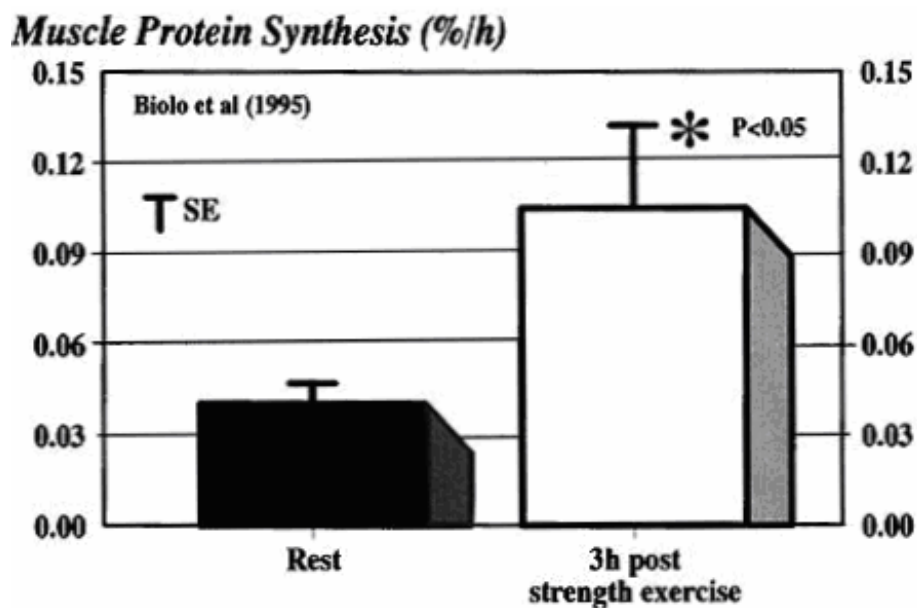
2.1 Hypertrofiamekanismi

Hypertrofia voi olla yksittäisen harjoituksen aikaansaamaa lihasturvotusta tai pitkäaikaisen voimaharjoittelun aikaansaamaa (kroonista) lihaskoon kasvua. Yksittäinen harjoitus voi saada aikaan lihasturvotusta, joka johtuu plasmanesteen kertymisestä lihaksen interstitiaali- ja intrasellulaaritilaan. Kertynyt neste palautuu harjoituksen jälkeen takaisin verenkiertoon muutaman tunnin kuluessa. Krooniseen hypertrofiaan liittyy rakenteellisia muutoksia, jotka johtuvat joko yksittäisten lihasfiibereiden koon kasvusta (hypertrofia) ja/tai lihasfiibereiden lukumäärän kasvusta (hyperplasia). (Wilmore & Costill 2004, 92.) Todennäköisimmin hypertrofia johtuu pääosin yksittäisten fiibereiden koon kasvusta (Ahtiainen ym. 2003; McArdle ym. 2001, 532; Wilmore & Costill 2004, 95).

Lihaskuitujen koon kasvu on joko seuraus kuitun halkaisijan kasvusta, jossa uusia myofibrillejä lisätään olemassa oleviin kuituihin tai kuitujen pidentymisestä, jossa uusia sarkomeerejä lisätään kuitujen päihin (Pearson 1990).

2.2 Hypertrofia

Raskas voimaharjoitus saa aikaan harjoitetun lihaksen myofibrilleissä kiihtyneen proteiinisynteesin (kuva 1). Lisääntynyt proteiinisynteesi voi pysyä kiihtyneenä jopa 48 h harjoituksen jälkeen (MacDougall ym. 1995; Phillips ym. 1997). Samanaikaisesti myös proteiinien hajotus kiihtyy hieman (Biolo ym. 1997; Phillips ym. 1997), mutta kokonaisuudessaan anaboliatila jää vallitsevaksi. (MacDougall 2003, 253.)



Kuva 1. Yhden voimaharjoituskerran vaikutus lihasten proteiinisynteesiin (Biolo ym. 1995 lähteessä Lemon 2000).

Lisääntynyt proteiini mahdollistaa lihaksen myofibrillien kasvamisen ja lisääntymisen, koska aktiini- ja myosiinimolekyylien valmistus kiihtyy. Lihaksen supistuvan osan sarkomeerien määrä lisääntyy paralleelista ja lihassyiden paksuus lisääntyy. Yksittäisten

lihassyiden koon kasvaessa lihaksen poikkipinta-ala kasvaa. (Lemon 2000 & Tesch 1998.)

Pitkäaikainen voimaharjoittelu saa aikaan hypertrofiaa harjoitettavissa lihaksissa. Voimaharjoittelun aiheuttama mekaaninen stressi saa aikaan proteiinisynteesin kiihtymisen. Kiihtyneen proteiinisynteesin ja hidastuneen proteiinien hajotuksen seurauksena lihaksessa vallitsee anaboliatila ja hypertrofiaa tapahtuu. Myös voimaharjoittelun aikaansaamasta lihasfibereiden hajoamisesta ja siitä johtuvasta lisääntyneestä proteiinisynteesistä seuraa hypertrofiaa. (McArdle ym. 2001, 532; Wilmore & Costill 2004, 93.) Tämä näkyy solun poikkipinta-alan ja koko lihaksen ympärysmittan kasvuna (Häkkinen ym. 1981; MacDougall ym. 1980, MacDougall ym. 1984).

Yksittäisen lihasfiberin hypertrofiaa voidaan selittää myofibrillien ja niiden sisältämän aktiinin ja myosiinin määrän lisääntymisellä, lisääntyneellä sarkoplasman ja tuki- ja sidekudoksen määrällä tai millä tahansa edellä mainittujen yhdistelmällä. Lisääntyneellä aktiini- ja myosiinifilamenttien määrällä saadaan maksimaalisessa lihassupistuksessa käyttöön aiempaa enemmän poikittaissiltoja. (Wilmore & Costill 2004, 93.) Lihaksen poikkipinta-alan kasvu johtuu pääosin sekä yksittäisten tyypin I- että II-lihasfibereiden koon kasvusta ja jossain määrin ei-supistuvan tukikudoksen määrän lisääntymisestä fibereiden välillä (Häkkinen 2004). Tyypin II-lihassoluissa hypertrofian on havaittu olevan tyypin I-lihassoluja suurempaa (Gonyea & Sale 1986; Brown ym. 1988; Staron ym. 1990).

Hypertrofia-aste, jonka harjoittelu saa aikaan, voi erota saman lihasryhmän lihasten ja yksittäisen lihaksen sisällä. Häkkinen ym. (2001) havaitsivat poikkipinta-alan vaihtelevan nelipäiseen reisilihakseen kuuluvien yksittäisten lihasten kesken. Myös yksittäisten lihasten eri osien poikkipinta-alat vaihtelivat hypertrofian ollessa suurinta lihaksen keskiosissa ja pienentyvän lähestyttäessä lihaksen päitä. (Häkkinen ym. 2001.)

Harjoittelun aikaansaamaa hypertrofiaa voidaan tutkia mittaamalla yksittäisten lihasfibereiden kokoa lihasnäytteiden avulla tai koko lihaksen poikkipinta-alaa ultraäänellä (US, ultrasound), tietokonetomografialla (CT, computer tomography) tai magneettikuvauksella (MRI, magnetic resonance image) (Häkkinen 2004).

2.3 Hyperplasia

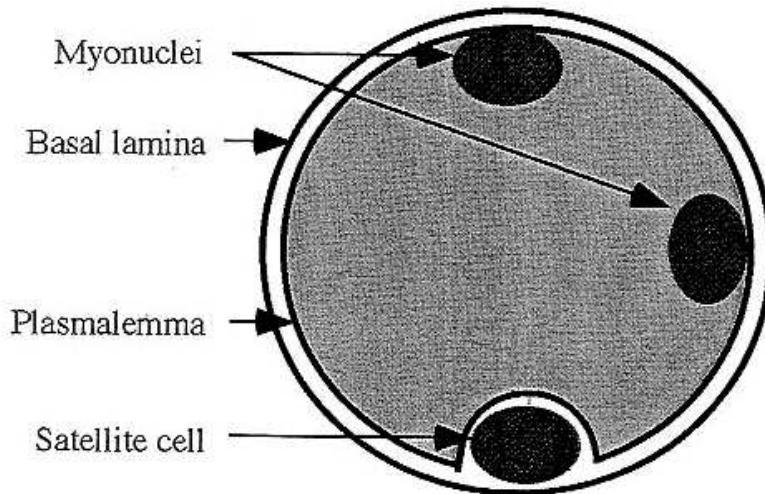
Jos hyperplasiaa tapahtuu, kattaa se vain pienen osan hypertrofiasta. Krooninen lihaksen ylikuormitus eläinkokeissa on johtanut lihassolujen pitkittäisen jakautumisen tai uusien solujen muodostumisen satelliittisolujen avulla eli hyperplasiaan. (McArdle ym. 2001, 535.)

2.3.1 Jakautuminen

Pitkittäissuuntaisen jakautumisen seurauksena lihassolu jakautuu kahdeksi tai useammaksi pienemmäksi yksittäiseksi tytärsoluksi. Näistä soluista muodostuu uusia toimivia lihassoluja. Jakautuneet solut toimivat emosolujaan tehokkaammin. (McArdle ym. 2001, 535; Wilmore & Costill 2004, 95.) Jakautuminen on mekaaninen prosessi. Myofibrillin saavuttaessa kriittisen kokonsa sekä voimantuottokapasiteettinsa huipun kova voimaharjoitus voi aikaansaada myofibrillin jakautumisen A- ja I-levyjen päistä. Myös Z-linjan sidekudos voi repeytyä ja seurauksena on kaksi tytärmyofibrilliä, jotka ovat yhtä pitkät. (MacDougall 2003, 253.) Sjostrom ym. (1991) havaitsivat oikeakätisillä miehillä vasemman jalan lihaksen poikkipinta-alan olevan oikeaa jalkaa suurempi, mutta fiibereiden pinta-alassa ei ollut kuitenkaan eroa. Poikkipinta-alaeroa selitettiin 9,8 % suuremmasta fiibereiden lukumäärästä.

2.3.2 Satelliittisolut

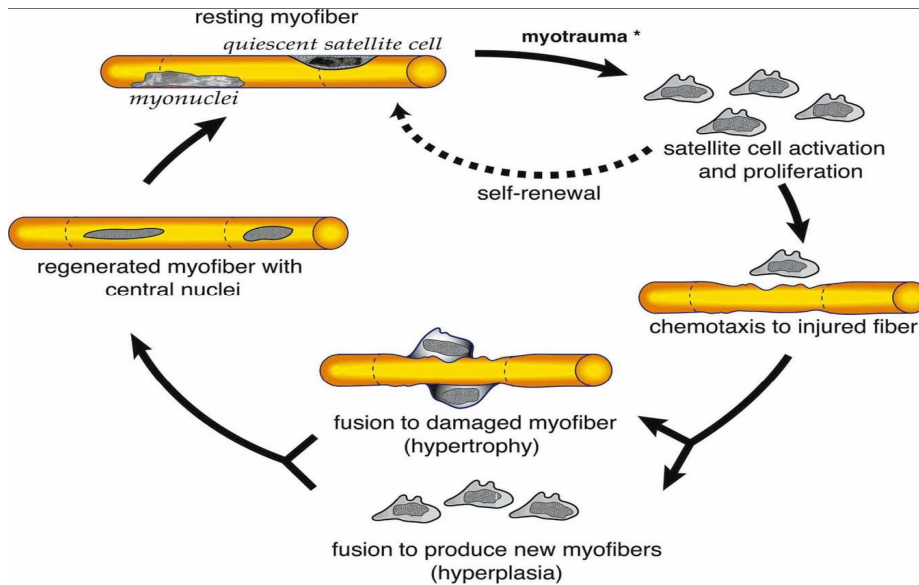
Satelliittisolut ovat lihassolujen esiasteita, jotka voidaan tarvittaessa aktivoida lihassolujen käyttöön. Satelliittisolut sijaitsevat kuvan 2 esittämällä tavalla lihassolukalvon ja lihasta ympäröivän tyvikalvon välissä. Mikroskoopilla katsottaessa satelliittisolut näyttävät tavallisilta lihastumilta, mutta elektronimikroskoopilla ero voidaan huomata satelliittisolun sijaitessa kalvojen välissä (MacDougall 2003, 259).



KUVA 2. Tummat ja satelliittisolu (Kadi 2000).

Satelliittisolut osallistuvat lihaksen muodostumiseen stimuloinnin seurauksena. Satelliittisolut aktivoituvat mm. stressin, hermolihäsjärjestelmän sairauden ja lihasvaurioiden aikana. (McArdle 2001, 535; Wilmore & Costill 2004, 95.) Mm. lihasvamma voi saada aikaan satelliittisolun aktivoitumisen, jonka seurauksena satelliittisolu siirtyy vaurioituneelle alueelle ja yhdistyy jo olemassa oleviin lihasfiibereihin tai yhdistyy uuteen lihasfiiberin muodostumisvaiheessa. (Wilmore & Costill 2004, 96). Satelliittisolujen tärkein tehtävä onkin korjata vahingoittuneita lihassoluja, jolloin lihassolusta poistetaan vahingoittuneet osat ja muodostetaan uusia myofibrilleja (Bischoff 1989; Schultz 1989) tai korvataan koko lihassolu uudella, jos se on mennyt kuolioon. (Appell ym. 1988).

Myös raskas voimaharjoitus ja sen aiheuttamat lihasvauriot saavat aikaan satelliittisolujen aktivoitumisen. Osittaisessa lihasvauriossa, jossa solukalvo säilyy ehjänä, satelliittisolu siirtyy vaurioituneelle alueelle ja osallistuu vaurion korjausprosessiin (kuva 3). Raskas voimaharjoitus saa aikaan tulehdusreaktion, joka on erittäin tärkeä myös satelliittisolujen aktivoitumisen kannalta. (Hawke & Gerry 2001.)



KUVA 3. Satelliittisolujen vaste lihasvauriolle. (Hawke & Gerry 2001)

3 HYPERTROFIA-ASTEeseen VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lihassmassan kehittämiseen vaikuttaa kuusi tekijää. Nämä tekijät ovat: 1. perimä, 2. fyysinen aktiivisuus, 3. ravitsemus, 4. hormonaaliset tekijät, 5. hermoston aktivointi sekä 6. ympäristötekijät. Nämä tekijät ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään. Jotta hypertrofiaa voisi tapahtua, on lihasta ylikuormitettava. Ilman ylikuormitusta yksikään tekijä yksinään ei voi saada aikaan haluttua hypertrofiavaikutusta. (McArdle ym. 2001, 529.)

3.1 Perimä

Lihասfiibereiden määrä on geneettisesti määrätty. Myös lihassolujakauma on perinnöllinen. Tyypin II lihassolujen on todettu kasvavan pinta-alaltaan tyypin I-lihassoluja enemmän (Tesch ym. 1985; Staron ym. 1990). Henkilöillä, joiden lihassolujakaumassa on enemmän tyypin II-lihassoluja, on myös hypertrofia todennäköisesti suurempaa. Tämä saattaa johtua tyypin II-lihassolujen harjoittelun aikaisesta suuremmasta käyttönotosta verrattuna normaaliin päivittäiseen elämään. (MacDougall 2003.)

Naisten ja miesten neuraaliset ja hypertrofiset adaptaatiot ovat muutaman kuukauden ajanjaksolla samanlaisia, mutta naisilla yksilöiden välinen vaihtelu on miehiä suurempaa. Erityisesti testosteronin pitoisuseroista johtuen naisten hypertrofia-aste ja maksimivoiman kehittyminen jäävät pidemmällä, useiden kuukausien ja vuosien ajanjaksolla miehiä vähäisemmiksi. (Häkkinen 2002, 24, 25.) Naisten voimatasot kehittyvät miesten kaltaisesti samoilla harjoitusohjelmilla, mutta hypertrofia-aste jää naisilla miehiä alhaisemmaksi (Wilmore & Costill 2004, 90).

Putman ym. (2004) havaitsivat miesten vastus lateraalisen lihասfiibereiden poikkipinta-alan olevan naisten aloja suuremmat ($P < 0,05$). Keskimääräinen tyypin I fiiberiala oli

miehillä $3640 \mu\text{m}^2$ ja naisilla $3293 \mu\text{m}^2$. Vastaavat tyyppin IIA-fiiberialat olivat $4158 \mu\text{m}^2$ ja $3050 \mu\text{m}^2$.

3.2 Fyysinen aktiivisuus

Harjoitustaustalla on vaikutusta hypertrofian määrään. Harjoittelemattomien henkilöiden hypertrofia on harjoitelleita yksilöitä suurempaa. Useiden vuosien voimaharjoittelu lisää maksimaalista neuraalista voluntaarista aktivaatiota, nopeaa neuraalista motoristen yksiköitten aktivaatiota ja/tai selektiivistä hypertrofiaa harjoitetuissa lihaksissa. (Goldspink 1992; Moritani 1993.) Hyvin harjoitelleilla henkilöillä harjoittelun aikaansaama hypertrofia on huomattavasti rajoittuneempaa kuin harjoittelemattomilla henkilöillä (Häkkinen 1994). Ahtiainen ym. (2003) vertasivat voimaharjoitteluiden miesten ja harjoittelemattomien miesten hypertrofiaa reiden lihaksista. Ennen harjoittelun alkamista voimaharjoitteluiden miesten reiden poikkipinta-ala oli merkitsevästi harjoittelemattomien miesten reiden poikkipinta-alaa suurempi. 21-viikon mittainen voimaharjoittelu kasvatti harjoittelemilla reiden poikkipinta-alaa merkitsevästi koko reiden pituudelta. Voimaharjoitteluiden ryhmässä ei havaittu merkitseviä muutoksia reiden poikkipinta-alassa. (Ahtiainen ym. 2003.) Larsson ja Tesch (1986) totesivat kehonrakentajien ja fyysisesti aktiivisten miesten lihafiibereiden poikkipinta-alojen olevan yhtä suuret. Kuitenkin kehonrakentajilla raajojen ympärysmittat olivat fyysisesti aktiivisten miesten ympärysmittoja suuremmat. Eroa ryhmien välillä selitettiin usean vuoden kovalla harjoittelulla ja sen aikaansaamalla hypertrofiolla.

3.3 Ravitseminen

Ravitsemustila vaikuttaa suorituskyvyn ohella lihasten kasvuun. Tasapainoisella ja kalorimäärältään riittäväällä ravitsemuksella on suuri merkitys optimaalisessa lihaskasvussa (Pearson 1990). Harjoittelun alkuvaiheessa aloittelevilla harjoittelijoilla lihasmassan lisääminen voi olla mahdollista negatiivisessakin energiatasapainossa.

Tämä saattaa selittyä harjoittelun alkuvaiheen proteiinisynteesiin vaikuttavien tekijöiden tehostumisella. Harjoitteluun adaptoitumisen jälkeen lihasmassa kasvattaminen negatiivisessa energiatasapainossa ei todennäköisesti ole mahdollista. Ravintoaineista proteiineilla on normaalin proteiinitarpeen täyttämisen lisäksi rooli proteiinisynteesin tehostajana. Proteiinisynteesistä 10-20 prosenttia kohdistuu lihasmassaan. Voimaharjoittelu tuottaa muutamaksi vuorokaudeksi proteiinisynteesiä lisäävän vaikutuksen. Tuona aikana lihasmassan määrä voi lisääntyä, mikäli ravinnon saanti on positiivisen proteiinitasapainon syntymiseksi riittävää. (Borg 2004, 283, 287.) Harjoituksen jälkeinen proteiinisynteesi voi olla tehokkaampaa, mikäli proteiinia ja hiilihydraattia nautitaan hieman ennen harjoitusta kuin heti tai tunti harjoituksen jälkeen. Harjoituksenaikainen vilkkaampi verenkierto voi mahdollistaa aminohappojen tehokkaamman kulkeutumisen lihaksiin. (Tipton ym. 2001.)

3.4 Hormonit

Harjoituksen aikaansaamilla hormonaalisilla vasteilla on vaikutusta lihasten hypertrofiaan. Raskas voimaharjoitus saa aikaan muutoksia hormonaalisessa tasapainossa. Endokriininen järjestelmä erittää verenkiertoon anabolisia hormoneja, kuten testosteronia ja kasvuhormonia, sekä katabolisia hormoneja, kuten kortisolia. Hypertrofiaa lisäävä tehostunut proteiinien aineenvaihdunta on endokriinisen järjestelmän erittämien anabolisten ja katabolisten hormonien tasapainon ja vuorovaikutuksen säätelyn alaisena. (Kraemer ym. 1999.) Testosteroni yhdessä kasvuhormonin kanssa ovat primaariset hormonit, jotka saavat aikaan hypertrofisen harjoitusadaptaation (Staron ym. 1994).

Testosteronin on todettu kiihdyttävän lihaskasvua, koska sillä on merkittäviä anabolisia vaikutuksia. Testosteronivasteeseen vaikuttavat harjoitusmuoto, intensiteetti sekä kesto. (Häkkinen & Pakarinen, 1993.) Naisten testosteronitaso on miehiä huomattavasti matalampi miesten arvon ollessa 10-20 -kertainen naisiin verrattuna. Voimaharjoittelu saa aikaan miehillä voimakkaan akuutin testosteronivasteen, jonka johdosta testosteronia vapautuu useammin ja testosteronin amplitudi suurenee. Tämän seurauksena lihaksessa vallitsee hypertrofialle suosiollinen ympäristö. Samaa ei ole

havaittu naisilla. Tämä voi selittää naisten pienempää hypertrofia-astetta miehiin verrattuna. (Staron ym. 1994.) Kraemer ym. (1998) kuitenkin havaitsivat myös naisilla lepotestosteronitasojen nousevan voimaharjoittelun vaikutuksesta. Harjoittelun aikaansaama hypertrofia-aste on naisilla verrannollinen testosteronin määrään (Häkkinen ym. 1990). Naisten välillä löytyy suuriakin yksilöllisiä eroja testosteronin määrästä (Häkkinen, 2002, 139).

Voimaharjoittelu nostaa plasman kasvuhormonikonsentraatiota heti harjoituksen jälkeen sekä miehillä että naisilla (Häkkinen & Pakarinen, 1995; Kraemer ym. 1990). Kasvuhormonivasteen suuruus usein pienenee harjoittelun jatkuessa kauan. Naisten kasvuhormonikonsentraatio on levossa korkeampi miehiin verrattuna (Häkkinen & Pakarinen, 1993; Kraemer ym. 1991). Tämä ero usein häviää pitkäaikaisen harjoittelun myötä. (Bunt ym. 1986.) Kasvuhormonilla on tärkeä rooli luiden, lihasten, viskeraali-, rasva- ja tukikudoksen kasvussa ja kehityksessä. Harjoitus saa aikaan nopean nousun kasvuhormonin tuotossa. Kasvuhormoni edesauttaa hypertrofiaa lisäämällä aminohappojen kuljetusta soluun, stimuloimalla RNA:n muodostumista sekä aktivoimalla solun ribosomeja tuottamaan proteiineja. (Kanaley ym. 1997.) Aerobisen harjoituksen aikana kasvuhormonitasot nousevat ja ne voivat pysyä kohonneina jonkin aikaa harjoituksen jälkeen. Hormonitasojen nousu on positiivisesti yhteydessä harjoitusintensiteettiin samoin kuin voimaharjoittelussa. Intensiteetiltään korkea kestävyys- ja voimaharjoittelu voivat nostaa myös proteiinien hajoamista edistävän kortisolin tasoja. (Deschenes ym. 1991.) Voimaharjoittelu nostaa harjoituksen jälkeen kortisolikonsentraatiota sekä miehillä että naisilla (Häkkinen & Pakarinen, 1995; Kraemer ym. 1990). Kortisolin lepokonsentraatio pienenee harjoittelun myötä sekä miehillä että naisilla (Kraemer ym. 1998). Näin ollen elimistön hormoniympäristö muuttuu anabolisempaan suuntaan (Kraemer ym. 1992).

