

**VOIMAHARJOITTELUN AKUUTIT JA PITKÄAIKAISET HORMONAALISET JA  
NEUROMUSKULAARISET VASTEET NUORILLA JA VANHOILLA NAISILLA**

**Larissa Erola**

Jyväskylän yliopisto  
Liikuntabiologian laitos  
Liikuntafysiologian  
pro gradu -tutkielma  
Kevät 2000  
Työn ohjaaja: Keijo Häkkinen

## TIIVISTELMÄ

Larissa Erola. 2000. Voimaharjoittelun akuutit ja pitkäaikaiset hormonaaliset ja neuromuskulaariset vasteet nuorilla ja vanhoilla naisilla. Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. 78 s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia hormonaalisia ja neuromuskulaarisia vasteita nuorilla ja vanhoilla naisilla. Tutkittavia fysiologisia muuttujia olivat seerumin kasvuhormonin, testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin sekä veren laktaatin pitoisuudet. Neuromuskulaarisista muuttujista tutkittiin alaraajojen ojentajien isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman, ensimmäisen 500 ms:n aikana tuotetun voiman, voimantuottonopeuden sekä vastus lateraaliksen ja vastus medialiksen maksimaalisen iEMG:n muuttumista akuutin voimaharjoituksen ja 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena.

Kaksitoista nuorta ( $37 \pm 6$  vuotta) ja kymmenen vanhaa ( $64 \pm 3$  vuotta) naista suorittivat 21 viikon ajan ohjattua voimaharjoittelua submaksimaalisella intensiteetillä kaksi kertaa viikossa. Harjoittelu oli pääasiassa lihasten hypertrofiaan ja maksimivoiman kasvuun tähtäävää ja se toteutettiin erilaisilla voimalaitteilla päälihasryhmille. Koehenkilöt eivät olleet aikaisemmin tehneet säännöllistä kuntosaliharjoittelua. Ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen koehenkilöille tehtiin noin 30 minuuttia kestävä akuutti rasisuskoe kuormittamalla alaraajojen ojentajalihaksia.

Alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima kasvoi 21 viikon voimaharjoittelujakson seurauksena nuorilla naisilla 20,6 % ( $p < .01$ ) ja vanhoilla naisilla 36,1 % ( $p = .000$ ). Konsentrisen maksimivoima kasvoi nuorilla naisilla 27,8 % ( $p = .000$ ) ja vanhoilla naisilla 29,2 % ( $p = .000$ ). Voiman lisääntyminen oli oletettavaa koehenkilöiden alhaisen lähtötason takia. Vasemman jalan vastus medialiksen maksimaalinen iEMG isometrisessä suorituksessa lisääntyi voimaharjoittelun seurauksena nuorilla naisilla 27,5 % ( $p < .001$ ) ja vanhoilla naisilla 28,3 % ( $p < .01$ ). Vasemman jalan vastus medialiksen ja lateraaliksen keskiarvoistettu iEMG lisääntyi kummallakin ryhmällä 21,9 % ( $p < .05$  ja  $p < .01$ ). Voimantuottonopeudessa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia kummallakaan ryhmällä.

Alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima ( $p = .000$ ) ja 500 ms:n aikana tuotettu voima ( $p < .05$ ) laskivat molemmissa rasisuskokeissa sekä nuorilla että vanhoilla naisilla. Toisessa rasisuskokeessa vanhojen naisten voiman absoluuttinen lasku oli suurempi ( $p < .01$ ) kuin ensimmäisessä rasisuskokeessa. Voimantuottonopeus laski nuorilla naisilla molemmissa rasisuskokeissa ( $p < .01$ ), vanhoilla naisilla lasku oli merkitsevä ( $p < .01$ ) jälkimmäisessä rasisuskokeessa. Lihasten maksimaalisessa iEMG:ssä ei tapahtunut heikkenemistä rasisuskokeissa.

Seerumin kasvuhormonin perustasossa ei tapahtunut muutoksia kummallakaan ryhmällä voimaharjoittelujakson aikana. Nuorten naisten seerumin testosteronipitoisuus oli harjoitusjakson lopussa alhaisempi ( $p < .05$ ) kuin jakson alussa, joten harjoittelu saattoi muodostua jakson lopussa liian kuluttavaksi. Vanhoilla naisilla seerumin vapaan testosteronin pitoisuus oli 14 viikon harjoittelun jälkeen alhaisempi ( $p < .05$ ) kuin harjoittelun alussa. Vanhojen naisten kortisolipitoisuus oli seitsemän viikon harjoittelun jälkeen alhaisempi ( $p < .01$ ) kuin ennen harjoittelua eli elimistön anaboliatila kasvoi väliaikaisesti.

Seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi molemmissa rasisuskokeissa nuorilla ( $p < .01$ ) ja vanhoilla ( $p < .05$ ) naisilla. Nuorilla naisilla nousu oli suurempi kuin vanhoilla. Vanhojen naisten kasvuhormonipitoisuus pysyi voimaharjoittelujakson jälkeen kauemmin kohonneena kuin ennen jaksoa. Nuorilla naisilla seerumin testosteronipitoisuus ja vanhoilla naisilla vapaan testosteronin pitoisuus nousi toisessa rasisuskokeessa ( $p < .05$ ), mutta nousu johtunee normaalista hormonipitoisuuksien vuorokausivaihtelusta. Akuutti rasisuskoe ei aiheuttanut kortisolipitoisuuden muutoksia. Veren laktaattipitoisuus nousi ( $p = .001$ ) molemmissa rasisuskokeissa kummallakin ryhmällä ja pysyi vanhoilla naisilla harjoittelujakson jälkeen kauemmin kohonneena kuin ennen jaksoa.

Vanhat naiset pystyivät voimaharjoittelujakson jälkeen aggressiivisempaan lihasten kuormittamiseen kuin ennen jaksoa, mistä on osoituksena seerumin kasvuhormonipitoisuuden ja veren laktaattipitoisuuden systemaattinen nousu ja maksimivoiman suurempi lasku jälkimmäisessä rasisuskokeessa. Rasisuskokeiden erilainen kasvuhormonivaste osoittaa, että hormonaalisen säätelyjärjestelmän muutos on mahdollinen ikääntyneilläkin ihmisillä.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 ANABOLISET JA KATABOLISET HORMONIT ELIMISTÖSSÄ	3
2.1 Kasvuhormoni	3
2.2 Testosteroni	5
2.3 Kortisoli	7
3 HORMONAALISET TEKIJÄT JA VOIMAHARJOITTELU NAISILLA	8
4 SEERUMIN HORMONIPITOISUUDET VOIMAHARJOITTELUSSA LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ	10
4.1 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen	10
4.2 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen	12
4.3 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen	14
4.4 Voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset seerumin kasvuhormoni-, testosteroni- ja kortisolipitoisuuksiin	15
5 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMAHARJOITTELUUN HORMONAALISIIN VASTEISIIN	20
5.1 Ikääntymisen vaikutus voimaharjoittelun pitkäaikaisiin hormonaalisiin vasteisiin	20
5.2 Ikääntymisen vaikutus voimaharjoittelun akuutteihin hormonaalisiin vasteisiin	21
6 VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTIT NEUROMUSKULAARISET VASTEET	24
6.1 Voiman lasku akuutissa voimaharjoituksessa	24
6.2 Hermostollinen väsyminen kuormitustilanteessa	26
6.3 Veren laktaattipitoisuuden muuttuminen akuutissa voimaharjoituksessa	27
6.4 Akuutin voimaharjoituksen aiheuttama lihaskipu	29
7 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTOON	31

8 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET VOIMAN KEHITTYMISEEN NUORILLA JA VANHOILLA NAISILLA	33
8.1 Hermostolliset muutokset ja voiman kasvu naisten voimaharjoittelussa	33
8.2 Hypertrofiset muutokset ja voiman kasvu naisten voimaharjoittelussa	35
8.3 Voimaharjoittelun vaikutukset voima-aika -käyrään	37
8.4 Voimaharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmän voimantuottoon ikäntyneillä	38
9 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	41
10 TUTKIMUSMENETELMÄT	42
10.1 Koehenkilöt	42
10.2 Akuutti rasitusko	43
10.3 EMG-signaalien rekisteröinti	43
10.4 Verinäytteet	44
10.5 Lihaskipujen kirjaaminen	45
10.6 Voimaharjoittelujakso	45
10.7 Tulosten tilastollinen käsittely	45
11 TULOKSET	46
11.1 Antropometriset muutokset	46
11.2 Voiman ja EMG:n muutokset voimaharjoittelujakson aikana	46
11.3 Neuromuskulaariset muutokset akuutissa rasituskokeessa	48
11.4 Hormonipitoisuuksien perustasot voimaharjoittelujakson aikana	50
11.5 Seerumin kasvuhormonipitoisuuden muuttuminen akuutissa rasituskokeessa	53
11.6 Seerumin testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuuden muuttuminen akuutissa rasituskokeessa	54
11.7 Veren laktaattipitoisuuden muuttuminen akuutissa rasituskokeessa	57
11.8 Subjekttiivinen kivun kokeminen akuutin rasituskokeen jälkeen	59
12 POHDINTA	60
LÄHTEET	67

