

**VOIMAHARJOITTELUN SEKÄ YHDISTETYN VOIMA- JA  
KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAS-  
AKTIVAATIOON, MAKSIMIVOIMAAN JA RÄJÄHTÄVÄÄN  
VOIMAAN KESKI-ikäisillä miehillä ja naisilla**

Anita Haapasaari

Valmennus- ja testausopin  
Pro gradu -tutkielma  
VTES008  
Kevät 2008  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto  
Työn ohjaaja Keijo Häkkinen

# TIIVISTELMÄ

**Anita Haapasaari, 2008. Voimaharjoittelun sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset lihasaktivaatioon, maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Valmennus- ja testausopin Pro gradu -tutkielma, 80 s.**

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maksimi- ja räjähtävän voiman sekä lihasaktivaation muutoksia voima- ja voima + kestävyys -ryhmillä 21 viikon harjoittelujakson aikana. Koehenkilöt olivat aikaisemmin harjoittelemattomia keski-ikäisiä (40–59 v.) miehiä ja naisia. Voimaryhmä (V, jossa naisia 21 ja miehiä 14) harjoitteli kaksi kertaa viikossa ja yhdistelmäryhmä (VK, jossa naisia 21 ja miehiä 18) yhteensä neljä kertaa viikossa (kaksi kertaa sekä voimaa että kestävyyttä). Kontrolliryhmä (KO, jossa naisia 16 ja miehiä 12) ei harjoitellut. Voimaharjoittelu kohdistui kaikkiin päälihasryhmiin, ja sen tavoitteena oli lisätä lihashypertrofiaa ja maksimivoimaa. Harjoitteluun sisältyi myös räjähtävän voiman harjoitteita. Kestävyysharjoittelu toteutettiin sykevalvotusti polkupyöraergometrillä. Voimamittauksiin sisältyivät alaraajojen bilateraalin konsentrisen ojennusvoima, polven unilateraalinen isometrinen ojennus- ja koukistusvoima sekä alaraajojen konsentrisen teho. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin parittaista t-testiä, ANOVA:a, ANCOVA:a ja MANCOVA:a.

Harjoittelujakso sai aikaan merkitsevää maksimivoiman kasvua (6,0–16,8 %), ja V- ja VK-ryhmät eivät eronneet merkitsevästi toisistaan. Alaraajojen bilateraalin konsentrisen ojennusvoima kasvoi molemmilla sukupuolilla sekä V- että VK-ryhmässä merkitsevästi ( $p \leq 0.001$ ). Miehet paransivat tulostaan merkitsevästi ( $p \leq 0.001$ – $0.01$ ) enemmän kuin naiset. Polven unilateraalisen isometrisen ojennusvoiman kasvu oli merkitsevää ( $p \leq 0.001$ – $0.01$ ) naisten V- ja VK-ryhmillä sekä miesten VK-ryhmällä. Polven unilateraalinen isometrinen koukistusvoima kasvoi merkitsevästi vain naisten V- ja VK-ryhmillä ( $p \leq 0.001$ – $0.05$ ). V-ryhmässä naiset paransivat merkitsevästi ( $p \leq 0.01$ ) miehiä enemmän. Ojentaja/koukistaja-suhde ei muuttunut merkitsevästi millään ryhmällä. Alaraajojen konsentrisen teho kasvoi 15,5–26,5 %. Kasvu oli merkitsevää ( $p \leq 0.001$ – $0.01$ ) naisten V- ja VK-ryhmillä sekä miesten VK-ryhmällä. Naiset paransivat tulostaan enemmän kuin miehet, mutta ero oli merkitsevä ( $p \leq 0.05$ ) vain V-ryhmässä. Maksimi-iEMG (VL-, VM- ja RF-lihasten keskiarvoistettu iEMG-aktiivisuus) lisääntyi molemmilla sukupuolilla V- ja VK-ryhmissä merkitsevästi ( $p \leq 0.001$ – $0.05$ ) sekä konsentrisessä jalkaprässissä että isometrisessä polven ojennuksessa (pois lukien miesten V-ryhmällä polven ojennuksessa). Isometrisessä polven koukistuksessa maksimi-iEMG:n kasvu ei ollut merkitsevää millään ryhmällä. Antagonistin koaktivaation (BF:n iEMG agonistina/BF:n iEMG antagonistina) muutokset jalkaprässissä tai polven ojennuksessa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä.

Perinteinen voimaharjoittelu ja siihen yhdistetty räjähtävän voiman harjoittelu parantaa maksimivoiman lisäksi myös nopeaa voimantuottoa keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Voimaharjoitteluun yhdistetty kestävyysharjoittelu ei vaikuta negatiivisesti voimantuottoominaisuuksiin harjoitusfrekvenssin pysyessä kohtuullisena. Optimaalisten tulosten saavuttamiseksi miesten ja naisten harjoittelu on mahdollisesti suunniteltava hieman erityyppiseksi intensiteetin ja volyymin osalta.

**Avainsanat: voimaharjoittelu, voima- ja kestävyysharjoittelu, keski-ikäiset, maksimivoima, lihasaktiivisuus, räjähtävä voima**

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	6
2 IKÄÄNTYMINEN, LIHASVOIMA JA TEHO NAISILLA JA MIEHILLÄ.....	7
2.1 Sukupuolen ja iän vaikutus maksimivoimaan.....	7
2.1.1 Lihasmassan merkitys maksimivoimaeroissa.....	8
2.1.2 Hermostollisten tekijöiden osuus eroihin maksimaalisessa voimantuotossa.....	10
2.1.3 Ojentaja- ja koukistajalihasten maksimivoiman välinen suhde.....	12
2.2 Sukupuolen ja iän vaikutukset nopeusvoimaan.....	12
3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄÄN.....	15
3.1 Hermostollinen adaptaatio.....	15
3.1.1 Agonistin aktivaatio.....	16
3.1.2 Antagonistin aktivaatio.....	17
3.2 Lihastason adaptaatiot.....	18
3.2.1 Hypertrofia ja hyperplasia.....	18
3.2.2 Lihassolujakauma.....	19
3.2.3 Kapillaaritiheys ja entsyymiaktiivisuudet.....	20
4 YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄÄN.....	22
4.1 Kestävyysharjoittelun vaikutukset maksimi- ja nopeusvoimaan.....	22
4.2 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset voimantuottoon ja lihasaktivaatioon.....	25
4.2.1 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset maksimivoimaan ja lihasaktivaatioon.....	25
4.2.2 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset nopeusvoimaan.....	30

4.2.3 Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistämistavan merkitys harjoitusvaikutuksiin.....	31
<b>5 VOIMAN JA TEHON HARJOITETTAVUUS ERI-ikäisillä miehillä ja Naisilla.....</b>	<b>33</b>
5.1 Maksimivoiman harjoitettavuus keski-ikäisillä ja ikääntyneillä.....	33
5.2 Nopeusvoiman harjoitettavuus keski-ikäisillä ja ikääntyneillä.....	37
<b>6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT JA HYPOTEESEIT.....</b>	<b>38</b>
<b>7 MENETELMÄT.....</b>	<b>40</b>
7.1 Tutkimusasetelma.....	40
7.2 Koehenkilöt.....	40
7.3 Harjoittelu.....	42
7.4 Voimamittaukset.....	44
7.5 Lihasaktiivisuus.....	45
7.6 Tilastolliset menetelmät.....	46
<b>8 TULOKSET.....</b>	<b>47</b>
8.1 Maksimivoima.....	47
8.1.1 Alaraajojen bilateraallinen konsentrinen voima.....	47
8.1.2 Polven unilateraalinen isometrinen ojennusvoima.....	49
8.1.3. Polven unilateraalinen isometrinen koukistusvoima.....	51
8.1.4 Ojentaja/koukistaja–suhde.....	53
8.2 Alaraajojen ojentajien konsentrinen teho.....	54
8.3 Lihasaktivaatio.....	56
8.3.1 Jalkaprässi.....	56
8.3.2 Polven ojennus.....	59
8.3.3 Polven koukistus.....	61

9 POHDINTA.....	63
9.1 Maksimivoima.....	63
9.2 Räjätävä voima.....	67
9.3 Lihasaktivaatio.....	69
9.4 Johtopäätökset.....	71
 LÄHTEET.....	 72

# 1 JOHDANTO

Voimaharjoittelun tiedetään saavan aikaan maksimivoiman kasvua paitsi nuorilla, myös keski-ikäisillä ja ikääntyneillä. Voimaharjoittelulla voidaankin ehkäistä tai hidastaa ikääntymisestä johtuvaa voimantuoton heikkenemistä. Jos harjoittelu sisältää nopeusvoimaharjoitteita, myös nopea voimantuotto voi parantua. Hermostollisilla mekanismeilla on merkittävä rooli tässä kehityksessä. Paitsi agonistilihasten aktivaation kasvu, myös mahdollinen antagonistilihasten koaktivaation väheneminen voi selittää lisääntynyttä voimantuottoa etenkin ikääntyneillä. Naisten ja miesten väliset mahdolliset erot maksimi- ja nopeusvoiman harjoitettavuudessa eivät ole vielä täysin selvillä.

Joidenkin tutkimusten mukaan voimaharjoitteluun yhdistetty kestävyysharjoittelu saattaa häiritä maksimi- ja nopeusvoiman kehittymistä (esim. Dudley & Djamil 1985; Hennessy & Watson 1994). Nykytietämyksen mukaan volyymin ollessa riittävän matala voidaan yhdistelmäharjoittelulla saavuttaa samanlaisia tuloksia kuin pelkällä voimaharjoittelulla (Häkkinen ym. 2003; Izquierdo ym. 2005). On kuitenkin mahdollista, kestävyysharjoittelu heikentää nopean voimantuoton kehitystä, vaikka voimaharjoittelu sisältäisikin suurilla liikenopeuksilla tehtyjä suorituksia (Häkkinen ym. 2003).

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset nopeaan voimantuottoon ovat vielä jossain määrin ristiriitaisia. Samoin antagonistilihasten koaktivaation merkitys voimaharjoitteluun adaptoitumisessa vaatii lisäselvitystä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää 21 viikon voima- sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelujakson vaikutuksia maksimivoimaan, tehoon ja lihasaktiivisuuteen aikaisemmin harjoittele mattomilla keski-ikäisillä. Harjoitusryhmien lisäksi vertailua suoritetaan sukupuolten välillä. Erityisesti tarkastellaan naisten ja miesten eroja harjoitettavuudessa sekä harjoittelun vaikutuksia koaktivaatioon. Tutkimuksen avulla pyritään saamaan lisätietoa siitä, miten ikääntymisestä johtuva lihasvoiman heikkeneminen ja sen negatiiviset seuraukset voitaisiin parhaiten estää mahdolliset sukupuolierot huomioiden. Tutkimus oli osa Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen suurempaa tutkimusprojektia.

## 2 IKÄÄNTYMINEN, LIHASVOIMA JA TEHO NAISILLA JA MIEHILLÄ

### 2.1 Sukupuolen ja iän vaikutus maksimivoimaan

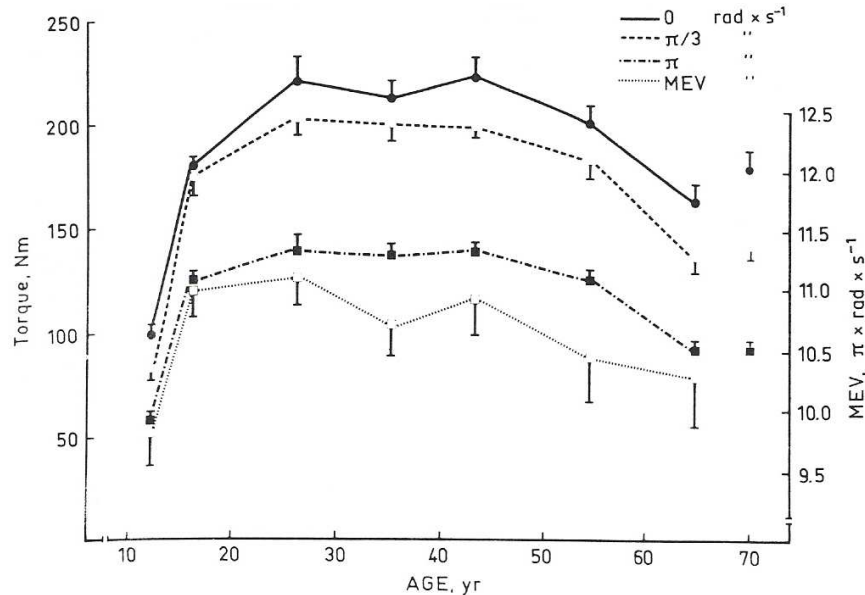
Miesten absoluuttinen maksimivoima on suurempi kuin naisten lihasryhmästä ja liikkeestä riippumatta. Ero on havaittavissa niin nuorilla, keski-ikäisillä kuin ikääntyneilläkin. (Bell ym. 1997; Frontera ym. 1991; Häkkinen & Pakarinen 1993; Karlsson & Jacobs 1981; Samson ym. 2000.) Kuten taulukosta 1 nähdään, naisten maksimivoiman on raportoitu olevan noin 40–70 % miesten maksimivoimasta lihasryhmästä riippuen.

TAULUKKO 1. Naisten absoluuttinen maksimivoima suhteessa miesten absoluuttiseen maksimivoimaan eri lihasryhmissä (Fleck & Kraemer 2004, 265).

	<b>Liike</b>	<b>Testitapa</b>	<b>Naiset (%miehistä)</b>
Kraemer ym. (2001)	Jalkakyyky	1RM vapaat painot	51
Kraemer ym. (2001)	Penkkipunnerrus	1RM vapaat painot	41
Cureton ym. (1988)	Kyynärvarren ojennus	1RM vapaat painot	42
Cureton ym. (1988)	Kyynärvarren koukistus	1RM laite	53
Cureton ym. (1988)	Polven koukistus	1RM laite	54
Cureton ym. (1988)	Polven ojennus	1RM laite	50
Wilmore (1974)	Jalkaprässi	Maks. isometrinen	73
Maughan ym. (1986)	Polven ojennus	Maks. isometrinen	68

Myös ikä vaikuttaa merkittävästi hermo-lihasjärjestelmän voimantuottokykyyn. Sekä isometrinen että dynaaminen maksimivoima kasvavat noin kolmeenkymmeneen ikävuoteen

asti, säilyvät vakiona seuraavat 10–20 vuotta ja kääntyvät sen jälkeen laskuun (Larsson ym. 1979). Maksimivoiman heikkeneminen kiihtyy 50. ikävuoden jälkeen (Samson ym. 2000). Kuva 1 havainnollistaa tätä maksimaalisen voimantuoton muuttumista iän myötä.



KUVA 1. Polven ojentajien isometrinen (0 rad/s) ja dynaaminen ( $\pi/3$  ja  $\pi$  rad/s) maksimivoima sekä nopeus (MEV) eri-ikäisillä (Larsson ym. 1979).

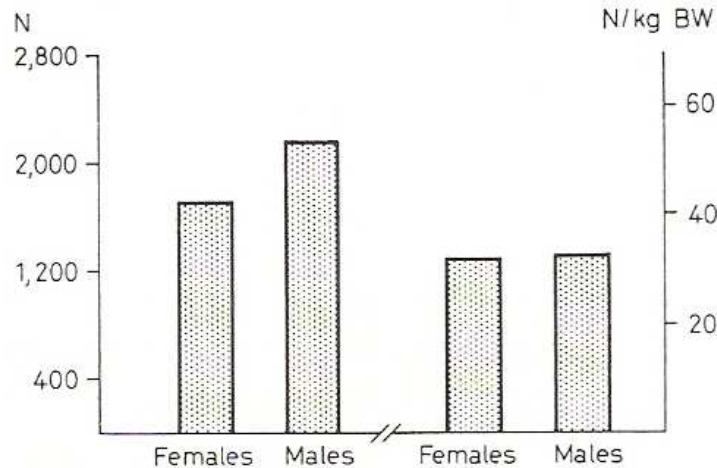
Ikääntymisestä johtuva voiman heikentyminen voi ilmetä eri tavalla eri lihaksissa. Maksimivoiman heikkenemisen on todettu olevan molemmilla sukupuolilla suurempaa ja nopeampaa alaraajoissa kuin yläraajoissa. Tämä johtunee ainakin osittain alaraajojen vähentyneestä käytöstä päivittäisissä aktiviteeteissa yläraajoihin verrattuna. (Frontera ym. 1991; Frontera ym. 2000; Samson ym. 2000.)

### 2.1.1 Lihasmassan merkitys maksimivoimaeroissa

Useat tutkimukset ovat havainneet maksimivoiman olevan paljolti riippuvainen lihaksen poikkipinta-alasta. Siten miesten ja naisten välinen ero absoluuttisessa maksimivoimassa selittyy pääosin miesten suuremmalla lihasmassalla. (esim. Häkkinen 1990, 168; Häkkinen



ym. 1998a; Häkkinen & Pakarinen 1993). Vaikka maksimivoima suhteutetaan kehon painoon tai rasvattomaan kehonpainoon, miehet pystyvät edelleen suurempaan voimantuottoon. Sukupuolten välinen ero kuitenkin pienenee huomattavasti (kuva 2) (Frontera ym. 1991; Karlsson & Jacobs 1981; Schantz ym.1983). Sukupuolten välinen ero on suurempi ylä- kuin alavartalon maksimivoimassa (Fleck & Kraemer 2004, 268).



KUVA 2. Naisten (females) ja miesten (males) välinen ero jalkojen ojentajien isometrisessä maksimivoimassa absoluuttisesti (kuvassa vasemmalla) ja suhteutettuna kehon painoon (kuvassa oikealla) (Komi 1981).

Maksimaalisen voimantuoton heikentyminen ikääntymisen myötä johtuu erityisesti lihasmassan vähenemisestä (sarkopenia) (Frontera ym. 1991; Frontera ym. 2000; Häkkinen ym. 1998a). Sarkopeniaa ilmenee sekä ylä- että alavartalon lihaksissa molemmilla sukupuolilla, mutta lihasmassan menetys saattaa olla hieman nopeampaa naisilla kuin miehillä (Frontera ym. 1991). Sarkopenia voi johtua joko yksittäisten lihassolujen koon pienenemisestä (lihasatrofia), lihassolujen lukumäärän vähentymisestä tai molemmista (Frontera ym. 2000; Häkkinen ym. 1998a). Atrofian on havaittu olevan suurempaa nopeissa lihassoluissa kuin hitaissa (Frontera ym. 2000; Häkkinen ym. 1998a). Voimakkainta lihasatrofia on kuudenkymmenen ikävuoden jälkeen (Essén-Gustavsson & Borges 1986). Iän ja sukupuolen sekä maksimivoiman ja lihaksen poikkipinta-alan välisiä yhteyksiä havainnollistaa Häkkinen ym. (1998a) tekemä tutkimus keski-ikäisillä ja ikääntyneillä

miehillä ja naisilla. Suurin m. quadriceps femoriksen poikkipinta-ala oli keski-ikäisillä miehillä ja pienin ikääntyneillä naisilla, mutta ikääntyneiden miesten poikkipinta-ala oli suurempi kuin keski-ikäisillä naisilla. Ikäryhmien ja sukupuolten väliset erot jalkojen ojentajien dynaamisessa ja isometrisessä maksimivoimassa olivat vastaavanlaiset, ja maksimivoimatulos korreloi lihaksen poikkipinta-alan kanssa.

Sarkopenian taustalla saattavat olla yhtenä osatekijänä ikääntymisen aiheuttamat muutokset endokriinijärjestelmässä. Varsinkin naisilla testosteronitaso pienenee huomattavasti iän myötä (Häkkinen & Pakarinen 1993). Myös ikääntyneillä miehillä androgeeniaktiivisuuden on havaittu olevan hieman alentunut. Grayn ym. (1991) 39–70-vuotiailla miehillä tekemässä poikkileikkaustutkimuksessa esimerkiksi vapaan testosteronin määrä väheni 1,2 % ja kokonaistestosteronin määrä 0,4 % vuodessa. Kun eri sukupuolihormonien pitoisuudet mitattiin samalla koehenkilöjoukolla 7–10 vuotta myöhemmin, pitkittäistutkimuksen antamat vuosittaiset vähenemiset olivat 2–3 % ja 1,6 % (Feldman ym. 2002). Koska seerumin testosteronipitoisuuden ja testosteroni/kortisoli-suhteen on havaittu korreloivan lihaksen poikkipinta-alan ja maksimivoiman kanssa (Häkkinen & Pakarinen 1994), ikääntymisen aiheuttamat muutokset anabolisten ja katabolisten hormonien tasapainossa todennäköisesti ovat yhteydessä sarkopeniaan ja siihen liittyvään maksimivoiman heikkenemiseen.

### **2.1.2 Hermostollisten tekijöiden osuus eroihin maksimaalisessa voimantuotossa**

On esitetty, että ikääntyneet eivät pystyisi maksimaaliseen lihasten aktivointiin. Lihasatrofian lisäksi ikääntymisestä johtuva voiman heikkeneminen voisikin johtua myös vähentyneestä tahdonalaisesta neuraalisesta aktivaatiosta (Häkkinen ym. 1998a; Moritani & deVries 1980; Morse ym. 2004). Tätä tukee Häkkisen ym. (1998a) tekemä havainto, että jalkojen ojentajalihasen poikkipinta-alan ja maksimivoiman välinen korrelaatio oli ikääntyvillä pienempi kuin keski-ikäisillä. Kamen ym. (1995) puolestaan vertasivat nuorten aikuisten ja ikääntyneiden motoristen yksiköiden syttymistiheyttä etusormen maksimaalisessa isometrisessä abduktiossa, ja havaitsivat sen olevan ikääntyneillä

pienempi kuin nuorilla. Toisaalta on olemassa todisteita myös siitä, että hermostollinen aktivaatio ei olisi ikääntyneillä heikentynyt. Klass ym. (2005) tutkivat nilkan dorsifleksoreiden tahdonalaista aktivaatiota ikääntyneillä ja nuorilla miehillä ja naisilla. Tahdonalaisen supistuksen päälle aiheutettua sähköstimulaatiota käyttäen he eivät havainneet huonontunutta tahdonalaista aktivaatiota ikääntyneillä. Klein ym. (2001) totesivat saman kyynärvarren ojentajilla ja koukistajilla. Nykyisten tutkimustulosten perusteella ei siis pystytä varmasti sanomaan, missä määrin ikääntyminen vaikuttaa tahdonalaiseen aktivaatioon. Motoristen yksiköiden määrän on kuitenkin todettu vähenevän vanhenemisen seurauksena ja olevan yhteydessä vähentyneeseen voimantuottoon (Doherty ym. 1993).

Ikääntymiseen liitetään usein lisääntynyt koaktivaatio, joka voi osaltaan vaikuttaa heikentyneeseen voimantuottoon (Häkkinen ym. 1998a). Koaktivaatiolla tarkoitetaan antagonistilihasten aktivoitumista agonistilihasten supistuessa. Koaktivaatiolla on niveltä stabiloiva vaikutus, mutta se voi myös olla epäedullista maksimaalisen voimantuoton kannalta. Koska nivelen tuottama kokonaisvoima riippuu agonistin ja antagonistin tuottaman voiman erotuksesta, voidaan kokonaisvoiman suuruutta lisätä vähentämällä antagonistin voimaa. (Enoka 2002, 352, 414; Solomonow ym. 1988.)

Lasten ja nuorten aikuisten välillä koaktivaatiossa ei ole eroa (Kellis ja Unnithan 1999). Sen sijaan ikääntyneillä koaktivaation on useissa tutkimuksissa havaittu olevan suurempaa kuin keski-ikäisillä. Tämä on todettu isometrisessä ja dynaamisessa jalkojen- ja polvenojennuksessa – sekä maksimivoimasuorituksessa että etenkin tehosuorituksissa (Häkkinen ym. 1998a; Izquierdo ym. 1999b). Toisaalta joissakin tutkimuksissa ei ikääntyneillä ole havaittu muita suurempaa koaktivaatiota. Klass ym. (2005) ja Morse ym. (2004) vertasivat nuorten ja ikääntyneiden lihasaktivaatioita isometrisessä ja isokineettisissä nilkan dorsifleksiossa, eivätkä löytäneet ikäryhmien välillä eroja millään lihastyötavalla tai isokineettisellä nopeudella. Näyttääkin siltä, että antagonistin koaktivaatio on jossain määrin lihasryhmäkohtaista. Tämän lisäksi koaktivaation määrään voivat vaikuttaa mm. supistumistapa ja -nopeus, suorituksen intensiteetti sekä käytetty nivelkulma (Carolan & Cafarelli 1992; Sale 2003). On myös mahdollista, että koaktivaation

suuruudessa on eroja naisten ja miesten välillä. Solomonow ym. (1988) nimittäin tutkivat kyynärvarren ojentajia ja koukistajia ja havaitsivat koaktivaation olevan naisilla suurempaa kuin miehillä.

### **2.1.3 Ojentaja- ja koukistajalihasten maksimivoiman välinen suhde**

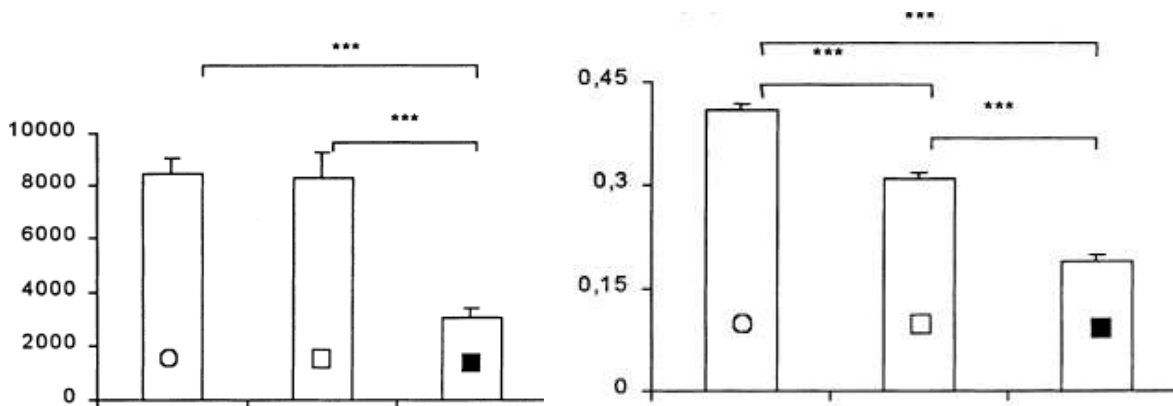
Normaalitilanteessa agonisti- ja antagonistilihashen kyky tuottaa voimaa eroavat aina jonkin verran toisistaan. Esimerkiksi polven ojentajalihakset pystyvät huomattavasti suurempaan voimantuottoon kuin koukistajat. Kyynärvarren ojentajien ja koukistajien maksimivoiman sen sijaan on todettu olevan paremmin tasapainossa. Sukupuolten välillä ei näyttäisi olevan eroa ojentaja/koukistaja-suhteessa. (Colliander & Tesch 1989; Frontera ym. 1991.) Sen sijaan suhteeseen vaikuttanevat lihastyötapa ja suoritusnopeus. Colliander ja Tesch (1989) havaitsivat polven ojentajien voima–nopeus-käyrän olevan jyrkempi kuin polven koukistajien. Tämän seurauksena koukistaja/ojentaja-suhde kasvoi suoritusnopeuden kasvaessa. Lisäksi suhde oli useilla nopeuksilla suurempi konsentrisessä kuin eksentrisessä suorituksessa.