4 VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHASHYPERTROFIAAN, MAKSIMIVOIMAAN JA KESTÄVYSSUORITUSKYKYYN

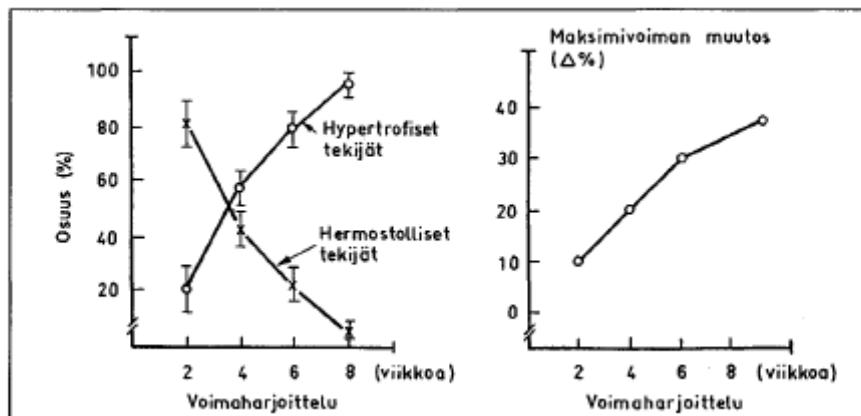
4.1 Voimaharjoittelu

Voima-tehoharjoittelu aikaansaa spesifejä vasteita keskushermostossa ja lihaskudoksessa etenkin aiemmin harjoittelemattomilla henkilöillä. Hermostolihasjärjestelmän rakenteellisiin ja toiminnallisiin adaptaatioihin vaikuttavat harjoitusmuoto, -intensiteetti ja harjoitusten sekä harjoitusjakson kesto. (Häkkinen 2002, 20.)

Voimaharjoittelun aikaansaamat parannukset vuorituskyvyssä johtuvat hermostollisista (Moritani & DeVries 1979) ja /tai hypertrofisista (MacDougall ym. 1977) tekijöistä. Ahtiainen ym. (2003) totesivat voimaharjoittelu saavan aikaan hypertrofiaa sekä johtavan neuraalisiin adaptaatioihin. Hermosto mukautuu voimaharjoitteluun säätelemällä työskentelevien motoristen yksiköiden määrää, syttymistaajuutta sekä keskinäistä koordinaatiota (Moritani 1992). Voimaharjoittelu vaikuttaa myös lihasaktivaatiota inhiboiviin tekijöihin lisäämällä agonistilihasten voimantuottoa (Moritani 1992) ja vähentäen agonistilihasten koaktivaatiota (Häkkinen 1994). Samoin neuraalisten inhibitoristen refleksien vaikutukset ja Golgin jänne-elinten toiminta vähenevät (Docherty & Sporer 2000). Voimaharjoittelun aiheuttamat neuraaliset muutokset ovat määrältään suuria ja ovat merkittävä tekijä lihasvoiman kasvussa (Rutherford & Jones 1986).

Voimaharjoittelun alkuvaiheessa hermostollisten muutosten on todettu vaikuttavan enemmän voimankasvuun kuin lihaksissa tapahtuvien muutosten (Staron ym. 1994) vaikka hypertrofisilla muutoksilla on myös osuutensa voiman kehittymiseen (Moritani

1992). Kuvassa 4 on havainnollistettu hermoston ja lihaksiston vaikutukset voimankasvuun (Moritani & DeVries 1979).

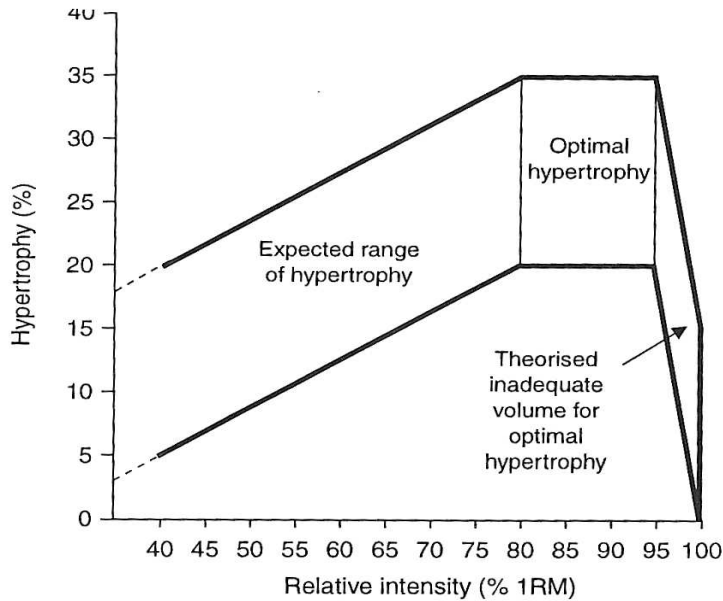


KUVA 4. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden osuus voimankasvussa. (Moritani & DeVries 1979.)

Hypertrofian paras aikaansaaja on kova voimaharjoittelu (Antonio & Gonyea 1993). Voimaharjoittelussa käytetty suhteellinen intensiteetti (% 1 RM) on todennäköisimmin yksi tärkeimmistä lihaskasvuun vaikuttavista harjoitusmuuttujista, sen kattaessa yleisesti 18-35 prosenttia hypertrofiavasteen varianssista. Fryn (2004) mukaan maksimaalinen hypertrofia saavutetaan kuormien ollessa 80-95 % 1 RM (katso kuva 5). (Fry 2004.)

Kovassa hypertrofispainotteisessa voimaharjoituksessa toistoja tehdään 6-12, kuormien ollessa keskinkertaisia, 60-80 % 1 RM:sta (kuva 5). Kovassa neuraalispainotteisessa voimaharjoituksessa taas toistot sarjassa ovat vähäisiä kuorman ollessa suuri, 80-90-100 % 1 RM:sta. (Häkkinen 2004.) Suurimmat maksimivoiman nousut saadaan käytettäessä kovimpia harjoituskuormia kun taas korkeat suhteelliset harjoitusintensiteetit aikaansaavat merkittävämmät hypertrofiset vasteet molemmissa fiiberityypeissä. Suurempi suhteellinen kasvu on tyypillistä tyypin II-fiibereille. (Fry 2004.)

Hypertrofisten muutosten aikaansaamiseksi voimaharjoittelua tulee tehdä kahdesta kolmeen kertaan viikossa jokaiselle harjoitettavalle lihasryhmälle (Hunter ym. 2004). Hypertrofiaa tavoittelevat harjoitukset aiheuttavat akuutisti väsymystä, vereen laktaatin kertymistä ja akuutin hormonaalisen vasteen (Häkkinen 2002, 22, 23).



KUVA 5. Teoreettinen malli suhteellisen voimaharjoitusintensiteetin (% 1 RM) ja odotetun hypertrofia-asteen suhteesta (Fry 2004).

Naricin ym. (1996) voimaharjoittelututkimuksessa (6 kk, joka toinen päivä) nuorten miesten (29 v) nelipäisen reisilihaksen keskimääräinen (\pm SD) poikkipinta-ala kasvoi lihaksen keskiosassa 13 (\pm 7) prosenttia kasvun ollessa lihaksen päissä hiukan keskiosaa suurempaa. Hypertrofia-aste erosi tutkimuksessa nelipäisen reisilihaksen eri lihaksissa (m.rectus femoris 28 %, m.vastus lateralis 20 %, m.vastus medialis 19 % ja m.vastus intermedius 17 %). Ahtiainen ym. (2003) tekemässä tutkimuksessa (21 vkoa) aiemmin voimaa harjoittlemattomien miesten nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi koko lihaspituudelta.

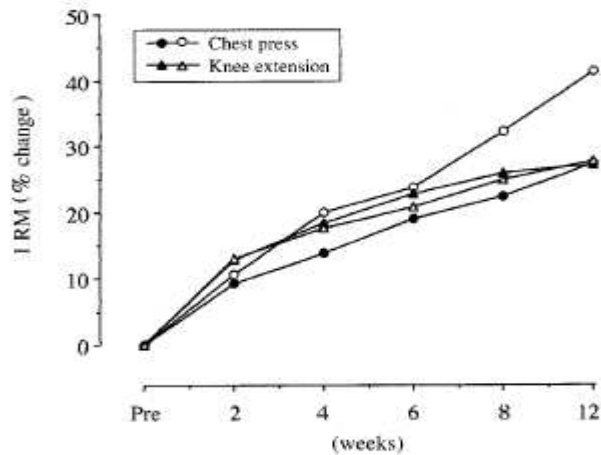
Curetonin ym. (1988) voimaharjoittelututkimuksessa (16 vkoa, 3 krt/vko, 70-90 % MVC) olkavarren lihasten hypertrofian suhteelliset muutokset olivat naisilla ja miehillä samankaltaiset. Olkavarren lihasten poikkipinta-ala (CT) kasvoi miehillä 16 ja naisilla 23 prosenttia. Voimaharjoittelu ei aikaansaanut merkitsevää hypertrofiaa reiden lihaksissa kummallakaan ryhmällä (+2,9 %). Aben ym. (2000) voimaharjoittelututkimuksessa (12 vkoa, 3 krt/vko) rintalihaksen ja yläraajan ojentajan paksuus oli kasvanut naisilla ja miehillä merkitsevästi jo harjoitusviikolla kuusi. Koko harjoitusjakson suhteelliset lihaspaksuuden muutokset olivat miehillä yläraajassa 12-21 prosenttia ja alaraajassa 7-9 prosenttia. Miesten ja naisten lihaspaksuuksien muutokset olivat samansuuruisia ja tapahtuivat samanlaisella aikataululla. McCallin ym. (1999)

nuorten miesten voimaharjoittelututkimuksessa (12 vkoa) kyynärvarren koukistajan poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi ja sekä tyypin I- että II- fiiberit hypertrofoituivat.

Starkeyn ym. (1996) voimaharjoittelututkimuksessa (14 vkoa, 3 krt/vko, 1/3 sarjaa/liike) aikaisemmin harjoittelemattomien (18-50 v) miesten ja naisten hamstring-lihasryhmän keskimääräinen paksuus kasvoi merkitsevästi (3 mm) kummassakin voluumiltaan eroavassa harjoitusryhmässä. Reiden etummaisten ja uloimmaisten lihasten paksuudet (nelipäinen reisilihas +1,0-1,5 mm) eivät muuttuneet merkitsevästi. Maksimaalinen isometrinen voima parani useimmilla käytetyillä nivelkulmilla sekä korkean että alhaisen volyymin ryhmissä. Alhaisen volyymin ryhmän keskimääräinen huippuvoima parani 30 prosenttia ja korkeamman 27 prosenttia. Polven ojentajien isometrisen maksimivoiman vastaavat nousut olivat 19 ja 18 prosenttia. Useamman kuin yhden sarjan tekeminen on tuottanut tutkimuksissa 5-10 prosenttia suurempia voimatasojen nousuja.

Mikkolan ym. (2004) voima- (2 krt/vko), kestävyys- (2 krt/vko) ja yhdistetyn voima-kestävyysarjoittelun tutkimuksessa (2+2 krt/vko) (21 vkoa) miesten nelipäisen reisilihaksen keskimääräinen (\pm SD) poikkipinta-ala kasvoi pääosin pyöräillen harjoitelleilla kestävyysarjoittelijoilla 2 (\pm 2) prosenttia ($P < 0,05$). Jo pelkkä progressiivinen pyöräilyharjoittelu (60-90 % HR_{max}) aikaansai jonkin verran työskentelevien lihasten hypertrofiaa.

Macaluson ym. 6 viikon voimaharjoittelututkimuksessa naisten yläraajan koukistajan maksimivoimatasot kasvoivat harjoittelun seurauksena 22.4 % ($P < 0,001$). Aben ym. (2000) voimaharjoittelututkimuksessa (3 krt/vko) keski-ikäisten (25-50 v) miesten ja naisten maksimivoiman kehitys oli progressiivista koko 12 viikon mittaisen harjoitusjakson ajan. Miesten 1 RM-tulos parani polven ojennuksessa merkitsevästi jo toisella ja rintaprässissä kuudennella harjoitusviikolla. Naisten 1 RM-tulos sekä polven ojennuksessa että rintaprässissä parani merkitsevästi neljänteen viikkoon mennessä (kuva 6).



KUVA 6. Miesten (tummat symbolit) ja naisten (vaaleat symbolit) prosentuaaliset muutokset penkkipunnerruksen ja jalkaprässin 1 RM tuloksissa 12 viikon ajalta. (Abe ym.2000.)

Camposin ym. (2002) voimaharjoittelututkimuksessa (8 vkoa, 2-3 krt/vko) aiemmin harjoittelemattomien miesten (23 ± 6 v) maksimaalinen hapenottookyky parani suuren toistomäärän harjoitusryhmällä ($2 \times 20-28$ RM/harjoite). Nousujohteisen polkupyöräergometritestin keskimääräinen maksimityökuorma kasvoi (6-11 %, $P < 0,001$) ja laktaattiarvot submaksimaalisella työkuormalla laskivat Izquierdon ym. (2003) voimaharjoittelututkimuksen (16 vkoa, 2 krt/vko) ensimmäisellä puoliskolla harjoittelemattomilla miehillä. Toisella puoliskolla ei tapahtunut muutoksia.

4.2 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelu saa aikaan adaptaatioita sydän- ja verenkiertoelimistössä, hermolihasjärjestelmässä, metaboliassa, keuhkoissa sekä endokriinisessa systeemissä. Kestävyysharjoittelun myötä sydämen tilavuus sekä pumppausteho kasvavat. Sydämen koon kasvun seurauksena kestävyysharjoittelu aiheuttaa myös iskutilavuuden sekä minuuttitilavuuden kasvua. Näistä muutoksista johtuen syke laskee sekä levossa että rasituksessa. (Tanaka & Swensen 1998.) Kestävyysharjoitusadaptaatioiden ansiosta hapen kuljetus solujen mitokondrioihin tehostuu ja solun sisäinen metabolia paranee. (Jones & Carter 2000.) Kestävyysharjoittelu lisää harjoitettavien lihasten aerobisten entsyymien aktiivisuutta, mitokondrioiden määrää, kapillaaritiheyttä (Hunter ym. 2004;

Tanaka & Swensen 1998) ja parantaa maksimaalista hapenottokykyä (Holloszky & Coyle 1984; Rowell 1986).

Maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}) pidetään yhtenä päämuuttujista, jonka avulla arvioidaan verenkierto- ja hengityselimistön kuntoa, sen kehittymistä ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia (Basset & Howley 1999). Rowell (1986) esitti tärkeimmiksi vaikuttajiksi maksimaaliseen hapenottokykyyn koehenkilön kuntotason, maksimaalisen hapenottokyvyn ennen harjoittelun aloittamista ja koehenkilön iän. Clausen (1977, 259) havaitsi tutkimuksessaan mitä enemmän maksimaalisen hapenottokyvyn arvo on alle 45 ml/kg/min, sitä suuremmat sekä suhteelliset että absoluuttiset parannukset ovat. Tutkimukseen osallistui 39 koehenkilöä, jotka harjoittelivat 2-3 kuukautta. Jakson aikana maksimaalinen hapenottokyky parani 16 % (44 ->51 ml/kg/min).

Kestävyysharjoittelun seurauksena myös anaerobinen kynnys laskee (Hunter ym. 2004), glykolyyttisten entsyymien aktiivisuus vähenee (Tanaka & Swensen 1998), lihasten glykogeenivarastot kasvavat (Häkkinen 2004) ja myoglobiinin määrä lisääntyy (Antonio & Gonyea 1993). Myös kestävyyskapasiteetti paranee (Tanaka & Swensen 1998).

Kraemer ym. (1995) havaitsi tutkimuksessaan, että myös pelkkä kestävyysharjoittelu voi aikaansaada hypertrofiaa. Mikkolan ym. (2004) voima- (2 krt/vko), kestävyys- (2 krt/vko) ja yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun tutkimuksessa (2+2 krt/vko) (21 vkoa) miesten nelipäisen reisilihaksen keskimääräinen (\pm SD) poikkipinta-ala kestävyysharjoitteluryhmällä kasvoi 2 (\pm 2) prosentilla ($P < 0,05$). Jo pelkkä progressiivinen kestävyysharjoittelu pyöräillen (60-90 % HR_{max}) aikaansai jonkin verran harjoitettavien lihasten hypertrofiaa. Maksimivoimassa ei tapahtunut jakson aikana muutosta kestävyysharjoittelun seurauksena.

Cunningham ym. (1979) vertasivat jatkuvan matalatehoisen ja korkeatehoisen intervalliharjoitteena suoritettujen harjoittelun vaikutuksia nuorilla harjoittelemattomilla naisilla. Matalatehoinen harjoittelu koostui 20 minuutin yhtäjaksoisesta harjoittelusta 80 %:lla VO_{2max} :sta, kun taas korkeatehoinen harjoitus koostui kahden minuutin jaksoista

yhden minuutin palautuksella 100 %:lla VO_{2max} :sta. Molemmat ryhmät harjoittelivat 4 kertaa viikossa. Molempien ryhmien VO_{2max} :in kehitys oli yhtä suurta.

Kaljumaen ym. (1994) tutkimuksessa polkupyöräergometriharjoittelu (10 vkoa) nosti miesten maksimaalista hapenottokykyä merkitsevästi ($P < 0,01$). Samoin polven ojentajien kestävyys nousi merkitsevästi ($P < 0,001-0,05$). Makridesin ym. (1990) kovatehoisessa kestävyysharjoittelututkimuksessa (12 vkoa) aiemmin harjoittele mattomien nuorten miesten (20-30 v) nousujohteisella polkupyöräergometritestillä määritetty VO_{2max} -arvo nousi 29 prosentilla ($2,54 \pm 0,14$ L/min \rightarrow $3,26 \pm 0,18$ L/min).

Hicksonin ym. (1980) tutkimuksessa 10 viikon voimaharjoittelujakso sai aikaan huomattavan parannuksen kestävyys suorituskyvyssä; pyöräilyssä 47 % ja juoksussa 12 %. Kuitenkaan maksimaaliset hapenottokyvyn arvot eivät muuttuneet merkitsevästi. Kestävyys suorituskyvyn paranemisen syyksi oletettiin jalkojen voiman ja tehon kasvu.

5 YHDISTETYN HARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHASHYPERTROFIAAN, MAKSIMIVOIMAAN JA KESTÄVYYSUORITUSKYKYYN

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimustulokset ovat olleet vaihtelevia. Tutkimustulosten vertailua on vaikeuttanut tutkimusasetelmien laaja kirjo. Harjoitustapa, intensiteetti ja kesto sekä koehenkilöiden tausta ja muuttujien valinta ovat vaihdelleet eri tutkimuksissa. Yleisesti yhdistetyn harjoittelun vaikutukset riippuvat tavasta, miten nämä kaksi erilaista harjoitusmuotoa on yhdistetty. (Leveritt ym. 1999.)

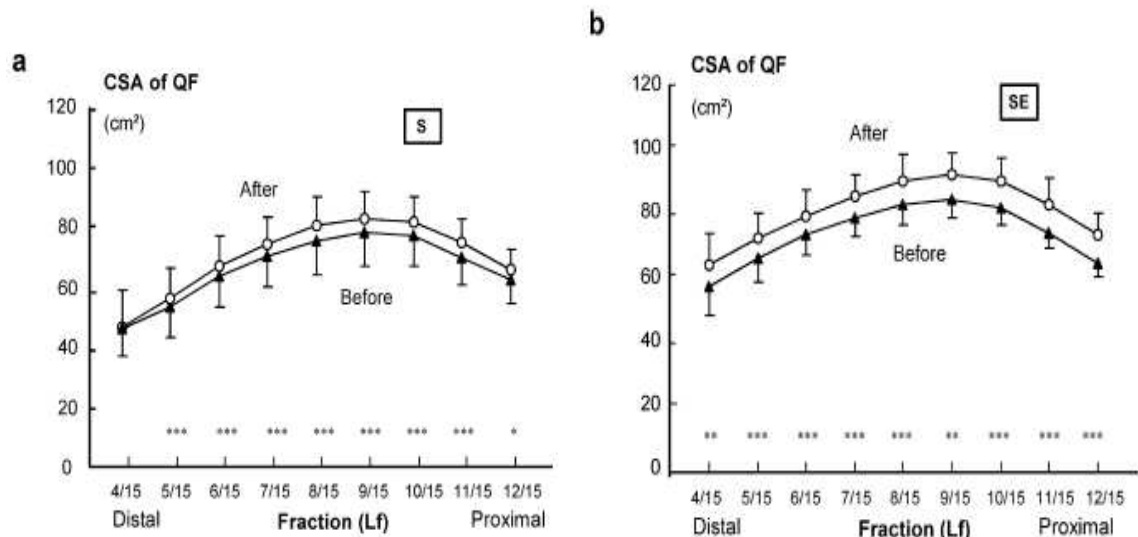
Kestävyysharjoittelun yhdistäminen voimaharjoitteluun voi heikentää voiman kehitystä verrattaessa pelkkään voimaharjoitteluun (Kraemer ym. 1995; Häkkinen ym. 2003). Voimaharjoittelun yhdistäminen kestävyysharjoittelun rinnalle ei estä kestävyiden kehittymistä verrattaessa pelkkään kestävyysharjoitteluun (Kraemer ym. 1995). Yhdistetyn harjoittelun vaikutuksiin voi harjoitustaustalla olla vaikutusta. Aikaisempi kestävyysharjoittelutausta voi olla syynä voiman suurempaan kehittymiseen verrattuna aikaisemmin harjoittelemattomiin henkilöihin. (Hunter ym. 1987.) Voimaharjoittelutaustalla ei ole havaittu samanlaista vaikutusta (Kraemer ym. 1995; Dudley & Djamil 1985). Bell ym. (1997) arvioivat, että yhdistelmäharjoitelleilla naisilla voiman kehittyminen voi olla miehiä heikompaa.

Voiman ja tehon kehittymisen häiriintymistä yhdistelmäharjoittelussa on selitetty kroonisen ja akuutin hypoteesin avulla. Kroonisen hypoteesin mukaan lihas ei kykene adaptoitumaan optimaalisesti molempiin harjoitusmuotoihin metabolisesti ja morfologisesti. Samanaikainen harjoittelu saa aikaan ristiriitoja adaptoitumisessa lihaksen sisällä. Mm. kestävyysharjoittelu lisää aerobisten entsyymien aktiivisuutta, kun taas voimaharjoittelun vaikutuksesta aerobisten entsyymien aktiivisuus saattaa vähentyä (Tesch ym. 1987). Myös lihasfibereiden koon ja tyypin muutokset ovat voima- ja yhdistelmäharjoittelun jälkeen erilaiset (Kraemer ym. 1995). Akuutin hypoteesin mukaan yhdistelmäharjoittelussa kestävyysharjoituksen aikaansaama väsymys vaarantaa kyvyn täysipainoiseen voimaharjoitteluun ja voimaharjoitusten laatu

heikkenee. (Leveritt ym. 1999.) Väsymyksen taustalla voivat olla perifeerisistä tekijöistä lihassoluvauriot (Leveritt ym. 1999), metaboliittien kertyminen (esim. maitohappo) ja energiasubstraattien (mm. lihasglykogeeni) vajuus (MacLaren ym. 1989; Leveritt ym. 1999).