## 1 JOHDANTO

Yksittäinen voimaharjoitus aiheuttaa aina hermo-lihasjärjestelmän kuormittumista hormonaalisten ja hermostollisten vasteiden myötä. Riittävän intensiivinen voimaharjoitus saa aikaan akuutin väsymystilan ja lihasvoiman ja hermostollisen kapasiteetin tilapäisen heikkenemisen sekä veren laktaattipitoisuuden nousun. Yhden harjoituskerran akuutit vaikutukset ovat yhteydessä harjoituksen määrään, intensiteettiin, kokonaiskeston, palautusten keston ja henkilön sen hetkiseen suoritustasoon. Kukin henkilö reagoi kulloiseenkin kuormitukseen kuitenkin yksilöllisesti.

Voimaharjoituksen on todettu aiheuttavan akuutin nousun elimistön kasvuhormonin, testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuuksissa nuorilla miehillä ja naisilla. Naisilla vastaavan voimaharjoituksen aiheuttama testosteronipitoisuuden nousu saattaa olla kuitenkin pienempi kuin miehillä. Myös ikäänntyneiden ihmisten elimistön hormonipitoisuudet nousevat voimaharjoituksen seurauksena, mutta muutokset ovat yleensä pienempiä kuin nuorilla elimistön endokriinijärjestelmän toiminnan heikentymisen takia. Voimaharjoituksen aiheuttama elimistön hormonipitoisuuksien nousu palautuu yleensä melko nopeasti harjoitusta edeltävälle perustasolle, eikä usean viikon voimaharjoittelu välttämättä vaikuta elimistön hormonipitoisuuksien perustasoihin.

Kun yksittäisiä voimaharjoituksia toistetaan sopivin väliajoin, seurauksena on hermo-lihasjärjestelmän rakenteellinen ja toiminnallinen adaptoituminen ja voimantuottoominaisuuksien kehittyminen. Riittävän suurilla kuormilla suoritettu voimaharjoittelu johtaa varsinkin aloittelijoilla suhteellisen suureen lihasvoiman kasvuun. Harjoittelujakson alussa voimanolisäys johtuu lähinnä hermoston parantuneesta toiminnasta. Harjoittelun myötä toiminnallinen kapasiteetti tulee paremmin käyttöön ja lihaksia opitaan aktivoimaan täydellisemmin. Voimaharjoittelu johtaa jossain määrin myös lihahypertrofiaan eli lihasmassan kasvuun. Naisilla voimaharjoittelun aiheuttama lihasmassan kasvu on pitkällä tähtäyksellä hormonaalisista eroista johtuen selvästi pienempää kuin miehillä.

Ikääntymisen ja liikuntaintensiteetin laskun myötä lihaksiston maksimivoima heikkenee huomattavan lihasatrofian eli lihasmassan pienenemisen myötä. Heikkenemistä tapahtuu myös nopeassa voimantuottokyvyssä ja lihaksen maksimaalisessa supistusnopeudessa. Anabolisten hormonien testosteronin ja kasvuhormonin vähentyneen tuotannon ja erityksen on katsottu olevan mahdollinen syy ikääntyneiden vähentyneeseen lihasmassaan ja voimaan. Intensiivisellä voimaharjoittelulla pystytään kuitenkin myös ikääntyneillä ihmisillä saamaan aikaan maksimivoiman kasvua, jonka aiheuttavat hermostolliset, hypertrofiset ja hormonaaliset tekijät.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia hormonaalisia ja neuromuskulaarisia vasteita nuorilla ja vanhoilla naisilla. Anabolisista hormoneista tutkittiin seerumin kasvuhormonin, testosteronin sekä vapaan testosteronin ja katabolisista hormoneista seerumin kortisolin pitoisuuden muuttumista akuutissa rasituskokeessa. Lisäksi seurattiin hormonipitoisuuksien perustasojen muuttumista 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana. Neuromuskulaarisista muuttujista tutkittiin alaraajojen ojentajien maksimivoiman, voimantuottonopeuden, veren laktaattipitoisuuden sekä ojentajalihasten maksimaalisen iEMG:n muuttumista akuutin voimaharjoituksen ja 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena.