Nivelen ojentaja- ja koukistajalihasten voimantuoton suhde vaikuttaa nivelen stabiiliuteen. Merkittävä ero agonisti- ja antagonistilihashen voimantuotossa kohdistaa niveleen tavallista suuremman vääntövoiman. Siten agonistilihashen voimantuoton kasvu ja/tai antagonistilihashen voimantuoton väheneminen saattaa lisätä loukkaantumisriskiä. (Gerodimos ym. 2006.)

## **2.2 Sukupuolen ja iän vaikutukset nopeusvoimaan**

Miesten ja naisten välinen ero hermolihaskäytön voimantuotto-ominaisuuksissa voidaan havaita myös nopeusvoimassa. Esimerkiksi isometrinen voimantuottonopeus on naisilla miehiä pienempi; naisilla kestää lähes kaksi kertaa kauemmin saavuttaa tietty suhteellinen voimataso (Karlsson & Jacobs 1981). Miehet pystyvät myös tuottamaan

suuremman konsentrisen tehon kuin naiset iästä riippumatta (Komi 1981; Samson ym. 2000). Naisten on esimerkiksi raportoitu saavuttavan 54–79 % miesten vertikaalihyppytuloksesta. Ero kuitenkin pienenee huomattavasti, kun tulokset suhteutetaan rasvattomaan kehonpainoon. Naisten ja miesten väliset erot nopeusvoimassa selittynevätkin pääosin eroilla lihamassan määrässä. (Fleck & Kraemer 2004, 272.) Sukupuolten väliset erot voimantuottonopeudessa voivat johtua myös eroista lihassolukoostumuksessa tai hermoston kyvyssä aktivoida lihaksia nopeasti (Häkkinen 1990, 171).



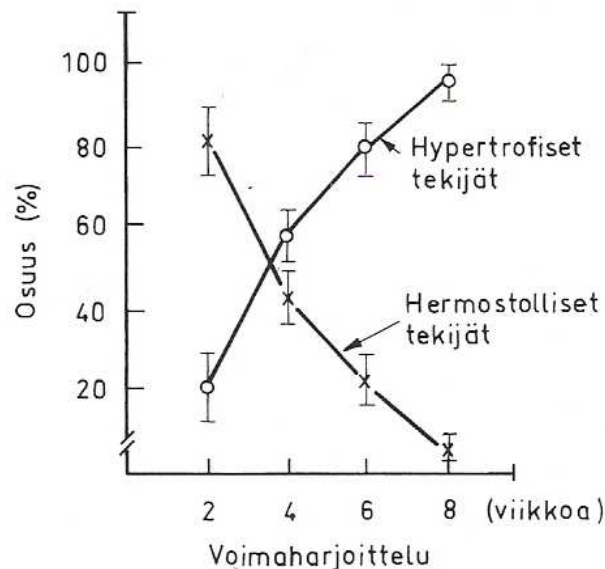
KUVA 3. Nuorten (○), keski-ikäisten (□) ja ikääntyneiden (■) miesten erot RFD:ssä (N/s) (vasemmalla) ja kevennyshypyssä (m) (oikealla).  $P < 0.001$ . (Izquierdo ym. 1999a.)

Kyvyn tuottaa voimaa nopeasti on todettu heikentyvän ikääntymisen seurauksena alkaen noin 40. ikävuodesta (esim. Larsson ym. 1979) ja jopa enemmän kuin maksimivoiman (Häkkinen ym. 1998a). Tämä on havaittu sekä heikentyneenä isometrisenä voimantuottonopeutena että dynaamisena räjähtävänä voimantuottona. Izquierdo ym. (1999a) vertasivat nuorten, keski-ikäisten ja ikääntyneiden miesten isometristä voimantuottonopeutta ja vertikaalihyppytuloksia. Sekä voimantuottonopeus että ensimmäisen 500 ms:n aikana tuotettu voima olivat merkitsevästi alhaisempia ikääntyneillä kuin kahdella muulla ikäryhmällä. Keski-ikäisten ja nuorten miesten tulokset eivät kuitenkaan eronneet merkitsevästi toisistaan. Sen sijaan vertikaalihyppöjen korkeudet erosivat myös nuorten ja keski-ikäisten välillä (kuva 3). Myös Häkkinen ym. (1998a) havaitsivat vertikaalihypyn korkeuden olevan keski-ikäisillä suurempi kuin ikääntyneillä niin miehillä kuin naisilla. Keski-ikäiset naiset pystyivät kuitenkin parempaan räjähtävän

voiman tuottoon kuin ikääntyneet miehet. Ikääntymisen aiheuttama nopean voimantuottokyvyn heikkeneminen voi johtua siitä, että atrofia on suurempaa nopeissa lihassoluissa kuin hitaissa. Myös hermoston kyky motoristen yksiköiden nopeaan aktivoimiseen voi heikentyä ikääntymisen seurauksena (esim. Häkkinen ym. 1998a).

### 3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO-LIHAS-JÄRJESTELMÄÄN

Voimaharjoittelu aiheuttaa pitkällä aikavälillä lihaksen rakenteessa ja toiminnassa sekä hermostollisissa ohjausmekanismeissa muutoksia, jotka johtavat voimantuotto-ominaisuuksien spesifiin kehittymiseen. Kuten kuvasta 4 nähdään, aikaisemmin harjoittelemattomilla tahdonalaisen voimantuoton kasvu johtuu ensimmäisten viikkojen aikana ensisijaisesti hermostollisesta adaptaatiosta, joka muodostuu sekä parantuneesta koordinaatiosta että todellisesta keskushermoston lisääntyneestä kyvystä aktivoida lihaksia. Vasta pidempään jatkunut säännöllinen harjoittelu voi johtaa lihassolujen kasvuun, hypertrofiaan. (Häkkinen 1990, 54–57; Sale 2003.)



KUVA 4. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden suhteellinen osuus maksimivoiman kehityksessä (Häkkinen 1990, 57, alkup. Moritani & deVries 1980).

#### 3.1 Hermostollinen adaptaatio

Voimaharjoittelu voi aiheuttaa sekä agonisti-, synergisti- että antagonistiaktivaatioissa muutoksia, jotka mahdollistavat aikaisempaa suuremman voimantuoton. Taidon ja

koordinaation parantuminen ilmenee etenkin synergistien ja antagonistien aktivaation muutoksina. (Sale 2003.)

### **3.1.1 Agonistin aktivaatio**

Voimaharjoittelun hermostollisia vaikutuksia tutkitaan yleisimmin mittaamalla muutoksia agonistilihasten EMG-aktiivisuudessa. Useissa tutkimuksissa perinteisen voimaharjoittelun seurauksena aikaisemmin harjoittelemattomilla agonistin aktivaation määrän on havaittu kasvavan (Häkkinen ym. 1998b; Häkkinen ym. 2000; Rabita ym. 2000). Joissakin tutkimuksissa lihasaktivaatio sen sijaan ei ole lisääntynyt isometrisen (Carolan & Cafarelli 1992) tai perinteisen voimaharjoittelun (Narici ym. 1996) seurauksena maksimivoiman kasvusta huolimatta. Molemmissa tutkimuksissa, joissa aktivaatiossa ei havaittu muutosta, lihasaktiivisuus mitattiin vain m. vastus lateraliksesta. Siten on mahdollista, että m. quadriceps femuriksen muissa päissä lihasaktivaatio lisääntyi mutta jäi havaitsematta.

Myös keski-ikäisillä ja ikääntyneillä lihasten tahdonalainen aktivaatio voi lisääntyä voimaharjoittelun seurauksena. Esimerkiksi Häkkisen ym. (2001) tutkimuksessa EMG kasvoi sekä isometrisessä että dynaamisessa polven ojennuksessa niin keski-ikäisillä kuin ikääntyneilläkin ja molemmilla sukupuolilla. Harjoittelu tapahtui kaksi kertaa viikossa puolen vuoden ajan, ja tavoitteena oli parantaa sekä maksimaalista että nopeaa voimantuottoa. Lihasaktivaatio kasvoi etenkin harjoittelun alkuvaiheessa, mutta jossain määrin koko harjoittelujakson ajan.

Lisääntynyt agonistin EMG-aktiivisuus voi johtua motoristen yksiköiden lisääntyneestä rekrytoinnista ja/tai syttymistiheydestä. Voimaharjoittelu voi lisätä myös motoristen yksiköiden synkronisaatiota sekä tuplasyttymisten ('doublet discharge', motorisen yksikön syttyminen kahdesti perättäin normaalia lyhyemmällä aikavälillä) määrää. Nämä adaptaatiot mahdollistavat osaltaan suuremman ja/tai nopeamman voimantuoton. (Sale 2003.)



### 3.1.2 Antagonistin koaktivaatio

Voimaharjoittelun on todettu vähentävän antagonistien koaktivaatiota niin nuorilla (Carolan & Cafarelli 1992), keski-ikäisillä (Häkkinen ym. 2000) kuin ikääntyneilläkin (Häkkinen ym. 1998b; Häkkinen ym. 2000) sekä maksimaalisessa isometrisessä että dynaamisessa suorituksessa (Häkkinen ym. 2001). Etenkin ensimmäisten harjoitteluviikkojen aikana koaktivaation väheneminen on suurta ja voi selittää merkittävän osan, jopa kolmanneksen, maksimivoiman kasvusta. Koaktivaation väheneminen voi johtua parantuneesta koordinaatiosta, jolloin antagonistin aktivaation tarve nivelen stabiloijana vähenee. (Carolan & Cafarelli 1992.) Joissakin tutkimuksissa koaktivaatio on vähentynyt enemmän ikääntyneillä kuin keski-ikäisillä (Häkkinen ym. 1998b).

TAULUKKO 2. Agonisti- ja antagonistilihasten aktiivisuuden muutokset voimaharjoittelun jälkeen.

	Koehenkilöt	Harjoittelu	Testiliike	Agonisti-EMG	Antagonisti-EMG
Carolan & Cafarelli (1992)	20 M20	8 vko; 3x/vko; isometrinen polven ojennus	Isometrinen polven ojennus	↔	↓
Häkkinen ym. (1998b)	10 M40 11 N40 11 M70 10 N70	6kk; 2x/vko; maks.- ja nopeusvoima	Isometrinen jalkojen ojennus; 1RM jalkojen ojennus	↑ ↑ ↑ ↑	↔ ↔ ↓;↔ ↓
Colson ym. (1999)	17 M20	7 vko; 3x/vko; ECC vapailla painoilla	Isokineettinen ECC ja CON kyynärvarren koukistus	↑	↔
Hortobágyi & DeVita (2000)	30 N70	7 pvä; CON/CON+ECC polven ojennus	Isometrinen sekä isokineettinen CON ja ECC	↑	↔
Häkkinen ym. (2000)	19 M+N40 17 M+N70	24 vko; 2x/vko; maks.- ja nopeusvoima	1RM jalkojen ojennus	↑ ↑	↓ ↓
Häkkinen ym. (2001)	10 M40 11 N40 11 M70 10 N70	6 kk; 2x/vko; maks.- ja nopeusvoima	Isometrinen polven ojennus	↑ ↑ ↑ ↑	↔ ↔ ↔ ↓

Hermostollisen adaptaation mittarina on käytetty myös antagonisti/agonisti-suhdetta. Useat tutkimukset ovat havainneet suhteen muuttuvan edullisemmaksi voimaharjoittelun seurauksena. Antagonistin aktivaation vähenemisen kanssa samanaikaisesti agonistin aktivaatio on joko lisääntynyt (Häkkinen ym. 1998b, 2000) tai pysynyt muuttumattomana (Carolan & Cafarelli 1992). On myös mahdollista, että voimaharjoittelu ei aiheuta muutoksia antagonistin koaktivaatiossa. Antagonisti/agonisti-suhde kuitenkin laskee, mikäli agonistin aktivaatio samalla kasvaa. (Colson ym. 1999; Hortobágyi & DeVita 2000; Häkkinen ym. 2001.) Yhteenveto voimaharjoittelun aiheuttamista muutoksista agonisti- ja antagonistiaktivaatiossa on esitetty taulukossa 2.

## **3.2 Lihastason adaptaatiot**

Luurankolihasella on kyky adaptoitua sekä fysiologisesti että anatomisesti siihen kohdistettuihin erilaisiin vaatimuksiin. Kun lihas joutuu työskentelemään lähellä sen maksimaalista voimantuottokykyä, sen poikkipinta-ala ja voima kasvavat. Teoriassa lihaksen koko voi kasvaa lihassolun koon kasvaessa, solujen lukumäärän lisääntyessä ja/tai lihaksensisäisen sidekudoksen lisääntyessä. (MacDougal 1991.)

### **3.2.1 Hypertrofia ja hyperplasia**

Voimaharjoittelu aiheuttaa aina jossain määrin hypertrofiaa eli lihassolujen supistuvien proteiinien määrän kasvua. Yksittäisen lihassolun pinta-alan kasvu näkyy yleensä myös koko lihaksen poikkipinta-alan kasvuna. Hypertrofiaa esiintyy sekä nopeissa että hitaissa lihassoluissa. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu kasvun olevan suurempaa nopeissa kuin hitaissa soluissa. Kasvun määrään vaikuttavat mm. harjoittelun intensiteetti ja kesto. (Charette ym. 1991; Frontera ym. 1988; Häkkinen 1990, 73; MacDougal 1991; Tesch 1988.) Hypertrofia on mahdollista sekä miehillä että naisilla. Esimerkiksi Cureton ym. (1988) havaitsivat miehillä ja naisilla suhteellisesti samansuuruista poikkipinta-alan kasvua, joskin miehillä absoluuttinen kasvu oli suurempaa.

Ikääntyminen ei ole esteenä lihasten kasvulle, sillä hypertrofiaa on havaittu myös keski-ikäisillä ja ikääntyneillä, sekä miehillä (Frontera ym. 1988; Hurley ym. 1995) että naisilla (Charette ym. 1991; Häkkinen ym. 2001). Frontera ym. (1988) tutkivat ikääntyneitä miehiä, jotka harjoittelivat kolme kertaa viikossa 12 viikon ajan 80 %:lla 1RM:sta. Sekä hitaiden että nopeiden lihassolujen koko kasvoi merkitsevästi. Kasvu oli yhtä suurta molemmissa lihassolutyypeissä. Häkkinen ym. (2001) puolestaan käyttivät koehenkilöinä keski-ikäisiä ja ikääntyviä, jotka harjoittelivat kaksi kertaa viikossa puolen vuoden ajan tavoitteenaan parantaa sekä maksimivoimaa että voimantuottonopeutta. Molempien ikäryhmien naiskoehenkilöiden lihassolujen koko kasvoi merkitsevästi, mutta miehillä vastaava harjoittelu ei ollut riittävää aiheuttamaan hypertrofiaa.

On esitetty, että lihassolulla olisi optimi- tai maksimikoko, jonka jälkeen se ei voisi enää kasvaa, vaan mahdollisesti jakautuisi kahtia. Tämä johtaisi samalla myös lihassolujen lukumäärän lisääntymiseen, hyperplasiaan. On olemassa todisteita siitä, että joissakin tapauksissa monivuotinen voimaharjoittelu saattaisi aiheuttaa hyperplasiaa, joskaan pitävää näyttöä tälle ei ole saatu. Onkin todennäköisempää, että lihaksen kasvu johtuu yksittäisten lihassolujen koon kasvusta eikä niiden lukumäärän lisääntymisestä. (Häkkinen 1990, 73–74; MacDougal 1991; Tesch 1988.)

### **3.2.2 Lihassolujakauma**

Useissa tutkimuksissa voimaharjoittelun ei ole osoitettu muuttavan hitaiden ja nopeiden lihassolujen suhteellisia osuuksia (Costill ym. 1979; Frontera ym. 1988; Häkkinen ym. 2001; McCarthy ym. 2002). Sen sijaan on mahdollista, että voimaharjoittelun seurauksena nopea lihassolu voi muuntua alayksikön yhdestä tyypistä (Iib) toiseen (IIa) (Häkkinen ym. 2003; Staron ym. 1990). Siitä, tapahtuuko muuntumista myös keski-ikäisillä ja ikääntyneillä, on ristiriitaisia havaintoja. Hikida ym. (2000) havaitsivat Iib-solujen muuttumista IIa-soluiksi ikääntyneillä miehillä, kun taas Häkkinen ym. (2001) eivät havainneet keski-ikäisillä ja ikääntyneillä miehillä ja naisilla merkitseviä muutoksia nopeiden solujen alatyypeissä. Ei-merkitseviä tuloksia saattoi selittää vähäinen

koehenkilömäärä.

Vaikka voimaharjoittelu ei vaikuttaisikaan hitaiden ja nopeiden lihassolujen lukumääräsuhteisiin, voi solujen suhteellinen pinta-ala muuttua. Hypertofian on nimittäin todettu olevan suurempaa nopeissa kuin hitaissa soluissa sekä naisilla (Staron ym. 1990) että miehillä (Bell & Jacobs 1990; Tesch ym. 1987). Esimerkiksi Costil ym. (1979) totesivat tyypin I solujen pinta-alan vähenevän ja Iia-solujen kasvavan suhteessa lihaksen poikkipinta-alaan voimaharjoittelun seurauksena. Toisaalta McCarthy ym. (2002) eivät havainneet miehillä hitaiden ja nopeiden solujen pinta-alasuhteessa eroa kymmenen viikon voimaharjoittelun jälkeen. Nopeiden lihassolujen suurempi hypertrofia hitaisiin verrattuna näyttäisi olevan erityisesti ikääntyneiden ominaispiirre. Esimerkiksi Martelin ym. (2006) tutkimuksessa vain nuorten mies- ja naiskoehenkilöiden hitaiden lihassolujen koko kasvoi merkitsevästi, kun taas ikääntyneillä koehenkilöillä vain nopeissa soluissa esiintyi merkitsevää hypertrofiaa.

### **3.2.3 Kapillaaritiheys ja entsyymiaktiivisuudet**

Lihaksen kapillaaritiheys ja aerobisten entsyymien aktiivisuus vaikuttavat sen kykyyn tuottaa energiaa aerobisesti. Aerobisen energiantuoton kannalta voimaharjoittelulla saattaa olla negatiivisia vaikutuksia. Vaikka kapillaarien määrä voi jopa lisääntyä jonkin verran voimaharjoittelun seurauksena, kapillaaritiheys kuitenkin pienenee, koska lihassolujen koko samalla kasvaa. Tämä on todettu mm. poikkileikkaustutkimuksessa vertaamalla voimannostajien m. trapeziuksen kapillaaritiheyttä harjoittelemattomien verrokkien hiusverisuonistoon. Kapillaarien määrä lihassolun pinta-alaa kohden oli harjoitelleilla pienempi etenkin nopeissa lihassoluissa. Tutkijat myös esittivät, että lihassolun saavutettua tietyn koon, sen kasvun edelleen jatkuessa uusia kapillaareja ei enää syntyisi. (Kadi ym. 1999.) Mikäli voimaharjoittelu sisältää suuria toistomääriä, kuten kehonrakentajilla, voi kapillaaritiheys kuitenkin kasvaa. Esimerkiksi kehonrakentajilla on havaittu olevan enemmän hiusverisuonia lihassolua kohden kuin harjoittelemattomilla. (Bell & Jacobs 1990.) Kapillaarien määrän on todettu lisääntyvän myös harrastelijoilla hypertrofisen

harjoittelujakson jälkeen (McCall ym. 1996).

Rasva-aineenvaihduntaa edistävien oksidatiivisten entsyymien määrän ei ole havaittu lisääntyvän joidenkin kuukausien perinteisen ja/tai nopeusvoimaharjoittelun seurauksena (Green ym. 1999; Tesch ym. 1987). Sen sijaan hypertrofinen voimaharjoittelu saattaa jopa parantaa lihasten aerobisia ominaisuuksia. Eräässä melko äskettäin tehdyssä tutkimuksessa aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä hypertrofiaan johtanut voimaharjoittelu lisäsi oksidatiivisten entsyymien määrää (Tang ym. 2006). Koehenkilöt harjoittelivat viisi kertaa viikossa 12 viikon ajan kaikkia päälihasryhmiä ensimmäisten viikkojen intensiteetin ollessa 10–12 RM ja viimeisten 5–6 RM. Lisäksi ikääntyneillä perinteisenkin voimaharjoittelun (80% 1RM) on havaittu lisäävän oksidatiivisten entsyymien, kuten myös hiusverisuonten määrää (Frontera ym. 1990).

## **4 YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄÄN**

Tyypillinen voimaharjoittelu ja toisaalta tyypillinen kestävyys harjoittelu kohdistavat elimistöön hyvin erilaisia ärsykeitä. Voimaharjoittelu koostuu suhteellisen vähäisestä määrästä lihassupistuksia maksimaalisella tai lähes maksimaalisella voimalla, kun taas kestävyys harjoittelulle tyypillistä on suuri määrä submaksimaalisia lihassupistuksia. Siten voimaharjoittelu johtaa suurempiin rakenteellisiin ja toiminnallisiin muutoksiin hermolihaskäytännössä, ja lähinnä sydän- ja verenkiertoelimistöä kuormittava kestävyys harjoittelu puolestaan kehittää kestävyysominaisuuksia (esim. maksimaalinen hapenottokyky). (Häkkinen 1990, 139; Sale 1990b.)

On esitetty, että erityisesti kestävyys harjoittelu häiritsee voiman kehittymistä (esim. Hennessy & Watson 1994). Ilmiön taustalla olevia mekanismeja ei vielä täysin tunneta, mutta selitykseksi on ehdotettu sekä akuuttia että kroonista hypoteesia. Kroonisen hypoteesin mukaan lihas ei voi adaptoitua metabolisesti ja morfologisesti samaan aikaan suoritettuun kestävyys- ja voimaharjoitteluun, koska näiden lihastason vaikutusmekanismit eroavat toisistaan huomattavasti. Akuutin hypoteesin mukaan puolestaan kestävyys harjoittelun aiheuttama väsymys heikentäisi voimaharjoittelun laatua ja pitkällä aikavälillä vähentäisi siten voiman kehittymistä. (Leveritt ym. 1999.) Näin saattaisi olla etenkin, mikäli kestävyys harjoitus suoritetaan ennen voimaharjoitusta saman päivän aikana (Sale ym. 1990a).

### **4.1 Kestävyys harjoittelun vaikutukset maksimi- ja nopeusvoimaan**

Kestävyys harjoittelun päätavoitteena on parantaa sydän- ja verenkiertoelimistön suorituskykyä, ja se johtaakin mm. maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen (Ferketich ym. 1998; Hickson 1980). Yleensä kestävyys harjoittelu ei aiheuta merkittävää hermo-lihaskäytännön voimantuottokyvyn parantumista. Koska harjoittelu tapahtuu

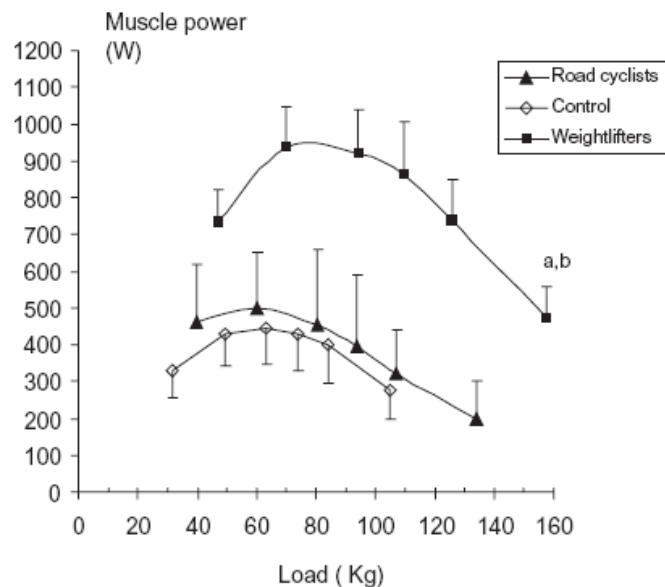
useimmiten juosten tai pyöräillen, jolloin lähinnä vain alavartalon lihaksisto aktivoituu, ei ole yllättävää, että kestävyysharjoittelu ei kehitä ylävartalon maksimivoimaa (Izquierdo ym. 2005; McCarthy ym. 2002). Useissa tutkimuksissa myöskään alavartalon maksimivoiman ei ole havaittu parantuvan (esim. Hennessy & Watson 1994; Hickson 1980). Jos koehenkilöt ovat täysin harjoittelemattomia, saattaa kestävyysharjoittelu kuitenkin kehittää alkuvaiheessa myös alaraajojen maksimivoimaa (Glowacki ym. 2004) ja kestovoimaa (Ferketich ym. 1998). Esimerkiksi Ferketichin ym. (1998) tutkimuksessa ikääntyneet naiset paransivat jalkojen ojennuksen 10RM-tulostaan 43 % polkupyöräergometrillä suoritettun harjoittelun jälkeen.

Harjoitustaustan lisäksi harjoitustavalla näyttäisi olevan vaikutusta hermo-lihasjärjestelmän adaptaatioihin. Moroz ja Houston (1987) nimittäin havaitsivat polven ojentajien isokineettisen maksimivoiman paranevan tietyillä kulmanopeuksilla (60 ja 90°/s), kun kestävyysharjoittelu suoritettiin polkupyöräergometrillä. Sen sijaan juosten harjoitteleiden maksimivoima isometrisesti ja isokineettisesti hitailla kulmanopeuksilla (30 ja 60°/s) mitattuna laski. Kyseisiä tuloksia voidaan selittää sillä, että juoksu ja pyöräily kuormittavat alaraajoja eri tavoin. Juostessa polven ojentajat toimivat pääosin eksentrisesti, kun pyöräilyssä puolestaan suurin osa voimasta tuotetaan polven ojentajilla konsentrisesti. Siten konsentrisen mitattu voima on lähempänä pyöräily- kuin juoksusuoritusta. (Moroz & Houston 1987.)