5.1 Hypertrofia

Izquierdo ym. (2005) tutkivat yhdistelmäharjoittelun vaikutuksia lihashypertrofiaan keski-ikäisillä aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä. Vastus lateralis-lihaksen poikkipinta-alassa ei havaittu merkitseviä eroja voima- (14 %, $P < 0,01$), yhdistelmä- (12 %, $P < 0,01$) ja kestävyysharjoitteluryhmien (10 %, $P < 0,05$) välillä. Kestävyysharjoittelu suoritettiin pyöräillen. Biceps brachii-lihaksen poikkipinta-ala suureni 9 % voimaharjoitteluryhmällä. Yhdistelmä- (1 %) ja kestävyysryhmällä (4 %) ei havaittu merkitseviä muutoksia 16 viikon mittaisen harjoitusjakson aikana. Myöskään Häkkinen ym. (2003) ei havainnut merkitseviä eroja nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alassa voima- (6 %) ja yhdistelmäryhmän (9 %) välillä. Kuitenkin molempien ryhmien poikkipinta-alan kasvu 21 viikon mittaisen harjoitusjakson aikana oli merkitsevä ($P < 0,05-0,001$). Kuvasta 7 voidaan havaita, että lihaksen paksuimmassa kohdassa (9/15 Lf) kasvu oli voimaryhmällä 7 prosenttia ($P < 0,001$) ja yhdistelmäryhmällä 9 prosenttia ($P < 0,001$). Tyypin I- ja tyypin II-lihasfiibereiden kasvu oli molemmilla ryhmillä merkitsevää (taulukko 1). Myös Mikkolan ym. (2004) tutkimuksessa (21 vko) miesten nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi voima- 6 ± 5 % ($P < 0,001$), yhdistelmä- 11 ± 5 % ($P < 0,001$) ja kestävyysryhmillä 2 ± 2 % ($P < 0,05$). Voima- ja yhdistelmäryhmän pinta-alan kasvu harjoitusjakson aikana oli huomattavasti kestävyysryhmää suurempaa.



KUVA 7. Keskimääräiset (\pm SD) nelipäisen reisilihaksen (QF) poikkipinta-alat (CSA) 4/15-12/15 femurin pituuksilla (Lf) (a) voimaharjoitteluryhmässä (S) ja (b) yhdistetyssä voima-kestävyysharjoitteluryhmässä (SE) 21 viikon harjoitusjaksoa ennen ja jälkeen (* $P < 0,005$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$) (Häkkinen ym. 2003).

TAULUKKO 1. Vastus lateralis-fiibereiden poikkipinta-ala 21 viikon mittaisen harjoitusjakson alussa ja lopussa voima- (S) ja yhdistelmäharjoitteluryhmällä (SE). (Häkkinen ym. 2003)

	S Group				SE Group			
	Pre		Post		Pre		Post	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Type I (μm^2)	5022	(1060)	7338*	(2471)	6149	(2069)	6974*	(2250)
Type IIa (μm^2)	5577	(1659)	7022**	(1544)	6816	(1524)	8378*	(2368)
Type IIb (μm^2)	4836	(1389)	6703**	(1677)	5660	(1909)	7439**	(2088)

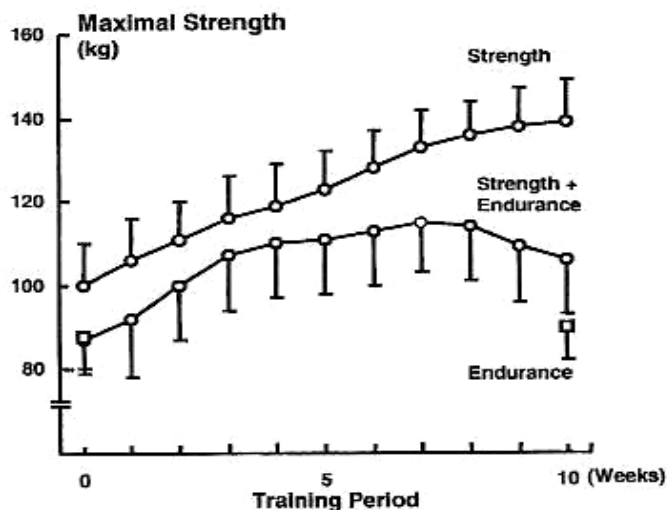
Putmanin ym. (2004) nuorten aikuisten voima- (3 krt/vko), kestävyys- (3 krt/vko) ja yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun (3+3 krt/vko) tutkimuksessa (12 vkoa) voima- ja yhdistelmäryhmän tyypin IIA-fiibereiden (m.vastus lateralis) poikkipinta-ala kasvoi samankaltaisesti (16-19 %, $P < 0,05$) ja tyypin IIA-fiiberit olivat tyypin I-fiibereitä suurempia ($P < 0,05$). Tyypin I-fiiberiala kasvoi merkitsevästi voimaryhmällä (17 %, $P < 0,05$) ja oli 2,9 kertaa ($P < 0,05$) yhdistelmäryhmää suurempi. Kova voimaharjoittelu aktivoi sekä matalan että korkean syttymiskynnyksen motoriset yksiköt ja molemmat fiiberityypit hypertrofoituivat. Kestävyysharjoittelu ei aikaansaanut hypertrofiaa.

Bell ym. (2000) raportoivat voimaharjoittelijoiden (3 krt/vko) tyypin I- ja II-fiiberialojen kasvaneen merkitsevästi ($P < 0,01$) 6. ja 12. harjoitusviikon jälkeen.

Yhdistelmäharjoittelu (3+3 krt/vko) sai aikaan tyypin II-fiiberialan merkitsevää ($P < 0,01$) kasvua vain 12. harjoitusviikon jälkeen. Polkupyöraergometrillä suoritettu kestävyysharjoittelu (3 krt/vko) ei saanut aikaan merkitsevää hypertrofiaa. Myöskään naisten ja miesten välillä ei havaittu hypertrofiassa eroja.

5.2 Maksimivoima

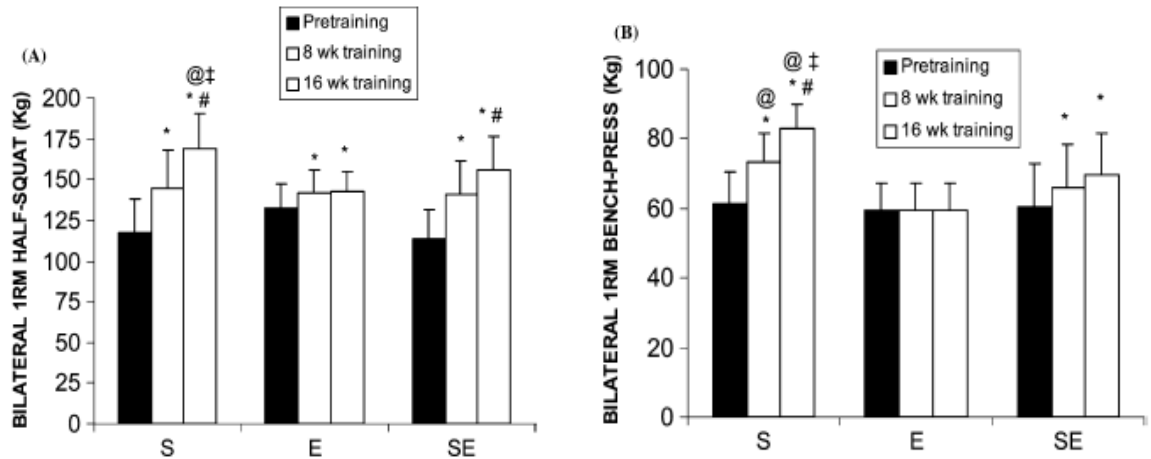
Aiemmin harjoittelemattomien voimatasoja voidaan nostaa yhdistelmä- ja voimaharjoittelulla yhtä paljon, kun yhdistelmäharjoittelujakso on lyhyt ja harjoitusvolyymi alhainen. Yhdistetyn harjoittelun aikaansaama voimanlisäys voi jäädä merkitsevästi pelkän voimaharjoittelun aikaansaamaa voimanlisäystä pienemmäksi, jos yhdistelmäharjoittelujakso on liian pitkä ja harjoitusvoluumi/-frekvenssi ja/tai -intensiiteetti on liian korkea. (Häkkinen 2004.) Tällöin korkeatehoinen kestävyysyhdessä voimaharjoittelun kanssa aiheuttavat hermolihasjärjestelmän väsymisen. Tämä ilmiö on havaittu sekä lyhyellä että pitkällä harjoitusjaksolla. (Dudley & Djamil 1985; Kraemer ym. 1995.) Ilmiön kuvasi ensimmäisenä Hickson vuonna 1980 (katso kuva 8).



KUVA 8. Voiman kehittyminen korkean voluumin voima- (5 krt/vko), kestävyys- (6 krt/vko) ja yhdistelmäharjoittelun (5+6 krt/vko, voima ja kestävyys samalla kerralla vähintään 2 tunnin lepotauolla) aikana (Häkkinen 2004, alkuperäinen Hickson 1980).

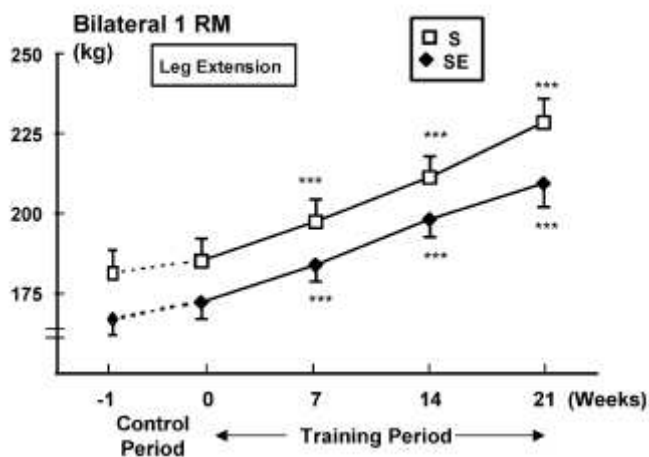
Hicksonin (1980) voima- (5 krt/vko), kestävyys- (6 krt/vko) ja yhdistelmäharjoittelu (voima+kestävyys) tutkimuksessa (10 vkoa) voimaryhmän alaraajojen voima kehittyi läpi harjoittelujakson progressiivisesti. Yhdistelmäryhmän alaraajojen voima kehittyi voimaryhmän tavoin seitsemän viikon ajan, kunnes kehitys tasaantui ja lähti laskuun kahdeksannella harjoitusviikolla. Kestävyysryhmän voima ei muuttunut merkitsevästi. Suuren voluumin yhdistelmäharjoittelu heikensi voiman kehittymistä, muttei vaikuttanut maksimaalisen hapenottokyvyn nousuun. Yhdistelmäharjoittelussa alaraajojen voiman kehittyminen on vaarassa, kun kestävyysharjoittelu suoritetaan alaraajoilla. Yhdistelmäharjoittelun voima- ja kestävyysharjoitusten tekeminen eri päivinä aikaansaa suuremman voimatasojen nousun kuin toteutus samana päivänä. (Leveritt ym. 1999.)

Pudotettaessa harjoittelumäärä matalaksi, 1-3 kertaan viikossa, yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla voi olla synergistinen vaikutus maksimaalisen voimantuoton lisääntymiseen sekä lyhyellä (Bell ym. 1991; McCarthy 2002) että pitkällä (Häkkinen ym. 2003) aikavälillä. Izquierdo ym. (2005) tutkimuksessa harjoittelun alkuvaiheessa (0-8 vko) miesten puolikykyyn 1RM parani merkitsevästi sekä voima- (22 %) että yhdistelmäharjoitteluryhmällä (24 %). Viikolla 16 voimaryhmän 1RM lisäys oli 45 %, joka oli merkitsevästi ($P < 0,05$) yhdistelmäharjoitteluryhmän lisäystä (37 %) suurempi. Erot ryhmien välillä voitiin havaita lähinnä viimeisen 8 viikon harjoittelujakson aikana. Samoin penkkipunnerruksen 1RM oli sekä viikolla 8 että viikolla 16 merkitsevästi ($P < 0,001$) suurempi voimaryhmällä (21 % ja 37 %) kuin yhdistelmäryhmällä (9 % ja 15 %). Voimaryhmällä penkkipunnerruksen 1RM oli myös kestävyysryhmän tulosta (0 % ja 0 %) merkitsevästi ($P < 0,001$) suurempi (kuva 9).



KUVA 9. Maksimaalinen bilateraalin konsentrisen 1 RM jalkakyykky (A) ja 1 RM penkkipunnerrustulos ennen harjoittelua ja 8 sekä 16 harjoitusviikon jälkeen voima- (S), kestävyys- (E) ja yhdistelmäharjoittelevilla (SE) keski-ikäisillä miehillä. (* $P < 0,05$ pre vs. 16 vkoa, # $P < 0,05$ 8 vkoa vs. 16 vkoa, @ $P < 0,05$ suhteellisesta muutoksesta pre-post ryhmien välillä, $P < 0,05$ suhteellisesta muutoksesta 8 vkoa-16 vkoa) (Izquierdo ym. 2005.)

Yhdistelmäharjoittelulla voi saada aikaan samankaltaista kehitystä voimatasoissa kuin pelkällä voimaharjoittelulla saavutetaan. Häkkinen ym. (2003) tutkimuksessa sekä yhdistelmä- (22 %) että voimaryhmällä (21 %) voiman lisäys oli merkitsevä 21 viikon mittaisen harjoitusjakson aikana (kuva 10). Myös Bell ym. (1991) ja McCarthy ym. (2002) ovat todenneet tutkimuksissaan samansuuruisia voimanolisäyksiä ryhmien välillä.



KUVA 10. 1 RM MVC bilateraalisessa jalan ojennuksessa voima- ja yhdistelmäryhmällä kontrollijakson ja 21 viikon harjoittelun aikana. (***) $p < 0,001$). (Häkkinen ym. 2003.)

McCarthy ym. (1995) tutkimuksessa (3 krt/vko, 10 viikkoa) voima- ja yhdistetyn harjoittelun ryhmällä voimanlisäys oli yhtä suurta. Voimaryhmällä alaraajojen 1 RM (23 %) sekä yläraajojen 1RM (18 %) tulokset kasvoivat merkitsevästi. Yhdistetyllä ryhmällä kasvu oli yhtä merkitsevää tulosten ollessa alaraajoilla (22 %) ja yläraajoilla (18%).

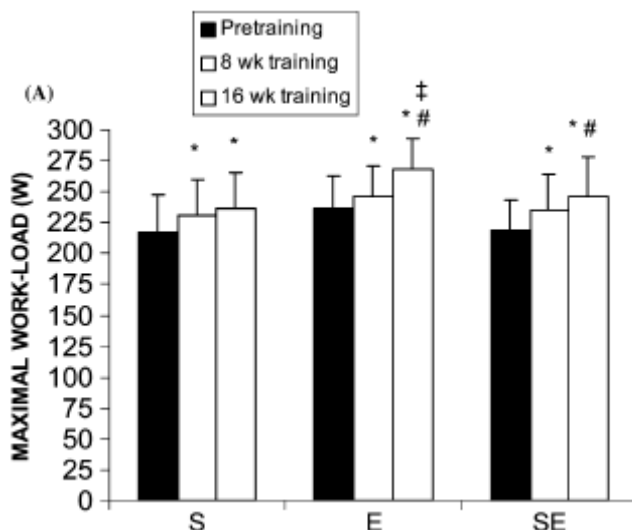
Bell ym. (1997) tutkivat nais- ja miessoutajilla voima- (3 krt/vko) ja yhdistelmäharjoittelun (3+3 krt/vko) vaikutuksia. Harjoitusjakso kesti 16 viikkoa ja kestävyysosio suoritettiin soutuergometrillä. Miehillä sekä voima- että yhdistelmäharjoittelu kasvatti sekä ala- että yläraajojen voimatasoja merkitsevästi ($P<0,05$) koko harjoitusjakson ajan voimatasojen ollessa korkeimmillaan viikolla 16. Naisilla voimaharjoittelu alaraajojen osalta sai aikaan miesten tavoin jatkuvan merkitsevän ($P<0,05$) kasvun, kun taas yhdistetty harjoittelu sai aikaan voima kasvua vasta viikolla 12 ja viikolla 16 arvo oli korkeimmillaan. Yläraajojen voima-arvot nousivat molempien ryhmien osalta merkitsevästi viikolla 4 ja olivat korkeimmillaan viikolla 16. Kuitenkin voima-arvojen relatiivinen nousu oli suurinta voimaharjoitelleilla naisilla. Tutkimuksessa yhdistetyn harjoittelun ei havaittu heikentävän voiman lisäystä miehillä, naisilla kestävyysharjoittelun lisääminen voimaharjoittelun rinnalle näytti haittaavan voiman kehittymistä.

Bell ym. (2000) totesivat voima- (3 krt/vko) ja yhdistetyn (3+3 krt/vko) harjoittelun saavan aikaan yhtä merkitsevää kasvua bilateraalisessa jalkaprässissä ja unilateraalisessa polven ojennuksessa sekä miehillä että naisilla 6 ja 12 viikon harjoittelun jälkeen (taulukko 2). Voimaryhmällä unilateraalinen polven ojennus oli merkitsevästi ($P<0,05$) korkeampi yhdistelmä- ja kestävyysryhmiin ryhmiin verrattuna. Kestävyysharjoittelu (3 krt/vko) polkupyöraergometrillä lisäsi merkitsevästi bilateraalisesta jalkaprässin tuloksia viikolla 6 sekä miehillä että naisilla. Unilateraalisessa polven ojennuksessa ei havaittu merkitseviä muutoksia.

1993.) Kestävyysharjoittelun (juoksu/pyöräily) rinnalle lisätty voimaharjoittelu lisää sekä lyhyt- että pitkäaikaista kestävyysuorituskykyä aiemmin liikkumattomilla ja harjoitelleilla henkilöillä. Lisäksi voimaharjoittelu parantaa pyöräillen määritettyä laktaattikynnystä aiemmin harjoitteleemattomilla. Voimaharjoittelu myös parhaimmillaan ylläpitää kapillaaritiheyttä. (Tanaka & Swensen 1998.)

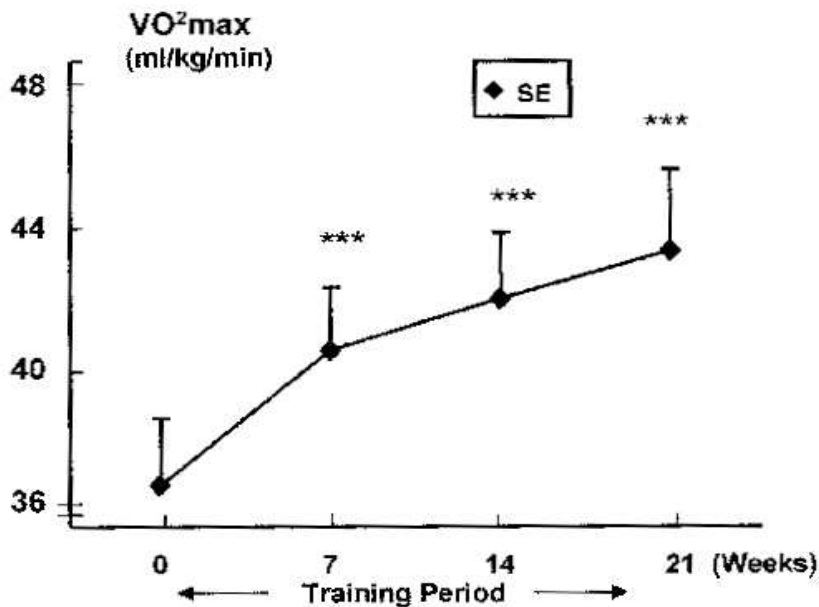
Dudley & Djamil (1985) totesivat, että aikaisemmin kestävyttä harjoitteleemattomilla miehillä yhdistetyllä harjoittelulla ei ollut inhihoivaa vaikutusta $VO_{2max:n}$ kehittymiseen. Kraemer ym. (1995) päätyivät tutkimuksessaan samaan tulokseen aikaisemmin voimaharjoittelua harrastaneilla miehillä. Myös Bell ym. (1997) totesivat 16 viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan yhdistetyn harjoittelun parantaneen merkittävästi ($P<0,05$) soutajien maksimaalista hapenottoa lähtötasoon verrattuna.

Izquierdo ym. (2005) eivät havainneet harjoittelujakson (16 vko) aikana merkitseviä eroja maksimaaliseen polkutehoon ($P_{max}W$) kestävyys- (14 %), yhdistelmä- (12 %) ja voimaharjoitteluryhmien (10 %) välillä. Voimaharjoitteluryhmän kehitys tapahtui ensimmäisen 8 viikon aikana. Yhdistelmäryhmällä viimeisten 8 viikon aikana tapahtunut kehitys maksimaalisessa polkutehossa oli merkittävästi ($P<0,01$) voimaryhmää suurempaa. (kuva 11).



KUVA 11. Maksimaalinen polkemisteho polkupyöräergometritestissä 0, 8 ja 16 viikon kohdalla. * $P<0,05$ alkumittaukseen verrattuna, # $P<0,05$ 8-viikon mittaukseen verrattuna. (Izquierdo ym. 2005).

Myös Häkkinen ym. (2003) tutkimuksessa (21 vko) sekä VO_{2max} sekä maksimaalinen polkuteho kasvoivat merkitsevästi yhdistelmäryhmällä (2+2 krt/vko). Kestävyysharjoittelu suoritettiin pyöräillen. Yhdistelmäryhmän VO_{2max} kasvoi 18,5 % ja maksimaalinen polkuteho 17 %. Hapenottokyvyn muutokset harjoitusjaksolla yhdistelmäryhmän osalta näkyvät kuvasta 12.



KUVA 12. Polkupyöräergometritestissä mitattu keskimääräinen (\pm SD) maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) yhdistetyssä voima-kestävyys harjoitteluryhmässä (SE) 21 viikon harjoittelujaksolla (***) ($P < 0,0001$) (Häkkinen ym. 2003).

McCarthy ym. (1995) tutkimuksessa (10 vkoa) nousujohteisen uupumukseen saakka tehdyn polkupyöräergometritestin VO_{2max} -arvo (ml/kg/min) kasvoi merkitsevästi ($P < 0,01$) sekä kestävyys- (3 krt/vko, +18 %) että yhdistelmäryhmällä (3+3 krt/vko, +16 %). Voimaryhmällä (3 krt/vko) ei havaittu merkitsevää muutosta hapenottokyvyssä.

Hunterin ym. (1987) tutkimuksessa aiemmin harjoitteleemattomien miesten maksimaalinen hapenottokyky parani kestävyys- (2 krt/vko) ja yhdistelmäryhmillä (2 krt/vko voima+kestävyys) merkitsevästi voimaryhmää (2 krt/vko) enemmän. Hicksonin (1980) voima- (5 krt/vko), kestävyys- (6 krt/vko) ja yhdistelmäharjoittelun tutkimuksessa (10 vkoa) kestävyys- ja yhdistelmäryhmän maksimaalinen hapenottokyky parani polkupyöräergometri- (25 %) ja juoksumattotesteissä (20 %). Voimaryhmän maksimaalinen hapenottokyky ei muuttunut.

Bell ym. (2000) raportoivat sekä kestävyys- (3 krt/vko) että yhdistelmäryhmällä (3+3 krt/vko) kasvun $\dot{V}O_{2max}$:ssa 12 viikon harjoittelun jälkeen olevan merkitsevästi ($P<0,05$) suurempaa kuin voimaharjoittelu- (3 krt/vko) tai kontrolliryhmällä, kuten taulukosta 3 voidaan havaita. Naisten ja miesten välillä ei kehityksessä havaittu eroja.

TAULUKKO 3. Kestävyys- (E), voima- (S), yhdistetyn- (SE) sekä kontrolliryhmän $\dot{V}O_{2max}$ tulokset ennen, viikolla 6 ja viikolla 12. F=naiset ja M=miehet. a) naisten ja miesten välillä on merkitsevä ($P<0,05$) ero, b) merkitsevä ($P<0,05$) ero verrattuna S ja SE-ryhmiin 12 viikon jälkeen, c) merkitsevä ($P<0,05$) ero alkuarvoihin ja S-ryhmään. (Bell ym. 2000).