## 2 ANABOLISET JA KATABOLISET HORMONIT ELIMISTÖSSÄ

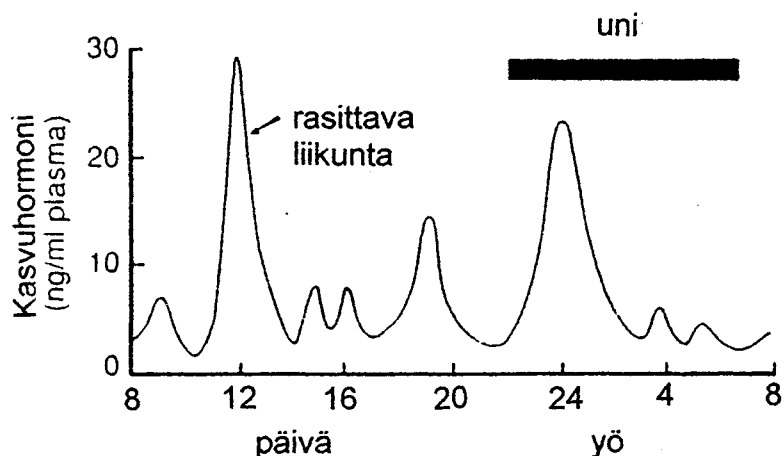
Hormonit ovat kemiallisia aineita, jotka säätelevät hermoston ohella elimistömme toimintoja (Guyton 1991, 810; Saure 1991, 11). Ne leviävät verenkierron mukana usein koko elimistöön, mutta vaikuttavat vain omiin kohdesoluihinsa. Erityiset endokriiniset rauhaset eli umpirauhaset erittävät hormoneja. Monet hormonit vaikuttavat elimistön aineenvaihduntaan varastoja rakentavasti eli anabolisesti tai varastoja pienentävästi eli katabolisesti. Elimistössä vallitsee monimutkainen hormonaalinen tasapainotila anabolisten ja katabolisten hormonien välillä. Anabolisia hormoneja ovat mm. kasvuhormoni, testosteroni ja muut sukupuolihormonit ja insuliini. Kortisoli ja muut glukokortikoidit, kilpirauhashormonit ja glukagoni ovat katabolisia hormoneja. (Nienstedt ym. 1991, 369, 413.)

Insuliini tehostaa glukoosin ja aminohappojen kulkua solukalvojen läpi. Glukagoni on insuliinin vastavaikuttaja eli sen vaikutuksesta veren glukoosipitoisuus kasvaa, kun pitoisuus insuliinin vaikutuksesta pienenee. Kilpirauhashormonit vaikuttavat yleiseen aineenvaihduntaan - mitä enemmän niitä on verenkierrossa, sitä enemmän solut kuluttavat ravintoaineita ja happea. (Nienstedt ym. 1991, 401, 413 - 414.) Kasvuhormoni on proteiinihormoni ja se sitoutuu kohdesolunsa solukalvoon. Testosteroni ja kortisoli ovat steroidihormoneja ja ne sitoutuvat soluliman vastaanotinproteiineihin ja vaikuttavat kohdesolujensa tumaan. (Guyton 1991, 813, 815; Saure 1991, 21.)

### 2.1 Kasvuhormoni

Kasvuhormonia eli somatotropiinia erittyy aivolisäkkeen etulohkosta. Se osallistuu lapsen kasvun säätelyyn ja lisäksi sillä on monenlaisia vaikutuksia aineenvaihduntaan. Kasvuhormonin reseptoreita on hyvin monissa, ehkä kaikissa kudoksissa. Kasvuhormoni kasvattaa solujen kokoa ja lukumäärää. Se helpottaa aminohappojen pääsyä solukalvon läpi ja lisää solujen proteiinisynteesiä. Se lisää yleensä myös veren glukoosipitoisuutta, koska se vähentää hiilihydraattien pääsyä moniin soluihin. Rasvojen käyttö lisääntyy kasvuhormonin vaikutuksesta. Osa kasvuhormonin vaikutuksista on välillisiä: se stimuloi maksaa ja mahdollisesti muitakin kudoksia muodostamaan hormonin kaltaisia somatomeidiineja, jotka osallistuvat luun kasvuun. (Guyton 1991, 822 - 825.)