Nykyisten tutkimustulosten perusteella on epäselvää, estääkö tai hidastaako pitkäaikainen kestävyysharjoittelu ikääntymisestä johtuvaa maksimivoiman heikkenemistä. Aktiivisilla mieskestävyysjuoksijoilla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että jalkojen ojentajien maksimivoima ei eronnut eri ikäryhmien välillä ennen 70 ikävuotta. Siten on mahdollista, että monivuotinen kestävyysharjoittelu voisi hidastaa ikääntymisestä johtuvaa maksimivoiman heikkenemistä. (Tarpennin ym. 2004.) Tämän kuitenkin kyseenalaistavat eräät vastakkaiset löydökset. Tarpennin ym. (2006) nimittäin totesivat maksimivoiman heikkenevän iän myötä samalla tavalla niin kestävyysharjoitelleilla kuin harjoittelemattomillakin keski-ikäisillä ja ikääntyvillä naisilla. On tosin mahdollista, että kestävyysharjoittelun vaikutuksessa lihasvoimaan on sukupuolten välisiä eroja. Tämä voisi

johtua mm. hormonaalisista tekijöistä. Samankaltaisiin tuloksiin päätyivät myös Alway ym. (1996) verratessaan harjoitelleiden ja ei-harjoitelleiden miesten plantaarifleksoreiden maksimivoimaa nuorilla ja ikääntyneillä. Vaikka absoluuttisen voiman heikentymiseen ei kestävyysharjoittelulla voitaisikaan vaikuttaa, lihaksen poikkipinta-alaan suhteutetun voiman vähenemistä kestävyysharjoittelu saattaa vähentää.

Voimaharjoitteluun verrattuna pitkäaikaisen kestävyysharjoittelun voidaan ajatella johtavan heikentyneeseen nopeaan voimantuottoon sen lihaksistossa, hermostossa sekä sydän- ja verenkiertoelimistössä aiheuttamien adaptaatioiden seurauksena. Kestävyysurheilijoilla (amatööripyöräilijöillä) onkin todettu olevan heikompi alaraajojen absoluuttinen teho kuin painonnostajilla ja samansuuruinen kuin harjoittelemattomilla verrokeilla (kuva 5). Tutkimuksessa ryhmien väliset erot olivat suurimmillaan submaksimaalisilla kuormilla (15–80% 1RM). Ero säilyi, vaikka tulokset suhteutettiin kehon painoon tai lihaksen poikkipinta-alaan. Nopeiden hermostollisten ärsykkeiden puuttuessa kestävyysharjoittelulla saattaa siis olla suurempi heikentävä vaikutus nopeus- kuin maksimivoimaan. (Izquierdo ym. 2004.)



KUVA 5. Alaraajojen absoluuttinen teho (W) puolijalkakyykyssä pyöräilijöillä (▲), kontrolleilla (◇) ja painonnostajilla (■) eri absoluuttisilla kuormilla (kg). a merkitsevä ( $p < 0.005$ ) ero painonnostajien ja pyöräilijöiden välillä, b merkitsevä ( $p < 0.005$ ) ero painonnostajien ja kontrollien välillä. (Izquierdo ym. 2004.)



Lyhytaikaisen kestävyysharjoittelujakson vaikutuksia nopeusvoimaominaisuuksiin on myös tutkittu jonkin verran. Esimerkiksi Balabinisin ym. (2003) tutkimuksessa harjoituskaudella pelkästään kestävyyttä harjoitelleet mieskoripalloilijat eivät parantaneet vertikaalihyppytuloksiaan. Kestävyysharjoittelu ei myöskään paranna nopeusvoimaominaisuuksia aikaisemmin harjoittelemattomilla. Esimerkiksi Glowacki ym. (2004), Hennessy ja Watson (1994) sekä McCarthy ym. (1995) eivät havainneet vertikaalihypyn tai juoksunopeuden parantuvan kestävyysharjoittelun seurauksena nuorilla miehillä. Kyseisissä tutkimuksissa ei toisaalta raportoitu merkitseviä nopeusvoimaominaisuuksien heikkenemisiäkään. Lyhytaikainen kestävyysharjoittelu ei siis näyttäisi olevan haitallista nopeusvoiman kannalta, mutta pitkään jatkuessaan ja volyymin ollessa suuri kestävyysharjoittelu heikentänee hermo-lihasjärjestelmän kykyä tuottaa voimaa nopeasti.

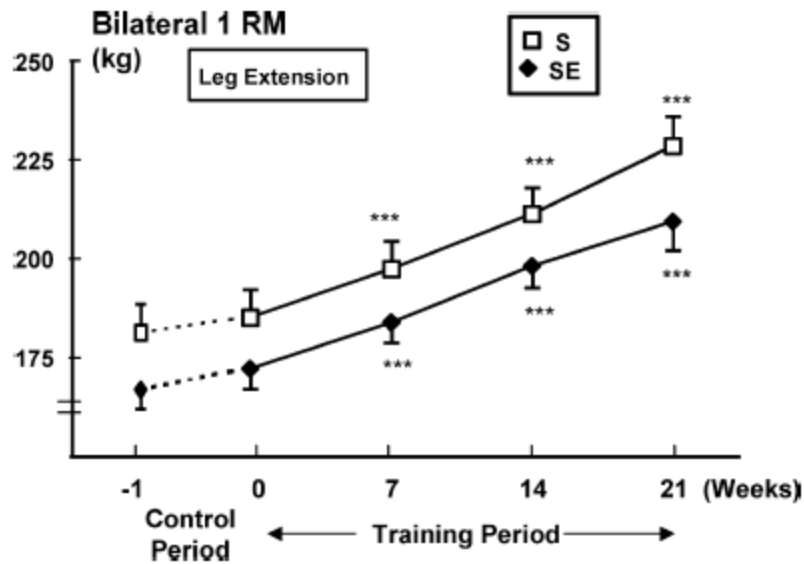
## **4.2 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset voimantuottoon ja lihasaktivaatioon**

### **4.2.1 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset maksimivoimaan ja lihasaktivaatioon**

Etenkin ensimmäisissä yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua koskeneissa tutkimuksissa voimaharjoittelun kanssa samanaikaisesti suoritettua kestävyysharjoittelun on havaittu häiritsevän voiman kehittymistä (esim. Hickson 1980) ja varsinkin suuremmilla supistumisnopeuksilla (Dudley & Djamil 1985). Hennessy ja Watson (1994) havaitsivat kestävyysharjoittelun haittaavan alavartalon voiman kehittymistä, mutta ei ylävartalon voiman kehittymistä. Myös Hunterin ym. (1987) tulokset antavat viitteitä siihen, että kestävyysharjoittelu häiritsisi vain niiden lihasryhmien voiman kehittymistä, jotka ovat aktiivisina molemmissa harjoitusmuodoissa.

Sittemmin yhdistelmäharjoittelun on havaittu johtavan sekä ylä- että alavartalon maksimivoiman kasvuun (Glowacki ym. 2004; Hunter ym. 1987; Izquierdo ym. 2005;

McCarthy ym. 1995). Häkkinen ym. (2003) totesivat maksimivoiman kehityksen olevan sekä voimaa että kestävyyttä harjoitelleilla samansuuruista kuin pelkästään voimaa harjoitelleilla koko 21 viikon harjoitusjakson ajan (kuva 6). On kuitenkin myös mahdollista, että ensimmäisten harjoitusviikkojen yhdenmukaisen kehityksen jälkeen yhdistelmäryhmän kehitys hidastuu (Izquierdo ym. 2005) tai kääntyy jopa laskuun (Hickson 1980).



KUVA 6. Jalkojen ojentajien konsentrisen maksimivoima (1RM) voima (S)- sekä yhdistetyllä voima- ja kestävyysryhmällä (SE) 1 viikon kontolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana. \*\*\* $p < 0.001$ . (Häkkinen ym. 2003.)

Aikaisemmin harjoittelemattomilla maksimivoiman kasvu johtuu etenkin alkuvaiheessa pääosin neuraalisista adaptaatiomekanismeista, eikä yhdistelmäharjoittelu näyttäisi häiritsevän tätä hermoston osuuden merkitystä maksimivoiman kasvussa. Lihasaktivaation kasvun on nimittäin todettu olevan samansuuruista yhtäaikaisella voima- ja kestävyysharjoittelulla kuin pelkällä voimaharjoittelulla. (Häkkinen ym. 2003; McCarthy ym. 2002.) Vaikka pelkän voimaharjoittelun on havaittu vähentävän antagonistien koaktivaatiota (esim. Carolan & Cafarelli 1992; Häkkinen ym. 2000), Häkkisen ym. (2003) tutkimuksessa biceps femuriksen koaktivaatio kuitenkin väheni merkitsevästi vain

yhdistelmäryhmällä. Koska kestävyysharjoittelu suoritettiin kuntopyörällä, yhdistelmäharjoittelun mahdollinen suurempi hyöty pelkkään voimaharjoitteluun verrattuna voi liittyä reiden takaosan lihasten merkittävään rooliin pyöräilyssä.

Ristiriitaisia tuloksia eri tutkimusten välillä selittänevät erot koehenkilöiden harjoitustaustassa sekä harjoittelun suorittamistavassa, intensiteetissä, volyymissä ja frekvenssissä. Etenkin harjoittelun kokonaisvolyymin merkitys näyttäisi olevan huomattava. Useissa tutkimuksissa, joissa kestävyysharjoittelun on todettu häiritsevän voiman kehittymistä, viikoittainen harjoitusmäärä on ollut melko suuri. Muun muassa Hicksonin (1980) tutkimuksessa koehenkilöt harjoittelivat viisi kertaa viikossa voimaa ja kuusi kertaa kestävyyttä, ja Hennessyn ja Watsonin (1994) tutkimuksessa molempia viisi kertaa viikossa. Sen sijaan pienemmällä harjoitusfrekvenssillä myös yhdistelmäharjoittelulla voidaan saada aikaan merkittävää parannusta maksimivoimassa. Esimerkiksi Izquierdon ym. (2005) tutkimuksessa harjoituskertoja oli vain kaksi viikossa ja Häkkisen ym. (2003) neljä. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun epäedulliset vaikutukset voiman kehittymiseen voivatkin johtua harjoittelun suuresta kokonaisvolyyymista, mikä johtaa yllirasitustilaan ja siten haittaa voiman kehittymistä pitkällä aikavälillä. Kun harjoittelun frekvenssi säilyy melko matalana, kestävyysharjoittelu ei näyttäisi häiritsevän maksimivoiman kehittymistä, vaikka harjoittelu jatkuisi pidempäänkin. (Häkkinen ym. 2003.) Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto yhdistelmäharjoittelussa saavutetuista tuloksista erilaisilla koehenkilöjoukoilla ja harjoittelumenetelmillä.

TAULUKKO 3. Yhteenvedo yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun aiheuttamista muutoksista voimantuotto-ominaisuuksissa (jatkuu seuraavalla sivulla).

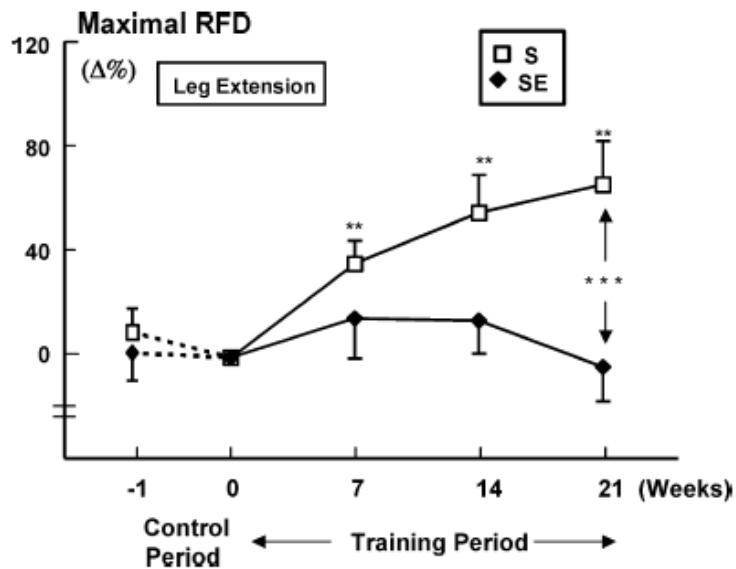
	<b>Koehenkilöt</b>	<b>Harjoittelu</b>	<b>Tulokset</b>
Hickson (1980)	?	10 viikkoa; VK-ryhmä: 5xV(5 toiston sarjoja >80% 1RM), 5xK(pyöräilyä ja juoksua korkealla intensiteetillä); V-ryhmällä 5 harj./vko	Maksimivoima ↑ ensimmäisten 7 viikon aikana VK≈V, sen jälkeen V>VK
Dudley & Djamil (1985)	21 miestä ja naista	7 viikkoa; VK-ryhmä: 3xV (2x30s isokineettinen polven ojennus 4.19 rad/s), 3xK (5x5min pp-ergometrillä) vuorottaisina päivinä; V-ryhmällä 3 harj./vko	Isokineettinen maksimivoima ↑ V-ryhmällä nopeuksilla ≤ 4.19rad/s, VK-ryhmällä vain hitailla nopeuksilla (0 ja 1.68rad/s)
Hennessy & Watson (1994)	52 rugbypelaajaa aikaisemmalla voimaharjoittelukokemuksella (<30 v.)	8 viikkoa; VK-ryhmä: 5 päivänä viikossa yht. 4xK(2 kevyttä, 2 vauhtileikittelyä) ja 3xV (65–105% 1RM); V-ryhmällä 3 harj./vko	Maksimivoima ↑; Alavartalo V>VK, ylävartalo VK≈V; Vertikaalihyppy ↑ vain V-ryhmällä
McCarthy ym. (1995)	30 harjoittelematonta miestä (<30 v.)	10 viikkoa 3x/vko; VK-ryhmä: V(8 liikettä, 4x5–7 (6RM))- ja K (tv 50min (70% HRR))-harj. samana päivänä järjestys vaihdellen (väh. 20 min tauko)	PO isom. maksimivoima sekä kyykky ja PP 1RM ↑, VK≈V; Vertikaalihyppy ↑, VK≈V
Bell ym. (1997)	22 soutajaa (14♂, 8♀), 14 opiskelijaa (8♂, 6♀) (20–30 v.); VK-ryhmä soutajia, V-ryhmä opiskelijoista	16 viikkoa; VK-ryhmä: 3xV (2–6x2–10x65–85% 1RM), 3xK (2 tv 30–45min., 1 intervalli 5–8x3min./3min); V-ryhmällä 3 harj./vko	JP ja PP 1RM ↑, ♂ VK≈V, ♀ V>VK;
Bell ym. (2000)	45 fyysisesti aktiivista opiskelijaa, 27♂, 18♀ (22.3±3.3 v.)	12 viikkoa; VK-ryhmä: 3xV(8 liikettä, 2–6x4–12x72–84 1RM), 3xK(2 tv 30–42min pp-ergometrillä, 1 intervalli 4–7x3min/3min); V ryhmällä 3 harj./vko	JP 1RM ↑ VK≈V, PO 1RM ↑ V>VK

Gravelle & Blessing (2000)	19 fyysisesti aktiivista nuorta naista; 3 ryhmää: 1) vain V, 2) V ennen K ja 3) K ennen V;	11 viikkoa, 3x/vko; V: 5–6 liikettä, 2–4x10–6RM; K: tv soutu 70% VO2max; yhdistelmäryhmillä V ja K samana päivänä mahd. peräkkäin	JP 1RM ↑ kaikilla ryhmillä PRE-MID, edelleen ↑ KV- ja V-ryhmillä MID-POST; V≈VK≈KV PRE-POST
Wood ym. (2001)	36 ikääntynyttä miestä ja naista (60–84)	12 viikkoa, 3x/vko; VK-ryhmä: V(8 liikettä, 1x8–12RM) ja K (pp-ergometri tai kävely 20–30min, 60–70% HRmax) samassa harjoituksessa; V-ryhmä: 8 liikettä, 1–2x8–12RM	Ylä- ja alavartalon 5RM ↑ VK≈V
Häkkinen ym. (2003)	27 miestä (V-ryhmä 38±5v., VK-ryhmä 37±5v.)	21 viikkoa; VK-ryhmällä 2xV(6-7 liikettä, 3-5 sarjaa, progressiivinen intensiteetin kasvu sis. myös nopeusvoimaharj.), 2xK(viikoilla 0-7 30min tv, 8-21 60–90 min tv ja 45-60min intervalli)	JP 1RM, isom. jalkojen ojennus ↑ VK≈V
Glowacki ym. (2004)	45 harjoittelematonta miestä (18–40 v.)	12 viikkoa; VK-ryhmä: 5x/vko, 2–3xK(20–40 min tv), 2–3xV(8 liikettä, 3x6–10); V-ryhmällä 2–3x/vko; voimaharj. määrä molemmilla ryhmillä sama	JP ja PP 1RM ↑, VK≈V; Hyppyteho ↑ vain V-ryhmällä; Vertikaalihyppy ↔
Izquierdo ym. (2005)	31 keski-ikäistä (40–46 v.) miestä	16 viikkoa 2x/vko; VK: 1xV, 1xK	½kyykky 1RM ↑, vko 0-8 VK≈V, vko 8-16 V>VK; PP 1RM ↑, V>VK; ½kyykky 60% 1RM ↑, VK≈V; PP 45% 1RM ↑, V>VK

V=voimaharjoittelu, K=kestävyysarjoittelu, VK=yhdistetty voima- ja kestävyysarjoittelu, tv=tasavauhtinen, PO=polven ojennus, JP=jalkaprässi, PP=penkkipunnerrus.

#### 4.2.2 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset nopeusvoimaan

Myös yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista nopeusvoimaan ja tehoon on olemassa ristiriitaisia tuloksia. Izquierdon ym. (2005) tutkimuksessa yhdistelmäharjoittelulla saavutettiin jalkojen ojentajien konsentrisen tehon parantumista keski-ikäisillä miehillä. Toisaalta Häkkinen ym. (2003) eivät havainneet bilateraalisien jalkojen ojennuksen tai unilateraalisen polven koukistuksen voimantuottonopeuden parantuvan 21 viikon harjoittelujakson aikana aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä, vaikka voimaharjoittelu sisälsi myös kevyemmällä kuormilla tehtyjä nopeusvoimatyypisiä harjoitteita (kuva 7). Myöskään ensimmäisten 500 ms:n aikana tuotettu voima ei muuttunut merkittävästi. Hennessy ja Watson (1994) puolestaan tutkivat vertikaalihyppyä ja juoksunopeutta koehenkilöinä miespuoliset opiskelijat, eivätkä havainneet tuloksissa muutoksia yhdistelmäharjoittelun seurauksena. Samoin Hunter ym. (1987) eivät havainneet vertikaalihyppytuloksen parantuvan voimaa ja kestävyyttä samanaikaisesti harjoitelleilla, kun kyseessä olivat aikaisemmin harjoittelemattomat. Heillä, joilla oli aikaisempaa kestävyysharjoittelutaustaa, voimaharjoittelun lisäksi sen sijaan paransi vertikaalihyppytulosta.



KUVA 7. Muutokset voimantuottonopeudessa (RFD) isometrisessä jalkojen ojennuksessa voima (S)- sekä yhdistetyllä voima- ja kestävyysryhmällä (SE) 1 viikon kontolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana. \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ . (Häkkinen ym. 2003.)

Tutkimustulosten perusteella näyttäisi siltä, että voimaharjoittelun kanssa samanaikaisesti suoritettu kestävyysharjoittelu vaikuttaa enemmän nopeusvoiman kuin maksimivoiman kehittymiseen. Nopean voimantuoton kehittyminen saattaa jossain määrin heikentyä, vaikka harjoittelu sisältäisi nopeusvoimaharjoitteita ja harjoitusfrekvenssi olisi riittävän matala. Syynä lienee kestävyysharjoittelun vaikutus hermoston kykyyn aktivoitua nopeasti. (Häkkinen ym. 2003.)

### **4.2.3 Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistämistavan merkitys harjoitusvaikutuksiin**

Ristiriitaiset tulokset yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista voimantuotto-ominaisuuksiin johtuvat osaksi erilaisista tavoista yhdistää nämä harjoitusmuodot (Leveritt ym. 1999). Kun kestävyys- ja voimaharjoittelu yhdistetään saman harjoituskerran sisällä, kestävyys- ja voimaharjoittelun keskinäisellä järjestyksellä ei näyttäisi voiman kehittymisen kannalta olevan merkitystä. Gravelen ja Blessingin (2000) tutkimuksessa alavartalon maksimivoima kasvoi nuorilla naisilla yhtä paljon riippumatta siitä, harjoiteltiinko kestävyyttä ennen vai jälkeen voimaharjoittelun, vai koostuiko harjoituskerta pelkästään voimaharjoittelusta. Voimaa ennen kestävyyttä harjoitelleilla kehittyminen hidastui harjoittelujakson puolenvälin jälkeen toisin kuin muilla ryhmillä. Kyseisellä ryhmällä maksimivoima oli kuitenkin alkutilanteessa merkitsevästi suurempi kuin muilla ryhmillä, millä saattaa olla vaikutusta tuloksiin.

Sale ym. (1990a) vertasivat kahdenlaista tapaa yhdistää voima- ja kestävyysharjoittelu: molemmat harjoitukset samana päivänä sekä voima- ja kestävyysharjoitus vuoroittaisina päivinä. Molemmat ryhmät paransivat jalkaprässin 1RM-tulosta, mutta eri päivinä voimaa ja kestävyyttä harjoitelleet paransivat tulostaan enemmän kuin samana päivänä molempia harjoitelleet.

Useimmissa tutkimuksissa voimaharjoittelu on ollut maksimivoimatyypistä joko pelkästään (Glowacki ym. 2004; McCarthy ym. 1995) tai sisältäen myös räjähtävän voiman

harjoitteita (Häkkinen ym. 2003). Hortobagyi ym. (1991) tutkivat toisenlaisen voimaharjoittelun yhdistämistä kestävyysharjoitteluun. Kiertoharjoittelutyypinen voimaharjoittelu (engl. circuit weight training) suoritettiin joko matalalla tai korkeammalla intensiteetillä, mutta molemmissa tapauksissa lyhyillä palautuksilla (20 s työtä/40 s lepoa). Voimaharjoituksen päätteksi koehenkilöt tekivät kestävyysharjoituksen juosten. Tällaisella harjoittelulla pystyttiin ylläpitämään alkuperäinen voimataso, mutta isokineettinen voimantuotto tai 1RM eivät parantuneet harjoittelun intensiteetistä riippumatta.

Maksimivoiman kehittymisen kannalta tehokkain tapa yhdistää voima- ja kestävyysharjoittelu näyttäisi olevan tehdä voima- ja kestävyysharjoitukset omina harjoituksinaan eri päivinä. Aikaisemmin harjoittelemattomilla jo kaksi harjoituskertaa viikossa on riittävä ärsyke positiivisten adaptaatioiden saavuttamiseksi. Jos harjoituskertoja on enemmän kuin neljä, yllirasituksen riski kasvaa ja maksimivoiman kehitys voi häiriintyä.



## **5 VOIMAN JA TEHON HARJOITETTAVUUS ERI-ikäISILLÄ MIEHILLÄ JA NAISILLA**

Voima, kuten kaikki muutkin motoriset ominaisuudet, ovat harjoitettavissa läpi elämän. Lihasten harjoitettavuus kuitenkin vaihtelee eri ikäkausina. Olemassa oleva potentiaali voiman kasvulle riippuu aktiivisuustasosta sekä esimerkiksi lihassolukoostumuksesta ja hormonaalisista tekijöistä. Ennen puberteetti-ikää voiman harjoitettavuudessa ei ole sukupuolten välisiä eroja. Tällöin lihasmassa ja samalla voima lisääntyvät samassa suhteessa kehonpainon lisääntymisen kanssa. Varsinkin miehille puberteetti-ikä on erityisen suotuisaa aikaa voiman kehittämiseksi hormonaalisten tekijöiden vuoksi. Tällöin syntyvät myös sukupuolten väliset erot lihasmassassa ja voimantuotossa. Voiman harjoitettavuuden huippu ajoittuu varhaisaikuisuuteen 20 ja 30 ikävuoden välille. (Israel 1991.)

### **5.1 Maksimivoiman harjoitettavuus keski-ikäisillä ja ikääntyneillä**

Ikääntymiseen liittyy voimaominaisuuksien heikkeneminen varhaisaikuisuuden maksimivoiman huipun saavuttamisen jälkeen (Larsson ym. 1979). Tämä johtuu ikääntymisen aiheuttamista rakenteellisista ja toiminnallisista muutoksista hermolihasjärjestelmässä. Harjoittelulla voidaan kuitenkin hidastaa voimantuoton heikkenemistä. (Häkkinen 1990, 176; Israel 1991.)

Useat tutkimukset todistavat, että voimantuoton harjoitettavuus säilyy läpi elämän. Sekä keski-ikäisten että ikääntyneiden on havaittu pystyvän lisäämään niin isometristä kuin dynaamistakin maksimivoimaa (taulukko 4) (Frontera ym. 1988; Häkkinen ym. 1998b; Häkkinen ym. 2000; Moritani & deVries 1980). Esimerkiksi Anianson ja Gustafson (1981) havaitsivat ikääntyneillä lähes yhtä suurta kehitystä voimantuotossa kuin nuorilla miehillä (ks. Israel 1991). Aikaisemmin harjoittelemattomilla keski-ikäisillä ja ikääntyneillä merkittävä kehitys voimassa voidaan saavuttaa melko vähäiselläkin viikoittaisella

harjoitusmäärällä, mikäli intensiteetti on riittävä ja harjoittelu on progressiivista (Häkkinen ym. 2001; Häkkinen ym. 2003; Morganti ym. 1995).

TAULUKKO 4. Voimaharjoittelulla saavutettu maksimivoiman kehittyminen keski-ikäisillä ja ikääntyneillä miehillä ja naisilla.