Group	Sex	$\dot{V}O_{2max}$ ($l \cdot min^{-1}$)					
		Before		6 Weeks		12 Weeks	
		Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
C	F ^a	2.64	0.13 ^b	NA	NA	2.55	0.14 ^b
	M	3.97	0.11 ^b	NA	NA	3.88	0.19 ^b
E	F ^a	2.71	0.34	2.96	0.32	3.05	0.30 ^c
	M	4.32	0.23	4.44	0.23	4.53	0.24 ^c
S	F ^a	2.84	0.17	2.77	0.28	2.67	0.36
	M	4.35	0.06	4.32	0.06	4.29	0.05
SE	F ^a	2.79	0.10	2.90	0.08	3.00	0.09 ^c
	M	4.27	0.18	4.47	0.20	4.54	0.22 ^c

LeMura ym. (2000) tutkimuksessa (16 viikkoa), jossa kestävyysharjoittelutavan sai valita polkupyöräilyn, soudun ja juoksun välillä, harjoittelemattomien naisten kestävyys suorituskyky kasvoi vain kestävyysharjoitteluryhmällä (3 krt/vko). $\dot{V}O_{2max}$ parani kyseisellä ryhmällä 25 %, voima-(3 krt/vko) ja yhdistelmäharjoitteluryhmällä (2+2 krt/vko) ei havaittu merkitsevää kasvua. Erot kehityksessä saattoivat johtua yhdistelmä- ja voimaryhmän harjoittelun liian matalasta intensiteetistä.

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää 21 viikon mittaisen koko kehon kattavan voimaharjoittelun, alaraajoilla suoritetun kestävyysarjoittelun (polkupyöräergometri) sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun vaikutuksia lihashypertrofiaan, ylä- ja alaraajojen isometriseen maksimivoimaan ja maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn (maksimaalinen hapenotto- ja polkuteho) keski-ikäisillä (40-65 v.) naisilla. Lisäksi vertailtiin ylä- ja alaraajan ojentajien hypertrofisia muutoksia eri harjoitusryhmissä. Tarkastelukohteena oli myös hypertrofisten muutosten yhteys isometrisen maksimivoiman ja kestävyysuorituskyvyn kehittymiseen. Koehenkilöt eivät olleet harrastaneet aiemmin säännöllisesti voima- tai kestävyysarjoittelua. Koehenkilöt jaettiin tutkimuksen alussa seuraaviin ryhmiin:

1. Voimaharjoitteluryhmä, voimaharjoittelua 2 krt/vko
2. Kestävyysarjoitteluryhmä, kestävyysarjoittelua polkupyöräergometrillä 2 krt/vko
3. Yhdistetty voima + kestävyysarjoitteluryhmä, voimaharjoittelua 2 krt/vko ja kestävyysarjoittelua 2 krt/vko
4. Kontrolliryhmä

6.1 Tutkimusongelmat

Tutkimusongelmina ovat:

1. Ovatko yhdistetyn harjoittelun aikaansaamat harjoitusvaikutukset yhtä suuria kuin voimaharjoittelun aikaansaamat voimamuutokset ja kestävyysharjoittelun aikaansaamat kestävyysuorituskykymuutokset?
 - a) Eroavatko harjoittelun aikaan saamat muutokset lyhyellä (10 ½ vko)
 - b) ja pitkällä (21 vko) aikavälillä eri ominaisuuksissa eri ryhmien välillä?
2. Kumpi ominaisuuksista % (maksimivoima/maksimaalinen kestävyysuorituskyky) kehittyi harjoitusjakson aikana enemmän yhdistetyssä harjoittelussa ja kuinka ominaisuuksien prosentuaalinen kehitys poikkeaa toisistaan lyhyellä (10 ½ vko) ja pitkällä (21 vko) aikavälillä?
3. Onko hypertrofiassa ryhmien välillä eroja mitatuissa lihaksissa?
 - a) Poikkeako yhdistetyn harjoittelun aikaansaama hypertrofia voimaharjoittelun aikaansaamasta hypertrofiasta alaraajoissa?
 - b) Poikkeako yhdistetyn harjoittelun aikaansaama hypertrofia voimaharjoittelun aikaansaamasta hypertrofiasta yläraajoissa?
4. Onko hypertrofiolla yhteyttä muutoksiin maksimaalisessa voimantuotossa?
5. Onko alaraajan ojentajien hypertrofialla ja voiman kasvulla vaikutusta kestävyysuorituskykyyn?

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöiksi valittiin yhteensä 102 tervettä keski-ikäistä (40-65 v) naista, jotka jaettiin satunnaisesti voimaharjoittelu- (n=28), kestävyysarjoittelu-(n=26), yhdistettyyn voima-kestävyysarjoittelu- (n=27) ja kontrolliryhmään (n=21). Tutkimuksen keskeytti voimaharjoitteluryhmästä yksi henkilö, yhdistetystä voima-kestävyysarjoitteluryhmästä kaksi henkilöä ja kontrolliryhmästä kolme henkilöä henkilökohtaisista tai terveydellisistä syistä. Lopullinen koehenkilöjoukko koostui 96 naisesta, jotka jakautuivat ryhmiin seuraavasti: voimaharjoittelu- (V, n= 27), kestävyysarjoittelu- (K, n=26), yhdistetty voima-kestävyysarjoittelu- (VK, n=25) ja kontrolliryhmä (KO, n=18). Koehenkilöt saatiin tutkimukseen lehti-, internet- ja radioilmoitusten avulla. Taulukossa 4 on esitetty koehenkilöiden jakautuminen harjoitusryhmiin ja kuvattu ryhmiä antropometristen muuttujien avulla. Tutkimukseen osallistuneet eivät olleet aiemmin harrastaneet säännöllistä voima- tai kestävyysarjoittelua. Kontrollihenkilöiden liikuntatausta oli samanlainen kuin koehenkilöillä.

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden (n= 96) kuvaus alkumittausten perusteella voima- (V), kestävyys- (K), yhdistetyssä (VK) ja kontrolliryhmissä (KO).

			Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI	Rasva%
V	n= 27	ka	52,2	164,1	66,4	24,6	33,7
		sd	8,2	7,3	9,5	3,0	4,0
K	n=26	ka	51,8	162,8	67,0	25,2	34,5
		sd	7,2	6,7	10,0	2,8	2,7
VK	n=25	ka	50,6	162,9	65,5	24,7	33,1
		sd	7,0	5,6	9,1	3,1	3,8
KO	n=18	ka	51,4	166,7	66,7	24,0	34,2
		sd	7,8	6,4	7,9	2,5	4,1

Tutkimukseen osallistumisen ehtona oli lääkärintarkastuksen ja kliinisen rasituskokeen läpäisy. Lääkärintarkastuksessa suljettiin pois hormonaalisen ja neuromuskulaarisen järjestelmän patologiset tilat. Tutkimukseen ei otettu säännöllistä hormoni- tai beetasalpaajalääkitystä käyttäviä eikä liikunnan vasta-aiheita omaavia henkilöitä. Kaikki koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen, jossa heitä informoitiin tutkimuksesta, sen kulusta ja siihen mahdollisesti liittyvistä riskeistä. Tutkimuksissa tehtäville mittauksille oli myönnetty Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettisen toimikunnan lupa. Koehenkilöiden tietoja käsiteltiin ehdottoman luottamuksellisesti

7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen kulku eteni seuraavasti:

- 1) Kontrollijakso (2 vkoa), esimittaukset 2 viikkoa ennen varsinaisia alkumittauksia (-2 mittaukset).
- 2) Alkumittaukset (0 mittaukset), joiden jälkeen alkoi 21 viikon ohjattu harjoitusjakso: joko voima-, kestävyys- tai yhdistettyä voima-kestävyys-harjoittelua.
- 3) Välimittaukset koehenkilöille harjoittelujakson puolivälissä 10,5 viikon kohdalla (10,5 mittaukset).
- 4) Loppumittaukset kaikille 21 viikon harjoittelujakson päätyttyä (21 mittaukset).

Kaikki mittaukset suoritettiin mittapisteissä -2, 0, 10,5 ja 21 viikkoa. -2- ja 0-mittaukset muodostivat kontrollijakson ja viikkoina 0, 10,5 ja 21 suoritettiin varsinaiset interventiomittaukset. Välimittauksiin (10,5 vkoa) osallistuivat ainoastaan harjoitusryhmien koehenkilöt. Tutkimus kokonaisuudessaan käsitti 21 viikon mittaisen voima- (2 krt/vko), kestävyys- (2 krt/vko) tai yhdistetyn voima-kestävyys-harjoittelujakson (2+2 krt/vko).

Voimaharjoittelu. Harjoittelu toteutettiin valvotusti pienryhmissä kaksi kertaa viikossa. Ennen jokaista harjoitusta osallistujat suorittivat vapaamuotoisen alkuverryttelyn pyöräillen, soutaen tai juoksumatolla kävellen. Harjoittelu kohdistui kaikkiin päälihasryhmiin, yläraajojen ojentajiin (m. triceps brachii) ja koukistajiin (m. biceps brachii) ja alaraajojen ojentajiin (m. vastus lateralis ja m. vastus intermedius) ja koukistajiin (m. biceps femoris). Harjoituksen lopuksi koehenkilöt suorittivat loppuverryttelyn ja venyttelyn omatoimisesti. Kaikille voima- ja kestävyysarjoittelijoille jaettiin erilliset lihahuolto- ja ravitsemusohjeet. Harjoitteluryhmiin osallistuneita koehenkilöitä ohjeistettiin jatkamaan aikaisemminkin säännöllisesti harrastettua kevyttä liikuntaa, lukuun ottamatta raskasta voima- tai kestävyysarjoittelua.

Ensimmäisen neljän viikon ajan koehenkilöt harjoittelivat yhden toiston maksimikuormasta (1 RM) 40-60 prosentin kuormilla. Liikkeitä yhdessä harjoituksessa oli 7-8 ja yhtä liikettä toistettiin 3 sarjaa. Toistomäärät sarjassa vaihtelivat prosentuaalisesta kuormasta riippuen 10 ja 20 välillä. Tämän ajanjakson jälkeen harjoittelun intensiteettiä nostettiin progressiivisesti pitäen se 60-80 prosentissa (1 RM:sta). Liikkeitten lukumäärä lisääntyi 8-10:een ja yhtä liikettä toistettiin 2-4 sarjaa. Toistomäärä laski 8-12 harjoitusjakson loppuun saakka. Harjoittelun kokonaiskuormitusta nostettiin harjoitteiden ja/tai sarjojen määrää lisäämällä harjoittelun edetessä. Osa voimaharjoittelusta, 25 prosenttia, toteutettiin nopeusvoimaharjoitteluna. Harjoittelun aikana alaraajan ojentajia kuormitettiin kahdella liikkeellä, jalkaprässillä sekä reisipenkillä, kun taas alaraajan ojentajia vain yhdellä liikkeellä, reisihauksella. Yläraajan ojentajia kuormitettiin myös kahdella liikkeellä, penkkipunnerruksella sekä kyynärpään ojennuksella, ja yläraajan koukistajaa puolestaan yhdellä liikkeellä, hauiskäännöllä. Lisäksi voimaharjoitusohjelmaan kuuluivat keskivartaloa vahvistavat vatsa- ja selkäliikkeet. Voimaharjoittelu toteutui 92-100 prosenttisesti.

Kestävyysarjoittelu. Kestävyysarjoittelu toteutettiin kaksi kertaa viikossa pienryhmissä, pääasiassa polkupyöräergometrein. Harjoitukset olivat ohjattuja ja sykevalvottuja. Jokaiselle kestävyysryhmäläiselle oli määritetty yksilölliset harjoitussykkeet aerobisen ja anaerobisen kynnyksen perusteella. Ensimmäisen neljän viikon ajan harjoitusten kesto oli 30 minuuttia ja syke oli koko harjoituksen ajan

aerobisen kynnyksen alapuolella (peruskestävyys, PK). Harjoitusviikoilla 5-7 viikon toinen harjoitus koostui kahdesta 10 minuutin PK-jaksosta, joiden välissä poljettiin 10 minuuttia aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välisellä sykealueella (vauhtikestävyys, VK). Toinen harjoitus oli edelleen 30 minuutin PK-pyöräily. Viikoilla 8-14 viikon kovempi harjoitus piteni 45 minuuttiin, joka koostui kahdesta 15 min PK, 10 min VK ja 5 min maksimikestävyysjaksoista (MK, jossa syke on anaerobisen kynnyksen yläpuolella) ja PK-harjoitus piteni 60 minuuttiin. Viikoilla 15-18 viikon kova intervalliharjoitus kesti 60 minuuttia ja sisälsi 2 x 10 min VK:tä, 2 x 5 min MK:tä, teho-osioiden välillä oli 4 min PK-palautukset sekä alku- (10 min PK) ja loppuverryttelyt (8 min PK). Viikon toinen harjoitus kesti 90 minuuttia PK-alueella. Kolme viimeistä harjoitusviikkoa (19-21) muodostivat herkistelyjakson ja siinä intervalliharjoituksen vetopituudet lyhenivät (2 x 8 min VK ja 2 x 3 min MK). Viimeisen viikon harjoituksessa ei poljettu MK-alueella lainkaan. Viikon PK-harjoitus lyheni ensin 75 minuuttiin (vko 19-20) ja viimeisellä viikolla 45 minuuttiin. Kestävyysharjoittelu toteutui 95-100 prosenttisesti.

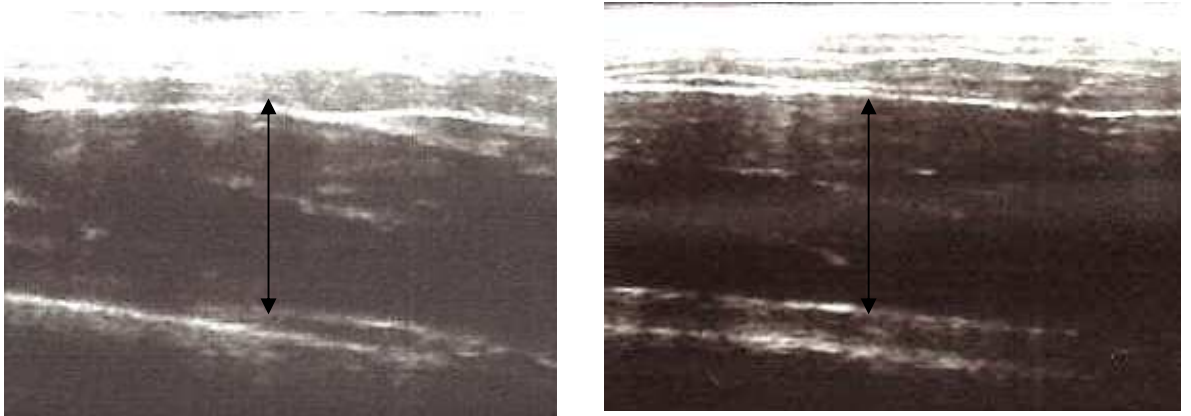
Yhdistetty voima-kestävyysharjoittelu. Yhdistetty voima-kestävyysharjoitteluryhmä teki kaksi kertaa viikossa voimaryhmän voimaharjoitukset ja kaksi kertaa viikossa kestävyysryhmän kestävyysharjoitukset (yht. 4 krt/vko). Harjoitukset suoritettiin eri päivinä. Yhdistetyn ryhmän harjoittelu toteutui 95-100 prosenttisesti.

7.3 Tutkimusmenetelmät

7.3.1 Lihaspaksuus

Ultraäänellä (B-mode, model SSD-2000, Aloka, Tokyo) 5 MHz:n taajuudella mitattiin oikean yläraajan ojentaja- (m.triceps brachii, lateral head) ja koukistajalihaksen (m. biceps brachii) sekä oikean alaraajan ojentaja- (m.vastus lateralis ja m.vastus intermedius) ja koukistajalihaksen (m. biceps brachii) paksuudet. Abe ym (2000) työstä löytyvät kuvaukset tarkoista mittauskohdista.

Triceps brachii (TB). Oikean yläraajan ojentajan lihaspaksuus mitattiin olkalisäkkeen takaharjun (the posterior crista of the acromion) ja kyynärpään (olecranon) välisen linjan ½-välin (50 %) tasolta (Seniam) lihaksen uloimmasta (lateraalisen) päästä. Mittauskohdan määrittäminen ja lihaspaksuuden mittaaminen suoritettiin koehenkilön istuessa tuolilla käden roikkuessa rennosti suorana vartalon vieressä. Lihaspaksuus mitattiin näyttörüudun keskikohdasta ihonalaista rasvakerrosta ja lihasta rajaavasta lihaskalvosta lihaksen luurajan yläpuoliseen kalvoon/luurajaan (olkaluu), kuten kuvista 14 näkyy.

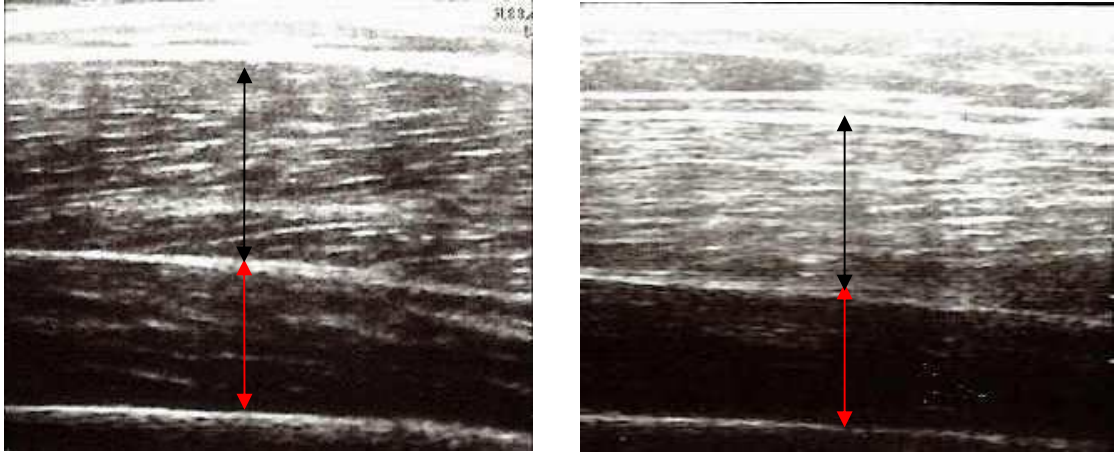


KUVA 14. Kuvia yläraajan ojentajalihasista (m. triceps brachii).

Biceps brachii (BB). Oikean yläraajan koukistajan lihaspaksuus mitattiin korppilisäkkeen (processus coracoideus) ja kyynärvarren peitinkalvon (aponeurosis of biceps brachii) välisen linjan 1/3- (30 %) korkeudelta (Seniam). Mittauskohdan määrittäminen ja lihaspaksuuden mittaaminen suoritettiin koehenkilön istuessa tuolilla käden roikkuessa rennosti suorana vartalon vieressä. Lihaspaksuus mitattiin näyttörüudun keskikohdasta ihonalaista rasvakerrosta ja lihasta rajaavasta lihaskalvosta lihaksen alakalvoon saakka.

Vastus lateralis (VL) ja *vastus intermedius* (VI). Alaraajan ojentajan lihaspaksuus mitattiin oikeasta jalasta suoliluun harjun etuosan (anterior spina iliaca superior) ja patellan lateraalisivun ½-välikohdan (lateral side of patella) välisen linjan ½-välistä (50 %) (Seniam). Mittauskohdan määrittäminen ja lihaspaksuuden mittaaminen tapahtui koehenkilön ollessa selinmakuulla tutkimuspöydällä. Koehenkilö oli mittauksen ajan ilman kenkiä, polvitaiteiden alla oli patjarulla ja mitattavan alaraajan kantapää oli kiinni pöydän päädyssä ollessa pystysuorassa lankussa. Mittauksen ajan koehenkilö oli selinmakuulla mahdollisimman rentona. Lihaspaksuudet mitattiin näyttörüudun keskiosasta

ihonalaisen rasvakerroksen alaosaa rajaavasta ja lihaksen yläosaa rajaavasta lihaskalvosta lihasten väliseen kalvoon (VL) ja välikalvosta luurajaan (VI) (kuva 15). Yhteispaksuus (VL+VI) saatiin laskemalla yhteen yksittäisten lihasten paksuudet.



KUVA 15. Kuvia alaraajan ojentajaliuksista (m.vastus lateralis, musta nuoli ja m.vastus intermedius, punainen nuoli).

Biceps femoris (BF). Alaraajan koukistajan lihaspaksuus mitattiin istuinkyhmyn (tuberosity) ja pohjeluun lateraalisen pään (lateral side head of fibula) välisen linjan ½-välistä (50 %) (Seniam). Mittauskohdan määrittäminen ja lihaspaksuuden mittaaminen tapahtui koehenkilön maassa vatsallaan tutkimuspöydällä patjarulla nilkkojen alla. Lihaspaksuus mitattiin näyttöruudun keskiosasta ihonalaisen rasvakerroksen alaosaa rajaavasta ja lihaksen yläosaa rajaavasta lihaskalvosta lihaksen alareunaan rajaavaan kalvoon.

Ultraäänimittaukset, kuten muutkin mittaukset, suoritettiin jokaisella mittauskerralla samaan vuorokauden aikaan. Ennen ultraäänimittausta koehenkilö ei ollut tehnyt kovaa fyysistä kuormitusta kahteen vuorokauteen. Mitattaessa mittausanturiin levitettiin reilu kerros kontaktigeeliä mahdollisimman hyvälaatuisen kuvan saamiseksi. Anturi asetettiin iholle kohtisuoraan mittauspisteeseen nähdessä välttämättä kudosten painamista. Mittaus toistettiin 2-4 kertaa lihasta kohden pyrkimyksenä korkeintaan millimetrin ero kahden mittaus tuloksen välillä. Tuloksena käytettiin kahden lähimmän tuloksen keskiarvoa. Lihaspaksuudet näyttöruudulla mitattiin lihaskalvojen puolivälistä ja luurajan yläpinnasta. Ensimmäisen mittauskerran päätteeksi mittauspisteet tatuoitiin saman

mittauskohdan varmistamiseksi. Sama henkilö mittasi lihaskuudet kaikilla mittauskerroilla tutkimuksen aikana.

Reimers ym. (1998) tekemässä tutkimuksessa saman mittajaan ultraäänitulosten välinen hajonta oli kontrollihenkilöiden lihaskuukuksissa 2,2 % ja ihonalaisen rasvakudoksen pakuuksissa 8,4 %. Tässä tutkimuksessa lihaskuukuuden keskimääräinen (\pm SD) ero (%) tutkimusviikkojen -2 ja 0 välillä oli yläraajan ojentajassa 0,5 (2,8) % (ns.) ja koukistajassa 0,1 (3,1) % (ns.) sekä alaraajan ojentajassa (VL+VI) 0,5 (5,0) % (ns.) ja koukistajassa 1,1 (7,6) % (ns.).

7.3.2 Maksimivoima

Voimamittauksia ennen tehtiin alkuverryttely itsenäisesti. Alkuverryttely koostui noin viiden minuutin pyöräilystä polkupyöräergometrillä ja omatoimisesta venyttelystä. Kaikki testisuoritustekniikat ohjeistettiin koehenkilöille huolellisesti ja suoritusten aikana kannustettiin aktiivisesti maksimiyrityksen varmistamiseksi. Isometrisissä suorituksissa koehenkilöä ohjeistettiin tuottamaan maksimivoima mahdollisimman nopeasti ja ylläpitämään sitä 2-4 sekunnin ajan. Kontrollimittausten yksi tarkoitus oli tutustuttaa koehenkilöt mittausmenetelmiin ja -laitteisiin.

Yläraajan ojentajien bilateraallinen isometrinen maksimivoima. Kyynärvarren ojentajien (m.triceps brachii) maksimaalista isometristä voimaa (Newton, N) mitattiin modifioidulla David 200 dynamometrillä vinopenkissä istuvassa asennossa penkkipunnerruksen tapaisella liikkeellä. Kyynärvarren kulman tuli suorituksen aikana olla 90 astetta ja käsien kohtisuorassa penkkiä kohden. Suorituksia tehtiin 3-5, joista paras maksimivoimatulos otettiin huomioon. Testisuoritukset taltioitiin tietokoneelle ja analysoitiin signal-ohjelmalla.