Erittyvän kasvuhormonin määrä voi vaihdella hyvinkin nopeasti lyhyen ajan sisällä. Hypotalamuksen somatoliberiini (GRH) ja somatostatiini (GIH) kontrolloivat kasvuhormonin erittymistä. Lisäksi esimerkiksi nälkä, hypoglykemia, valkuaisaineiden puutos, rasvahappojen alhainen pitoisuus veressä, liikunta, stressi ja jännitys vaikuttavat erittyvän kasvuhormonin määrään. Syvässä unessa veren kasvuhormonipitoisuus nousee kahden ensimmäisen tunnin aikana. (kuva 1) (Guyton 1991, 825.)



KUVA 1. Kasvuhormonin erittyminen vuorokauden aikana. Rasittavan liikunnan ja syvän unen ensimmäisten tuntien aikana erityis lisääntyy voimakkaasti. (Guyton 1991, 825.)

Nuoruusvuosien jälkeen eli noin 30 ikävuodesta eteenpäin kasvuhormonin erittyminen hidastuu hieman ikääntymisen myötä. Hyvin vanhalla iällä veren kasvuhormonipitoisuus on noin 25 % nuoruusiän tasosta. Vähentyneeseen kasvuhormonin erittymiseen vaikuttavat alhainen plasman somatomeidiinipitoisuus ja lihavuus. Kasvuhormonin keskimääräinen plasmapitoisuus on 5 - 20 -vuotiailla 6 ng/ml, 20 - 40 -vuotiailla 3 ng/ml ja 40 - 70 -vuotiailla 1,6 ng/ml. Onkin mahdollista, että osa ikääntymisen vaikutuksista johtuu vähentyneestä kasvuhormonin erittymisestä. (Rudman ym. 1981; Guyton 1991, 827.)

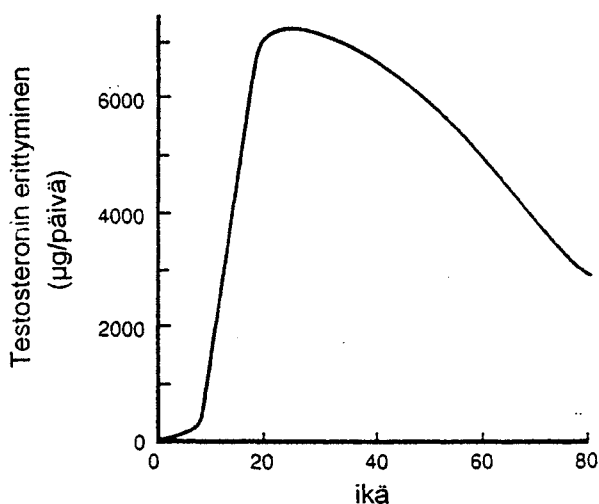


## 2.2 Testosteroni

Tärkein mieshormoni eli androgeeni on testosteroni, jota valmistavat pääasiassa kivesten välisolut. Naisilla testosteronia muodostuu munasarjoissa. Lisämunuaisen kuorikerroksen osuus testosteronin tuotannossa on vähäinen. (Nienstedt ym. 1991, 436). Testosteroni muodostuu kolesterolista (Guyton 1991, 892; Saure 1991, 12). Seerumin testosteroni on sitoutuneena sukupuolihormoneja sitovaan proteiiniin (SHBG) ja albumiiniin ja vain pieni osa on sitoutumattomana tai vapaana. Biologisesti aktiivinen vapaa testosteroni sisältää verenkierron mukana kulkevan vapaan testosteronin ja suurimman osan albumiiniin sitoutuneesta testosteronista ja sen osuus on naisilla noin 1 % ja miehillä 2 - 3 % kokonaistestosteronista. Ikääntyessä SHBG:hen sitoutuneen testosteronin määrä lisääntyy. (Nankin & Calkins 1986; Ellfolk ym 1993, 335.)

Testosteronin vaikutuksesta miehen sukupuolielimet kehittyvät ja sukukypsyysikässä se vastaa siittiöiden muodostumisesta kiveksissä ja sekundaaristen sukupuolitunnusmerkkien kehittymisestä. Testosteroni lisää yleistä aineenvaihduntaa ja proteiinisynteesiä - se stimuloi proteiinituotantoa etenkin niissä kudoksissa, jotka ovat vastuussa sekundaaristen sukupuolitunnusmerkkien kehittymisestä. Myös luiden koko ja paksuus kasvavat testosteronin vaikutuksesta. Lisäksi se lisää monien suolojen kertymistä elimistöön. Androgeenien vaikutuksesta poikien lihakset kehittyvät vahvemmiksi kuin tyttöjen. (Guyton 1991, 892 - 894.)