	<b>Koehenkilöt</b>	<b>Harjoittelu</b>	<b>Testiliikkeet</b>	<b>Parannus (%)</b>
Frontera ym. (1988)	12 miestä (60–72v.)	12 viikkoa 3x/vko, polven ojentajien ja koukistajien maksimivoima (80% 1RM)	Polven ojennus 1RM Polven koukistus 1RM	<b>107.4</b> <b>226.7</b>
Morganti ym. (1995)	39 naista (59.5±0.9v.)	12 kk 2x/vko, progressiivinen maksimivoima (>80% 1RM)	Polven ojennus Jalkaprässi	<b>73.7±12</b> <b>35.1±3</b>
Häkkinen ym. (1998b)	10 keski-ikäistä miestä (42±2v.), 11 keski-ikäistä naista (39±3v.), 11 ikääntynyttä miestä (72±3v.), 10 ikääntynyttä naista (67±3v.)	6 kk, progressiivinen maksimi- ja räjähtävä voima	Isometrinen jalkojen ojennus  Jalkaprässi	M40 <b>36±4</b> M70 <b>36±3</b> N40 <b>66±9</b> N70 <b>57±10</b> M40 <b>22±2</b> M70 <b>21±3</b> N40 <b>34±4</b> N70 <b>30±3</b>
Häkkinen ym. (1998c)	8 nuorta miestä (29±5v.) ja 10 ikääntynyttä miestä (61±4v.)	10 viikkoa, progressiivinen maksimi- ja räjähtävä voima	Isometrinen jalkojen ojennus	M29 <b>15.6</b> M61 <b>16.5</b>
Izquierdo ym. (2001)	11 keski-ikäistä (46±3 v.) ja 11 ikääntynyttä (64±2 v.) miestä	16 viikkoa 2x/vko, progressiivinen maksimi- ja räjähtävä voima	½kyykky 1RM  Isometrinen polven ojennus ½kyykky 60% 1RM	M46 <b>45±6</b> M64 <b>41±16</b> M46 <b>27±7</b> M64 <b>26±15</b> M46 <b>46±30</b> M64 <b>37±29</b>

Eri sukupuolten harjoitettavuudessa saattaa olla eroja. Häkkisen ym. (1998b) tutkimuksessa sekä keski-ikäiset että ikääntyneet naiset pystyivät lisäämään jalkojen ojentajien maksimivoimaa enemmän kuin vastaavanikäiset miehet. Toisaalta joissakin tutkimuksissa

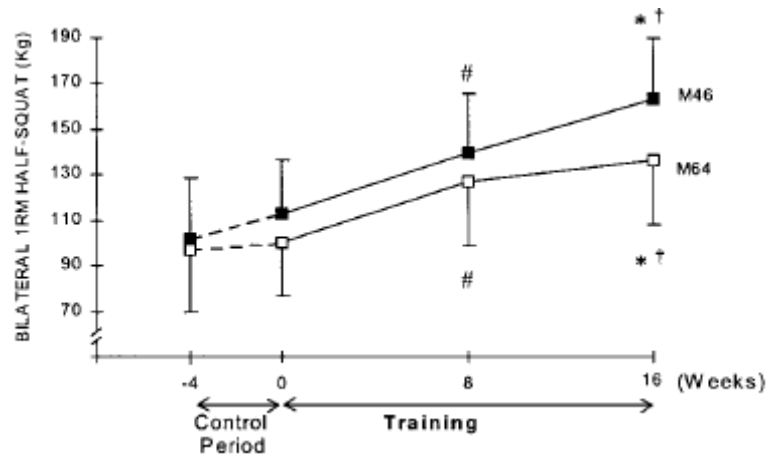
naisten ja miesten sekä keski-ikäisten ja ikääntyvien suhteellisessa voiman lisääntymisessä ei ole havaittu eroja (esim. Häkkinen & Pakarinen 1994; Häkkinen ym. 2001). Koska hypertrofian on havaittu olevan samansuuruista miehillä ja naisilla (Cureton ym. 1988), ovat miesten ja naisten mahdollisuudet voiman kehittämiseen periaatteessa yhtenevät.

Aikaisemmissa tutkimuksissa ei juuri ole vertailtu nivelen ojentaja- ja koukistajalihasten harjoitettavuutta. Frontera ym. (1988) kuitenkin tutkivat polven ojentajien ja koukistajien maksimivoiman kehittymistä ikääntyneillä miehillä. Dynaamisen maksimivoiman suhteellinen paraneminen oli suurempaa koukistajissa (226.7 %) kuin ojentajissa (107.4 %). Absoluuttinen paraneminen sen sijaan oli suurempaa ojentajissa. Mahdolliset erot harjoitettavuudessa voivat liittyä lihasten eriaasteisesta käytöstä johtuviin eroihin lähtötasossa.

Voiman kasvu on yleensä nopeinta harjoittelun alkuvaiheessa kaiken ikäisillä. Esimerkiksi Häkkinen ym. (2003) havaitsivat aikuisten miesten maksimivoiman kehittyvän koko 21 viikon harjoittelujakson ajan, mutta nopeinta kehitys oli ensimmäisten viikkojen aikana. Morganti ym. (1995) tekivät saman havainnon ikääntyneillä naisilla, joilla maksimivoiman kasvu oli suurinta ensimmäisen kolmen kuukauden aikana. Kasvu jatkui koko vuoden pituisen harjoitusjakson ajan, joskin viimeisen puolen vuoden aikana kasvu oli vähäisempää. Ikääntyneillä kasvu saattaa kuitenkin jonkin verran hidastua keski-ikäisiin verrattuna. Esimerkiksi Izquierdon ym. (2001) tutkimuksessa keski-ikäisten ( $46 \pm 3$  v.) ja ikääntyneiden ( $64 \pm 2$  v.) puolikyykyyn 1RM kasvoi ensimmäisten kahdeksan viikon aikana yhtä paljon, mutta koko 16 viikon harjoitusjakson jälkeen keski-ikäisten tulos oli kasvanut merkitsevästi enemmän kuin ikääntyneiden (kuva 8).

Myös keski-ikäisillä ja ikääntyvillä, sekä miehillä että naisilla, maksimivoiman kasvu johtuu etenkin alkuvaiheessa hermostollisesta adaptaatiosta. Agonistien tahdonalainen aktivaatio lisääntyy molemmilla ikäryhmillä, ja lisäksi etenkin ikääntyneillä antagonistien koaktivaatio vähenee. (Häkkinen 2000.) Myös harjoittelun myöhemmässä vaiheessa aikaisemmin harjoittelemattomilla keski-ikäisillä ja ikääntyvillä maksimivoiman kehittymisen taustalla saattavat olla ennemminkin hermostolliset adaptaatiomekanismit

kuin lihashypertrofia. Myös hypertrofiaa voi esiintyä, mutta lihaksen poikkipinta-alan kasvun on vain vähäistä verrattuna maksimivoiman kasvuun. (Häkkinen ym. 1998b; Moritani & deVries 1980.) Delmonico ym. (2005) esittivätkin, että naisilla hypertrofian osuus ei olisi yhtä merkittävä voimantuoton kehittämisessä kuin miehillä, vaan muut mekanismit selittäisivät voiman ja tehon paranemista. Mikäli ikääntyneillä halutaan aikaansaada hypertrofiaa, on harjoittelun intensiteetin ja harjoitusjakson pituuden oltava riittäviä (esim. Frontera ym. 1988).



KUVA 8. Jalkojen ojentajien maksimivoima (puolikyökky 1RM, kg) keski-ikäisillä (M46) ja ikääntyneillä (M64) miehillä 4 viikon kontrolli- ja 16 viikon harjoitusjakson aikana. Merkitsevä ero ( $p < 0.05$ ) # viikkojen 0 ja 8, \* viikkojen 8 ja 16 sekä † viikkojen 0 ja 16. (Izquierdo ym. 2001.)

Kuten erityisesti Izquierdon ym. (2001) tutkimuksen tuloksista voidaan nähdä (taulukko 4), keski-ikäisillä ja ikääntyneillä maksimivoiman kehittämisessä saattaa olla hyvinkin suuria yksilöllisiä eroja. Yksilölliseen adaptoitumiseen vaikuttavat osaltaan hormonaaliset tekijät. Etenkin ikääntyneillä yksilön anabolisten hormonien taso on merkittävä tekijä lihasvoiman harjoitettavuuden kannalta, varsinkin pitkään jatkuvan ja intensiivisen voimaharjoittelun aikana. Niiden yksilöiden, joilla testosteronitaso tai anabolisten hormonien suhde katabolisiin on korkeampi, on havaittu sietävät harjoittelua paremmin ja pystyvän parantamaan maksimivoimaansa enemmän. (Häkkinen & Pakarinen 1994.) Vaikka myös lihassolusuhteella voi periaatteessa olla merkitystä voiman harjoitettavuuden kannalta (Israel 1991), sen ei ole todettu olevan yhteydessä voiman kehittämiseen ikääntyneillä miehillä (Frontera ym. 1988).

## 5.2 Nopeusvoiman harjoitettavuus keski-ikäisillä ja ikääntyneillä

Perinteinen voimaharjoittelu suurilla kuormilla ja hitailla suoritusnopeuksilla johtaa maksimivoiman kasvuun mutta vain pieniin muutoksiin räjähtävässä voimantuotossa (Frontera ym. 1988). Kun voimaharjoittelu sisältää myös räjähtävän voimantuoton harjoitteita, voidaan nopeaa voimantuottoa parantaa merkittävästi niin keski-ikäisillä kuin ikääntyneilläkin. Esimerkiksi Häkkinen ym. (1998b) havaitsivat sekä miesten että naisten molemmissa ikäryhmissä pystyvän parantamaan isometristä voimantuottonopeutta ja vertikaalihyppytulosta. Vertikaalihypyssä ikääntyneet saavuttivat huipputuloksensa aikaisemmassa vaiheessa harjoittelujaksoa kuin keski-ikäiset. Jozsi ym. (1999) puolestaan vertasivat 12 viikon progressiivisen voimaharjoittelujakson vaikutuksia alaraajojen konsentriseen tehoon ikääntyneillä (56–66 v.) ja nuorilla (21–30 v.). Molemmat ikäryhmät paransivat tehoaan yhtä paljon kuormilla 40 ja 60 % 1RM, mutta miehillä parannus oli suurempaa kuin naisilla. Räjähtävän voimantuoton harjoitettavuus näyttää siis säilyvän keski-ään jälkeenkin, mutta harjoitettavuudessa saattaa olla sukupuolten välillä eroa. Lisäksi etenkin ikääntyneillä tehon parantuminen saattaa hidastua tai jopa pysähtyä jo parin kuukauden harjoittelun jälkeen (Izquierdo ym. 2001).

Toisaalta on olemassa joitakin todisteita myös siitä, että nopeusvoiman harjoitettavuus ei täysin säilyisi ikääntymisen myötä. Häkkisen ym. (1998c) tutkimuksessa ikääntyneet miehet ( $61 \pm 4$  v.) eivät nimittäin parantaneet 10 viikon harjoittelun jälkeen isometristä voimantuottonopeutta, mutta samalla tavalla harjoitelleet nuoret miehet ( $29 \pm 5$  v.) paransivat. Onkin mahdollista, että keski-ikäisten ja ikääntyneiden voimaharjoittelussa on käytettävä esimerkiksi erilaista intensiteettiä ja/tai frekvenssiä kuin nuorten harjoittelussa optimaalisen harjoitusvaikutuksen saavuttamiseksi.

## 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, eroavatko lihasaktivaation, maksimivoiman ja räjähtävän voiman muutokset 1) voima- ja voima + kestävyys -ryhmillä sekä 2) miehillä ja naisilla 21 viikon harjoittelujakson aikana. Erityisesti tarkastellaan seuraavia kysymyksiä:

- (1) Eroavatko maksimi- ja räjähtävän voiman sekä lihasaktivaation muutokset voima- ja voima + kestävyys -ryhmillä?

Työhypoteesi: Maksimivoiman ja lihasaktivaation muutokset ovat samankaltaisia voima- ja voima + kestävyys -ryhmillä, mutta räjähtävän voiman parantuminen voi olla yhdistelmäryhmällä vähäisempää.

Harjoitusvolyymin pysyessä kohtuullisena yhdistelmäharjoittelulla voidaan saavuttaa samanlaisia tuloksia kuin pelkällä voimaharjoittelulla (Häkkinen ym. 2003; Izquierdo ym. 2005). Yhdistelmäharjoittelun vaikutuksista räjähtävään voimaan on olemassa ristiriitaisia tuloksia, mutta joidenkin tutkimusten mukaan kestävyysharjoittelu voi häiritä nopean voimantuoton kehittymistä (Häkkinen ym. 2003).

- (2) Onko maksimi- ja räjähtävän voiman harjoitettavuudessa eroa miesten ja naisten välillä?

Työhypoteesi: Maksimi- ja räjähtävä voima ovat enemmän harjoitettavissa naisilla kuin miehillä.

Lihasmassan menetys saattaa olla hieman nopeampaa naisilla kuin miehillä (Frontera ym. 1991). Aikaisemmat tutkimukset antavatkin joitakin viitteitä siitä, että naiset pystyvät parantamaan maksimivoimaa enemmän kuin miehet (Häkkinen ym. 1998b).

(3) Muuttaako harjoittelu ojentaja/koukistaja-suhdetta?

Työhypoteesi: Ojentaja/koukistaja-suhde pienenee harjoittelun seurauksena.

Jos polven koukistajat ovat enemmän harjoitettavissa kuin ojentajat, ojentaja/koukistaja-suhde pienenee. Frontera ym. (1988) havaitsivat ikääntyvien miesten polven koukistajien maksimivoiman kehittyvän suhteellisesti enemmän kuin ojentajien.

(4) Vaikuttaako harjoittelu antagonisti/agonisti-EMG-suhteeseen?

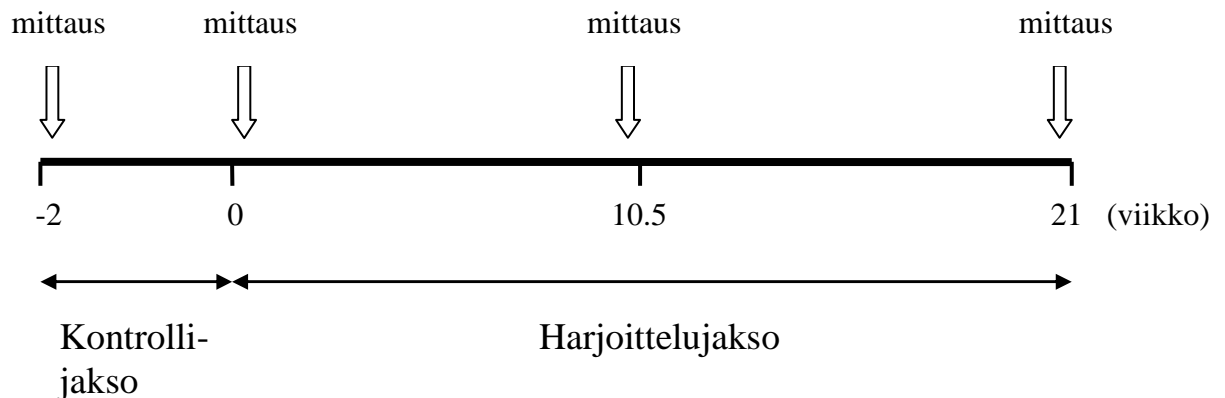
Työhypoteesi: Antagonisti/agonisti-EMG-suhde pienenee harjoittelun seurauksena.

Voimaharjoittelun on todettu lisäävän agonistiaktivaatiota (Häkkinen ym. 2000; Rabita ym. 2000) ja vähentävän antagonistiaktivaatiota (Carolan & Cafarelli 1992; Häkkinen ym. 2000). Tämän seurauksena antagonisti/agonisti-EMG-suhde eli koaktivaatio pienenee.

## 7 MENETELMÄT

### 7.1 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen tulokset ovat kahdesta erillisestä tutkimusprojektista – miehille tutkimuksen mittaukset tehtiin v. 2005 ja naisille v. 2006. Tutkimusasetelma ja -menetelmät olivat molemmilla kerroilla samanlaiset. Harjoittelujaksoa edelsi kahden viikon kontrollijakso (esimittaukset viikolla -2). Esimittausten tarkoituksena oli tutustuttaa koehenkilöt laitteisiin ja mittauksiin oppimisvaikutuksen minimoimiseksi. Alkumittausten (viikko 0) jälkeen alkoi 21 viikon ohjattu harjoittelujakso joko voima- tai yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmässä. Harjoittelujakson puolivälissä (viikko 10.5) harjoitusryhmien koehenkilöille suoritettiin välimittaukset ja harjoittelujakson päättyttyä (viikko 21) kaikille koehenkilöille loppumittaukset. Tutkimusasetelma on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Tutkimusasetelma.

### 7.2 Koehenkilöt

Koehenkilöt rekrytoitiin tutkimukseen sanomalehti-ilmoitusten avulla. Tutkimukseen valittujen täytyi läpäistä lääkärintarkastus ja kliininen rasituskoee. Koehenkilöt eivät olleet



aikaisemmin harrastaneet säännöllistä voima- tai kestävyysharjoittelua. Kaikki koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti, ja he allekirjoittivat suostumuslomakkeen, jossa heitä informoitiin tutkimuksen kulusta sekä siihen liittyvistä mahdollisista riskeistä ja haitoista. Jyväskylän keskussairaalan eettinen komitea oli hyväksynyt tutkimussuunnitelmat. Koehenkilöiden tietoja käsiteltiin luottamuksellisesti kaikissa tutkimuksen vaiheissa.

Tutkimukseen valittiin yhteensä 49 keski-ikäistä (40–59 v.) miestä ja 63 naista. Sekä miehet että naiset jaettiin satunnaisesti kahteen harjoitteluryhmään sekä kontrolliryhmään: miesten voimaharjoittelu- (V) (n=17), yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu- (VK) (n=19) ja kontrolliryhmä (KO) (n=13); naisten V- (n=22), VK- (n=23) ja KO-ryhmä (n=18). Tutkimuksen aikana kolme mies- ja viisi naiskoehenkilöä lopetti tutkimuksen henkilökohtaisista syistä, ja kahdella mieskoehenkilöllä harjoittelu ei toteutunut vaatimusten mukaisesti. Lopullinen koehenkilöjoukko koostui 44 miehestä (V, n=14; VK, n=18; KO, n=12) ja 58 naisesta (V, n=21; VK, n=21; KO, n=16). Koehenkilöiden ikä, pituus, paino ja kehon painoindeksi on kuvattu taulukossa 5. Sukupuolet eivät eronneet toisistaan merkitsevästi iän suhteen missään ryhmässä. Kaikissa ryhmissä miehet olivat merkitsevästi ( $p \leq 0.001$ ) pidempiä ja painavampia kuin naiset, ja heidän BMI:nsä oli merkitsevästi ( $p \leq 0.05$ ) naisia suurempi. Sukupuolittain ryhmät eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

TAULUKKO 5. Koehenkilöiden (n=102) kuvaus ryhmittäin alkumittauksissa. Merkitsevä ero pituudessa, painossa ja BMI:ssä miesten ja naisten välillä. \*\*\*  $p \leq 0.001$ , \*  $p \leq 0.05$

	n	Ikä (v±SD)	Pituus (cm±SD)	Paino (kg±SD)	BMI(±SD)
V naiset	21	49,1±6,4	165,0±7,8	65,8±10,3	24,1±3,1
VK naiset	21	48,4±5,0	164,2±4,9	66,3±9,5	24,6±3,2
KO naiset	16	49,6±6,3	167,1±6,0	68,7±5,9	24,6±2,2
V miehet	14	51,2±4,6	180,0±7,2***	84,1±10,1***	26,0±3,4*
VK miehet	18	51,5±4,5	179,6±9,1***	86,4±13,0***	26,6±3,0*
KO miehet	12	50,2±6,1	180,1±7,2***	86,9±11,8***	26,8±3,6*

### 7.3 Harjoittelu

Vastaavaa harjoitusohjelmaa on käytetty myös eräissä aikaisemmissa voima- ja yhdistelmäharjoittelututkimuksissa (esim. Häkkinen ym. 2003). Harjoittelu toteutettiin ohjatusti pienryhmissä. Voimaryhmä harjoitteli kaksi ja yhdistelmäryhmä neljä kertaa viikossa (kaksi kertaa voimaa, kaksi kertaa kestävyyttä). Yhdistelmäryhmä suoritti voima- ja kestävyysharjoitukset eri päivinä. Kaikille harjoitteluryhmäläisille jaettiin ravitsemus- ja lihashuolto-ohjeet. Heitä ohjeistettiin säilyttämään arkiaktiivisuus mahdollisimman samankaltaisena koko tutkimuksen ajan.

*Voimaharjoittelu.* Ennen jokaisen harjoituksen alkua koehenkilöt suorittivat omatoimisen alkuverryttelyn joko pyöräillen, soutaen tai juoksumatolla kävellen. Voimaharjoittelu kohdistui kaikkiin päälihasryhmiin: alaraajojen ojentajiin (jalkaprässi ja reisipenkki) ja koukistajiin (reisikoukistus), ylävartalon ojentajiin (penkkipunnerrus ja kyynärpään ojennus) ja koukistajiin (hauiskääntö) sekä vatsa- ja selkälihaksiin. Harjoittelun tavoitteita olivat: 1) lihaskestävyyden parantuminen, 2) lihashypertrofia ja 3) maksimivoiman parantuminen. Harjoittelun intensiteetti ja kokonaiskuormitus nousi progressiivisesti harjoittelujakson edetessä (taulukko 6). Kahden ensimmäisen kuukauden aikana harjoittelussa käytettiin kevyitä kuormia (30–60 % 1RM) ja suuria toistomääriä (15–30 toistoa/sarja). Kahden seuraavan kuukauden tavoitteena oli lihashypertrofian aikaansaaminen, jolloin käytettyjen kuormien suuruus kasvoi progressiivisesti (60–80 % 1RM) ja vastaavasti toistojen määrä pieneni (6–12 toistoa/sarja). Viimeisten kahden kuukauden aikana maksimivoiman kehityksen optimoimiseksi käytettiin edelleen suurempia kuormia (70–85 % 1RM) ja pienempiä toistomääriä (5–8 toistoa/sarja). Tyypillisen maksimivoimaharjoittelun lisäksi harjoitteluun sisällytettiin räjähtävän voiman harjoitteita kevyemmillä kuormilla (50–60 % 1RM) jalkojen ojentajille (jalkaprässi), polven ojentajille (reisipenkki) ja yläraajojen ojentajille (penkkipunnerrus). Näissä harjoitteissa koehenkilöt ohjeistettiin suorittamaan jokaisen sarjan jokainen toisto mahdollisimman räjähtävästi. Jalkojen ojentajien kokonaisharjoitusmäärästä noin 20 % toteutettiin räjähtävän voimantuoton harjoittamisen vaatimusten mukaisesti. Koehenkilöt täyttivät jokaisella harjoituskerralla päiväkirjaa, johon merkittiin kuormien, toistojen ja

sarjojen määrä. Pääliikkeiden (jalkaprässi, penkki-punnerrus, hauiskääntö sekä polvien ojennus ja koukistus) 10RM-tulos testattiin säännöllisesti harjoitusten yhteydessä, minkä perusteella määritettiin kulloinkin käytettävät kuormat.

TAULUKKO 6. Voimaharjoittelun eteneminen harjoitusjakson aikana.

	<b>0-3 kk</b>	<b>3-4 kk</b>	<b>5-6 kk</b>
	lihaskunto/kestovoima	hypertrofia	"peaking"
<b>kuorma</b>	30-60% 1RM	60-80% 1RM	70-85% 1RM
<b>toistot/sarja</b>	15-30	6-12	5-8

*Kestävyysharjoittelu.* Kestävyysharjoittelu toteutettiin sykevalvotusti pääosin polkupyöräergometreillä. Yksilölliset harjoitussykkeet määriteltiin maksimaalisen hapenottotestin mukaisten aerobisen ja anaerobisen kynnyksen perusteella. Myös kestävyysharjoittelun kuormitus lisääntyi progressiivisesti (taulukko 7). Ensimmäisen neljän viikon aikana harjoittelu oli peruskestävyysharjoittelua (PK), jolloin viikon molempien harjoitusten kesto oli 30 min ja syke aerobisen kynnyksen alapuolella. Kolmen seuraavan viikon (viikot 5–7) aikana toinen PK-kerta korvattiin intervalliharjoituksella. Harjoitus koostui kahdesta 10 minuutin PK-jaksosta ja näiden välissä poljetusta 10 minuutin vauhtikestävyysjaksosta (VK), jossa syke oli aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välisellä sykealueella. Harjoitusviikoilla 8–14 PK-harjoitus piteni 60 minuuttiin ja intervalliharjoitus 45 minuuttiin. Intervalliharjoitus koostui kahdesta 15 min PK- sekä 10 min VK- ja 5 min maksimikestävyysjaksoista (MK, syke yli anaerobisen kynnyksen). Viikoilla 15–18 PK-harjoitus piteni edelleen 90 minuuttiin ja intervalliharjoitus 60 minuuttiin (verryttely 10 min PK, 2x10 min VK, 2x5 min MK, palautukset 4 min PK teho-osioiden välissä ja loppuverryttely 8 min PK). Harjoitusjakson lopulla (viikot 19–20) PK-harjoitus lyheni 75 minuuttiin, ja intervalliharjoituksen vetopituudet lyhenivät (2x8 min VK ja 2x3 min MK). Viimeisellä viikolla PK-harjoitus kesti 45 min, ja intervalliharjoituksessa ei poljettu MK-alueella lainkaan.

TAULUKKO 7. Kestävyysharjoittelun eteneminen harjoitusjakson aikana.

	0-2 kk	3-4 kk	5-6 kk
<b>intensiteetti ja kesto</b>	<aerobinen kynnyks 30 min	<aerobinen kynnyks 60 min intervalliharjoitus 45 min	<aerobinen kynnyks 90 min intervalliharjoitus 60 min

## 7.4 Voimamittaukset

Ennen voimamittauksia koehenkilöt verryttelivät itsenäisesti polkupyöräergometrillä noin viiden minuutin ajan. Lisäksi maksimiyrityksiä edelsivät aina verryttelysuoritukset; isometrisissä testeissä 2–3 submaksimaalista suoritusta ja konsentrisessa jalkaprässissä kaksi verryttelysarjaa n. 60–80 %:lla arvioidusta yhden toiston maksimista. Jokaisen testin suoritustekniikka ohjeistettiin tarkasti ja sen toteutumista valvottiin. Virheelliset suoritukset hylättiin. Suoritusten aikana koehenkilöitä kannustettiin voimakkaasti maksimaalisen yrityksen varmistamiseksi. Isometrisissä testeissä koehenkilöitä neuvottiin tuottamaan maksimivoima mahdollisimman nopeasti ja ylläpitämään sitä n. kolmen sekunnin ajan. Maksimisuoritusten välinen palautumisaika oli noin minuutti. Voimasignaali tallennettiin tietokoneelle ja analysoitiin Signal-ohjelmalla. Laitteet säädettiin jokaiselle koehenkilölle sopiviksi, ja säädöt pidettiin vakioina kaikilla mittauskerroilla.

*Jalkaprässi.* Alaraajojen ojentajien bilateraalisen konsentrisen maksimivoiman (yhden toiston maksimi, 1RM) määrittämiseen käytettiin David 210 -dynamometriä (David Fitness and Medical) (Häkkinen ym. 1998b). Istuma-asennossa (polvikulma noin 70°) koehenkilö pyrki saavuttamaan täyden jalkojen ojennuksen (180°). Verryttelysarjojen jälkeen kuormaa lisättiin jokaisen onnistuneen suorituksen jälkeen, kunnes koehenkilö ei enää pystynyt puhtaaseen jalkojen ojennukseen. Maksimivoimaksi määriteltiin suurin mahdollinen kuorma, jolla koehenkilö pystyi tekemään hyväksytyyn suoritukseen. Maksimikuorma pyrittiin löytämään 2,5 kg:n tarkkuudella 5–6 yritystä käyttäen. Myös jalkojen ojentajien räjähtävä voimantuotto testattiin David 210-dynamometrissä. Kuormana käytettiin 50 % 1RM:sta (väli- ja loppumittauksissa absoluuttisen lisäksi myös suhteellinen, mikäli 1RM

tulos oli eri kuin alkumittauksissa), ja koehenkilöitä ohjeistettiin tekemään mahdollisimman nopea ja räjähtävä suoritus. Jokaisella koehenkilöllä oli kolme suoritusta, ellei käytetty kahta eri kuormaa. Tällöin yrityksiä oli molemmilla kuormilla kaksi. Lopullisessa analyysissä käytettiin vain absoluuttisella kuormalla tehtyjä suorituksia.