Yläraajan koukistajien unilateraalinen isometrinen maksimivoima. Kyynärvarren koukistajien (m. biceps brachii) maksimaalista isometristä voimaa (Newton, N) mitattiin voimapenkissä hauiskäännön tapaisella liikkeellä. Koehenkilön tuli istua selkä suorana koko suorituksen ajan ja pyrkiä koukistamaan yläraajaa maksimaalisesti. (Macaluso ym.

2000.) Suorituksia tehtiin 3-5, joista paras maksimivoimatulos otettiin huomioon. Testisuoritukset taltioitiin tietokoneelle ja analysoitiin signal-ohjelmalla

Alaraajan ojentajien bilateraallinen isometrinen maksimivoima. Alaraajan ojentajien (m.quadriceps femoris) maksimaalinen isometrinen (Newton, N) tahdonalainen voimantuotto mitattiin jalkadynamometrissä 107 asteen polvikulmalla (Häkkinen ym. 1985). Testisuorituksia tehtiin 3-5, joista paras maksimivoimatulos otettiin huomioon. Testisuoritukset taltioitiin tietokoneelle ja analysoitiin signal-ohjelmalla.

Alaraajan koukistajien unilateraalinen isometrinen maksimivoima. Alaraajan koukistajan (m.biceps femoris) maksimaalinen isometrinen (Newton, N) tahdonalainen unilateraalinen voimantuotto mitattiin dynamometrillä. Mittauksen aikana koehenkilö istui tuettuna laitteessa, nilkka sidottuna. Tarkoituksena oli maksimaalisesti koukistaa jalkaa. (Macaluso ym. 2003.) Testisuorituksia tehtiin 3-5, joista paras maksimivoimatulos otettiin huomioon. Suoritukset taltioitiin tietokoneella ja maksimivoima analysoitiin signal-ohjelmalla.

7.3.3 Maksimaalinen hapenottokyky ja maksimaalinen polkuteho

Maksimaalinen progressiivinen polkupyöraergometritesti. Yhtäjaksoisella nousujohteisella uupumukseen saakka tehdyllä polkupyöraergometritestillä mitattiin maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) absoluuttinen (L/min) ja kehon painoon suhteutettu arvo (ml/kg/min) sekä maksimaalinen polkuteho (W). Testi tapahtui lääkärin valvonnassa (EKG ja verenpaine). Testi suoritettiin Monarkin 839 E polkupyöraergometrillä (Monark Oy, Sweden) ja hengityskaasut analysoitiin V_{max} 229 – mittaussysteemillä (Sensor Medics). Polkufrekvenssi oli koko testin ajan 60-65 kierrosta/min. Alkuverryttelyksi poljettiin viisi minuuttia 50 watin kuormalla. Testi alkoi suoraan alkuverryttelyn jälkeen samalla 50 watin kuormalla. Kuormaa nostettiin 20 W kahden minuutin välein ja testi jatkui uupumukseen tai lääkärin testin keskeyttämispäätökseen saakka. Testin aikana mitattiin ulos- ja sisäänhengitysilman hengityskaasuja, sykettä, sykevaihtelua, veren laktaatteja (testin alussa, jokaisen kuorman lopussa ja 3 ja 5 minuuttia testin loppumisen jälkeen) ja verenpainetta.

Koehenkilö oli verryttelyjen ja testin ajan EKG-seurannassa.(Huuhka 2005.) Lisäksi jokaisen kuorman viimeisen puolen minuutin kohdalla kysyttiin koehenkilön kokemaa rasitustasoa kuvastavaa RPE-arvoa (rating of perceived exertion).

7.3.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkimusaineiston tilastolliseen käsittelyyn ja analyyseihin käytettiin Excel Office XP - ja SPSS 14.0 for Windows –ohjelmia. Laskettuja tuloksia esitetään keskiarvojen, keskihajontojen, korrelaatioiden (Pearson) ja t-testitulosten avulla. Ryhmän sisäisten muutosten tilastollinen analyysi suoritettiin repeated measures of ANOVA (general linear model -proseduurilla). Ryhmien välisiä mittaustulosten eroavuuksia laskettiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla (ANOVA) Post hoc LSD -testiä käyttäen. Korrelaatiokertoimien tilastollisen merkitsevyyden rajat saatiin SPSS-ohjelmasta suoraan. Yleiset merkitsevyyden rajat olivat seuraavat:

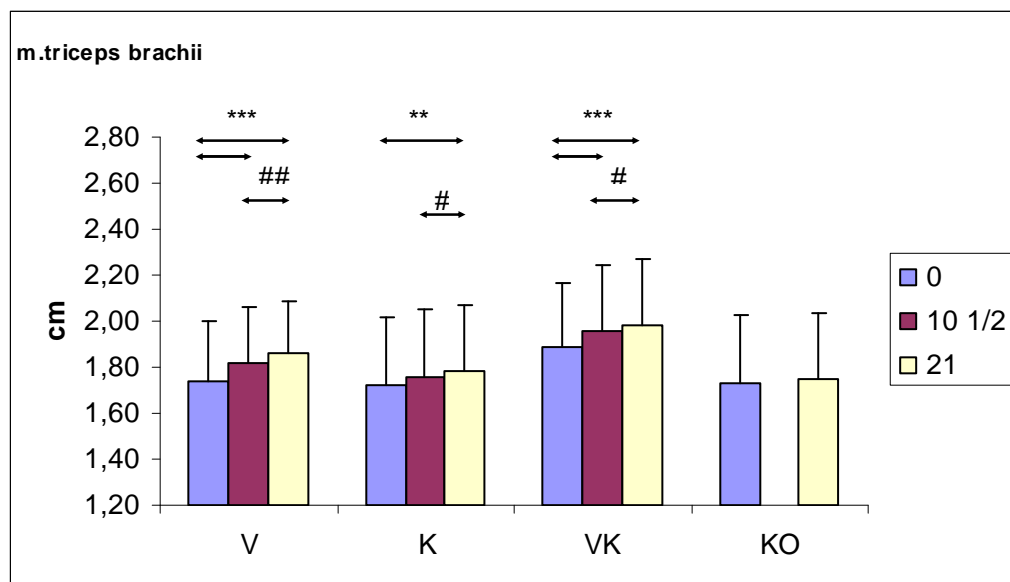
* = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

8 TULOKSET

8.1 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutus lihaspaksuuteen

Kyynärvarren ojentaja: m. triceps brachii, TB. Kyynärvarren lihaksen paksuuntumista havaittiin kaikilla harjoitusryhmillä 21 viikon mittaisen harjoitusjakson aikana. Lyhyellä aikavälillä (0-10 ½ vko) voima- ja yhdistetyllä ryhmällä ($P < 0,001$) kasvu oli merkitsevää. Pitkällä aikavälillä (0-21 vko) kyynärvarren ojentajan kasvu oli voimaryhmällä 7,2 (6,2) % ($P < 0,001$) ja yhdistetyllä ryhmällä 5,3 (4,5) % ($P < 0,001$). Myös kestävyysryhmällä kasvu oli merkitsevää 3,0 (5,6) % ($P < 0,01$), kun taas kontrolliryhmällä kasvu ei ollut merkitsevää 0,9 (4,1) %.

Kuvassa 16 on esitetty yläraajan ojentajan lihaspaksuudet merkitsevyyksineen koko tutkimusajanjaksolla eri harjoitusryhmissä. Kuvassa 14 näkyvät lihaspaksuuden muutosprosentit ja muutosten eroavuus eri harjoitusryhmien välillä.

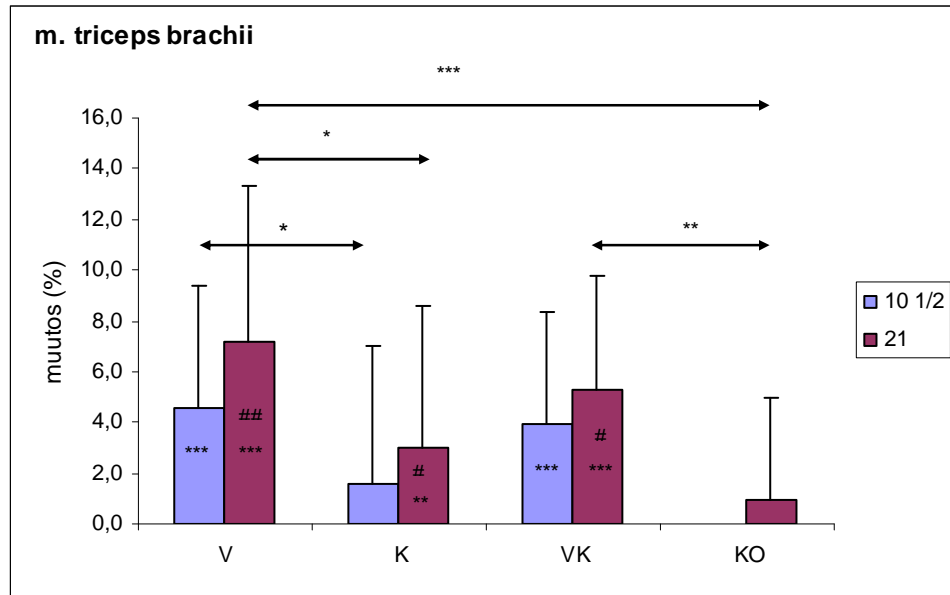


KUVA 16. Kyynärvarren ojentajan (TB) paksuus (cm) V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,

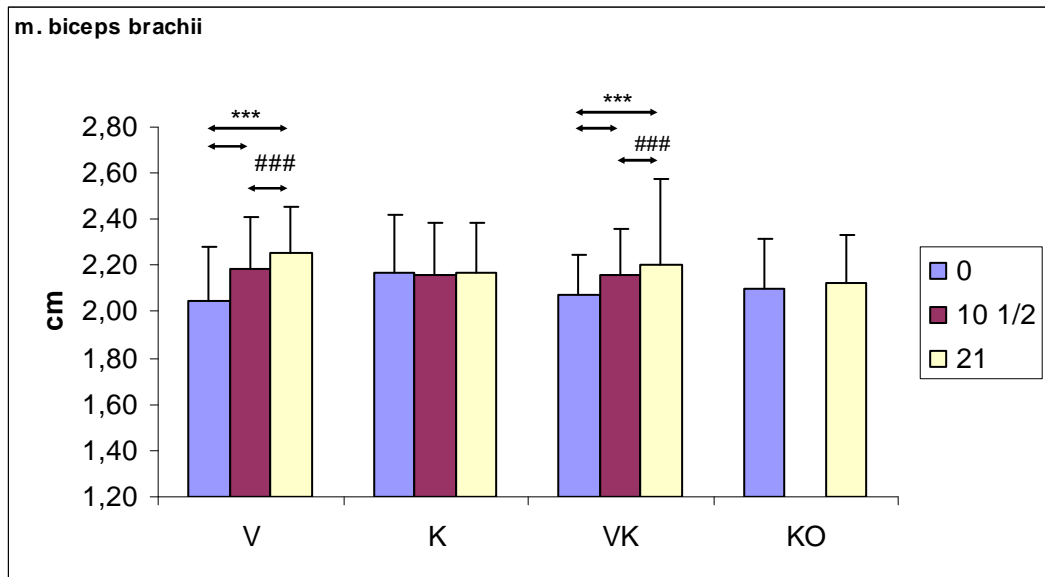
$P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Voimaryhmän keskimääräinen lihaspaksuuden muutos (%) oli merkitsevästi kestävyysryhmää suurempi sekä lyhyellä ($P<0,05$) että pitkällä ($P<0,05$) aikavälillä. Samoin voima- ($P<0,001$) ja yhdistetyn ryhmän ($P<0,01$) kasvu oli kontrolliryhmää suurempi (katso kuva 17) pitkällä aikavälillä.



KUVA 17. Kyynärvarren ojentajan muutos% lihaspaksuudessa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P<0,05$, ** $P<0,01$ ja *** $P<0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P<0,05$, ## $P<0,01$ ja ### $P<0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna

Kyynärvarren koukistaja: m. biceps brachii, BB. Lihaspaksuuden kasvua tapahtui samankaltaisesti sekä lyhyellä (0-10 ½ vko) että pitkällä (0-21 vko) aikavälillä voima- ja yhdistetyllä ($P<0,001$) ryhmällä. Alkumittauksissa oli havaittavissa voima- ja kestävyysryhmien välillä ero ($P<0,05$) yläraajan koukistajan lihaspaksuudessa (kuva 15). Kyynärvarren koukistaja paksuntui ($P<0,001$) 21 viikon aikana voimaryhmällä 10,1 ($\pm 4,9$) % ja VK-ryhmällä 6,7 ($\pm 4,9$) %. Kestävyys- ja kontrolliryhmillä kasvu ei ollut merkitsevää. Kuvassa 18 on esitetty lihaspaksuus ja kuvassa 19 lihaspaksuuden muutosprosentit tutkimusajanjaksolla eri harjoitusryhmissä.

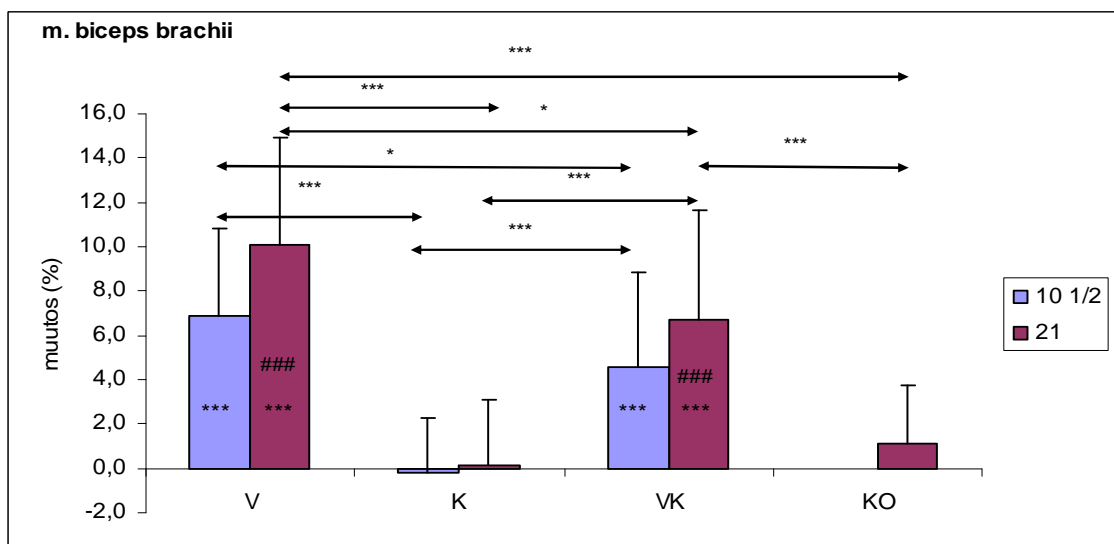


KUVA 18. Kyynärvarren koukistajan (BB) paksuus (cm) V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,

$P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Voima- ja yhdistetyllä ryhmällä kasvu oli sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä merkitsevästi ($P < 0,001$) kestävyysryhmää ja pitkällä aikavälillä ($P < 0,001$) kontrolliryhmää suurempaa. Voimaryhmän kasvu oli sekä lyhyellä ($P < 0,05$) että pitkällä ($P < 0,05$) aikavälillä yhdistettyä ryhmää suurempaa.

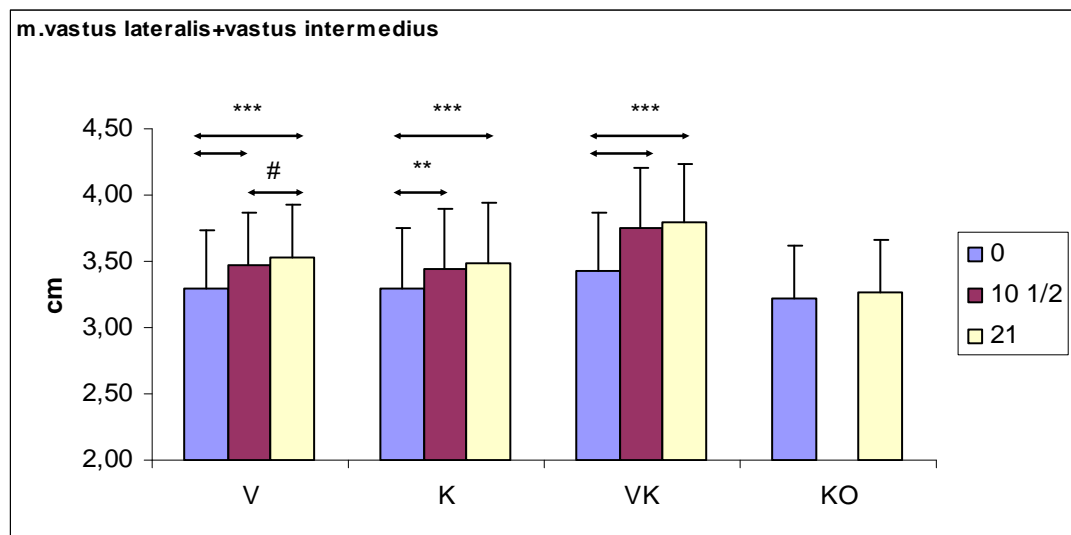


KUVA 19. Kyynärvarren koukistajan muutos% lihaspaksuudessa eri ryhmillä lyhyellä ja

pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen

verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Polven ojentaja, *m. vastus lateralis*+ *vastus intermedius*, VL+VI. Polven ojentajan lihakset paksuuntuivat kaikilla harjoitteluryhmillä sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä (kuva 20). Lyhyellä aikavälillä voima- 5,7 (4,3) % ja yhdistetyn ryhmän 10,3 (6,5) % kasvu oli merkitsevää ($P<0,001$). Kestävyysryhmällä kasvu oli 4,7 (6,5) % ($P<0,01$). Pitkällä aikavälillä kaikkien harjoitteluryhmien kasvu oli merkitsevää ($P<0,001$).

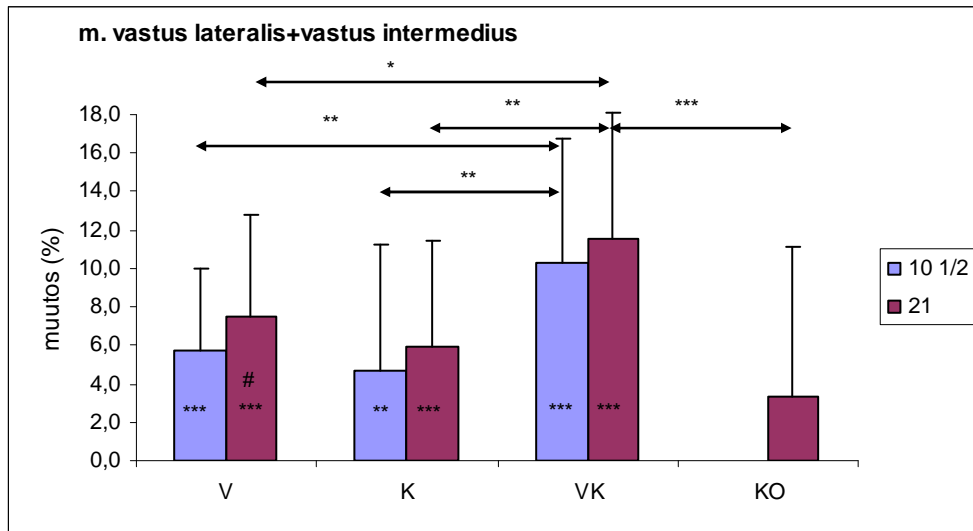


KUVA 20. Polven ojentajan (VL+VI) paksuus (cm) V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P<0,05$, ** $P<0,01$ ja *** $P<0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,

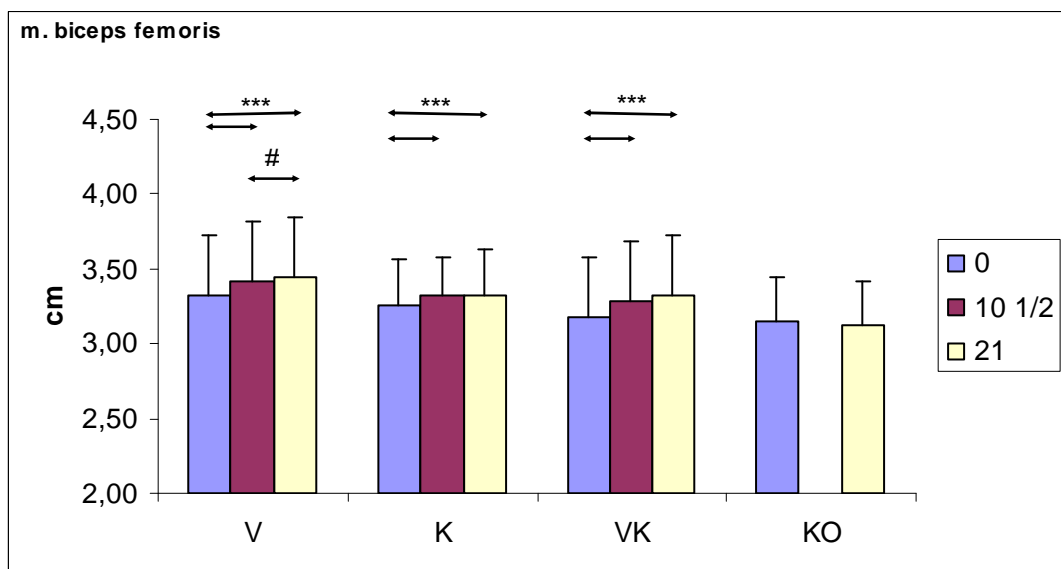
$P<0,05$, ## $P<0,01$ ja ### $P<0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Polven ojentajan kasvu oli yhdistetyllä ryhmällä merkitsevästi ($P<0,01$) suurempaa lyhyellä aikavälillä sekä voima- että kestävyysryhmään verrattuna. Myös pitkällä aikavälillä yhdistetyn ryhmän 11,5 (6,5) % kasvu oli voima- 7,5 (5,3) % ($P<0,05$), kestävyys- 6,0 (5,5) % ($P<0,01$) ja kontrolliryhmään 3,3 (7,8) % ($P<0,001$) verrattuna suurempaa (kuva 21).



KUVA 21. Polven ojentajan muutos% lihaspaksuudessa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

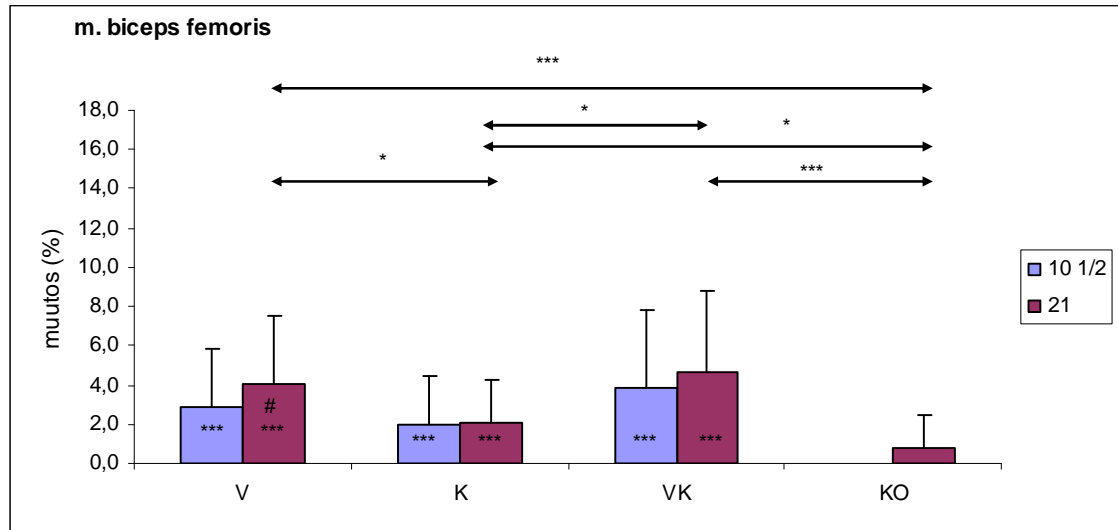
Polven koukistaja, *m. biceps femoris*, BF. Polven koukistaja paksuuntui kaikilla harjoitteluryhmillä merkitsevästi jo lyhyellä ($P < 0,001$) aikavälillä. Ainoastaan voimaryhmällä kasvu jatkui merkitsevästi ($P < 0,05$) myös jälkimmäisellä harjoittelupuolikkaalla. Loppumittauksissa voimaryhmän paksuus oli merkitsevästi ($P < 0,01$) kontrolliryhmää suurempi (kuva 22).



KUVA 22. Polven koukistajan (BF) paksuus (cm) V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

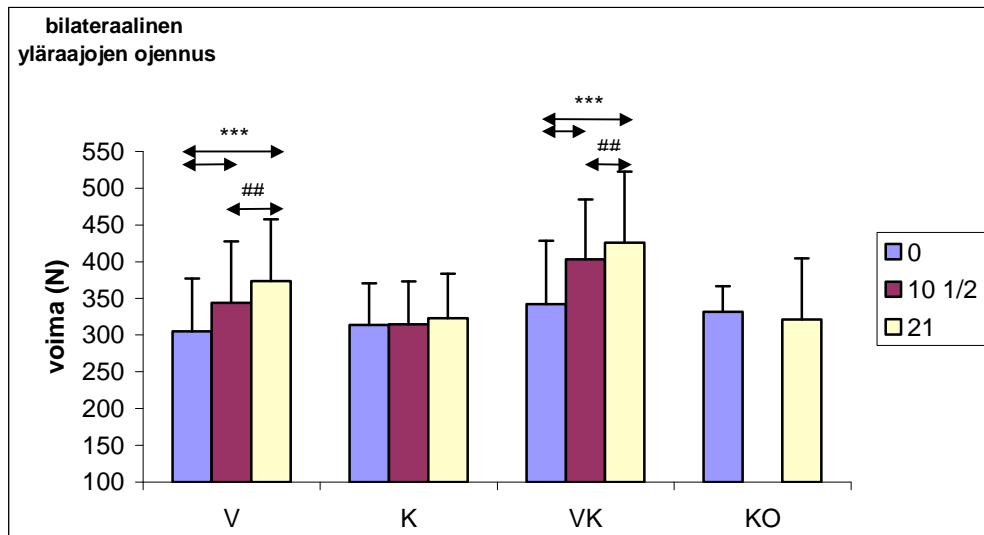
Polven koukistajan kasvussa ei ollut havaittavissa eroja lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä sekä voima- että yhdistetyn ryhmän kasvu oli kestävyysryhmän ($P<0,05$) ja kontrolliryhmän ($P<0,001$) kasvua suurempaa (kuva 23). Myös kestävyysryhmän kasvu oli kontrolliryhmän kasvua suurempi ($P<0,05$) pitkällä aikavälillä.



KUVA 23. Polven koukistajan muutos% lihaspaksuudessa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P<0,05$, ** $P<0,01$ ja *** $P<0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P<0,05$, ## $P<0,01$ ja ### $P<0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

8.2 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset ylä- ja alaraajan maksimivoimatuloksiin

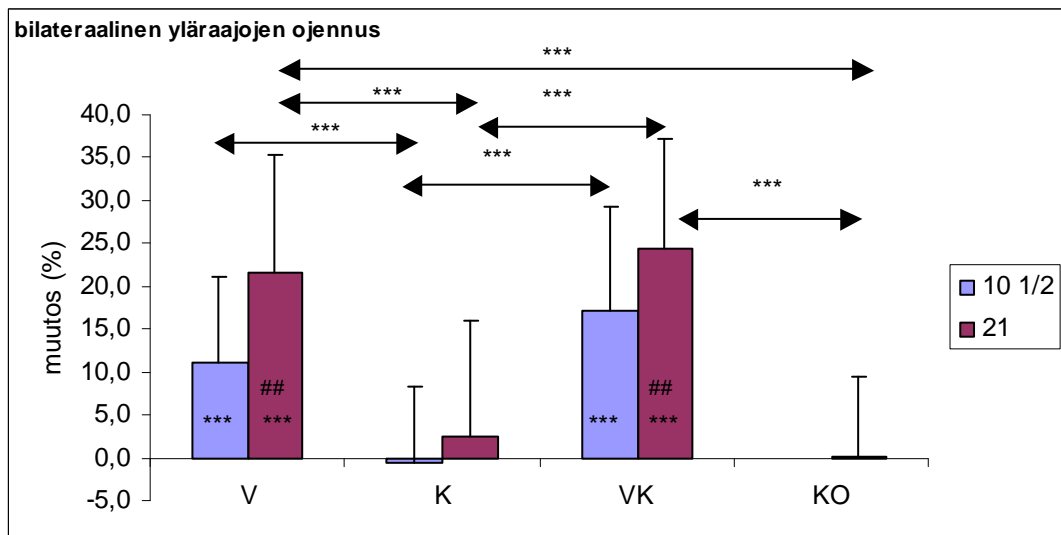
Bilateraalinen yläraajojen ojennus. Yläraajan ojentajien isometrinen maksimivoima parani 21 harjoitusviikolla merkitsevästi ($P<0,001$) voima- 22 (14) % ja yhdistetyllä ryhmällä 24 (13) %. Maksimivoimatasojen nousu ei ollut merkitsevää kestävyys- tai kontrolliryhmäläisillä. Sekä voima- että yhdistetyn ($P<0,001$) harjoitusryhmän isometrinen penkkipunnerrustulos parani merkitsevästi jo tutkimuksen ensimmäisellä puolikkaalla ja jatkui merkitsevänä ($P<0,01$) myös toisella puolikkaalla (kuva 24).



KUVA 24. Isometrinen bilateraalinen yläraajojen ojennus V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

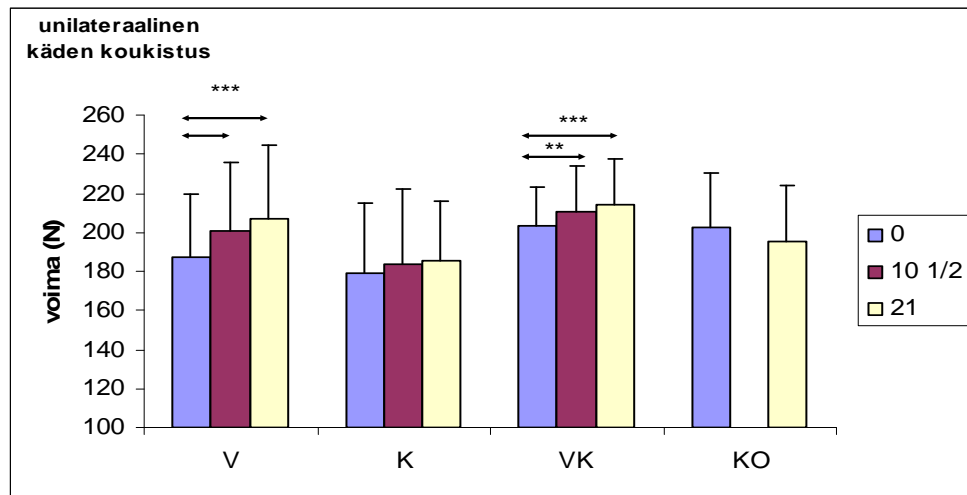
* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Voima- ja yhdistetyn ryhmän penkkipunnerrustuloksen kasvu ($P < 0,001$) oli sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä kestävyysryhmää merkitsevästi suurempaa. Molempien ryhmien kasvu ($P < 0,001$) oli myös kontrolliryhmän 0 (9) % kasvua suurempaa (kuva 25).



KUVA 25. Bilateraalisen yläraajojen ojennuksen muutos% isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

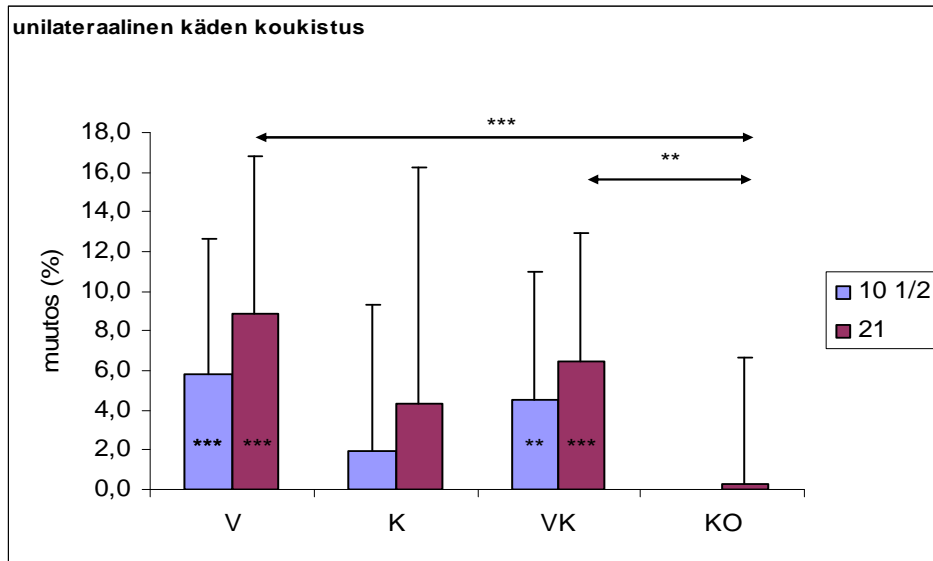
Unilateraalinen käden koukistus. Yläraajan koukistajan isometrinen maksimivoima parani voima- ja yhdistetyllä ryhmällä erittäin merkitsevästi ($P<0,001$) 21 harjoitusviikon aikana. Maksimivoimatasojen nousua ei havaittu kestävyysharjoittelijoilla tai kontrolliryhmäläisillä. Sekä voima- ($P<0,001$) että yhdistetyn ($P<0,01$) harjoitusryhmän isometrinen käden koukistus parani merkitsevästi jo tutkimuksen ensimmäisellä puolikkaalla (kuva 26).



KUVA 26. Unilateraalinen käden koukistus V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

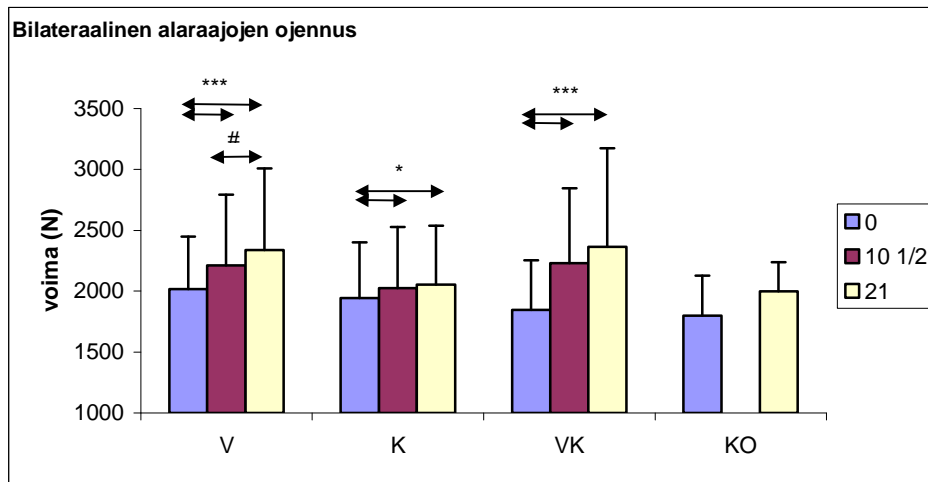
* $P<0,05$, ** $P<0,01$ ja *** $P<0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,
$P<0,05$, ## $P<0,01$ ja ### $P<0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Yläraajan koukistajan isometrisessä maksimivoimassa voimaryhmän tulos 9 (8) % kehittyi merkitsevästi kontrolliryhmää 0 (6) % enemmän ($P<0,001$). Myös yhdistetyn ryhmän kehitys 7 (7) % oli kontrolliryhmää suurempi ($P<0,01$) (kuva 27).



KUVA 27. Unilateraalisen käden koukistuksen muutos% isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Bilateraalinen alaraajojen ojennus. Alaraajan ojentajien isometrinen bilateraalinen maksimivoima kehittyi kaikilla harjoitusryhmillä sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.. Voimaryhmän (10 ½→21 vko) 12 (13) % → 18 (17) % ja yhdistetyn ryhmän 12 (11) % → 21 (23) % kehitys oli merkitsevää ($P < 0,001$) pitkällä aikavälillä. Myös kestävyysryhmän kehitys oli merkitsevää 7 (14) % → 9 (17) % ($P < 0,05$) 21 viikon harjoittelulla. Kaikissa edellä mainituissa ryhmissä alaraajojen isometrinen maksimivoima oli noussut merkitsevästi välimittauksiin mennessä ($P < 0,05-0,001$). Vain voimaryhmällä kehitys jatkui merkitsevästi ($P < 0,05$) myös harjoittelujakson jälkimmäisellä puolikkaalla (kuva 28).

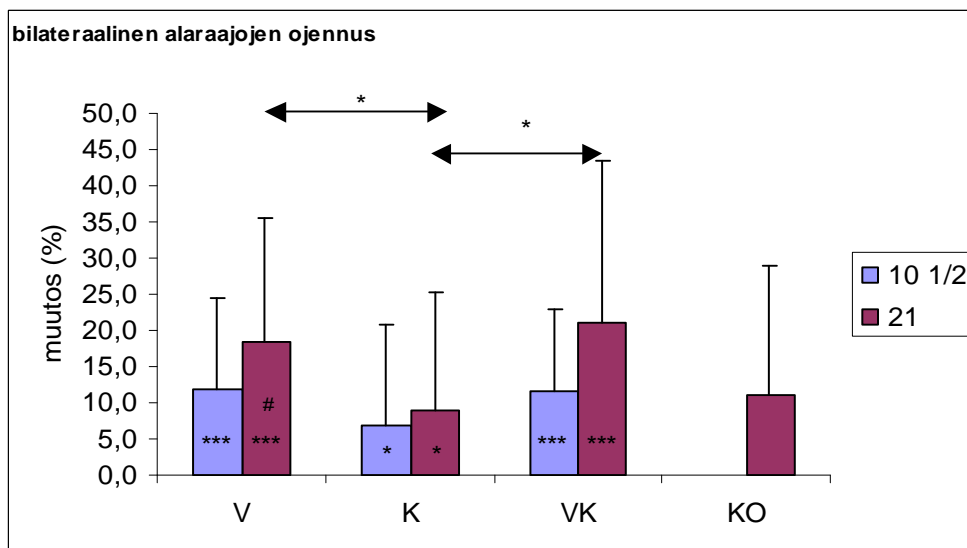


KUVA 28. Bilateraalinen alaraajojen ojennus V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,

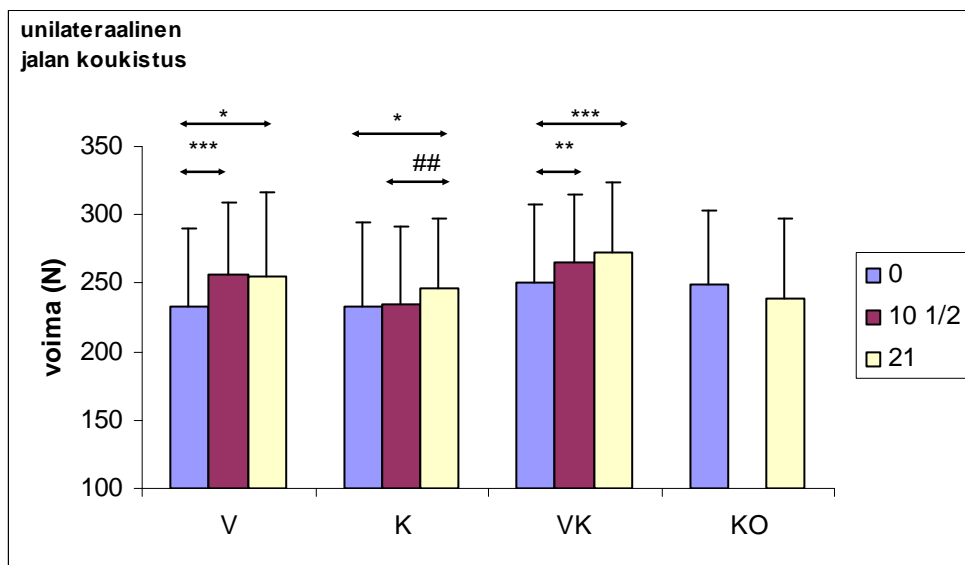
$P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Kuvasta 29 voidaan havaita voima- ja kestävyysryhmän isometrisen bilateraalisen alaraajojen ojennuksen kasvun olleen kestävyysryhmän kehitystä merkitsevästi ($P < 0,05$) suurempaa.



KUVA 29. Bilateraalisen jalan ojennuksen muutos% isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Unilateraalinen jalan koukistus. Unilateraalisen jalan koukistuksen maksimivoimassa kehitystä tapahtui jokaisella harjoitusryhmällä ($P < 0,05-0,001$). Voimaryhmällä suurin kehitys tapahtui jo harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla 12 (14) % ($P < 0,001$) kuten myös yhdistetyllä ryhmällä 7 (10) % ($P < 0,01$). Jälkimmäisellä puolikkaalla yhdistetyn ryhmän 10 (11) % polven koukistuksen kehitys jatkui, mutta ei merkitsevästi. Voimaryhmän tulos säilyi ennallaan (kuva 30). Kestävyysryhmällä merkitsevä kehitys 2 (13) \rightarrow 8 (14) % tapahtui vasta jälkimmäisellä harjoittelujaksolla ($P < 0,01$).

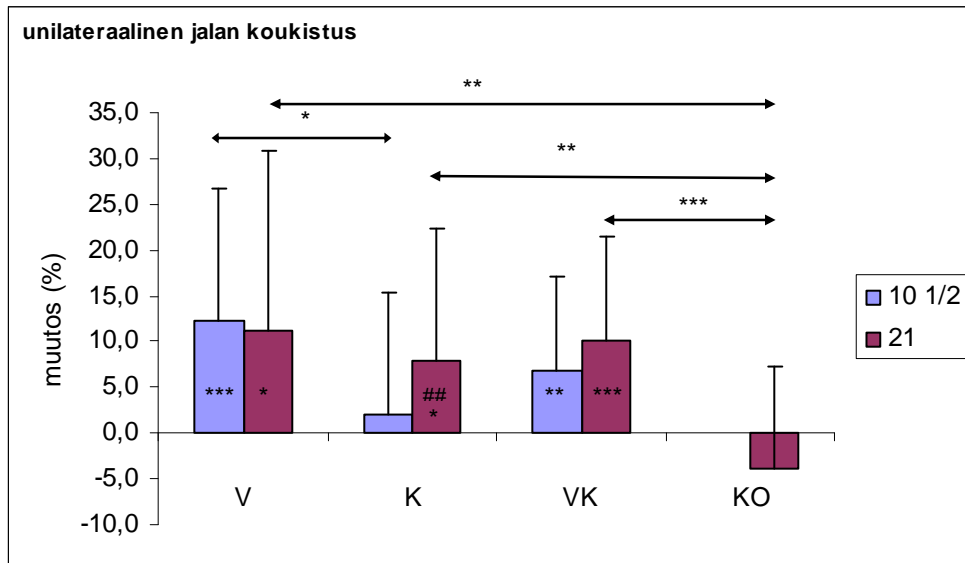


KUVA 30. Unilateraalinen jalan koukistus V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna,

$P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

Unilateraalisen jalan koukistuksen maksimivoimassa lyhyellä aikavälillä voimaryhmän kehitys oli kestävyysryhmän kehitystä suurempaa ($P < 0,05$). Pitkällä aikavälillä kaikkien harjoitusryhmien kehitys oli ($P < 0,001-0,01$) kehitys oli kontrolliryhmän kehitystä suurempaa (kuva 31).



KUVA 31. Unilateraalisen jalan koukistuksen muutos% isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

8.3 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset maksimaaliseen kestävyys suorituskykyyn

Kestävyys- ja yhdistetyn ryhmän suhteellisen (ml/kg/min) ja absoluuttisen (L/min) hapenottokyvyn arvot kasvoivat merkitsevästi 21 viikon harjoittelujaksolla (katso taulukko 5). Yhdistetyllä ryhmällä merkitsevä kasvu tapahtui jo harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla. Ainoastaan kestävyysryhmällä suhteellisen hapenottokyvyn arvo kasvoi myös harjoittelun jälkimmäisellä puolikkaalla ($P < 0,05$). Voimaryhmällä sekä suhteellinen että absoluuttinen maksimaalisen hapenottokyvyn arvo nousivat harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla ($P < 0,01$).