*Polven ojennus ja koukistus.* Polven ojentajien ja koukistajien unilateraalisen isometrisen maksimivoiman (Nm) mittaamiseen käytettiin modifioitua David 200 -dynamometriä (Häkkinen ym. 1998b). Istuma-asennossa, nilkka voima-anturiin kiinnitettynä, koehenkilöt suorittivat komennosta oikealla jalalla maksimaalisen isometrisen polven ojennuksen tai koukistuksen. Maksimivoimaltaan paras kolmesta suorituksesta (tai joissakin tapauksissa 4–5:stä) otettiin jatkoanalysoitavaksi.

## 7.5 Lihaskäivisuus

Lihaskäivisuus (EMG) mitattiin telemetrisesti jokaisessa suorituksessa. Unilateraalisisa polven ojennuksessa ja koukistuksessa EMG mitattiin oikean jalan vastus lateralis- (VL), vastus medialis- (VM), rectus femoris- (RF) ja biceps femoris (BF) -lihaksista. Bilateraalisisa jalkojen ojennuksessa EMG mitattiin lisäksi myös vasemman jalan VL- ja VM-lihaksista. EMG:n mittaamiseen käytettiin bipolaarisia pintaelektrodeja. Elektrodit kiinnitettiin SENIAM:in suositusten mukaisiin kohtiin, ja kohdat merkittiin ihoon pienillä tatuoinneilla. EMG-signaali tasasuunnattin, integroitiin (iEMG) ja aikannormalisoitiin. Agonistili hasten maksimi-EMG:ksi määritettiin oikean jalan VL-, RF- ja VM -lihasten keskiarvoistettu aktiivisuus isometrisissä suorituksissa maksimivoiman aikaiselta ajalta (500–1500 ms) ja konsentrisissa suorituksissa koko suorituksen ajalta. Isometrisessä polven koukistuksessa agonistin maksimi-EMG:ksi määritettiin BF-lihaksen aktiivisuus aikavälillä 500–1500 ms. Naisten välimittauksissa ei pystytty mittaamaan EMG-aktiivisuutta kaikista lihaksista tarvikeongelmien vuoksi, jolloin EMG mitattiin vain oikean jalan VL-, RF- ja BF-lihaksista. Antagonistin koaktivaatio laskettiin polven ojennuksessa seuraavalla kaavalla:  $(BF:n\ iEMG\ polven\ ojennuksessa / BF:n\ iEMG\ polven\ koukistuksessa) * 100\ %$  sekä vastaavalla tavalla jalkaprässissä.

## 7.6 Tilastolliset menetelmät

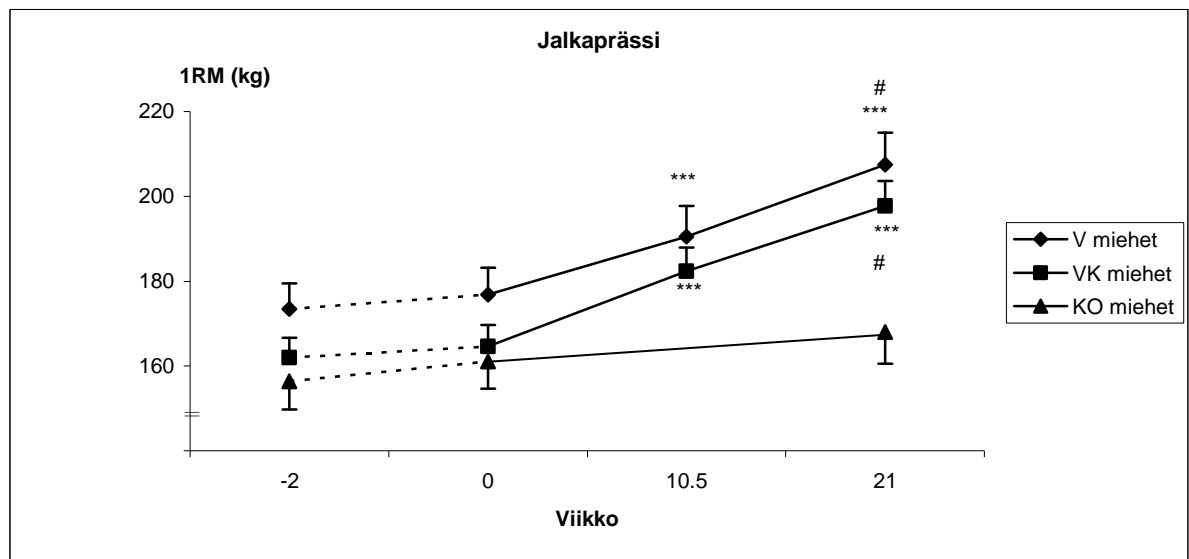
Tulosten tilastollisessa analyysissä käytettiin SPSS 14.0 for Windows -ohjelmaa. Tulokset on ilmoitettu keskiarvoina (kuvissa  $\pm$ SE). Kontrollijakson aikaisten muutosten merkitsevyyksiä tarkasteltiin parittaisella t-testillä. Ryhmän sisäisten muutosten merkitsevyyttä tarkasteltiin toistomittausten ANOVA:lla, sekä ryhmien ja sukupuolten välisten muutosten erilaisuuden merkitsevyyttä ANCOVA:lla ja MANCOVA:lla Post hoc Bonferroni -testiä käyttäen. Muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Yleiset merkitsevyyden rajat olivat  $*=p \leq 0.05$ ,  $**=p \leq 0.01$  ja  $***=p \leq 0.001$ .

## 8 TULOKSET

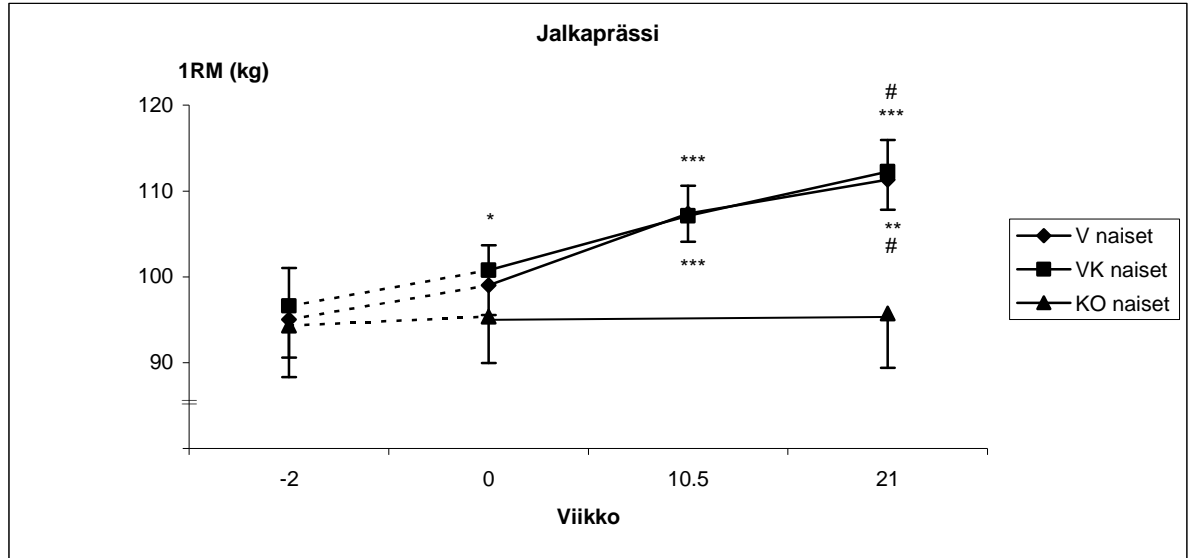
### 8.1 Maksimivoima

#### 8.1.1 Alaraajojen bilateraalin konsentrisen ojennusvoima

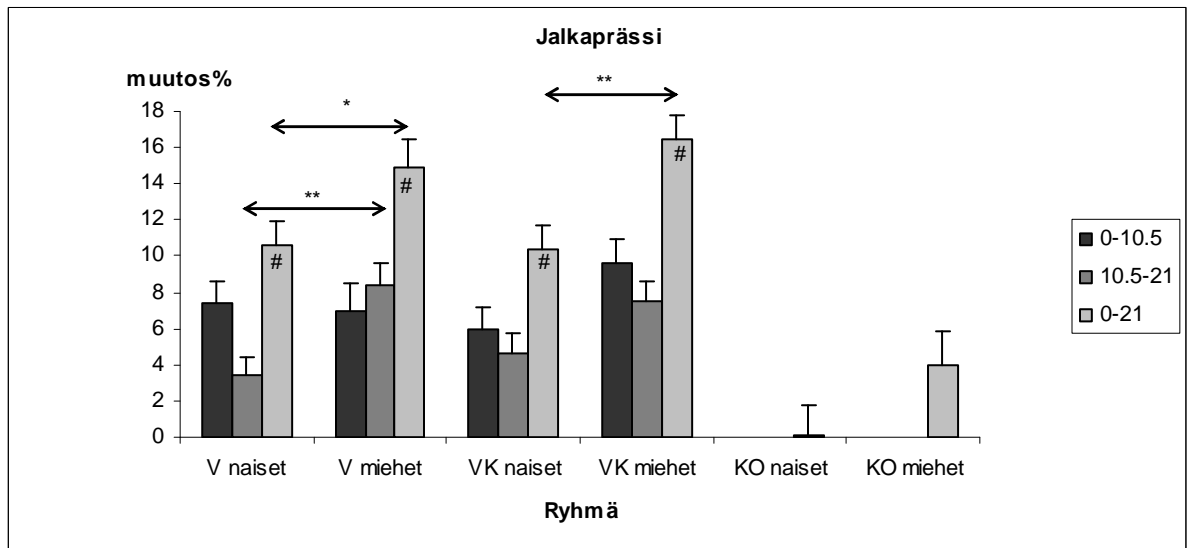
Kontrollijakson aikaiset muutokset konsentrisessa jalkaprässissä eivät olleet merkitseviä muilla ryhmillä kuin naisten VK-ryhmällä ( $p \leq 0.05$ ). Harjoitusjakson loppuun mennessä miesten V-ryhmän tulos parantui 14,8 % ( $p \leq 0.001$ ) ja VK-ryhmän 16,8 % ( $p \leq 0.001$ ) (kuva 10). Naisten V-ryhmällä tulos parantui 10,3 % ( $p \leq 0.001$ ) ja VK-ryhmällä 11,0 % ( $p \leq 0.001$ ) (kuva 11). Alku- ja loppumittausten välillä V- ja VK-ryhmät paransivat KO-ryhmää merkitsevästi ( $p \leq 0.001$ ) enemmän molemmilla sukupuolilla. V- ja VK-ryhmät eivät eronneet toisistaan merkitsevästi sukupuolittain. V-ryhmässä miesten tulos parantui merkitsevästi enemmän kuin naisten sekä väli- ja loppumittausten ( $p \leq 0.01$ ) että nolla- ja loppumittausten ( $p \leq 0.001$ ) välillä. VK-ryhmässä miesten tulos parantui merkitsevästi ( $p \leq 0.01$ ) enemmän kuin naisten alku- ja loppumittausten välillä (kuva 12).



KUVA 10. Jalkojen ojentajien konsentrisen 1RM ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \*\*\*  $p \leq 0.001$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.



KUVA 11. Jalkojen ojentajien konsentrinen 1RM ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla. \*\*\*  $p \leq 0.001$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.

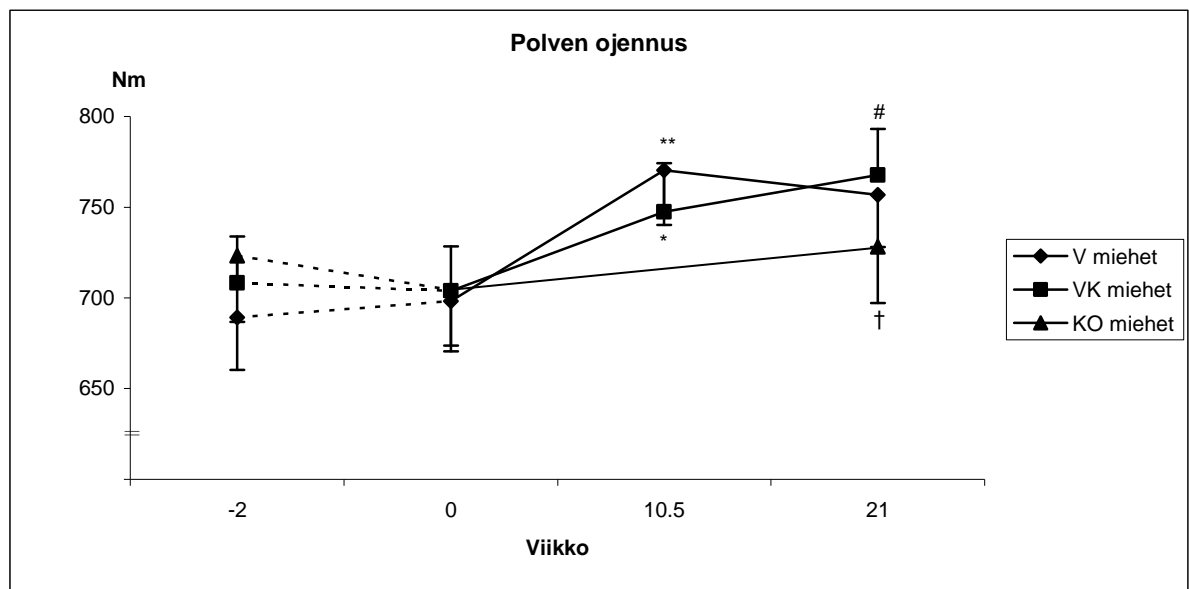


KUVA 12. Keskimääräinen muutosprosentti ( $\pm$ SE) mittauskertojen välillä jalkaprässin 1RM-tuloksessa eri ryhmillä. \*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ ; #  $p \leq 0.001$  KO-ryhmään verrattuna.

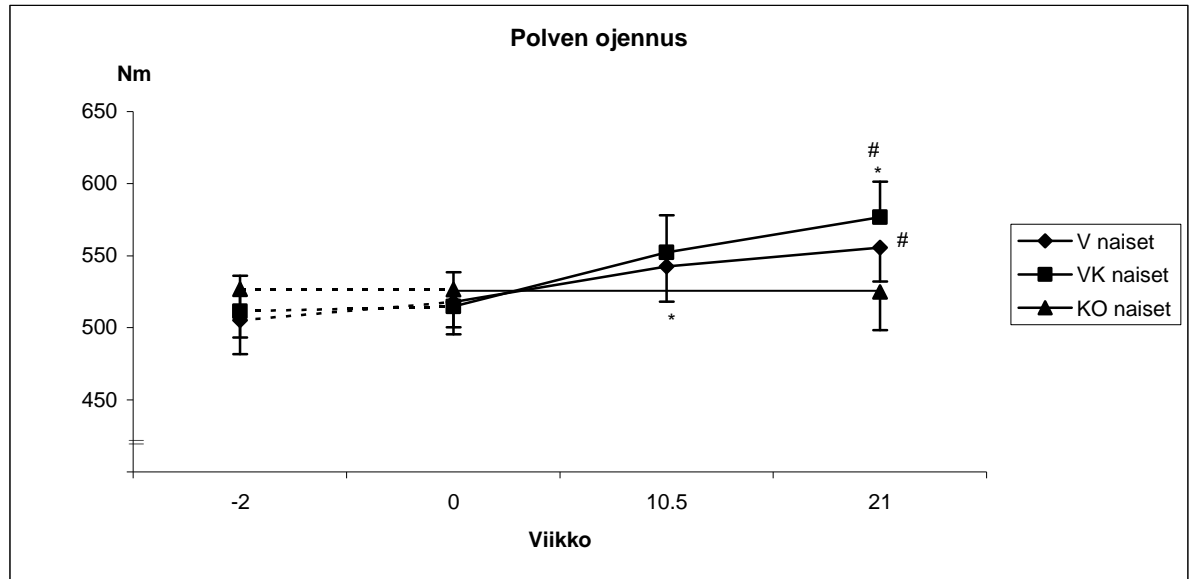


### 8.1.2 Polven unilateraalinen isometrinen ojennusvoima

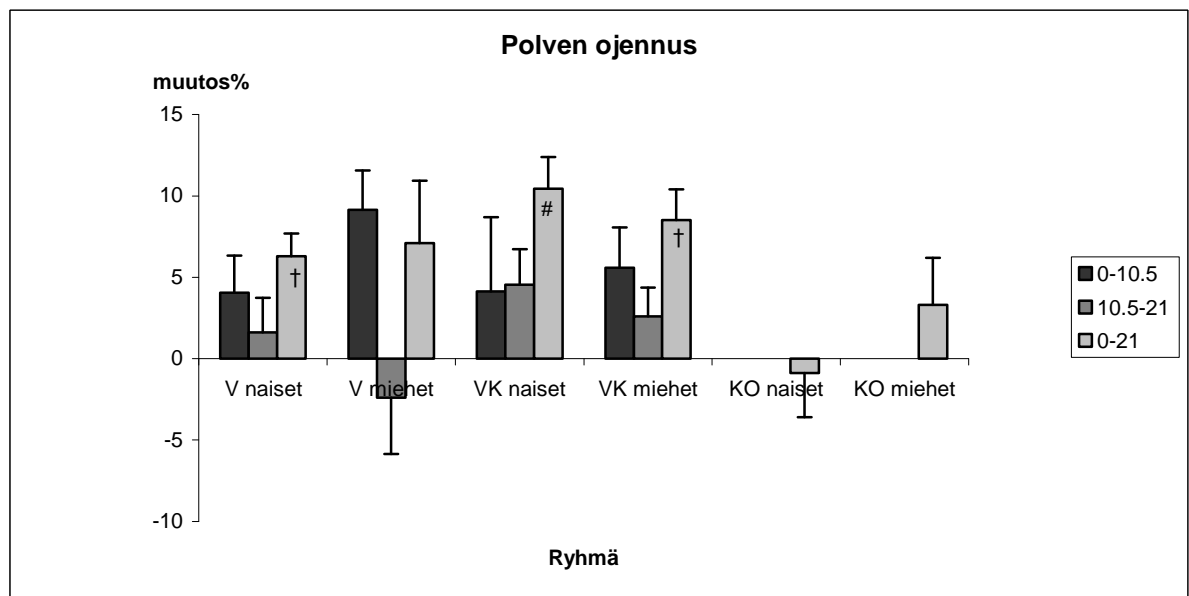
Kontrollijakson aikaiset muutokset isometrisessä polven ojennuksessa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Harjoittelujakson aikana miesten V-ryhmän tulos parantui 7,8 % (ei merkitsevää) ja VK-ryhmän 8,3 % ( $p \leq 0.001$ ) (kuva 13). Myös miesten KO-ryhmällä kasvu oli merkitsevää ( $p \leq 0.01$ ). Naisten V-ryhmän tulos parantui 6,8 % ( $p \leq 0.001$ ) ja VK-ryhmän 10,8 % ( $p \leq 0.001$ ) (kuva 14). V- ja VK-ryhmien tai sukupuolten välillä ei ollut merkitseviä eroja kehityksen suuruudessa. Miehillä vain VK-ryhmän kasvu oli merkitsevästi ( $p \leq 0.01$ ) suurempaa kuin KO-ryhmällä. Naisilla sekä V- ( $p \leq 0.01$ ) että VK-ryhmä ( $p \leq 0.001$ ) paransivat tulostaan merkitsevästi enemmän kuin KO-ryhmä (kuva 15).



KUVA 13. Polven ojennuksen isometrinen maksimivoima ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$  välillä 0–10.5 viikkoa; #  $p \leq 0.001$ , †  $p \leq 0.01$  välillä 0–21 viikkoa.



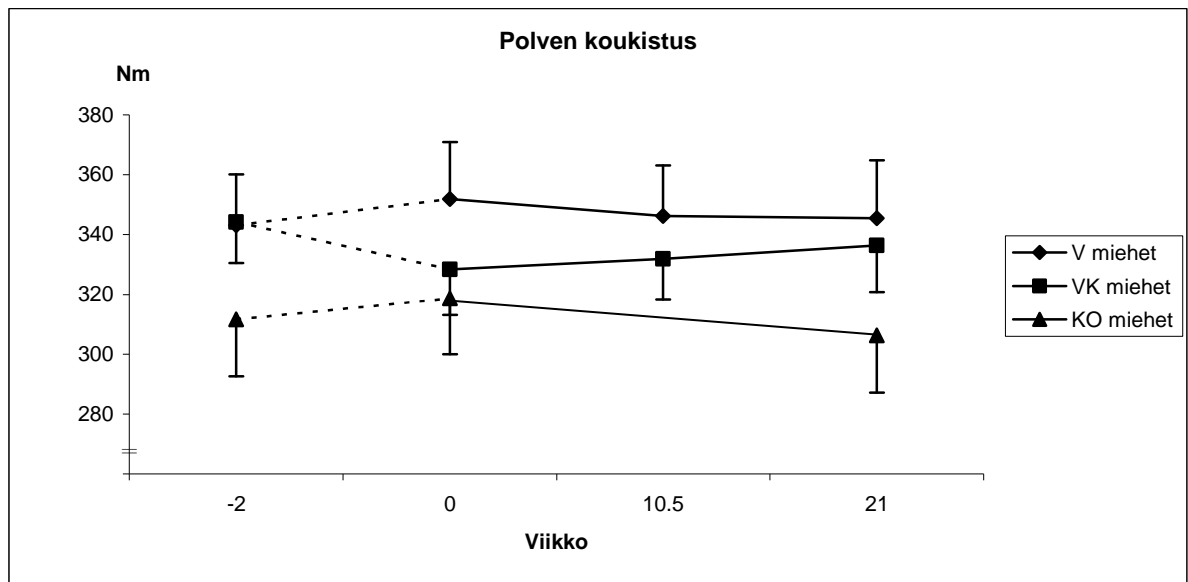
KUVA 14. Polven ojennuksen isometrinen maksimivoima ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla. \* $p \leq 0.05$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.



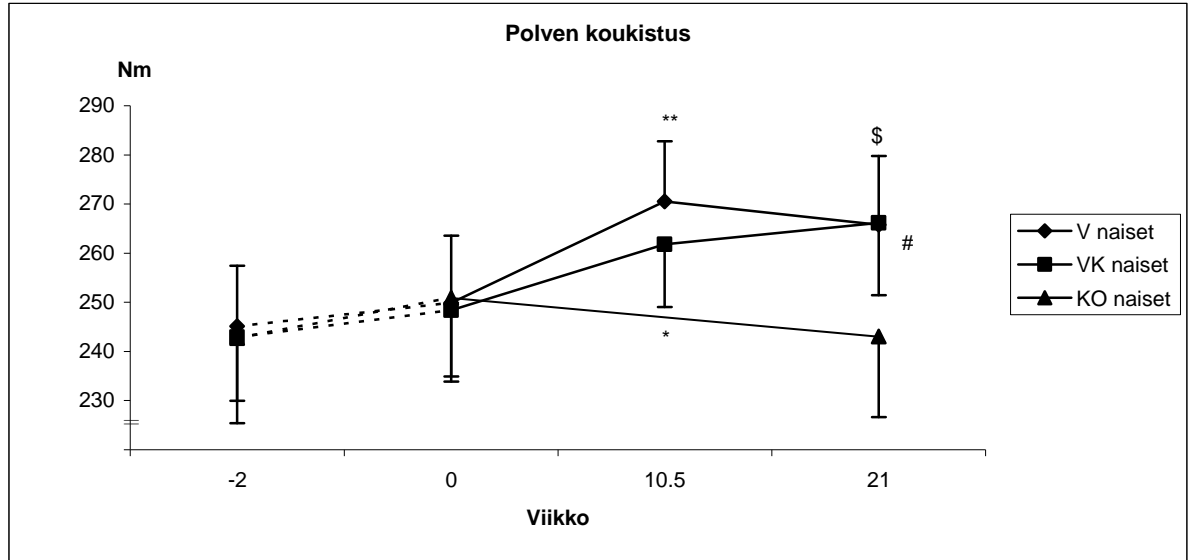
KUVA 15. Keskimääräinen muutosprosentti ( $\pm$ SE) mittauskertojen välillä polven ojennuksen isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä. †  $p \leq 0.01$ , #  $p \leq 0.001$  KO-ryhmään verrattuna.

### 8.1.3 Polven unilateraalinen isometrinen koukistusvoima

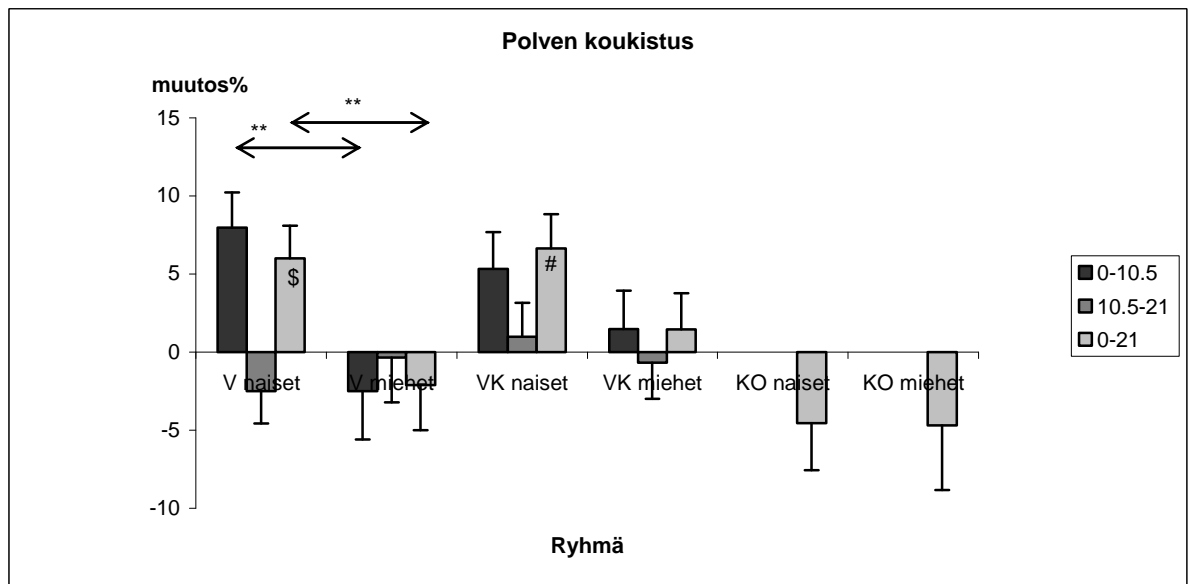
Kontrollijakson aikaiset muutokset isometrisessä polven koukistuksessa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Harjoitusjakson aikaiset muutokset miesten V-ryhmällä (1,9 %) ja VK-ryhmällä (2,4 %) eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (kuva 16). Naisten V-ryhmällä maksimivoima kasvoi 6,0 % ( $p \leq 0.05$ ) ja VK-ryhmällä 6,7 % ( $p \leq 0.001$ ) (kuva 17). Miesten V- ja VK-ryhmien muutokset eivät eronneet merkitsevästi KO-ryhmän muutoksista. Naisilla muutos oli KO-ryhmää merkitsevästi suurempaa sekä V- ( $p \leq 0.05$ ) että VK-ryhmällä ( $p \leq 0.001$ ). V-ryhmässä sukupuolten välinen muutos oli merkitsevästi ( $p \leq 0.01$ ) erilaista alku- ja välimittausten sekä alku- ja loppumittausten välillä (kuva 18). Yhdistettäessä V- ja VK-ryhmät yhdeksi ryhmäksi naiset paransivat koukistusvoimaa merkitsevästi ( $p \leq 0.05$ ) miehiä enemmän alku- ja loppumittausten välillä.