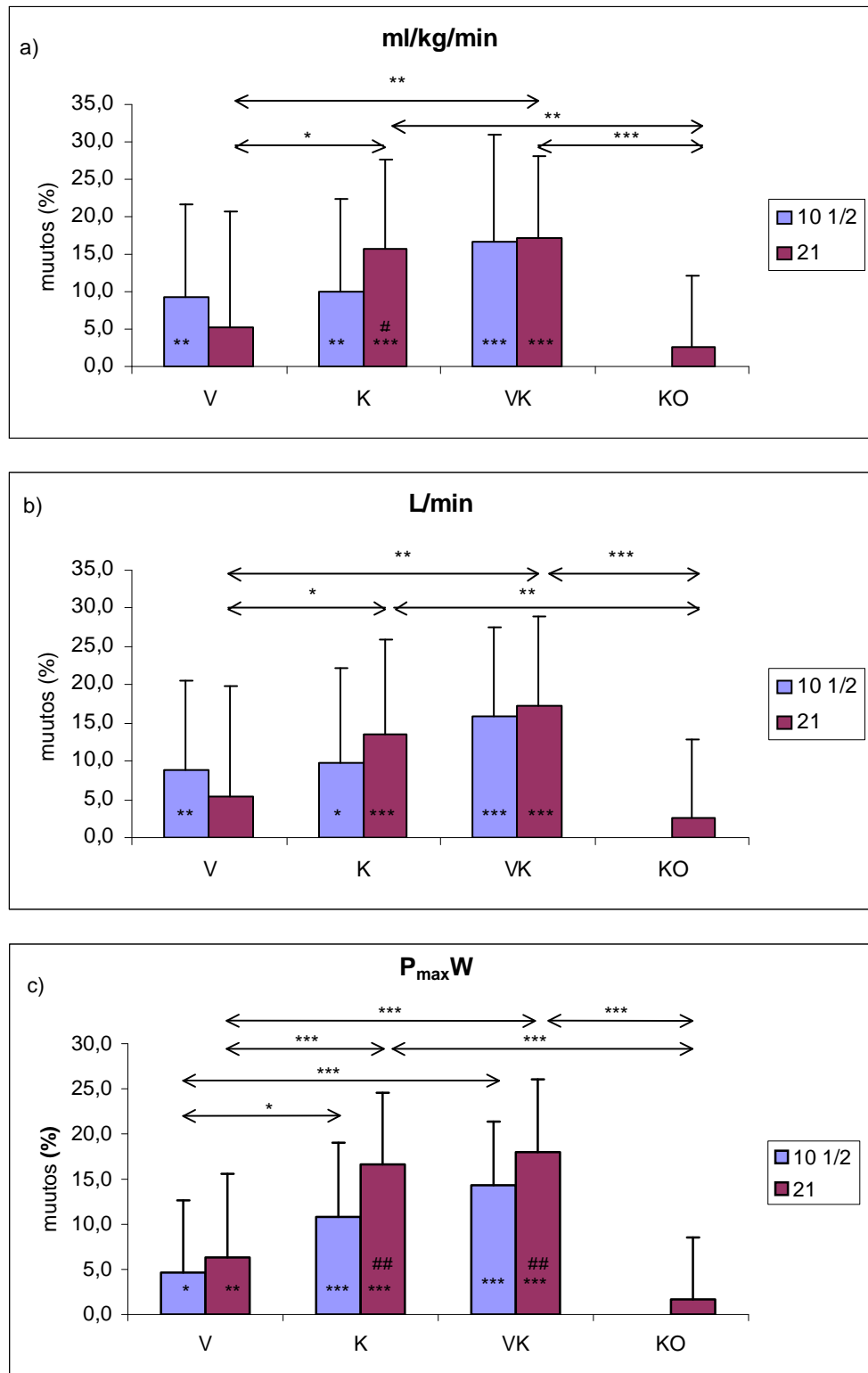
Maksimaalisen polkupyöräergometritestin maksimaalinen polkuteho (P_{max} , W) nousi merkitsevästi kaikilla harjoitusryhmillä 21 viikon harjoitusjakson aikana. Voimaryhmällä kehitys tapahtui ensimmäisellä harjoituspuolikkaalla. Kestävyys- ja yhdistetyllä ryhmällä kasvu jatkui merkitsevästi myös harjoittelun jälkimmäisellä puolikkaalla (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min ja L/min) ja maksimaalinen polkuteho ($P_{\max} W$) (keskiarvo \pm SD) 21 viikon aikana voima- (V, n=24), kestävyys- (K, n=22), yhdistetyllä (VK, n=22) ja kontrolliryhmällä (KO, n=17). * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ ja *** $P < 0,001$ merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, # $P < 0,05$, ## $P < 0,01$ ja ### $P < 0,001$ merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

	VO _{2max} ml/kg/min			VO _{2max} L/min			P _{max} W		
	0	10,5	21	0	10,5	21	0	10,5	21
V	26,2 \pm 5,3	28,6 \pm 5,1 **	27,3 \pm 5,0	1,76 \pm 0,38	1,95 \pm 0,32 **	1,83 \pm 0,35	154 \pm 32	163 \pm 31 *	163 \pm 31 **
K	26,3 \pm 5,0	28,4 \pm 5,6 **	30,0 \pm 4,3 *** #	1,83 \pm 0,36	1,97 \pm 0,38 *	2,05 \pm 0,35 ***	157 \pm 24	171 \pm 24 ***	182 \pm 21 *** ##
VK	26,8 \pm 5,3	30,7 \pm 4,4 ***	31,0 \pm 5,0 ***	1,79 \pm 0,33	2,05 \pm 0,34 ***	2,09 \pm 0,33 ***	154 \pm 24	174 \pm 24 ***	181 \pm 24 *** ##
KO	26,6 \pm 6,1		26,8 \pm 5,8	1,76 \pm 0,45		1,81 \pm 0,42	153 \pm 33		155 \pm 34

Ryhmien keskimääräiset (SD) muutosprosentit suhteellisessa (ml/kg/min) hapenottokyvyssä olivat alkua- ja loppumittauksen välillä yhdistetyllä 17 (11) %, kestävyys- 16 (12) % ja voimaryhmällä 5 (15) % ja tutkimuksen ensimmäisellä puolikkaalla 10 (12) %, 17 (14) % ja 9 (12) %. Absoluuttisessa (L/min) hapenottokyvyssä kasvu oli merkitsevää sekä kestävyys- (14 %) ja yhdistetyllä (17 %) ryhmällä. Pitkällä aikavälillä sekä yhdistetyn että kestävyysryhmän kasvu suhteellisessa (kuva 32a) ja absoluuttisessa hapenottokyvyssä (kuva 32b) oli merkitsevästi voima- ja kontrolliryhmää suurempaa. Voima- ja kontrolliryhmällä kasvu ei ollut 21 viikon aikana merkitsevää.

Maksimaalinen polkuteho kasvoi merkitsevästi kestävyys- ($P < 0,05$) ja yhdistetyllä ($P < 0,001$) ryhmällä voimaryhmää enemmän jo harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla. Molempien ryhmien kasvu oli merkitsevästi ($P < 0,001$) sekä voima- että kontrolliryhmää suurempaa 21 viikon harjoittelun aikana (kuva 32c).



KUVA 32. Maksimaalisen hapenottokyvyn a) ml/kg/min ja b) L/min sekä c) maksimaalisen polkutehon muutosprosentit 21 viikon aikana V-, K-, VK- ja KO-ryhmillä. *P<0,05, **P<0,01 ja ***P<0,001 merkitsevyystaso alkumittaukseen verrattuna, #P<0,05, ##P<0,01 ja ###P<0,001 merkitsevyystaso välimittaukseen verrattuna.

8.4 Hypertrofian ja maksimivoiman yhteydet

Alkumittauksessa koko koehenkilöjoukon alaraajan ojentajan (VL+VI) lihaspaksuuden ja isometrisen bilateraalisien alaraajojen ojennustuloksen välillä oli vahva yhteys ($r=0,397$; $P<0,01$; $n=91$). Samoin alaraajan koukistajan lihaspaksuus (BF) korreloi merkitsevästi isometriseen unilateraaliseen alaraajan koukistukseen ($r=0,317$; $P<0,01$; $n=91$). Edellä mainittujen lihaspaksuuksien ja voimatulosten välillä löytyi myös loppumittauksessa merkitsevä ($r=0,317$, $P<0,01$) korrelaatio (taulukko 6). Myös yläraajan ojentajan (TB) lihaspaksuuden ja isometrisen bilateraalisien yläraajojen ojennuksen välillä ($r=0,357$, $P<0,01$) sekä yläraajan koukistajan (BB) lihaspaksuuden ja unilateraalisen käden koukistuksen välillä oli loppumittauksessa merkitsevä yhteys ($r=0,232$, $P<0,05$).

TAULUKKO 6. Yläraajan ojentajan (TB, cm) ja koukistajan (BB) sekä alaraajan ojentajien (VL+VI, cm) ja koukistajan (BF) lihaspaksuuden ja isometrisen maksimivoiman (N) välinen yhteys, r , 21 viikon tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa, * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$.

			ALKU	LOPPU
TB	vs.	bilateraaliset yläraajojen ojennus	0,202	0,357 **
BB	vs.	unilateraalinen käden koukistus	0,026	0,232 *
VL+VI	vs.	bilateraaliset alaraajojen ojennus	0,397 **	0,394 **
BF	vs.	unilateraalinen polven koukistus	0,317 **	0,360 **

Koko koehenkilöjoukolla alkumittauksen alaraajan ojentajan lihaspaksuus ja isometrinen maksimivoima olivat yhteydessä ($r=0,397$, $P<0,01$) toisiinsa. Ryhmätasolla yhteys oli alkumittauksessa merkitsevä yhdistetyllä ($r=0,599$, $P<0,01$) ja voimaryhmällä ($r=0,422$, $P<0,05$). Voimaryhmällä merkitsevyys säilyi loppumittauksissa ($r=0,465$, $P<0,05$), kun taas yhdistetyllä ryhmällä merkitsevyys laski ($r=0,428$, $P<0,05$). Yhdistetyllä ryhmällä alaraajan koukistajan paksuuden ja unilateraalisen jalan koukistuksen välillä oli vain alkumittauksessa merkitsevä korrelaatio ($r=0,472$, $P<0,05$). Voimaryhmällä kahden edellä mainitun muuttujan välillä oli merkitsevä yhteys ($r=0,480$, $P<0,05$) vain loppumittauksessa. Taulukossa 7 on esitetty ylä- ja alaraajan ojentajien lihaspaksuuden yhteydet vastaavien lihasryhmien isometrisiin maksimivoimiin eri harjoitus- ja kontrolliryhmissä tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa. Edellä mainittujen muuttujien muutosprosenttien välille ei löytynyt

koko koehenkilöjoukon eikä yksittäisten harjoitusryhmien välille merkitseviä korrelaatioita missään mittapisteissä.

TAULUKKO 7. Yläraajan ojentajien (TB, cm) ja koukistajan (BB, cm) ja alaraajan ojentajien (VL+VI, cm) ja koukistajan (BF, cm) lihaspaksuuden ja isometrisen maksimivoiman (N) välinen yhteys, r (n), voima- (V), kestävyys- (K), yhdistetyssä (VK) ja kontrolliryhmissä (KO) 21 viikon tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa, *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

	Triceps brachii vs penkkipunnerrus		Biceps brachii vs hauiskääntö		Vastus lateralis+ inter- medius vs jalkaprässi		Biceps femoris vs takareisi	
	alku	loppu	alku	loppu	alku	loppu	alku	loppu
V	0,293	0,24	-0,45	0,176	0,422 *	0,465 *	0,289	0,480 *
K	0,262	0,420 *	0,113	0,283	0,349	0,341	0,332	0,369
VK	0,085	0,172	-0,049	0,179	0,599 **	0,428 *	0,472 *	0,356
KO	0,059	0,182	0,414	0,135	-0,199	-0,415	0,334	0,159

8.5 Hypertrofian yhteydet kestävyystuloksiin

Alkumittauksessa alaraajan ojentajan lihaspaksuuden (VL+VI) ja polkupyöräergometritestin maksimaalisen hapenottokyvyn (ml/kg/min ja L/min) ja maksimaalisen polkutehon (P_{max}) välillä oli merkitsevä korrelaatio ($P<0,01-0,001$) koko koehenkilöjoukolla (katso taulukko 8). Loppumittauksissa korrelaatiot olivat yhtä merkitseviä ($P<0,01-0,001$).

TAULUKKO 8. Alaraajan ojentajan (VL+VI, cm) lihaspaksuuden ja maksimaalisen hapenottokyvyn (ml/kg/min ja L/min) sekä polkutehon (W) välinen yhteys, r (n=86) 21 viikon tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa, *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

Vastus lateralis + vastus intermedius vs.					
ml/kg/min		L/min		P_{max} (W)	
alku	loppu	alku	loppu	alku	loppu
0,300 **	0,332 **	0,460 ***	0,453 ***	0,452 ***	0,409 ***

Alkumittauksessa alaraajan ojentajan (VL+VI) lihaspaksuus ja maksimaalisen hapenottokyvyn absoluuttinen arvo oli kestävyys- ($r=0,522$, $P<0,05$) ja

kontrolliryhmällä ($r=0,584$, $P<0,05$) merkitsevässä yhteydessä toisiinsa, kuten taulukko 9 osoittaa. Loppumittauksessa merkitsevä yhteys oli vain kestävyysryhmällä ($r=0,467$, $P<0,05$). Maksimaalisen hapenottoyvyn kehon painoon suhteutetun arvon ja lihaspaksuuden välillä ei ollut yhteyttä minkään ryhmän alku- eikä loppumittauksessa. Lihaspaksuuden ja maksimaalisen polkutehon välinen korrelaatio oli merkitsevä kestävyys- ($r=0,545$, $P<0,01$), voima- ($r=0,457$, $P<0,05$) ja yhdistetyllä ryhmällä ($r=0,506$, $P<0,05$) vain alkumittauksissa.

TAULUKKO 9. Alaraajan ojentajan (VL+VI, cm) lihaspaksuuden ja maksimaalisen hapenottoyvyn (L/min ja ml/kg/min) sekä polkutehon (W) välinen yhteys, r , voima- (V, $n=24$), kestävyys- (K, $n=22$), yhdistetyssä (VK, $n=22$) ja kontrolliryhmissä (KO, $n=17$) 21 viikon tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa, * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$.

	Vastus lateralis + vastus intermedius vs					
	VO _{2max} (L/min)		VO _{2max} (ml/kg/min)		P _{max} (W)	
	alku	loppu	alku	loppu	alku	loppu
V	0,292	0,366	0,168	0,245	0,457	0,386
K	0,522 *	0,467 *	0,287	0,266	0,545 **	0,281
VK	0,533 **	0,306	0,354	0,178	0,506 *	0,310
KO	0,584 *	0,469	0,440	0,286	0,391	0,389

Koko koehenkilöjoukolla alaraajan ojentajan (m. vastus lateralis + vastus intermedius) lihaspaksuuden muutoksen ja maksimaalisen suhteellisen (ml/kg/min) hapenottoyvyn muutoksen välillä oli merkitsevä korrelaatio ($r=0,321$, $P<0,01$). Myös alaraajan ojentajan ja maksimaalisen polkutehon välillä oli havaittavissa merkitsevä korrelaatio ($r=0,395$, $P<0,001$). Harjoitteluryhmistä ainoastaan yhdistetyn ryhmän alaraajan ojentajan (m. vastus lateralis + vastus intermedius) lihaspaksuuden muutoksen ja maksimaalisen suhteellisen (ml/kg/min) hapenottoyvyn muutoksen välillä oli merkitsevä korrelaatio ($r=0,660$, $P<0,001$). Muilla ryhmillä edellä mainittujen muuttujien muutosprosenttien välille ei löytynyt merkitseviä korrelaatioita. Myöskään alaraajan ojentajan (bilateraalin alaraajojen ojennus) isometrisen maksimivoimamuutosten (%) sekä kestävyysuorituskykyä (maksimaalinen hapenottoikyky ja maksimaalinen polkuteho) kuvaavien muuttujien muutosten (%) välillä ei havaittu merkitseviä korrelaatioita missään mittapisteissä.

9 POHDINTA

9.1 Tulosten yhteenveto

Voimaharjoittelu sai aikaan 21 viikon aikana merkitsevää kasvua sekä voima- että yhdistetyn ryhmän kaikissa mitatuissa lihaspaksuuksissa ja isometrisissä maksimivoimissa. Kestävyysharjoittelu puolestaan sai aikaan maksimaalisessa hapenottokyvyssä ja polkutehossa merkitsevää kasvua sekä kestävyys- että yhdistetyllä ryhmällä. Taulukkoon 9 on koottu tutkimuksen muuttujien muutokset (%) harjoitusryhmissä tutkimusajanjaksolla.

TAULUKKO 9. Muuttujien keskimääräiset muutosprosentit (%) harjoitusryhmittäin 21 viikon harjoitusjakson aikana (merkitsevät $P < 0,05-0,001$ muutokset tummennettuina).

	VOIMA	KESTÄVYYS	YHDISTETTY
m. triceps brachii (TB)	7,2	3,0	5,3
m. biceps brachii (BB)	10,1	0,1	6,7
m. vastus lateralis+vastus intemedius (VL+VI)	7,5	6,0	11,5
m. biceps femoris (BF)	4,0	2,1	4,6
Bilateraalinen yläraajojen ojennus	21,7	2,5	24,4
Unilateraalinen käden koukistus	8,9	4,3	6,5
Bilateraalinen alaraajojen ojennus	18,4	8,8	21,0
Unilateraalinen jalan koukistus	11,1	7,9	10,0
VO _{2max} (ml/kg/min)	5,3	15,7	17,1
VO _{2max} (L/min)	5,3	13,6	17,4
P _{max} (W)	6,3	16,6	18,0

Yläraajan ojentajassa sekä alaraajan ojentajassa ja koukistajassa lihaspaksuuden muutos oli merkitsevä kaikilla harjoitusryhmillä. Yläraajan koukistaja paksuuntui merkitsevästi vain voimaharjoitelleilla henkilöillä.

Yläraajojen isometrisissä voimatuloksissa parannusta havaittiin voima- ja yhdistetyn ryhmän henkilöillä. Alaraajojen voimatasot paranivat merkitsevästi kaikilla harjoitteluryhmillä.

Maksimaalinen hapenottookyky (ml/kg/min ja L/min) parani kestävyys- ja yhdistetyllä ryhmällä merkitsevästi ($P < 0,001$). Myös voimaryhmän hapenottookyky parani hieman, mutta ei merkitsevästi. Maksimaalinen polkuteho kasvoi kaikilla harjoitusryhmillä merkitsevästi.

9.2 Ylä- ja alaraajojen ojentajien ja koukistajien lihaspaksuudet

Yläraajan ojentajalihaksen keskimääräinen paksuus kasvoi koko tutkimusjaksolla voima- (7,2 %) ja yhdistetyllä ryhmällä (5,3 %). Abe ym. (2000) ovat raportoineet naisilla 12-21 % paksuuntumisen 12 viikon harjoitusjakson aikana. Merkitsevää paksuuntumista havaittiin jo viikolla kuusi. Cureton ym. (1988) tutkimuksessa (16 vko) naisten olkavarren lihaksissa havaittiin jopa 23 % poikkipinta-alan kasvua. Voima- ja yhdistetyllä ryhmällä havaittiin lihaksen paksuuntumista jo harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla (4,6 ja 4,0 %, $P < 0,001$) ja kehitys jatkui sekä voima- ($P < 0,01$) että yhdistetyllä ryhmällä ($P < 0,05$) myös toisella puolikkaalla. On mahdollista, että koventunut kestävyysharjoittelu vaikutti toisella puoliskolla häiritsevästi voiman kehittymiseen esim. väsymyksestä johtuvan voimaharjoitusten laadun heikkenemisen kautta. Kestävyysryhmän yläraajan ojentaja paksuuntui ($P < 0,05$) harjoittelun jälkimmäisellä puolikkaalla. Tämä voi johtua staattisesta pyörän tankoon nojaamisesta/tangon puristamisesta ja/tai harjoitusjaksolla työ- tai arkielämässä lisääntyneestä yläraajatyöstä ja/tai ultraäänimittaukseen liittyvästä mittausvirheestä.

Yläraajan koukistajassa voima- ja yhdistetyn ryhmän kasvut olivat hyvin samankaltaisia koko tutkimusjakson ajan. Ensimmäisellä puolikkaalla molempien ryhmien kasvu oli erittäin merkitsevää ($P < 0,001$) ja kasvu jatkui yhtä merkitsevänä toisella puolikkaalla. Izquierdo ym. (2005) suorittamassa yhdistelmäharjoittelututkimuksessa miesten yläraajan koukistaja paksuuntui voimaryhmällä 9 %, kun yhdistelmä- ja kestävyysryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia 16 viikon mittaisen harjoittelujakson aikana.

Alaraajan ojentajalihasten (VL+VI) yhteispaksuus kasvoi voima- (7,5 %), kestävyys- (6 %) ja yhdistetyllä ryhmällä (11,5 %). Abe ym. (2000) tekemässä

voimaharjoittelututkimuksessa (12 vkoa) lihaspaksuus lisääntyi naisilla 7-9 %, kun taas Curetonin ym. (1988) eivät havainneet merkitsevää kasvua alaraajan ojentajassa (2,9%). Yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun tutkimuksissa (21 vkoa) nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi miehillä merkitsevästi voima- (14 %) kestävyys- (10%) ja yhdistelmäryhmissä (12 %) (Izquierdo ym. 2005). Samankaltaisia tuloksia ovat saaneet Mikkola ym. (2004) ja Häkkinen ym. (2003) voima- (6/6%), kestävyys- (2/-%) ja yhdistelmäryhmillä (11/9%). Pyöräillen tehty kestävyysharjoittelu riitti aikaansaamaan naisilla alaraajan ojentajan lihaspaksuuden kasvua. Mikkola ym. (2004) on todennut saman tutkimuksessaan, jossa miesten alaraajan ojentajalihaksen paksuuntui pelkällä pyöräilyharjoittelulla 2 % ($P < 0,05$). Yhdistelmäryhmällä pyöräillen tehty kestävyysharjoittelu, varsinkin kovempitehoinen vauhti- ja maksimikestävyysharjoittelu, mahdollisesti edesauttoi alaraajan ojentajan hypertrofiaa, koska kasvu oli merkitsevästi kestävyys- ($p < 0,01$) ja jopa voimaryhmää suurempaa ($P < 0,05$).

Kaikilla harjoitusryhmillä havaittiin alaraajan koukistajan paksuuntumista jo ensimmäisellä harjoittelupuolikkaalla. Ainoastaan voimaryhmän kasvu oli merkitsevää ($P < 0,05$) myös jälkimmäisellä puolikkaalla. Kokonaisuudessaan kasvu oli voima- (4,0%), kestävyys- (2,1%) ja yhdistetyllä ryhmällä (4,6 %) merkitsevää ($P < 0,001$). Aikaisemmassa tutkimuksessa (14 vko) naisten hamstring-lihasryhmän keskimääräinen paksuus kasvoi merkitsevästi (Starkey ym. 1996).

Alaraajan lihaspaksuuden muutokset tapahtuivat pääosin tutkimuksen alkupuoliskolla. Ainoastaan voimaryhmällä kasvu jatkui progressiivisesti koko tutkimuksen ajan, toisin kuin yläraajassa, jossa lihaspaksuus kasvoi merkitsevästi myös harjoittelun jälkimmäisellä puolikkaalla. Naisilla usein yläraajan lihakset ovat suhteellisesti alaraajojen lihaksia heikommat, jolloin yläraajan lihaksissa voi olla alaraajojen lihaksistoa enemmän kehittämisen varaa. Myös ravinnolla on voinut olla vaikutusta hypertrofisiin muutoksiin. Ilman positiivista energiatasapainoa ja riittävää proteiinien saantia voi hypertrofian aste jäädä pieneksi (Pearson 1990).

Yleisesti hyväksytyt ja usein tutkimuksin laadukkaiksi todistetut mittauspisteiden määrityskriteerit ja kuvitetut mittausohjeet maksimoisivat lihaspaksuuden ultraäänimittausten validiteettia ja reliabiliteettia. Näiden kriteerien avulla olisi

mahdollista selkeimmän mittauskohdan löytäminen koehenkilöiltä. Mittaustarkkuus voi kärsiä myös mittaajasta, mitattavasta, olosuhteista tai mittauslaitteista johtuvista syistä.

9.3 Ylä- ja alaraajojen ojentajien ja koukistajien maksimaaliset isometriset voimatulokset

Voimaharjoittelu sai aikaan merkitsevää ($P < 0,001$) kehitystä sekä voima- että yhdistetyllä ryhmällä yläraajan ojentajan isometrisessä maksimivoimassa jo lyhyellä aikavälillä, jonka jälkeen kehitys jatkui progressiivisesti ($P < 0,01$) myös harjoittelun toisella puolikkaalla. Koko 21 viikon harjoittelun aikana yhdistetyllä ryhmällä (24,4 %) kehitys oli jopa hieman voimaryhmän (21,7 %) kehitystä suurempaa, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Tätä yhdistetyn ryhmän kehitystä on saattanut edesauttaa staattinen pyörän tankoon nojaaminen ja/tai sen puristaminen. Aiemmissä tutkimuksissa miesten penkkipunnerruksen 1 RM tulokset ovat parantuneet voima- ja yhdistetyllä ryhmällä 18 % (10 vko) (McCarthy ym.1995) ja 37 ja 15 % ($P < 0,001$) (21 vko) (Izquierdo ym. 2005), kun taas naisilla vastaavat lukemat ovat LeMuran ym. (2000) tutkimuksessa (16 vko) 29 ja 19 %. Abe ym. 2000 suorittamassa voimaharjoittelututkimuksessa naisten bilateraalisen yläraajojen ojennuksen 1 RM-tulos parantui jopa 40 %. Bell ym. (1997) raportoivat naisilla harjoittelun (3 krt/vko, 16 vko) saaneen aikaan voimaryhmällä jatkuvan merkitsevän kasvun ($P < 0,05$), kun taas yhdistetyllä (3+3 krt/vko) ryhmällä merkitsevä ($P < 0,05$) kasvu havaittiin vasta viikon 12 jälkeen.

Voima- ja yhdistetyn ryhmän unilateraalisen käden koukistuksen isometrisen maksimivoiman kasvu oli merkitsevää ($P < 0,001$). Myös Macaluso ym. (2000) ovat havainneet naisilla merkitsevän ($P < 0,001$) kasvun yläraajan koukistajalihaksessa. Voimaryhmän kasvu 8,9 % oli hieman yhdistetyn ryhmän kasvua 6,5 % suurempaa, mutta ei tilastollisesti merkitsevää. Yläraajan unilateraalisen käden koukistuksen maksimivoiman kasvu jäi sekä voima- (8,9 % vs 21,7 %) että yhdistetyllä ryhmällä (6,5 % vs 24,4 %) yläraajan bilateraalista käden ojennuksen maksimivoiman kasvua pienemmäksi. Tämä ero selittyy voimaharjoittelusta, jossa naiset suorittivat yläraajan

ojentajalle kaksi erillistä voimaharjoitetta/harjoituskerta, kun taas yläraajan koukistajaa harjoitettiin vain yhdellä liikkeellä/harjoituskerta.