KUVA 16. Polven koukistuksen isometrinen maksimivoima ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä.



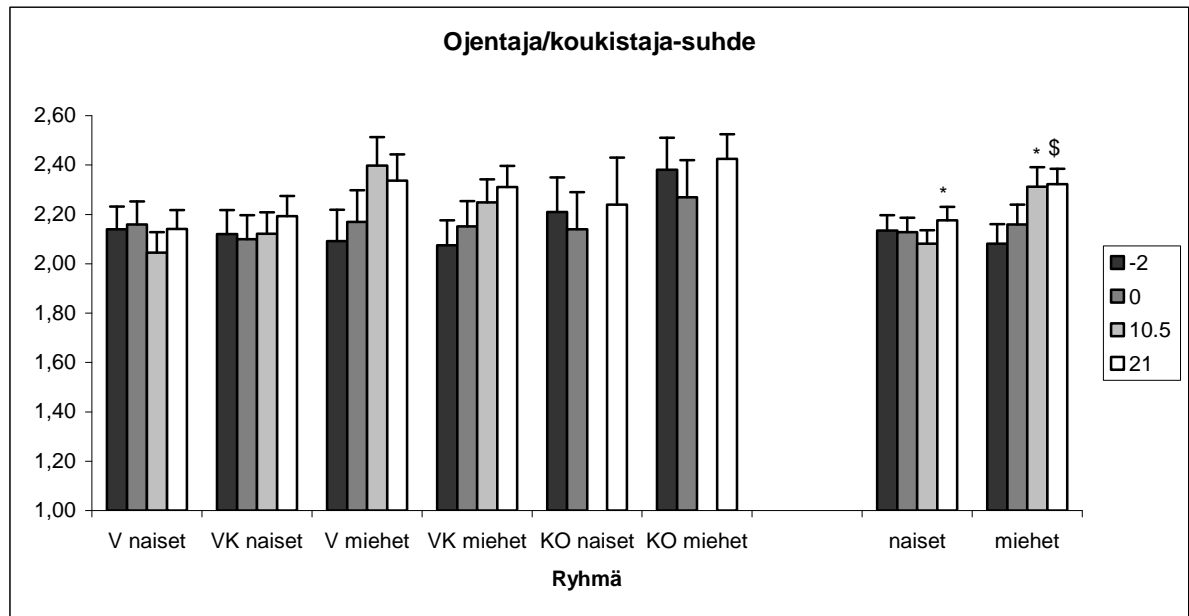
KUVA 17. Polven koukistuksen isometrinen maksimivoima ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla. \* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; \$  $p \leq 0.05$ , #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.



KUVA 18. Keskimääräinen muutosprosentti ( $\pm$ SE) mittauskertojen välillä polven koukistuksen isometrisessä maksimivoimassa eri ryhmillä. \*\* $p \leq 0.01$ ; \$  $p \leq 0.05$ , #  $p \leq 0.001$  KO-ryhmään verrattuna.

### 8.1.4 Ojentaja/koukistaja-suhde

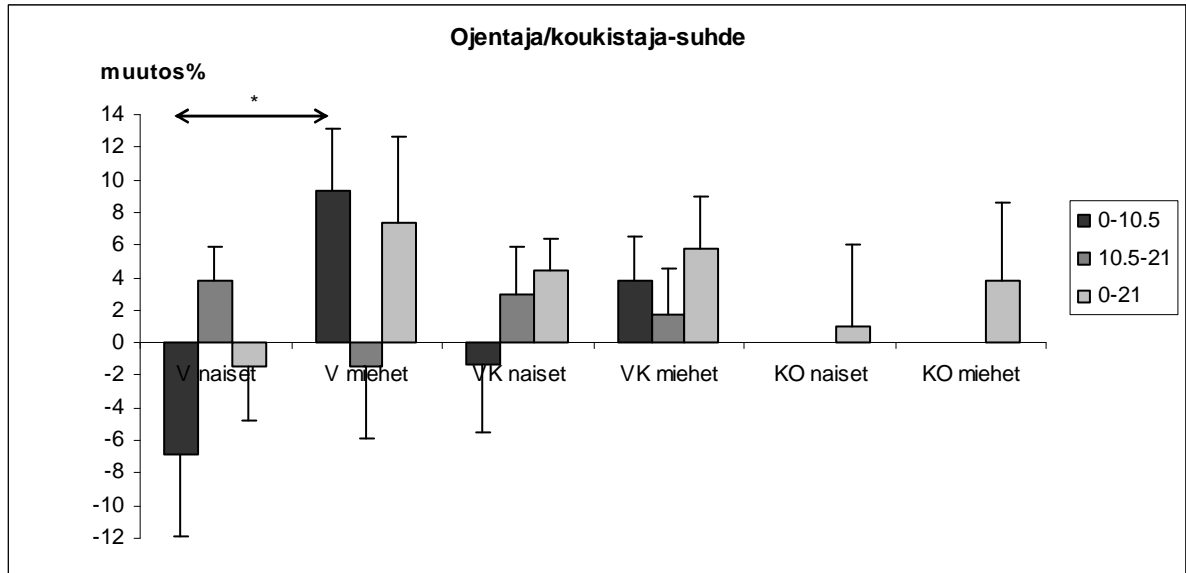
Kontrolli- tai harjoitusjakson aikaiset muutokset ojentaja/koukistaja-suhteessa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Miesten VK-ryhmän 6,9 %:n kasvu alku- ja loppumittausten välillä oli lähellä merkitsevää ( $p=0.054$ ). Myös V-ryhmän ojentaja/koukistaja-suhde kasvoi (7,3 %), mutta ei merkitsevästi. Naisten V- ja VK-ryhmillä suhde pysyi lähes muuttumattomana. Naisten V-ryhmällä kasvu oli lähellä merkitsevää ( $p=0.055$ ) kolmen viimeisen kuukauden aikana. KO-ryhmillä ei tapahtunut merkitseviä muutoksia. Molemmat harjoitusryhmät huomioiden kasvu oli merkitsevää ( $p \leq 0.05$ ) miehillä välillä 0–10.5 ja 10.5–21 sekä naisilla välillä 10.5–21 (kuva 19).



KUVA 19. Polven ojentaja/koukistaja-suhde ( $\pm$ SE) 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana eri ryhmillä sekä harjoitusryhmien miehillä ja naisilla. \* $p \leq 0.05$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; \$  $p \leq 0.05$  välillä 0–21 viikkoa.

V- ja VK-ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja suhteen muutoksissa, eivätkä ne olleet merkitsevästi erilaisia kuin KO-ryhmillä. V-ryhmässä ojentaja/koukistaja-suhteen muutos oli merkitsevästi ( $p \leq 0.05$ ) erilaista miehillä ja naisilla kolmen ensimmäisen kuukauden aikana (kuva 20). Ojentaja/koukistaja-suhteen absoluuttinen arvo alkutilanteessa korreloi

negatiivisesti muutosprosentin kanssa naisten V-ryhmässä ( $r=-0.55$ ,  $p\leq 0.01$ ) ja miesten V-ryhmässä ( $r=-0.83$ ,  $p\leq 0.01$ ). VK-ryhmissä korrelaatio oli myös negatiivinen, mutta ei merkitsevä (naisilla  $-0.11$ , miehillä  $-0.39$ ).

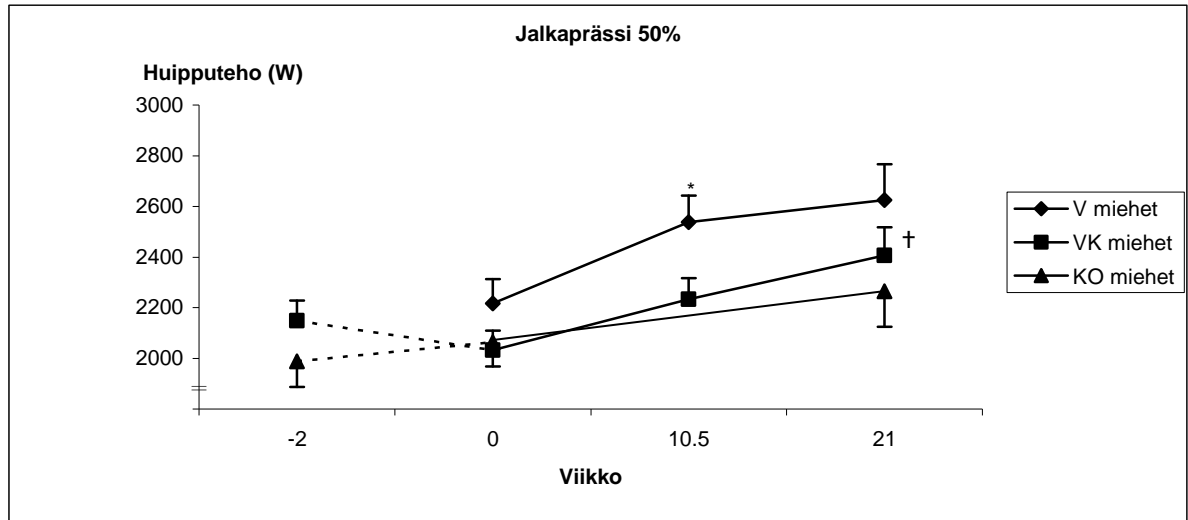


KUVA 20. Keskimääräinen muutosprosentti ( $\pm$ SE) mittauskertojen välillä polven ojentaja/koukistaja-suhteessa eri ryhmillä. \* $p\leq 0.05$

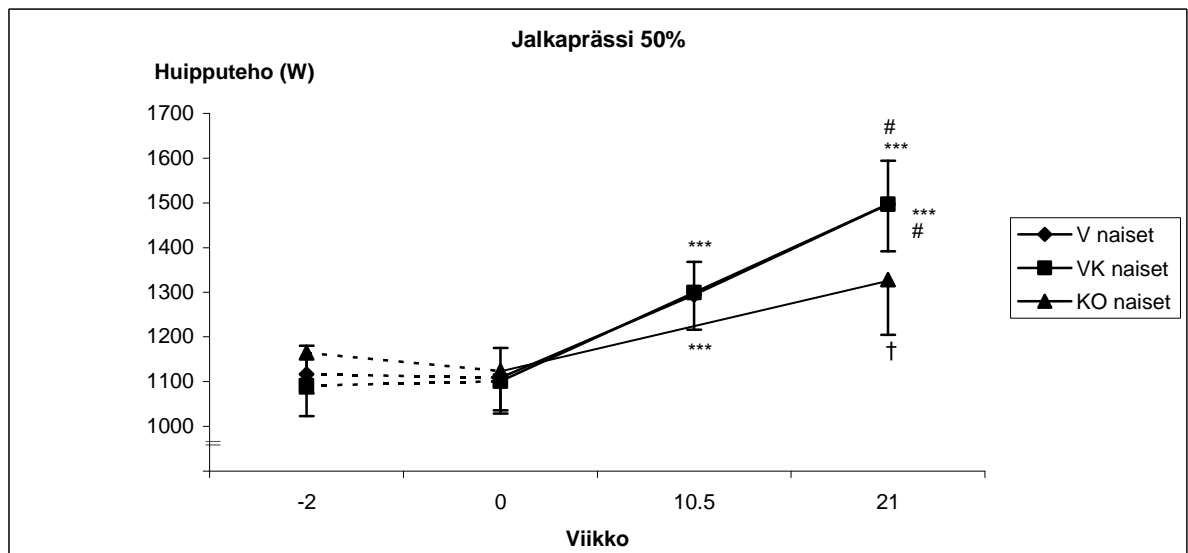
## 8.2 Alaraajojen ojentajien konsentrinen teho

Miesten V-ryhmässä miinusmittausten tulos saatiin vain kolmelta koehenkilöltä, joten ryhmän kontrollijakson aikainen muutos jätettiin analysoimatta. Muilla ryhmillä jalkojen ojentajien konsentrisessa tehossa ei kontrollijakson aikana tapahtunut merkitseviä muutoksia. Huipputeho parani miesten V-ryhmällä 15,6 % (ei merkitsevä), miesten VK-ryhmällä 15,5 % ( $p\leq 0.01$ ), naisten V-ryhmällä 26,0 % ( $p\leq 0.001$ ) ja naisten VK-ryhmällä 26,5 % ( $p\leq 0.001$ ) (kuvat 21 ja 22). Miesten V-ryhmällä huipputehon kasvu oli tilastollisesti merkitsevää ( $p\leq 0.05$ ) vain kolmen ensimmäisen kuukauden aikana. Miesten KO-ryhmällä muutos ei ollut merkitsevää. Naisten KO-ryhmällä kasvu alku- ja loppumittausten välillä sen sijaan oli merkitsevää ( $p\leq 0.01$ ). Miesten V- ja VK-ryhmien

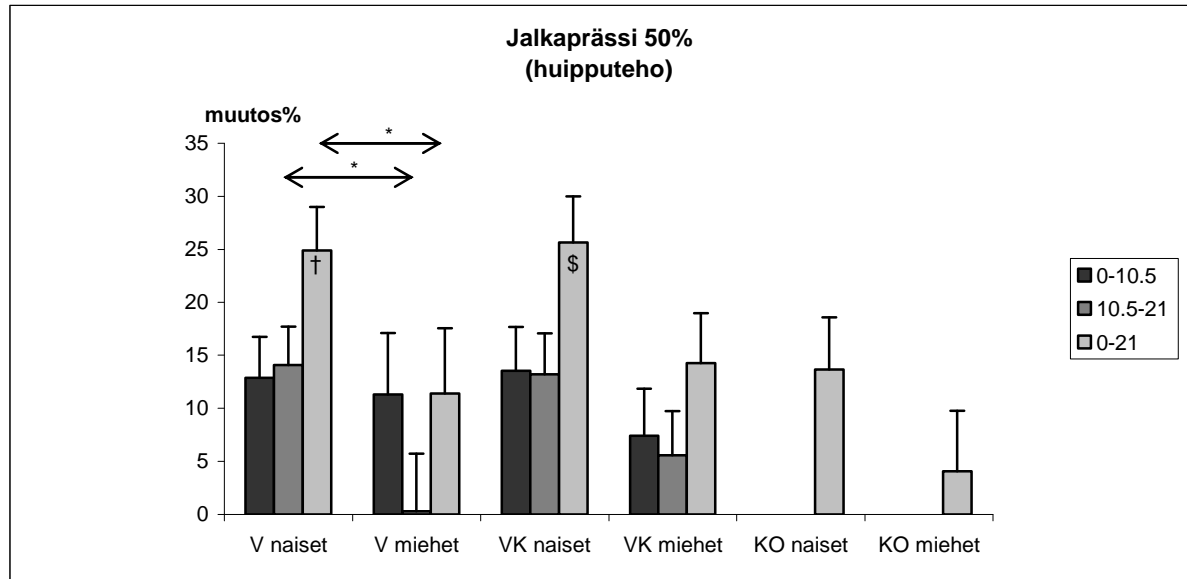
kasvu ei eronnut merkitsevästi KO-ryhmästä. Naisten molemmat harjoitusryhmät erosivat merkitsevästi (V-ryhmä  $p \leq 0.01$ , VK-ryhmä  $p \leq 0.05$ ) KO-ryhmästä. V-ryhmässä naiset paransivat tulostaan merkitsevästi ( $p \leq 0.05$ ) enemmän kuin miehet välillä 10.5–21 sekä 0–21 viikkoa (kuva 23).



KUVA 21. Huipputeho ( $\pm$ SE) konsentrisessa jalkaprässissä kuormalla 50 % 1RM 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \* $p \leq 0.05$  välillä 0–10.5; †  $p \leq 0.01$  välillä 0–21 viikkoa.



KUVA 22. Huipputeho ( $\pm$ SE) konsentrisessa jalkaprässissä kuormalla 50 % 1RM 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla. \*\*\*  $p \leq 0.001$  välillä 0–10.5 ja 10.5–21 viikkoa; †  $p \leq 0.01$ , #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.



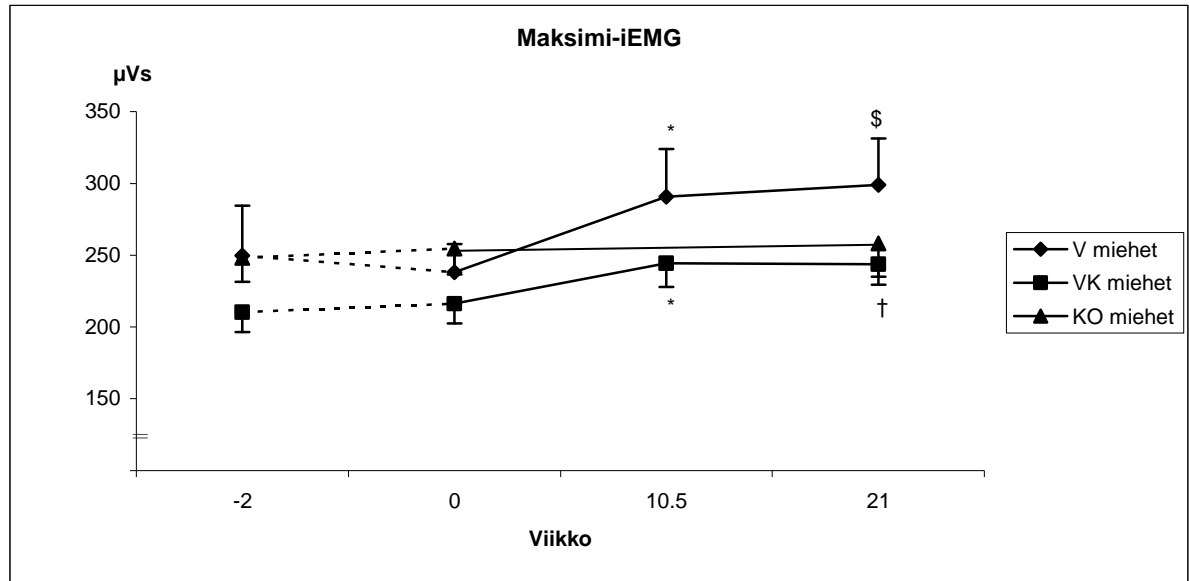
KUVA 23. Keskimääräinen muutosprosentti ( $\pm$ SE) mittauskertojen välillä huipputehossa konsentrisessa jalkaprässissä kuormalla 50 % 1RM eri ryhmillä. \* $p \leq 0.05$ ; †  $p \leq 0.01$ , \$  $p \leq 0.05$  KO-ryhmään verrattuna.

## 8.3 Lihasaktivaatio

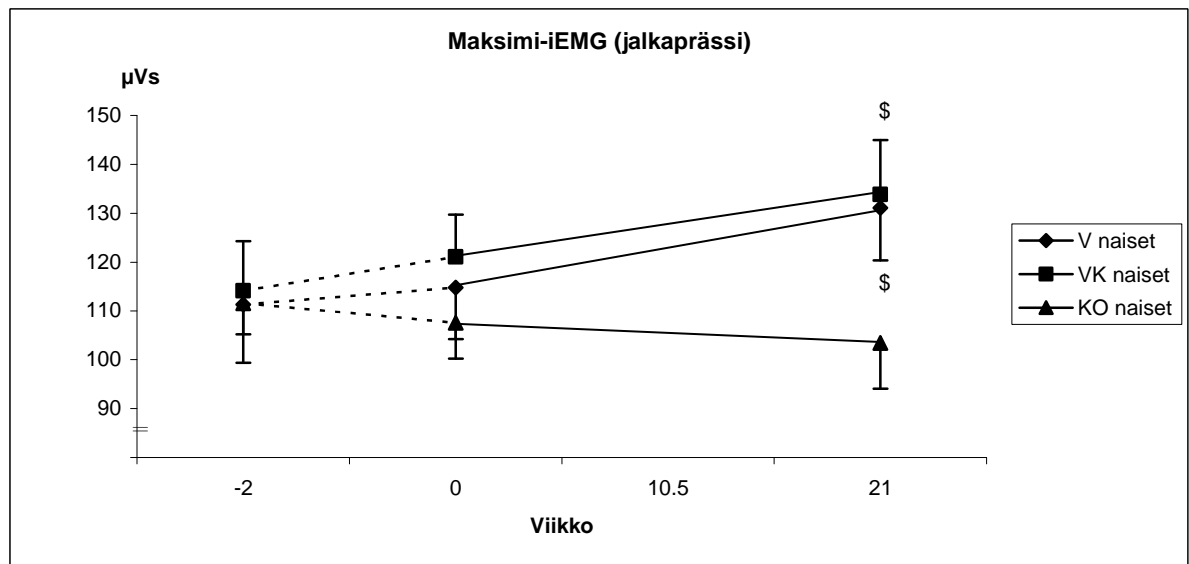
### 8.3.1 Jalkaprässi

*Maksimi-iEMG.* Kontrollijakson aikaiset muutokset jalkaprässin maksimi-iEMG:ssä (VL-, VM- ja RF-lihasen keskiarvo) eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Alku- ja loppumittausten välillä iEMG lisääntyi miesten V-ryhmällä 20,4 % ( $p \leq 0.05$ ) ja VK-ryhmällä 11,3 % ( $p \leq 0.01$ ) (kuva 24). Naisten V-ryhmällä iEMG lisääntyi 12,4 % ( $p \leq 0.05$ ) ja VK-ryhmällä 9,5 % ( $p \leq 0.05$ ) (kuva 25). KO-ryhmillä muutos ei ollut merkitsevää. Naisten harjoitusryhmillä muutos erosi merkitsevästi (V-ryhmä  $p \leq 0.01$ , VK-ryhmä  $p \leq 0.05$ ) KO-ryhmästä. Miesten V- ja VK-ryhmillä kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevästi suurempaa kuin KO-ryhmällä. V- ja VK-ryhmien tai sukupuolten välillä muutokset eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

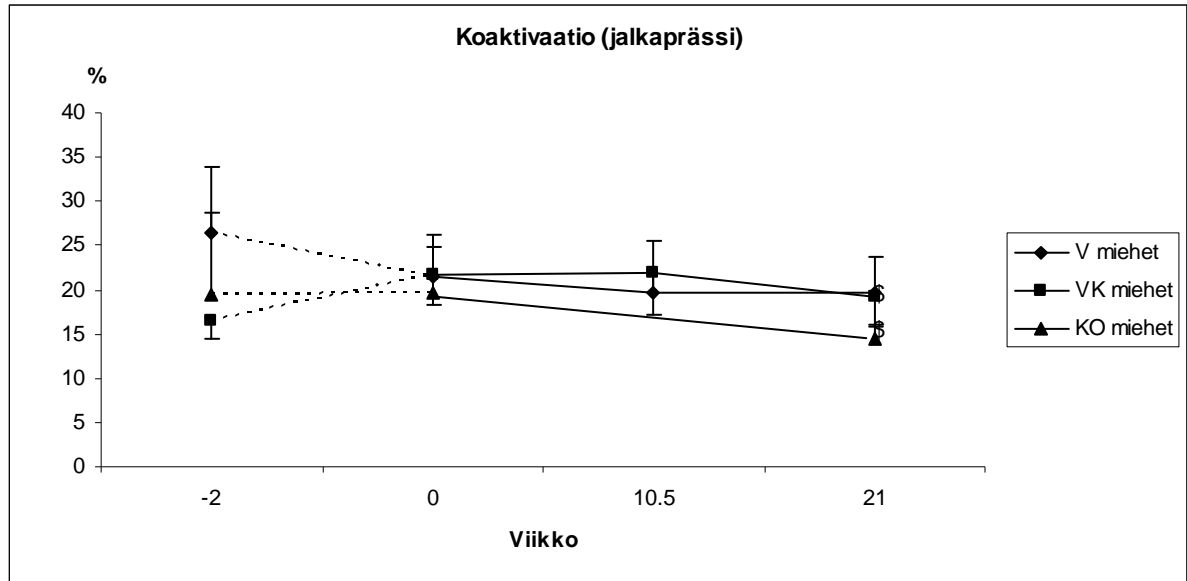




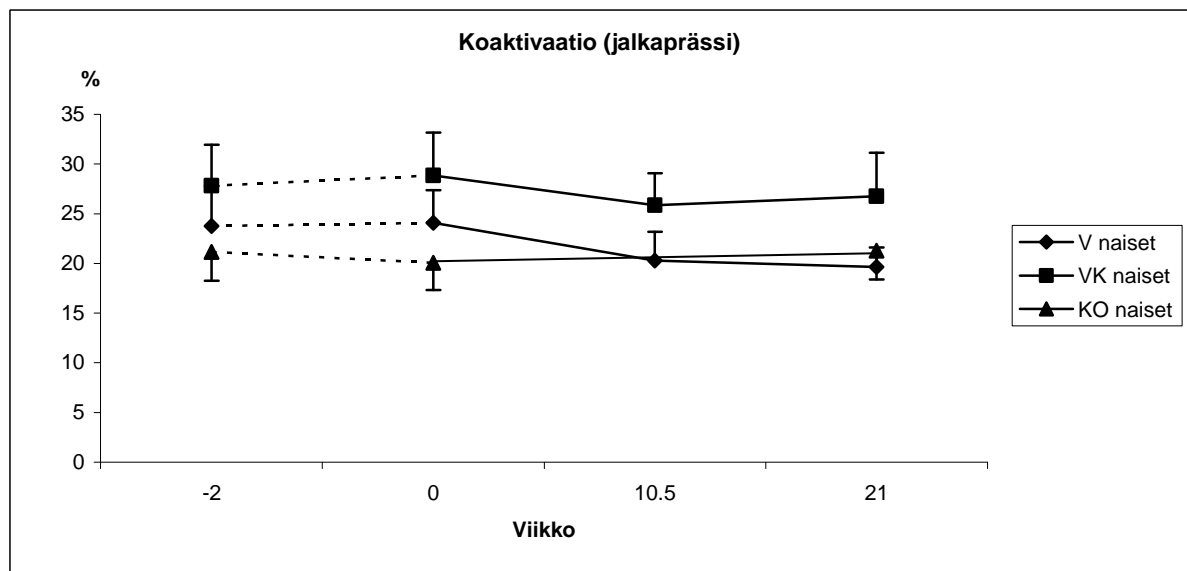
KUVA 24. Agonistilihasten (oikean jalan VL, RF ja VM) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) konsentrisen jalkaprässin maksimisuorituksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \*  $p \leq 0.05$  välillä 0–10.5; \$  $p \leq 0.05$ , †  $p \leq 0.01$  välillä 0–21 viikkoa.



KUVA 25. Agonistilihasten (oikean jalan VL, RF ja VM) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) konsentrisen jalkaprässin maksimisuorituksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla. \$  $p \leq 0.05$  välillä 0–21 viikkoa.



KUVA 26. Antagonistin (BF) koaktivaatioprosentti ( $\pm$ SE) jalkaprässin maksimisuorituksessa miehillä.



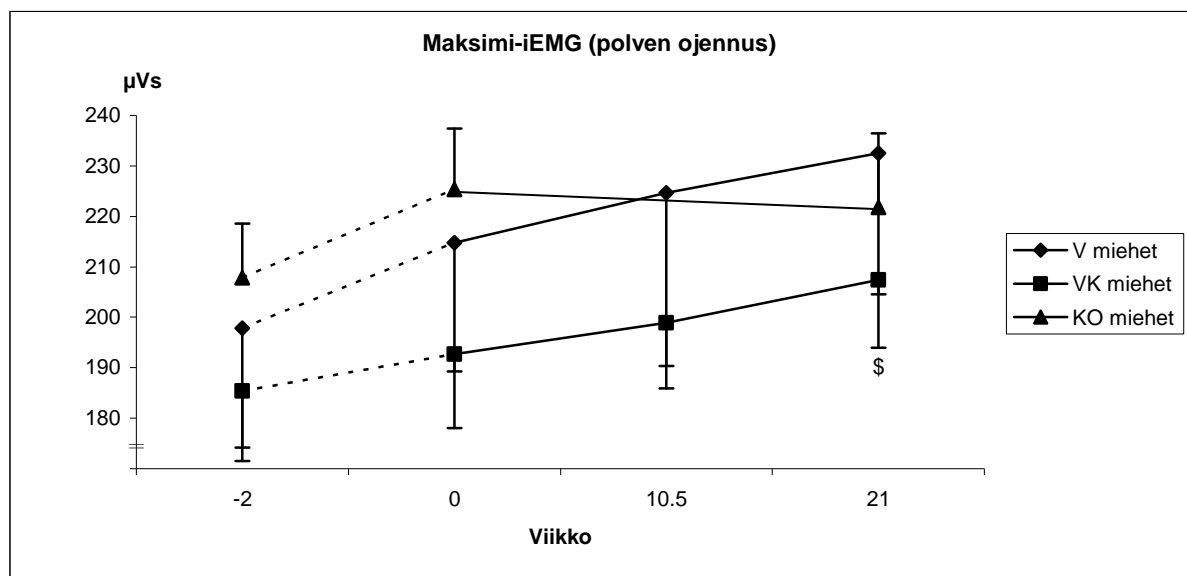
KUVA 27. Antagonistin (BF) koaktivaatioprosentti ( $\pm$ SE) jalkaprässin maksimisuorituksessa naisilla.

*Antagonistin koaktivaatio.* Kontrolli- tai harjoitusjakson aikaiset muutokset jalkaprässin antagonistiaktivaatiossa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Alku- ja loppumittausten välillä koaktivaatio (BF antagonistina/BF agonistina) väheni miesten V-ryhmällä 9,2 % ja VK-ryhmällä 13,3 % (kuva 26). Naisten V-ryhmällä koaktivaatio väheni 22,5 % ja VK-

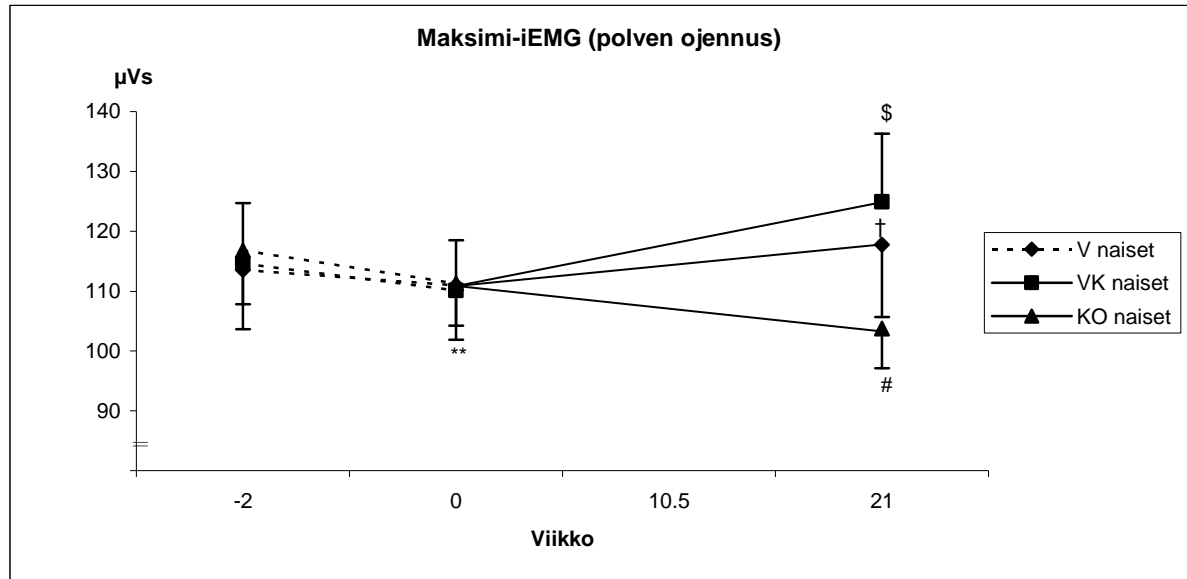
ryhmällä 7,8 % (kuva 27). KO-ryhmien muutokset eivät olleet merkitseviä. V- ja VK-ryhmien muutokset eivät eronneet merkitsevästi KO-ryhmien muutoksista. V- ja VK-ryhmien tai sukupuolten välillä muutokset eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

### 8.3.2 Polven ojennus

*Maksimi-iEMG.* Kontrollijakson aikaiset muutokset polven ojennuksen maksimi-iEMG:ssä eivät olleet merkitseviä muilla ryhmillä kuin naisten KO-ryhmällä ( $p \leq 0.01$ ). Alku- ja loppumittausten välillä maksimi-iEMG kasvoi miesten V-ryhmällä 7,6 % (ei merkitsevä) ja VK-ryhmällä 7,1 % ( $p \leq 0.05$ ) sekä naisten V-ryhmällä 5,7 % ( $p \leq 0.05$ ) ja VK-ryhmällä 11,8 % ( $p \leq 0.01$ ) (kuvat 28 ja 29). Miesten KO-ryhmän muutokset eivät olleet merkitseviä, mutta naisten KO-ryhmällä EMG-aktiivisuus väheni merkitsevästi sekä kontrollijaksolla ( $p \leq 0.01$ ) että alku- ja loppumittausten välillä ( $p \leq 0.001$ ). Naisten V- ja VK-ryhmien muutokset olivat merkitsevästi ( $p \leq 0.01$ ) erilaisia KO-ryhmään verrattuna, mutta harjoitusryhmät eivät eronneet toisistaan merkitsevästi. Miesten VK-ryhmällä muutos oli merkitsevästi ( $p \leq 0.05$ ) suurempaa kuin KO-ryhmällä. V- ja VK-ryhmien tai sukupuolten välillä muutokset eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

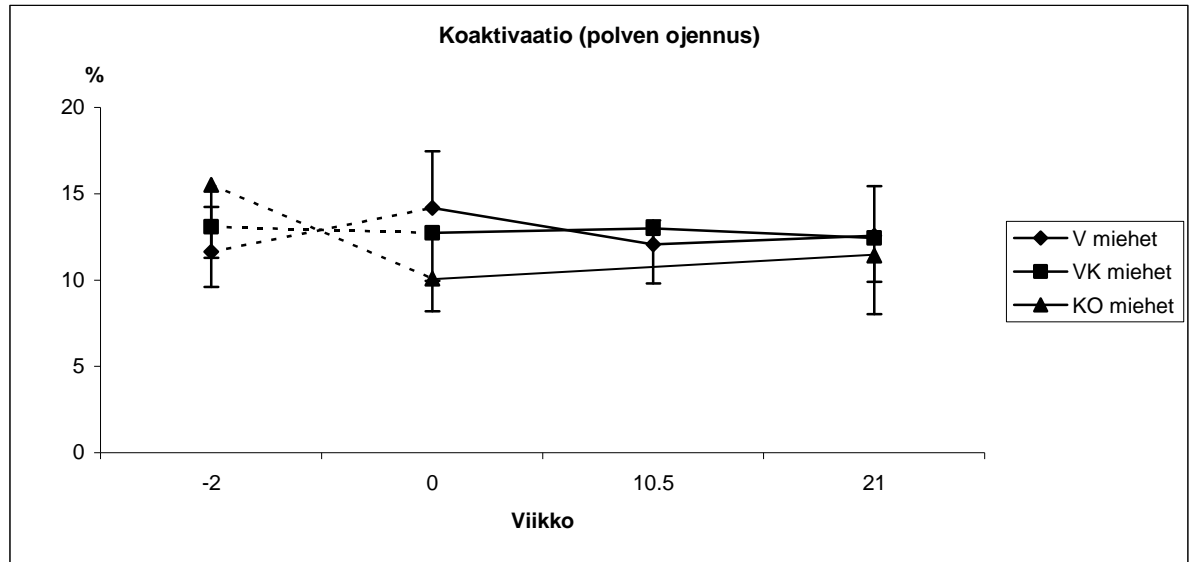


KUVA 28. Agonistilihasten (VL, RF ja VM) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \$  $p \leq 0.05$  välillä 0–21 viikkoa.

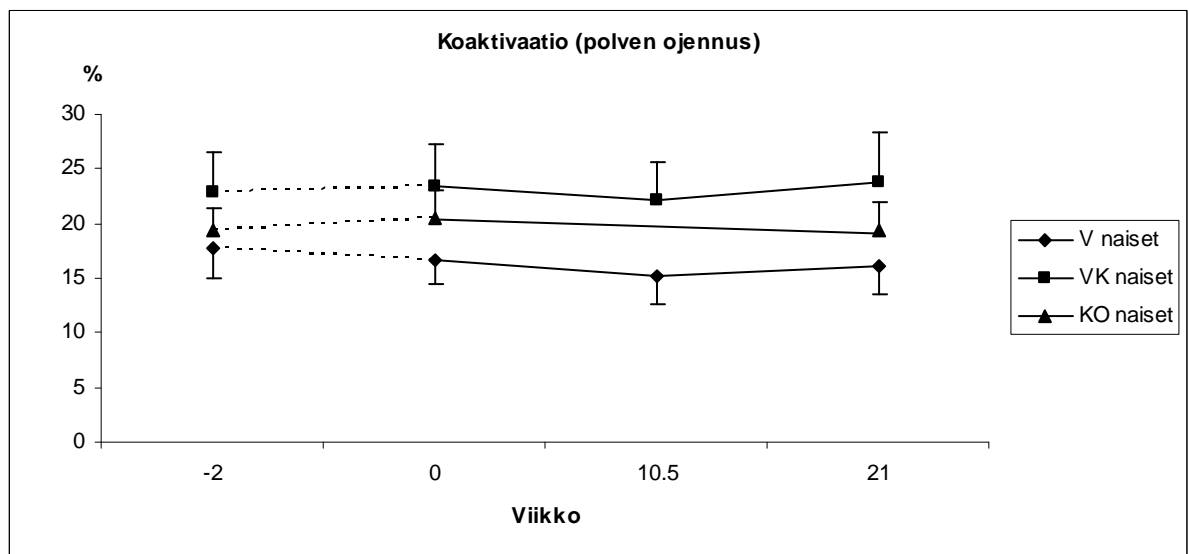


KUVA 29. Agonistilihasten (VL, RF ja VM) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä. \*\*  $p \leq 0.01$  kontrollijaksolla KO-ryhmällä; \$  $p \leq 0.05$ , †  $p \leq 0.01$ , #  $p \leq 0.001$  välillä 0–21 viikkoa.

*Antagonistin koaktivaatio.* Kontrolli- tai harjoitusjakson aikaiset muutokset polven ojennuksen antagonistiaktivaatiossa eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Alku- ja loppumittausten välillä koaktivaatio väheni miesten V-ryhmällä 12,8 % ja pysyi muuttumattomana VK-ryhmällä (kuva 30). Myös naisten V- ja VK-ryhmillä koaktivaatio pysyi muuttumattomana (kuva 31). KO-ryhmillä muutokset eivät olleet merkitseviä. Sukupuolten tai ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja.



KUVA 30. Antagonistin (BF) koaktivaatioprosentti ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa miehillä.

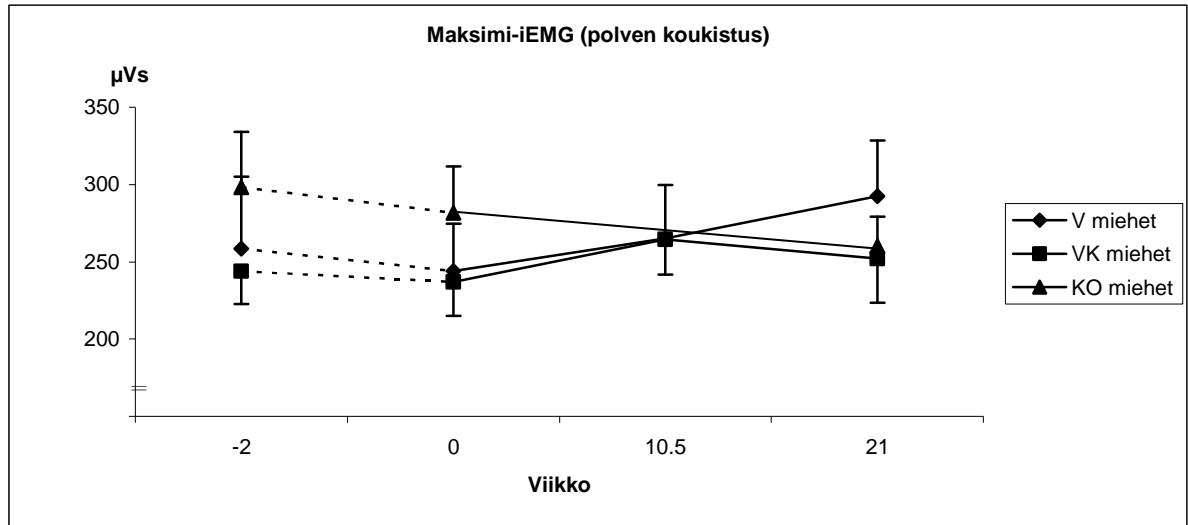


KUVA 31. Antagonistin (BF) koaktivaatioprosentti ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa naisilla.

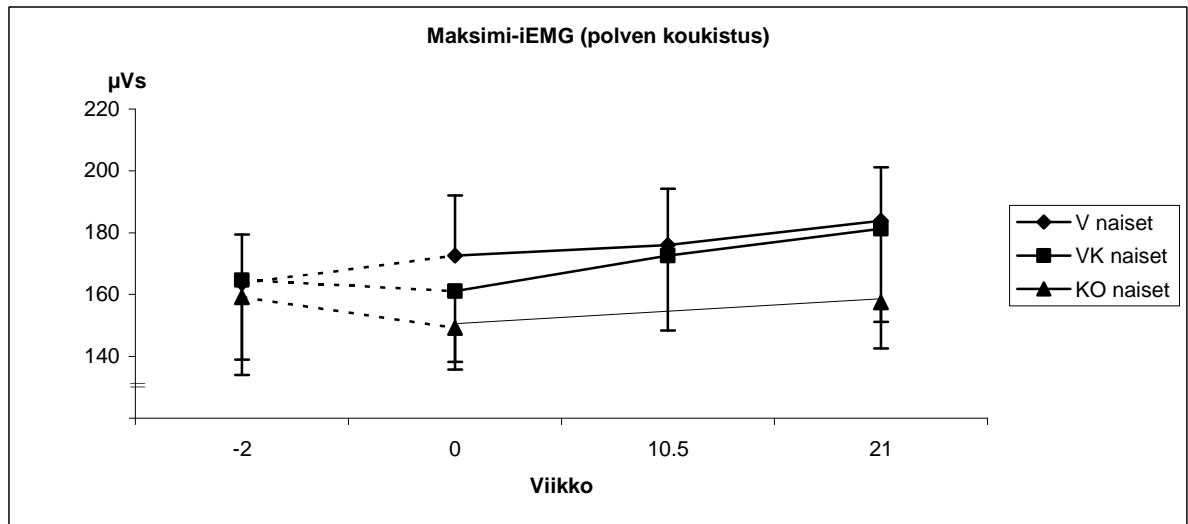
### 8.3.3 Polven koukistus

Kontrolli- tai harjoitusjakson aikaiset muutokset polven koukistuksen maksimi-iEMG:ssä eivät olleet merkitseviä millään ryhmällä. Alku- ja loppumittausten välillä iEMG lisääntyi

miesten V-ryhmällä 16,6 % ja VK-ryhmällä 6,0 % (kuva 32). Naisten V-ryhmällä iEMG-aktiivisuus kasvoi 6,1 % ja VK-ryhmällä 11,2 % (kuva 33). Sukupuolten tai ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja.



KUVA 32. Agonistilihasten (BF) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven koukistuksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana miehillä.



KUVA 33. Agonistilihasten (BF) iEMG-aktiivisuus ( $\pm$ SE) maksimaalisessa isometrisessä polven koukistuksessa 2 viikon kontrolli- ja 21 viikon harjoittelujakson aikana naisilla.

## 9 POHDINTA

Maksimivoima, jalkojen ojentajien teho sekä lihasaktivaatio kasvoivat molemmilla sukupuolilla 21 viikon voima- sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun seurauksena. Voimaharjoitteluun yhdistetty kestävyysharjoittelu ei häirinyt voimantuotto-ominaisuuksien kehittymistä. Jalkojen ojentajien konsentrisen maksimivoiman kasvu oli suurempaa miehillä kuin naisilla, kun taas polven koukistajien isometrinen maksimivoima ja jalkojen ojentajien teho kasvoivat naisilla miehiä enemmän.

### 9.1 Maksimivoima

Miehet pystyivät kaikissa mitatuissa muuttujissa merkitsevästi suurempaan voimantuottoon kuin naiset, kuten olettaa saattoi. Suurimmillaan ero oli konsentrisessa jalkaprässissä, jossa miesten 1RM-tulos alkumittauksissa oli 41,5 % suurempi kuin naisilla. Isometrisissä polven ojennuksessa ja koukistuksessa ero oli pienempi (26,2 % ja 24,1 %).

Puolen vuoden voima- sekä yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saivat aikaan merkitsevää ja samansuuruista kehitystä konsentrisessa bilateraalissa jalkojen ojennuksessa niin miehillä kuin naisillakin. Kaikilla harjoitusryhmillä kehitys oli merkitsevää jo kolmen ensimmäisen kuukauden aikana. Miesten V-ryhmän 14,8 %:n ja VK-ryhmän 16,8 %:n parannukset olivat merkitsevästi suurempia kuin naisten 10,3 %:n ja 11,0 %:n parannukset. Sekä naisilla että miehillä maksimivoiman prosentuaalinen kasvu oli huomattavasti vähäisempää kuin useissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Häkkinen ym. (1998b) raportoivat keski-ikäisillä naisilla 34 % ja miehillä 22 % 1RM-tuloksen kasvun puolen vuoden voimaharjoittelun jälkeen. Izquierdon ym. (2005) tutkimuksessa puolestaan keski-ikäiset miehet paransivat puolikyykyyn 1RM-tulostaan V-ryhmässä 45 % ja VK-ryhmässä 37 % 16 viikon harjoittelun jälkeen.

Isometrinen unilateraalinen polven ojennusvoima kasvoi lähes samansuuruisesti kaikilla

harjoitusryhmillä ja molemmilla sukupuolilla (6,8–10,8 %). Miesten V-ryhmällä kasvu ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää muutoin kuin harjoittelujakson ensimmäisen puolikkaan aikana. Myös miesten KO-ryhmä paransi tulostaan merkitsevästi. Harjoitusryhmien tulokset ovat yhdenmukaisia McCarthyn ym. (2002) tutkimuksen kanssa, jossa aikaisemmin harjoittelemattomat nuoret miehet paransivat polven ojennuksen isometristä maksimivoimaa 12 % (V-ryhmä) ja 7 % (VK-ryhmä). Harjoittelujakson kesto oli kuitenkin vain kymmenen viikkoa. Sen sijaan suurempaa maksimivoiman kasvua on ilmennyt 16 viikon voimaharjoittelun jälkeen keski-ikäisillä miehillä (27 %) (Izquierdo ym. 2001) sekä kuuden kuukauden voimaharjoittelun jälkeen keski-ikäisillä miehillä (28 %) ja naisilla (27 %) (Häkkinen ym. 2001).

Isometrinen unilateraalinen polven koukistusvoima kasvoi merkitsevästi vain naisten V- ja VK-ryhmillä (6,0 ja 6,7 %). Miesten V-ryhmällä tulos jopa heikkeni. Näin ollen naiset paransivat tulostaan enemmän kuin miehet. Naisillakin kasvu oli suhteellisen vähäistä aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna. Esimerkiksi Häkkisen ym. (2003) tutkimuksessa polven koukistuksen isometrinen maksimivoima kasvoi 21 viikon voimaharjoittelun jälkeen 18 % ja yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen 22 % aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä. Keski-ikäisillä naisilla puolestaan maksimivoima kasvoi 22 % ja miehillä 14 % puolen vuoden voimaharjoittelun jälkeen (Häkkinen ym. 1998b). Se, miksi tässä tutkimuksessa vain naiset paransivat koukistusvoimaa, on epäselvää. Alkutilanteessa naisten ja miesten ojentaja/koukistaja-suhteet eivät eronneet merkitsevästi toisistaan, joten koukistajat eivät olleet naisilla heikompia suhteessa ojentajiin kuin miehillä. Koska naisten absoluuttinen koukistusvoima kuitenkin oli huomattavasti miehiä heikompi, osalle naiskoehenkilöistä reisikoukistuslaitteen pienin mahdollinen kuorma (5 kg) oli etenkin harjoittelun alkuvaiheessa huomattavan raskas. Useimmille naisille harjoittelu olikin jo tällöin lähes maksimivoimaharjoittelua eikä niinkään kestovoimaharjoittelua. Koska kuorman nostot (minimissään 5 kg) olivat naisille suhteessa suurempia kuin miehille, useimmat naiset joutuivat työskentelemään jatkuvasti lähempänä maksimiaan kuin miehet. Näin ollen harjoittelu saattoi olla ”olosuhteiden pakosta” naisille suurempi ärsyke kuin miehille.



Polven ojennuksen ja koukistuksen välinen suhde ei muuttunut merkitsevästi tai yhdenmukaisesti harjoittelujakson aikana. Ojentaja/koukistaja-suhteen muutosten vertailua miehillä ja naisilla voima- tai yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun aikana ei tiettävästi ole aikaisemmin raportoitu. Frontera ym. (1988) kuitenkin vertasivat polven ojentajien ja koukistajien harjoitettavuutta ikääntyneillä miehillä ja havaitsivat maksimivoiman suhteellisen paranemisen olevan suurempaa koukistajissa kuin ojentajissa. Siten oletuksena oli, että aikaisemmin harjoittelemattomilla keski-ikäisillä normaalisti heikkommat ja vähemmän käytetyt polven koukistajalihakset (suhteessa polven ojentajiin) olisivat enemmän harjoitettavissa. Tällöin ojentaja/koukistaja-suhde olisi pienentynyt harjoittelun seurauksena. Koska suhde kuitenkin kasvoi kaikilla muilla ryhmillä paitsi naisten V-ryhmällä, kehittyi ojentajien voimantuotto enemmän kuin koukistajien. Naisten V-ryhmälläkin väheneminen oli vain minimaalista. Tulosta selittänee reiden koukistajiin kohdistunut vähäisempi harjoittelu ojentajiin verrattuna; koukistajat saivat harjoitusta lähinnä vain reisikoukistuksessa, kun taas ojentajat työskentelivät sekä jalkaprässissä että polven ojennuksessa. Mikäli ojentaja/koukistaja-suhdetta halutaan pienentää ja siten parantaa lihastasapainoa, on reiden koukistajia harjoitettava vähintään yhtä paljon – tai enemmän – kuin ojentajia. On kuitenkin huomioitava, että keskimääräisiä muutosprosentteja tarkasteltaessa naisten ja miesten ojentaja/koukistaja-suhteen muutos erosi merkitsevästi kolmen ensimmäisen kuukauden aikana V-ryhmällä (-6,9 % vs. +9,3 %). Lisäksi ensimmäisen kolmen kuukauden aikana ojentaja/koukistaja-suhde pieneni hieman naisilla (V- ja VK-ryhmät yhdessä), kun se miehillä kasvoi. Muutokset eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Tulokset antavat joitakin viitteitä siitä, että polven koukistajat saattavat olla harjoitettavissa enemmän naisilla kuin miehillä etenkin harjoittelun alkuvaiheessa. Toisaalta alkutilanteen ja koko harjoitusjakson aikaisen muutosprosentin negatiivinen korrelaatio osoittaa, että ojentaja/koukistaja-suhteen muutos riippuu ainakin jossain määrin lähtötasosta.

Koska useimmissa edellä mainituissa tutkimuksissa (Häkkinen ym. 1998b, 2001 ja 2003; Izquierdo ym. 2001) harjoittelu oli hyvin samankaltaista (volyymi, intensiteetti, frekvenssi, harjoitteet ja harjoitusjakson kesto), niistä eroavat tulokset maksimivoiman kehityksen suuruudessa voivat selittyä eroilla koehenkilöiden lähtötasossa. Jalkaprässin osalta on myös

mahdollista, että koehenkilöt käyttivät harjoittelussa suurempaa polvikulmaa kuin testitilanteessa, jolloin kehitys testikulmalla jäi vähäisemmäksi. Vähäiset muutokset polven ojennuksen ja koukistuksen maksimivoimissa konsentriseen jalkaprässiin verrattuna selittyivät osittain sillä, että harjoittelu toteutettiin bilateraalisenä ja konsentrisenä, kun testit puolestaan olivat unilateraalisia ja isometrisiä. Lisäksi reiden koukistajien harjoittelu tapahtui makuuasennossa, kun taas testi suoritettiin istuen.