Kaikkien harjoitusryhmien bilateraalisen alaraajojen ojennuksen isometrinen maksimivoima parani 21 viikon harjoittelulla merkitsevästi ($P < 0,05-0,001$). Yhdistelmäryhmän (21 %) alaraajojen isometrisen maksimivoiman kasvu oli voimaryhmän kasvua (18,4 %) suurempi. Sekä voima- että yhdistetyn ryhmän muutokset olivat kestävyysryhmää suurempia ($P < 0,05$). Starkey ym. (1996) raportoivat voimaharjoittelun nostaneen alaraajojen isometrinen maksimivoimaa miehillä 19 % ja Abe ym. (2000) miehillä ja naisilla 27 %. Yhdistelmäharjoittelututkimuksissa miesten voima- ja yhdistetyn ryhmien muutokset olivat samankaltaisia tulosten ollessa 21 ja 22 % (Häkkinen ym. 2003, 21 vko) ja 23 ja 22 % (McCarthy ym. 1995, 10 vko), kun taas naisten vastaavat muutokset ovat olleet miesten kaltaisia 38 ja 25 % (LeMura ym. 2000, 16 vko). Myös Bell ym. (1997) ja Bell ym. (2000) havaitsivat voima- ja yhdistetyn harjoittelun saavan aikaan naisilla samankaltaista voimatasojen kasvua. Tässä tutkimuksessa pyöräilyharjoittelun lisääminen voimaharjoittelun rinnalle aikaansai keski-ikäisillä naisille suurimman voimankehityksen. Yhdistelmäryhmän suurinta voimankehitystä voitaneen selittää sekä voimaharjoittelun että pyöräillen tehdyn kestävyysharjoittelun yhteisesti aikaansaamalla alaraajojen ojentajien kuormituksella.

Voima- (11,1 %) ja yhdistetty (10 %) harjoittelu sai aikaan samankaltaista voiman kasvua myös unilateraalisisessa isometrisessä jalan koukistuksen maksimivoimassa. Myös kestävyysryhmän kasvu oli merkitsevää ($P < 0,05$). Voima- ja yhdistetyn harjoittelun aikaansaama kasvu tapahtui lähinnä harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla, kun taas kestävyysharjoittelijoilla kasvu tapahtui vasta harjoittelun jälkimmäisellä puolikkaalla. Tämä mahdollisesti johtui kestävyysharjoittelijoiden polkimen pyörittämisen oppimisesta ja tehostumisesta ja näin ollen tehokkaammasta takareiden lihaksiston käytöstä pyöräillessä.

Voima- ja yhdistetyillä ryhmillä alaraajojen maksimivoimatasot nousivat koko harjoitusjakson aikana, vaikkakin suurin kasvu tapahtui jo harjoittelun ensimmäisellä puolikkaalla, kuten LeMuran ym. (2000) tekemässä tutkimuksessa. Hicksonin vuonna 1980 kuvaamaa alaraajojen kestävyysharjoittelun aikaansaamaa voiman kehittymisen häiriintymistä ei tässä alhaisen harjoittelumäärän (2+2 krt/vko) tutkimuksessa havaittu.

Voimaharjoittelutapa vaikuttaa mitattuihin maksimivoimatuloksiin eli dynaamisesti suoritettu harjoittelu kehittää parhaiten dynaamisesti mitattujen suoritusten maksimivoimaa. Koska tässä tutkimuksessa harjoittelu suoritettiin dynaamisesti voi olla, etteivät voimaharjoittelun aikaansaamat muutokset välttämättä tulleet täysin isometrisissä testeissä esille.

9.4 Maksimaalinen kestävyysuorituskyky

Maksimaalista hapenottokykyä kuvaavat muuttujat (ml/kg/min, L/min ja $P_{\max}W$) kasvoivat merkitsevästi ($P < 0,001$) ja samankaltaisesti kestävyys- (15,7/13,6/16,6 %) ja yhdistetyllä ryhmällä (17,1/17,4/18,0 %) koko harjoittelujakson aikana. Kuitenkaan harjoitusryhmien välillä kasvussa ei ollut merkitsevää eroa. Harjoittelun ensimmäisen puolikkaan kevyt kestävyysharjoittelu paransi yhdistetyn ryhmän maksimaalista hapenottoa ja polkutehoa jälkimmäistä puolikasta enemmän. Kestävyysryhmällä merkitsevää kehitystä tapahtui myös jälkimmäisellä kovempitehoisella puolikkaalla. Voimaharjoittelu ei näyttänyt haittaavan maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymistä yhdistelmäryhmällä kestävyysryhmään verrattuna. Samankaltaisia tuloksia ovat saaneet myös miehillä Dudley & Djamil (1985) ja Häkkinen ym. (2003) sekä Bell ym. (2000) naisilla.

Voimaharjoittelijoiden maksimaalinen hapenottokyky ei kasvanut tässä tutkimuksessa merkitsevästi. Myös Hickson (1980) ja McCarthy ym. (1995) miehillä sekä Bell ym. (2000) naisilla ovat todenneet tutkimuksissaan saman.

Maksimaalisen hapenottokyvyn avulla arvioidaan verenkierto- ja hengityselimistön kykyä kuljettaa happea ja lihasten kykyä käyttää tämä kuljetettu happi hyödyksi. Polkuteho kuvaa myös lihaskuntoa. Usein maksimaalinen polkupyörätesti päättyy jalkojen uupumiseen, vaikka hengitys- ja verenkiertoelimistön puolesta suoritusta pystyttäisiin vielä jatkamaan. Tällöin jalkojen voimataso on suoritusta rajoittava tekijä. Tämä on asia joka tulee huomioida sekä maksimaalisen hapenottokyvyn testin tuloksia tulkittaessa sekä yksilöllisiä harjoitusohjeita laadittaessa.

9.5 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta yhdistetyn harjoittelun olevan tehokkainta, kun halutaan kehittää sekä voima- että kestävyysominaisuuksia keski-ikäisillä naisilla. Harjoittelufrekvenssi 2+2 krt/vko tämän tutkimuksen tulosten mukaan sai aikaan jopa selkeämpiä muutoksia kestävyys- ja voimaominaisuuksissa kuin pelkkä voima- tai kestävyysharjoittelu. Tällaisella matalafrekvenssisellä harjoittelulla kestävyysharjoittelu ei häiritse voimaominaisuuksien kehittymistä eikä harjoittelun kokonaisuormitus näyttäisi tulevan liian suureksi, jonka seurauksena ominaisuuksien kehittyminen jäisi pelkän voima- tai kestävyysharjoittelun aikaansaamia spesifejä kehityksiä pienemmiksi.

Suuret keskihajonnat kaikissa muuttujissa alkumittauksissa on merkki yksilöllisistä eroista. Myös eri mittapisteiden suuret keskihajonnat ovat merkki yksilöllisistä eroista eri ominaisuuksien harjoitettavuudessa. Lihaspaksuuden, maksimivoiman ja maksimaalista kestävyys suorituskykyä kuvaavien muuttujien kehittymiseen vaikuttavat yksilöllisesti mm. perinnölliset tekijät, ikä, harjoitustausta, hormonaaliset tekijät, itse harjoittelu, ravinnonsaanti ja tutkittavan motivaatio. Tästä syystä myös kunto- ja terveysliikunnan ohjelmoinnissa tulisi ottaa huomioon yksilö ja yksilöllisyys.

Lihaspaksuuden kasvua havaittiin kaikilla harjoitusryhmillä alaraajoissa. Kestävyysryhmän pyöräilyharjoittelu sai aikaan lihaspaksuuden kasvua alaraajoissa sekä yläraajan ojentajassa ja yhdistetyllä ryhmällä kestävyysharjoittelu jopa edesauttoi alaraajan ojentajan paksuuntumista. Kestävyysharjoittelun lisääminen voimaharjoittelun rinnalle sai aikaan yhdistetyllä ryhmällä yläraajan ojentajien ja alaraajan ojentajien maksimivoimatasojen nousun jopa voimaryhmän maksimivoimatasojen nousua suuremmiksi. Kestävyysharjoittelullakin voidaan siis vaikuttaa alaraajojen maksimivoima-arvoihin valitsemalla sopiva harjoitustapa. Macaluso ym. (2003) ovat todenneet saman naisilla suoritettussa tutkimuksessaan, jossa harjoittelu suoritettiin polkupyöräergometrein.

Ensimmäisen harjoituspuolikkaan kevyt kestävyysharjoittelu (30-60 min) paransi aiemmin säännöllistä liikuntaa harrastamattomien naisten hapenottokykyä määrällisesti

ja laadullisesti kovempaa loppupuolikasta enemmän. Alkuvaiheessa kestävyysharjoittelun ei tarvitse olla frekvenssiltään, voluumiltaan ja intensiteetiltään kovaa selkeiden muutosten aikaansaamiseksi. Voimaharjoituskertojen lisääminen kestävyysharjoituskertojen lisäksi eivät häirinneet yhdistetyn ryhmän kestävyys suorituskyvyn kehittymistä.

Lihaspaksuutta, maksimivoimaa sekä maksimaalista kestävyys suorituskykyä arvioitaessa yhdistetyllä harjoittelulla oli positiivisimmat vaikutukset. Yhdistetyn ryhmän lihaspaksuus ja maksimivoimatasot kehittyivät voimaryhmän kaltaisesti sekä kestävyys suorituskykyä kuvaavat muuttujat jopa hieman kestävyysryhmää paremmin. Kaksi viikoittaista voima- ja kestävyys harjoitusta kehitti sekä voimaa että kestävyyttä aiemmin liikuntaa säännöllisesti harrastamattomilla keski-ikäisillä naisilla pelkän voima- ja kestävyys harjoittelun tavoin. Kuitenkin jatkuvan kehityksen takaamiseksi on pidemmällä aikavälillä harjoittelun kokonaiskuormitusta nostettava uudelle tasolle. Koska keho adaptoituu harjoittelun vaatimalle tasolle, on kuormitusta nostettava frekvenssiä, intensiteettiä tai molempia nostamalla.

LÄHTEET

- Abe, T., DeHoyos, D.V., Pollock, M.L. & Garzarella, L. 2000. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology* 81, 174-180.
- Abernethy, P.J. & Quigley, B.M. 1993. Concurrent strength and endurance training of the elbow flexors. *J Strength and Cond Res* 7, 234-240.
- Ahtiainen, J., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. 2003. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol* 89, 555-563.
- Antonio, J. & Gonyea, W.J. 1993. Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Med Sci Sports Exerc* 25 (12), 1333-1345.
- Appell, H.J., Forsberg, S. & Hollmann, W. 1988. Satellite cell activation in human skeletal muscle after training: evidence for muscle fiber neof ormation. *Int J Sports Med* 9, 297-299.
- Bassett, D.R. & Howley, E.T. 1999. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32 (1), 70-84.
- Bell, G., Peterson, S., Wessel, J., Bagnell, K. & Quinney, H.A. 1991. Physiological adaptations to concurrent endurance and low velocity resistance training. *Int J Sports Med* 4, 384-390.
- Bell, G., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean I. & Quinney, H.A. 1997. Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *J Strength Cond Res* 11, 57-64.
- Bell, G.J., Syrotuik, D., Martin, T.P., Burnham, R. & Quinney, H.A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and

- hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology* 81 (5), 418-427.
- Biolo, G., Tipton, K.D., Klein, S. & Wolfe, R.R. 1997. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *American Journal of Physiology*, 273, 122-129.
- Bischoff, R. 1989. Analysis of muscle regeneration using single myofibers in culture. *Med Sci Sports Exerc* 21 (S), 164-172.
- Borg, P. 2004. Palautuminen raskaasta liikunnasta. Teoksessa *Liikkujan ravitseminen – teoriasta käytäntöön*, Borg, P., Fogelholm, M. & Hiilloskorpi, H. (toim.). Helsinki: Edita Prima Oy, 277-298.
- Brown, A.B., McCartney, N., Moroz, D., Sale, D. & MacDougall, J.D. 1988. Strength training effects in aging. *Med Sci Sports Exerc* 20 (S), 80-86.
- Bunt, J.C., Boileau, R.A., Bahr, J.M. & Nelson, R.A. 1986. Sex and training differences in human growth hormone levels during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 61, 1796-1801.
- Campos, G.E.R., Luecke, T.J., Wendeln, H.K., Toma, K., Hagerman, F.C., Murray, T.F., Ragg, K.E., Ratamess, N.A., Kraemer, W.J. & Staron, R.S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 88, 50-60.
- Clausen, J.P. 1977. Teoksessa: *Human Circulation*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Cunningham, D.A., Grimmon, D. & Vlach, L.F. 1979. Cardiovascular response to interval and continuous training in women. *European Journal of Applied Physiology* 41, 187-197.

- Cureton, K.J., Collins, M.A., Hill, D.W. & McElhannon, F.M. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (4), 338-344.
- Deschenes, M.R., Kraemer, W.J., Maresh, C.M. & Crivello, J.F. 1991. Exercise-induced hormonal changes and their effects upon skeletal muscle tissue. *Sports Medicine* 12 (2), 80-93.
- Docherty, D. & Sporer, B. 2000. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med* 30 (6), 385-394.
- Dudley, G.A. & Djamil, R. 1985. Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *JAppl Physiol* 59, 1446-1451
- Fry, A.C. 2004. The role of resistance exercise intensity on muscle fiber adaptations. *Sports Med* 34 (10), 663-679.
- Goldspink, G. 1992. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. Teoksessa: Komi, P.V. (toim) *Strength and power in sport*. Blackwell Scientific, Boston.
- Gonyea, W.J., Sale, D., Gonyea, F. & Mikesky, A. 1986. Exercise induces increases in muscle fiber numbers. *Eur Appl Physiol* 55, 137-141.
- Hawke, J. & Gerry, D.J. 2001. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *JAppl Physiol* 91, 534-551
- Hickson, R.C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45, 255-263.
- Holloszky, J. & Coyle, E. 1984. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56 (4), 831-838.

- Hunter, G., Demment, R. & Miller, D. 1987. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J of Sports Medical Physiological Fitness* 27, 269-275.
- Hunter, G.R., McCarthy, J.P. & Bamman, M.M. 2004. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 34 (5), 329-348.
- Huuhka, N. 2005. Voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutukset lihashypertrofiaan, maksimivoimaan ja maksimaaliseen hapenotto kykyyn keski-ikäisillä ja ikääntyvillä miehillä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu –tutkielma.
- Häkkinen, K. 1994. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 63, 161-198.
- Häkkinen, K. 2002. Training-specific characteristics of neuromuscular performance. Teoksessa *Strength Training for Sport*, Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. (toim.). Blackwell Science, 20-36.
- Häkkinen, K. 2004. Neuromuscular adaptations during strength training and concurrent strength and endurance training. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland. Sorres Conference 2004.
- Häkkinen, K., Komi, P.V. & Alen, M. 1985. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125 (4), 587-600.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kyröläinen, H, Cheng, S., Kim, D.H. & Komi, P.V. 1990. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *Int J Sports Med* 11, 91-98.
- Häkkinen K., Pakarinen A.& Kallinen, M. 1992. Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short term intensive strength training. *Eur J of Appl Phys* 64, 106-111.

- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1993. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy exercise protocols in male strength athletes. *J of Appl Phys* 74, 882-887.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1995. Acute hormonal response to heavy resistance loading in men and women at different ages. *Int J of Sports Med* 16, 507-513.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W.J., Häkkinen, A., Valkeinen, H. & Alen, M. 2001. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology* 91, 569-580.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J of Appl Phys* 89, 42-52.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibanez, J., Anton, A., Garrues, M., Ruesta, M. & Gorostiaga, E.M. 2003. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J Strength Conditioning Res* 17 (1), 129-139.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibáñez, J., Kraemer, W.J. & Gorostiaga, E.M. 2005. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J of Appl Phys* 94, 70-75.
- Jones, A.M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 29 (6), 373-386.
- Kadi, F. 2000. Adaptation of human skeletal muscle to training and anabolic steroids. *Acta Physiologica Scandinavica* 168 (Supplementum 646).

- Kaljuma, U., Hänninen, O. & Airaksinen, O. 1994. Knee extensor fatigability and strength after bicycle ergometer training. *Arch Phys Med Rehabil* 75 (5), 564-567.
- Kanaley, J.A., Weltman, J.Y., Veldhuis, J.D., Rogol, A.D., Hartman, M.L. & Weltman, A. 1997. Human growth hormone response to repeated bouts of aerobic exercise. *J of Appl Phys* 83, 1756 -1761.
- Kraemer, W.J., Marchitelli, L., McCurry, D., Mello, R., Dziados, J.E., Harman, E., Frykman, P., Gordon, S.E. & Fleck, S.J. 1990. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise. *J of Appl Phys* 69, 1442-1450.
- Kraemer, W.J., Fleck, S.J., Dziados, J.E., Harman, E.A., Marchitelli, L.J., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A.C. 1991. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12; 228-235.
- Kraemer, W.J., Fry, A.C., Warren, B.J., Stone, M.H., Fleck, S.J., Kearney, J.T., Conroy, B.P., Maresh, C.M., Weseman, C.A., Triplett, N.T. & Gordon, S.E. 1992. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med* 13;103-109.
- Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K., Newton, R.U., Triplett, N.T. & Dziados, J.E. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J of Appl Phys* 78, 976-989.
- Kraemer, W.J., Staron, R.S., Hagerman, F.C., Hikida, R.S., Fry, A.C., Gordon, S.E., Nindl, B.J., Gotshalk, L.A., Volek, J.S., Marx, J.O., Newton, R.U. & Häkkinen, K. 1998. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J of Appl Phys* 78, 69-76.
- Kraemer, W.J., Häkkinen, K., Newton, R.U., Nindl, B.C., Volek, J.S., McCormick, M., Gotshalk, L.A., Gordon, S.E., Fleck, S.J., Campbell, W.W., Putukian, M. & Evans,

- W.J. 1999. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J of Appl Phys*, 87 (3); 982-992.
- Larsson, L. & Tesch, P. 1986. Motor unit fibre density in extremely hypertrophied skeletal muscles in man. *European Journal of Applied Physiology* 55 (2), 130-136.
- Lemon, P.W.R. 2000. Beyond the zone: protein needs of active individuals
J. Am. Coll. Nutr. October 1, 19, 90005, 513 – 521.
- LeMura, L.M., von Duvillard, S.P., Andreacci, J., Klebez, J.M., Chelland, S.A & Russo, J. 2000. Lipid and lipoprotein profiles, cardiovascular fitness, body composition, and diet during and after resistance, aerobic and combination training in young women. *Eur J of Appl Phys* 82, 451-458.
- Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B.K. & Logan, P.A. 1999. Concurrent strength and endurance training. *Sports Medicine* 28 (6), 413-427.
- Macaluso, A., De Vito, G., Felici, F. & Nimmo, M.A. 2000. Electromyogram changes during sustained contraction after resistance training in women in their 3rd and 8th decades. *Eur J Appl Physiol* 82, 418-424.
- Macaluso, A., Young, A., Gibb, K.S., Rowe, D.A. & De Vito, G. 2003. Cycling as a novel approach to resistance training increases muscle strength, power, and selected functional abilities in healthy older women. *J Appl Physiol* 95, 2544-2553.
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.D., Sale, D.G., Moroz, J. & Sutton, J.R. 1977. Skeletal muscle hypertrophy and atrophy with respect to fibre type in humans. *Can J Appl Sci* 2(4), 229 (abstract).
- 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. *Eur J of Appl Phys* 43, 25-34.

- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Always, S.E. & Sutton, J.R. 1984. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J of Appl Phys* 57, 5, 1399-1403.
- MacDougall, J.D., Gibala, M.J., Tarnopolsky, M.A., MacDonald, J.R., Interisano, S.A. & Yarasheski, K.E. 1995. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Sci* 4, 480-486.
- MacDougall, J.D. 2003. Hypertrophy and hyperplasia. *Teoksessa Strength and power in sport*. Toimittanut Komi, P. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- MacLaren, D.P.M., Gibson, H. & Parry-Billings, M. 1989. A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exerc Sport Sci Rev* 17, 29-66.
- Makrides, L., Heigenhauser, G.J. & Jones, N.L. 1990. High-intensity endurance training in 20- to 30- and 60- to 70-yr-old healthy men. *J of Appl Phys* 69 (5), 1792-1798.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2001. *Exercise Physiology: energy, nutrition and human performance*. Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins.
- McCall, G.E., Byrnes, W.C., Fleck, S.J., Dickinson, A. & Kraemer W.J. 1999. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24 (1), 96-107.
- McCarthy, J.P., Agre, J.C., Graf, B.K., Pozniak, M.A. & Vailas, A.C. 1995. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (3), 429-436.
- McCarthy, J.P., Pozniak, M.A. & Agre, J.C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 34, 511-519
- Mikkola, J., Rusko, H., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M. & Häkkinen, K. 2004. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during strength, concurrent strength and endurance vs. endurance training in men. *Sorres Conference 2004*.

- Moritani, T. 1992. Time course of adaptations during strength and power training, teoksessa Komi P.V. (ed.) *Strength and power in sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Moritani, T. 1993. Neuromuscular adaptations during the acquisition of muscle strength, power and motor tasks. *J Biomech* 26 (Suppl 1), 95–107.
- Moritani, T. & DeVries, H.A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58, 115-130.
- Narici, M., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claasen, H., Gavardi, C., Conti, M. & Cerretelli, P. 1996. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* 157 (2), 175-186.
- Pearson, A.M. 1990. Muscle growth and exercise. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29 (3), 167-196.
- Phillips, S.M., Tipton, K.D., Aarsland, A., Wolf, S.E., and Wolfe, R.R. 1997. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *J Physiol Endocrinol Metab* 273: 99 - 107.
- Putman, C.T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I.M. & Bell, G.J. 2004. Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *European Journal of Applied Physiology* 92, 376-384.
- Rowell, L.B. 1986. *Human Circulation*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Rutherford, O.M. & Jones, D.A. 1986. The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 55 (1), 100-105.
- Schultz, E. 1989. Satellite cell behaviour during skeletal muscle growth and regeneration. *Med Science Sports Exerc* 21 (S), 181-186.

- Sjostrom, M., Lexell, J., Eriksson, A. & Taylor, C.C. 1991. Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 62, 301-304.
- Starkey, D.B., Pollock, M.L., Ishida, Y., Welsch, M.A., Brechue, W.F., Graves, J.E. & Feigenbaum, M.S. 1996. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (10), 1311-1320.
- Staron, R.S., Malicky, E.S., Leonardi, M.J., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. & Dudley, G.A. 1990. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J of Appl Phys* 60, 71-79.
- Staron, R.S., Karapando, D.L., Kraemer, W.J., Fry, A.C., Gordon, S.E., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. & Hikida, R.S. 1994. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*. 76 (3), 1247-1255.
- Tanaka, H. & Swensen, T. 1998. Impact of resistance training on endurance performance. *Sports Med* 25 (3), 191-200.
- Tesch, P.A. 1998. Strength training and muscle hypertrophy. Teoksessa Häkkinen K.(toim.) International conference on weightlifting and strength training. Conference book, Lahti, 17 - 22.
- Tesch, P.A., Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1985. The effect of strenght training and detraining on various enzyme activities. *Med Sci Sports Exerc* 17, 245.
- Tesch, P.A., Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1987. Enzymatic adaptations consequent to long term strenght training. *International J of Sports Med* 8, 96-100.
- Tipton, K.D., Rasmussen, B.B. & Miller, S.L. 2001. Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J of Physiol Endocr Metabol* 281, E197-206.

Wilmore, J.H. & Costill, D. 2004. *Physiology of Sport and Exercise*. Third Edition. Human Kinetics.