Lihasmassan menetys ja siten maksimivoiman heikkeneminen saattaa olla nopeampaa naisilla kuin miehillä (Frontera ym. 1991). Harjoitettavuuden voidaan ajatella sen vuoksi olevan naisilla suurempi kuin miehillä. Vaikka alkutilanteessa miesten ja naisten välinen ero oli kaikista suurin jalkaprässissä, miehet paransivat siinä tulostaan merkitsevästi naisia enemmän. Tulosta voidaankin pitää hieman yllättävänä, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa naiset ovat parantaneet jalkojen ojentajien maksimivoimaa merkitsevästi miehiä enemmän (Häkkinen ym. 1998b) tai yhtä paljon (Häkkinen ym. 2001). Ero tämän tutkimuksen miesten ja naisten suurten lihasryhmien harjoitettavuudessa voi johtua osittain hormonaalisista tekijöistä, sillä seerumin testosteronipitoisuuden muutoksen on havaittu korreloivan mm. isometrisen polven ojennuksen maksimivoiman muutoksen kanssa keski-ikäisillä ja ikääntyneillä miehillä (Izquierdo ym. 2001). Myös Häkkisen ja Pakarisen (1994) tutkimuksessa ne keski-ikäiset ja ikääntyneet, joiden testosteronitaso tai anabolisten hormonien suhde katabolisiin oli korkeampi, pystyivät parantamaan maksimitulostaan enemmän. Koska hormonipitoisuuksia ei mitattu, ei voida sanoa, rajoittivatko hormonaaliset tekijät maksimivoiman kasvua tämän tutkimuksen naisilla. Näin ollen ei myöskään pystytä osoittamaan, oliko harjoittelu naisille liian kuormittavaa, vai eikö se tarjonnut heille riittävää ärsykettä. On kuitenkin mahdollista, että optimaalisen hormonitasapainon ja siten voimantuoton kehityksen saavuttamiseksi naiset ja miehet tarvitsevat erilaisilla ohjelmoidun harjoittelun. Mahdollisesti lyhyemmät intensiiviset jaksot, vaihtelevampi ohjelma ja pienempi volyyymi voisivat optimoida naisten anabolisen tason ja edelleen parantaa naisten harjoitettavuutta.

Kuten aikaisemmat tutkimukset osoittavat, riippuvat yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla aikaansaadut tulokset paljolti harjoitusfrekvenssistä,

kokonaisvolyymistä, harjoitusjakson pituudesta ja kestävyysharjoittelun toteuttamistavasta. Tämän tutkimuksen tulokset eivät tue mm. Hicksonin (1980), Dudleyyn ja Djamilin (1985) sekä Hennessyn ja Watsonin (1994) näkemystä siitä, että voimaharjoittelun kanssa samanaikaisesti suoritettu kestävyysharjoittelu heikentäisi maksimivoiman kehittymistä. Sen sijaan tulokset tukevat Häkkisen ym. (2003) ja Glowackin ym. (2004) nuorilla harjoittelemattomilla miehillä sekä Izquierdon ym. (2005) keski-ikäisillä miehillä tekemiä havaintoja siitä, että yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla päästään samanlaisiin tuloksiin kuin pelkällä voimaharjoittelulla myös pitkällä aikavälillä, kun harjoittelun kokonaisvolyymi on riittävän alhainen. Edes Izquierdon ym. (2005) raportoimaa kehityksen hidastumista alun yhdenmukaisen kehityksen jälkeen ei ollut havaittavissa. Itse asiassa VK-ryhmä paransi kaikissa maksimivoimamuuttujissa molemmilla sukupuolilla enemmän kuin V-ryhmä, joskaan ero ei ollut merkitsevää. Tätä voidaan selittää kestävyysharjoittelun suorittamistavalla, sillä pyöräily itsessään on jo pieni voimastimulus aikaisemmin harjoittelemattomille.

Maksimivoiman harjoitettavuus säilyy myös keski-ikässä sekä miehillä että naisilla. Kuten jo aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, on keski-ikäisten harjoitettavuus kuitenkin suuresti yksilöllistä (Izquierdo ym. 2001). Tämän tutkimuksen mukaan miehet pystyvät parantamaan konsentrista jalkojen ojennusta naisia enemmän, kun taas polven koukistajalihasten harjoitettavuus näyttäisi olevan naisilla jonkin verran parempi kuin miehillä. Lisäksi pitkäaikainen (21 viikkoa), neljä kertaa viikossa tapahtuva yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei häiritse maksimivoiman kehittymistä keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Näin ollen voimaharjoittelun kanssa samanaikaisesti voidaan turvallisesti harjoitella myös jonkin verran kestävyyttä. Harjoittelujakson pituuden kasvaessa harjoittelun jaksottamisen ja progressiivisuuden merkitys jatkuvan kehittymisen turvaamiseksi kasvaa.

## **9.2 Räjähävä voima**

Harjoittelujakso sai aikaan V- ja VK-ryhmillä samansuuruista kasvua jalkojen ojentajien

huipputehossa. Naisilla kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin miehillä (26 vs. 15 %). Kaikilla muilla ryhmillä paitsi miesten V-ryhmällä kasvu oli merkitsevää. V-ryhmä paransi kuitenkin tulostaan saman verran kuin VK-ryhmä.

Aikaisemmat tulokset nopeusvoiman harjoitettavuudesta keski-ikäisillä ja ikääntyneillä eivät ole täysin yksiselitteisiä. Kuten useissa aikaisemmissakin tutkimuksissa on todettu, tämän tutkimuksen perusteella nopeusvoiman harjoitettavuus näyttäisi säilyvän myös keski-ikässä ja sen jälkeen. Tulosten vertailu on kuitenkin vaikeaa, sillä nopeusvoiman testimenetelmien kirjo on laaja. Räjähävän voiman harjoitteita sisältävän voimaharjoittelun jälkeen hyppykorkeus lisääntyi keski-ikäisillä miehillä 18 % (Häkkinen ym. 2000) ja puolikykyyn (60 % 1RM) teho 46 % (Izquierdo ym. 2001) sekä isometrisen jalkojen ojennuksen voimantuottonopeus keski-ikäisillä naisilla 31 % ja miehillä 41 % (Häkkinen ym. 1998b). Aikaisempien tutkimusten perusteella nopeusvoiman harjoitettavuudessa saattaa olla sukupuolten välillä eroja. Esimerkiksi Jozsin ym. (1999) tutkimuksessa sekä ikääntyneet että nuoret miehet paransivat jalkojen ojentajien konsentrista tehoa enemmän kun naiset. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittavat, että teho olisi enemmän harjoitettavissa naisilla kuin miehillä. Naiset paransivat huipputehoa miehiä selvästi enemmän molemmissa harjoitusryhmissä, vaikka ero oli merkitsevä vain V-ryhmässä.

Jalkojen ojentajien huipputehon kasvu ei hidastunut harjoitusjakson aikana muilla kuin miesten V-ryhmällä, jolla kasvu oli merkitsevää vain kolmen ensimmäisen kuukauden aikana. Kolmen viimeisen kuukauden aikainen kehitys oli tilastollisesti merkitsevää vain naisilla. Tulokset todistavat, että myös keski-ikäiset miehet ja naiset pystyvät parantamaan nopeusvoimaominaisuuksia, kun voimaharjoitteluun sisällytetään räjähtävän voiman harjoitteita. Syynä miesten vähäiselle kehitykselle naisiin verrattuna lienee huomattava ero lähtötasossa. Koska räjähtävän voimantuoton harjoittelun osuus jalkojen ojentajilla oli vain noin 20 %, se ei näyttänyt olevan miehille riittävä ärsyke. Heikomman lähtötason omaaville naisille sen sijaan jo perinteinen voimaharjoittelu sekä siihen yhdistetty vähäinenkin räjähtävän voiman harjoittelu paransivat merkitsevästi alaraajojen nopeusvoimaominaisuuksia. Miesten voimaharjoittelu onkin mahdollisesti suunniteltava erityyppiseksi kuin naisilla, jotta optimaalinen nopeusvoiman kehitys on mahdollista.

Mahdollisia jatkotutkimuskohteita voisivat olla harjoittelun jaksottamisen sekä harjoittelussa käytetyn intensiteetin ja volyymin merkitys saavutettuihin tuloksiin.

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista nopeusvoimaan on olemassa ristiriitaisia tuloksia. Aikaisemmin harjoittelemattomilla miehillä voimantuottonopeus ja 500 ms:n aikana tuotettu keskivoima parantuivat merkitsevästi enemmän V-ryhmällä kuin VK-ryhmällä (Häkkinen ym. 2003), kun taas keski-ikäisillä miehillä jalkakyykyn (60 % 1RM) teho lisääntyi molemmilla ryhmillä yhtä paljon (Izquierdo ym. 2005). Molemmissa tutkimuksissa harjoittelu oli sisältänyt myös räjähtävän voiman harjoitteita. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin tukevat käsitystä, jonka mukaan yhdistelmäharjoittelu ei häiritse nopeusvoiman kehitystä edes pidemmällä aikavälillä, kun kestävyysharjoittelun volyymi ei ole liian suuri ja voimaharjoittelussa käytetään myös suuria supistumisnopeuksia.

Nopean voimantuoton tiedetään heikkenevän ikääntymisen myötä jopa enemmän kuin maksimivoiman (Häkkinen ym. 1998a; Larsson ym. 1979). Samalla räjähtävä voima on merkittävä tekijä ikääntyvien toimintakyvyn säilymisessä ja kaatumisten ehkäisyssä (Bean ym. 2003; Izquierdo ym. 1999a). Tämän takia keski-ikäiset ja ikääntyvät hyötyvät erityisesti voimaharjoittelusta, joka sisältää myös räjähtävän voiman harjoitteita.

### **9.3 Lihasaktivaatio**

Sekä voima- että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saivat aikaan agonistien aktivaation kasvua molemmilla sukupuolilla. Selkeimmin kasvu oli nähtävissä konsentrisen jalkaprässin maksimisuorituksessa. Missään testiliikkeessä ei sukupuolten tai ryhmien välillä ollut merkitseviä eroja. Jalkaprässin maksimisuorituksessa koaktivaatio väheni kaikilla harjoitusryhmillä hieman, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi. Polven ojennuksessa koaktivaatio pysyi käytännössä muuttumattomana muilla ryhmillä paitsi miesten V-ryhmällä, jolla väheneminen ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää. Koaktivaatiotuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä, että koaktivaation määrittämistä

vaikuttivat huomattavasti häiriöt EMG-signaalissa, jolloin tilastollisiin analyyseihin kelvollisten tulosten määrä jäi varsin pieneksi etenkin miehillä.

Agonistilihasten EMG-aktiivisuuden kasvu mukaili paljolti maksimivoimatulosten kasvua. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että havaittu maksimivoiman kehittyminen selittyi suurelta osin neuraalisilla adaptaatiomekanismeilla. Koska lihaksen poikkipinta-alaa tai lihassolujen kokoa ei mitattu, hypertofian osuutta voimantuoton kehittämisessä ei voida osoittaa. Aikaisemmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että harjoittelemattomilla keski-ikäisillä maksimivoiman kehittymisen taustalla ovat enemmän hermostolliset kuin hypertrofiset mekanismit (Häkkinen ym. 2000). Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voimaharjoitteluun yhdistetty kestävyysharjoittelu ei näyttäisi häiritsevän neuraalista adaptaatiota. Mahdollisia mekanismeja lisääntyneen EMG-aktiivisuuden taustalla voivat olla aktiivisten motoristen yksiköiden lukumäärän kasvu ja/tai lisääntynyt syttymistiheys sekä synkronisaation ja tuplasyttymisten lisääntyminen (Sale 2003).

Agonistilihasten kokonaisvoimantuoton lisääntymisessä myös antagonistien koaktivaation vähenemisellä saattaa olla merkitystä etenkin harjoittelun alkuvaiheessa (Carolan & Cafarelli 1992). Tässä tutkimuksessa 21 viikon voimaharjoittelu tai yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei kuitenkaan onnistunut saamaan aikaan merkitseviä muutoksia koaktivaatiossa. Samaan tulokseen päätyi myös Häkkinen ym. (1998b) keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Koaktivaation vähenemisen rooli voimantuoton lisääntymisessä saattaakin olla merkittävämpi iäkkäämmillä henkilöillä (Häkkinen ym. 1998b ja 2001).

Delmonico ym. (2005) on esittänyt, että hypertrofian merkitys maksimivoiman kasvussa olisi miehillä suurempi, kun taas naisilla voimantuoton muutokset riippuisivat enemmän muista tekijöistä, kuten hermostollisesta adaptaatiosta. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittavat, että etenkin V-ryhmässä iEMG-aktiivisuus lisääntyi ryhmätasolla miehillä enemmän kuin naisilla, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi. Toisaalta naisten keskimääräiset muutosprosentit olivat hieman suurempia kuin miehillä konsentrisessa jalkaprässissä ja polven ojennuksessa. Joka tapauksessa molemmilla sukupuolilla ja harjoitusryhmillä harjoittelu johti tahdonalaisen aktivaation kasvuun ja jossain määrin myös

koaktivaation vähentymiseen, mikä voi olla yhteydessä parantuneeseen voimantuottoon.

## **9.4 Johtopäätökset**

Mikäli harjoittelun intensiteetti on riittävä, jo melko vähäisellä viikoittaisella harjoittelulla voidaan saada aikaan merkittäviä tuloksia maksimivoimassa keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Yhdistämällä perinteiseen voimaharjoitteluun räjähtävän voiman harjoitteita voidaan myös nopeaa voimantuottoa kehittää huomattavasti. Tällä voi olla merkitystä mm. työkyvyn ja liikuntavalmiuden säilyttämisessä sekä kaatumisten ja niitä seuraavien loukkaantumisten ehkäisyssä etenkin ikääntyvillä henkilöillä. Sydän- ja verenkiertoelimistön kunnon ylläpitämiseen sekä sydän- ja verisuonitautien ehkäisemiseen suositeltua kestävyysharjoittelua voidaan yhdistää voimaharjoitteluun ilman negatiivisia vaikutuksia voimantuotto-ominaisuuksiin harjoitusmäärien pysyessä kohtuullisina. Miesten ja naisten harjoitusohjelmat on kuitenkin mahdollisesti suunniteltava hieman erityyppisiksi esimerkiksi intensiteetin ja volyymin osalta, jotta optimaaliset tulokset saavutetaan.

## LÄHTEET

- Alway, S.E., Coggan, A.R., Sproul, M.S., Abduljalil, A.M. & Robitaille, P.M. 1996. Muscle torque in young and older untrained and endurance-trained men. *The Journals of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 51(3), B195–201.
- Balabinis, C.P., Psarakis, C.H., Moukas, M., Vassiliou, M.P. & Behrakis, P.K. 2003. Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(2), 393–401.
- Bean, J.F., Levelle, S.G., Kiely, D.K., Bandinelli, S., Guralnik, J.M. & Ferrucci, L. 2003. A comparison of leg power and leg strength within the inCHIANTI study: which influences mobility more? *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 58A(8), 728–733.
- Bell, D.G. & Jacobs, I. 1990. Muscle fibre area, fibre type & capillarization in male and female body builders. *Canadian Journal of Sport Sciences* 15(2), 115–119.
- Bell, G.J., Syrotuik, D., Martin, T.P., Burnham, R. & Quinney, A. H. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology* 81, 418–427.
- Bell, G., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I. & Quinney, A. H. 1997. Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11(1): 57–64.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. 1992. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73(3), 911–917.
- Charette, S. L., McEvoy, L., Pyka, G., Snow-Harter, C., Guido, D., Wiswell, R.A. & Marcus, R. 1991. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *Journal of Applied Physiology* 70(5), 1912–1916.
- Colliander, E.B. & Tesch, P.A. 1989. Bilateral eccentric and concentric torque of quadriceps and hamstring muscles in females and males. *European Journal of Applied Physiology* 59, 227–232.



- Colson, S., Pousson, M., Martin, A. & Van Hoecke, J. 1999. Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 9, 13–20.
- Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F., Lesmes, G.R. & Witzmann, F.A. 1979. Adaptations in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology* 46(1), 96–99.
- Cureton, K.J., Collins, M.A., Hill, D.W. & Mcelhannon Jr., F.M. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20(4), 338–344.
- Delmonico, M.J., Kostek, M.C., Doldo, N.A., Hand, B.D., Bailey, J.A., Rabon-Stith, K.M., Conway, J.M., Carignan, C.R., Lang, J. & Hurley, B. F. 2005. Effects of moderate-velocity strength training on peak muscle power and movement velocity: do women respond differently than men? *Journal of Applied Physiology* 99, 1712–1718.
- Doherty, T.J., Vandervoort, A.A., Taylor, A.W. & Brown, W.F. 1993. Effects of motor unit losses on strength in older men and women. *Journal of Applied Physiology* 74(2), 868–874.
- Dudley, G.A. & Djamil, R. 1985. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* 59(5), 1446–1451.
- Enoka, R.M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics, Champaign, IL. 3. painos.
- Essén-Gustavsson, B. & Borges, O. 1986. Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiologica Scandinavica* 126, 107–114.
- Feldman, H.A., Longcope, C., Derby, C.A., Johannes, C.B., Araujo, A.B., Coviello, A.D., Bremner, W.J. & McKinlay, J.B. 2002. Age trends in the level of serum testosterone and other hormones in middle-aged men: longitudinal results from the Massachusetts male aging study. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 87(2), 589–598.
- Ferketich, A.K., Kirby, T.E. & Alway, S.E. 1998. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiologica Scandinavica* 164, 259–267.

- Fleck, S.J. & Kraemer W.J. 2004. Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, IL. 3. painos.
- Frontera, W.R., Hughes, V.A., Fielding, R.A., Fiatarone, M. A., Evans, W.J. & Roubenoff, R. 2000. Ageing of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology* 88, 1321–1326.
- Frontera, W.R., Hughes, V.A., Lutz, K.J. & Evans, W.J. 1991. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology* 71(2), 644–650.
- Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'Reilly, K.P. & Evans, W.J. 1990. Strength training and determinants of VO<sub>2</sub>max in older men. *Journal of Applied Physiology* 68, 329–333.
- Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'Reilly, K.P., Knuttgen, H.G. & Evans, W.J. 1988. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology* 64(3), 1038–1044.
- Gerodimos, V., Manou, V., Stavropoulos, N., Kellis, E. & Kellis, S. 2006. Agonist and antagonist strength of ankle musculature in basketball players aged 12 to 17 years. *Isokinetics and Exercise Science* 14, 81–89.
- Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green, J.S. & Crouse, S.F. 2004. Effects of resistance, endurance and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36(12), 2119–2127.
- Gravelle, B.L. & Blessing, D.L. 2000. Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14(1), 5–13.
- Gray, A., Feldman, H.A., McKinley, J.B. & Longcope, C. 1991. Age, disease, and changing sex hormone levels in middle-aged men: results of the Massachusetts Male Aging Study. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 73(5), 1016–1025.
- Green, H., Goreham, C., Ouyang, J., Ball-Burnett, M. & Ranney, D. 1999. Regulation of fiber size, oxidative potential, and capillarization in human muscle by resistance exercise. *American Journal of Physiology* 276, R591–R596.
- Hennessy, L.C. & Watson, A. W. S. 1994. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8(1),

12–19.

- Hickson, R.C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology* 45, 255–263.
- Hikida, R.S., Staron, R.S., Hagerman, F.C., Walsh, S., Keiser, E., Shell, S. & Hervey, S.. 2000. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. II. Muscle fiber characteristics and nucleo-cytoplasmic relationships. *Journals of gerontology: biological sciences and medical sciences* 55(7), B347-B354.
- Hortobágyi, T. & DeVita, P. 2000. Favorable neuromuscular and cardiovascular responses to 7 days of exercise with an eccentric overload in elderly women. *Journals of Gerontology Series A: Biological sciences and medical sciences* 55, B401–B410.
- Hortobágyi, T., Katch, F.I. & Lachance, P.F. 1991. Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31, 20–30.
- Hunter, G., Demment, R & Miller, D. 1987. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 27(3), 269–275.
- Hurley, B.F., Redmond, R.A., Pratley, R.E., Treuth, M.S., Rogers, M.A. & Goldberg, A.P. 1995. Effects of strength training on muscle hypertrophy and muscle cell disruption in older men. *International Journal of Sports Medicine* 16(6), 378–384.
- Häkkinen, K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet – vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., Kraemer, W.J., Newton, R.U. 1998a. Muscle CSA, force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and older men and women. *Journal of Aging and Physical Activity* 6, 232–247.
- 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. *European Journal of Applied Physiology* 89, 42–52.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R.U. & Kraemer, W. J. 2000.

- Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology* 83, 51–62.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., Kraemer, W.J., Newton, R.U. & Alen, M. 1998b. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology* 84(4), 1341–1349.
- Häkkinen, K., Kraemer, W.J., Newton, R.U. & Alen, M. 2001. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* 171, 51–62.
- Häkkinen, K., Newton, R.U., Gordon, S.E., McCormick, M., Volek, J.S., Nindl, B.C., Gotshalk, L.A., Campbell, W.W., Evans, W.J., Häkkinen, A., Humphries, B.J. & Kraemer, W.J. 1998c. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 53(6), B415–23.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1993. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* 148, 199–207.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1994. Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly males and females. *Acta Physiologica Scandinavica* 150, 211–219.
- Izquierdo, M, Aguado, X., Gonzales, R., Lopez, J.L. & Häkkinen. 1999a. Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *European Journal of Applied Physiology* 79, 260–267.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibáñez, J., Garrues, M., Anton, A., Zúñiga, A., Larión, J.L. & Gorostiaga, E.M. 2001. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *Journal of Applied Physiology* 90, 1497–1507.
- 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. *European Journal of Applied Physiology* 94, 70–75.
- Izquierdo, M., Ibáñez, J., Gorostiaga, E.M., Garrues, M., Zúñiga, A., Anton, A., Larrión, J.L. & Häkkinen, K. 1999b. Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older people. *Acta Physiologica Scandinavica* 167, 57–68.
- Israel, S. 1991. Age-Related Changes in Strength and Special Groups. Teoksessa: Komi, P.V. (toim.) *Strength and Power in Sport*. Blackwell, Oxford, 319–328.
- Jozsi, A.C., Campbell, W.W., Joseph, L., Davey, S.L. & Evans, W.J. 1999. Changes in power with resistance training in older and younger men and women. *The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 54(11), M591–596.
- Kadi, F., Eriksson, A., Holmner, S., Butler-Browne, G.S. & Thornell, L.E. 1999. Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochemistry and Cell Biology* 111(3), 189–195.
- Kamen, G., Sison, S. V., Duke Du, C.C. & Patten, C. 1995. Motor unit discharge behavior in older adults during maximal-effort contractions. *Journal of Applied Physiology* 79(6), 1908–1913.
- Karlsson, J. & Jacobs, I. 1981. Is the Significance of Muscle Fibre Types to Muscle Metabolism Different in Females than in Males? Teoksessa: *Medicine and Sport*, vol.14. Selected papers of the International Congress on Women and Sport, Rooma, Italia 1980, 97–101.
- Kellis, E. & Unnithan, V.B. 1999. Co-activation of vastus lateralis and biceps femoris muscles in pubertal children and adults. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 79(6), 504–511.
- Klass, M., Baudry, S. & Duchateau, J. 2005. Aging does not affect voluntary activation of the ankle dorsiflexors during isometric, concentric, and eccentric contractions. *Journal of Applied Physiology* 99(10), 31–38.
- Klein, C.S., Rice, C.L. & Marsh, G.D. 2001. Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and older men. *Journal of Applied Physiology* 91, 1341–1349.

- Komi, P.V. 1981. Fundamental Performance Characteristics in Females and Males. Teoksessa: *Medicine and Sport*, vol.14. Selected papers of the International Congress on Women and Sport, Rooma, Italia 1980, 102–108.
- Larsson, L., Grimby, G. & Karlsson, J. 1979. Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *Journal of Applied Physiology* 46(3), 451–456.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B.K. & Logan, P.A. 1999. Concurrent Strength and Endurance Training. A Review. *Sports and Medicine* 28(6), 413–427.
- MacDougall, J.D. 1991. Hypertrophy or Hyperplasia. Teoksessa: Komi, P.V. (toim.) *Strength and Power in Sport*. Blackwell, Oxford, 230–238.
- Martel, G.F., Roth, S.M., Ivey, F.M., Lemmer, J.T., Tracy, B.L., Hurlbut, D.E., Metter, E.J., Hurley, B.F. & Rogers, M.A. 2006. Age and sex affect human muscle fibre adaptations to heavy-resistance strength training. *Experimental Physiology* 91(2), 457–464.
- McCall, G.E., Byrnes, W.C., Dickinson, A., Pattany, P.M. & Fleck, S.J. 1996. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology* 81(5), 2004–2012.
- McCarthy, J.P., Agre, J. C., Graf, B.K., Pozniak, M.A. & Vailas, A. C. 1995. Compatibility of adaptative 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. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(3), 511–519.
- Morganti, C.M., Nelson, M. E., Fiatarone, M.A., Dallal, G.E., Economos, C. D., Crawford, B.M. & Evans, W. J. 1995. Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27(6), 906–912.
- Moritani, T. & deVries, H.A. 1980. Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *Journal of Gerontology* 35(5), 672–682.
- Moroz, D.E. & Houston, M.E. 1987. The effects of replacing endurance running training with cycling in female athletes. *Canadian Journal of Sport Sciences* 12(3), 131–135.
- Morse, C.I., Thom, J.M., Davis, M.G., Fox, K.R., Birch K.M. & Narici, M.V. 2004.

- Reduced plantarflexor specific torque in the elderly is associated with a lower activation capacity. *European Journal of Applied Physiology* 92, 219–226.
- Rabita, G., Perot, C. & Linsel-Corbeil, G. 2000. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *European Journal of Applied Physiology* 83, 531–538.
- Sale, D.G. 2003. Neural adaptation to strength training. Teoksessa: Komi, P.V. (toim.) *Strength and power in sport*. Blackwell, Oxford. 2. painos, 281–314.
- Sale, D.G., Jacobs, I., Macdougall, J.D. & Garner, S. 1990a. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22(3), 348–356.
- Sale, D.G., Macdougall, J.D., Jacobs, I., Garner, S. 1990b. Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 68(1), 260–270.
- Samson, M.M., Meeuwssen, I.B.A.E., Crowe, A., Dessens, J.A.G., Duursma, S.A. & Verhaar, H.J.J. 2000. Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age and Ageing* 29, 235–242.
- Schantz, P., Randall-Fox, E., Hutchison, W., Tydén, A. & Åstrand, P.-O. 1983. Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 117, 219–226.
- Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B.H. & D'Ambrosia, R. 1988. Electromyogram coactivation patterns of the elbow antagonist muscles during slow isokinetic movement. *Experimental Neurology* 100(3), 470–477.
- 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. *European Journal of Applied Physiology* 60, 71–79.
- Tang, J.E., Hartman, J.W. & Phillips, S.M. 2006. Increased muscle oxidative potential following resistance training induced hypertrophy in young men. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 31(5), 495–501.
- Tarpenning, K.M., Hamilton-Wessler, M., Wiswell, R.A. & Hawkins, S.A. 2004. Endurance training delays age of decline in leg strength and muscle morphology. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36(1), 74–78.
- Tarpenning, K.M., Hawkins, S.A., Marcell, T.J. & Wiswell, R.A. 2006. Endurance exercise

- and leg strength in older women. *Journal of Aging and Physical Activity* 14, 3–11.
- Tesch, P.A. 1988. Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20(5), S132–S134.
- Tesch, P.A., Komi, P.V. & Häkkinen, K. 1987. Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *International Journal of Sports Medicine* 8(1), 66–69.
- Wood, R.H., Reyes, R., Welsch, M.A., Favaloro-Sabatier, J. Sabatier, M., Lee, C.M., Johnson, L.G. & Hooper, P.F. 2001. Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(10), 1751–1758.