Naisen ja miehen sukupuolitoimintoja kontrolloi hypotalamuksen gonadoliberiini. Tämä hormoni stimuloi aivolisäkkeen etulohkoa erittämään kahta gonadotrooppista hormonia eli luteinisoivaa hormonia (LH) ja follikkeleita stimuloivaa hormonia (FSH). Luteinisoiva hormoni stimuloi testosteronin eritystä ja follikkeleita stimuloiva hormoni säätelee siittiöiden tuotantoa. Sikiön kiveksistä erittyy runsaasti testosteronia, mutta erityys vähenee sikiökauden lopulla. Syntymän jälkeen testosteronin erityys on jälleen voimakasta 2 - 3 kuukauden iässä, mutta se loppuu lähes kokonaan kymmenen viikon kuluttua syntymästä. Murrosiässä testosteronin erityys lisääntyy voimakkaasti ja vähenee nopeasti 50-vuotiaana - 80-vuotiaana erityys on 20 - 50 % huippuarvosta (kuva 2). (Nienstedt ym. 1991, 436 - 437; Guyton 1991, 891 - 894.)



KUVA 2. Testosteronin erityminen eri ikäkausina (Guyton 1991, 892).

Aikuisilla naisilla seerumin testosteronipitoisuus on noin 0,5 - 3,0 nmol/l, kun miehillä määrä on kymmenkertainen. Vapaan testosteronin määrä on 15 - 39 -vuotiailla naisilla noin 2,8 - 11,0 pmol/l ja samanikäisillä miehillä 60 - 140 pmol/l. Yli 60-vuotiailla naisilla vapaan testosteronin pitoisuus on 0,7 - 8,0 pmol/l ja miehillä 30 - 90 pmol/l. (Ellfolk ym. 1993, 333 - 335.) Seerumin testosteronipitoisuus vähenee iän myötä miehillä ja naisilla (Gray ym. 1991; Häkkinen & Pakarinen 1993). Testosteronipitoisuus on korkeimmillaan klo 6 - 8 aamulla, laskee hitaasti noin 35 % päivän mittaan ja nousee jälleen keskiyöllä. Ikääntyessä testosteronipitoisuuden vuorokausivaihtelu pienenee luteinisoivan hormonin erityksen vähenemisen myötä. (Mooradian ym. 1987.)

Naisilla hormonitasapaino muuttuu jyrkimmin perimenopaussin eli vaihdevuosien keskeisimmän ajanjakson aikana, jolloin munasarjojen estrogeenieritys vähenee voimakkaasti. Kuukautiset jäävät pois eli menopaussi ilmaantuu noin 50 vuoden iässä. Hormonien keskinäinen vuorovaikutus ja tasapaino ja siten koko elimistön hormonaalinen ympäristö muuttuvat. Noin 45 ikävuoteen mennessä munasarjojen kuorikerroksen munarakkulat ovat surkastuneet lähes olemattomiin ja estrogeenituotanto on heikentynyt ratkaisevasti. Androgeeneja erittävä munasarjan ydinkerros ei kuitenkaan osoita surkastumisen merkkejä. Androgeenierityskin vähenee iän mukana, mutta se voi jatkua jopa 80 vuoden ikään saakka. Menopaussin jälkeen gonadotropiinien follikkeleita stimuloivan hormonin ja luteinisoivan hormonin erityksen lisääntyminen lisääntyy voimakkaasti. Luukato ja osteoporoosi kehittyvät nopeasti menopaussin jälkeen estrogeenierityksen vähenemisen vuoksi. (Saure 1991, 76 - 77, 80 - 81, 122.)

### 2.3 Kortisoli

Kortisoli on tärkein glukokortikoidi eli lisämunuaiskuoren hormoni, joka vaikuttaa ensi sijassa hiilihydraattiaineenvaihduntaan. Kortisoli stimuloi maksan glukoneogeneesiä eli glukoosin uudismuodostusta lisäämällä tähän tarvittavien maksaentsyymien määrää. Muissa kudoksissa, kuten lihaksissa, kortisoli vähentää valkuaisainesynteesiä ja lisää valkuaisaineiden pilkkoutumista. Kortisoli siis kuluttaa kudosten proteiineja ja aiheuttaa niistä pilkkoutuneiden aminohappojen siirtymisen veren mukana maksaan glukoosin muodostuksen raaka-aineiksi. Muualla elimistön soluissa glukoosin käyttö vähenee hieman kortisolin vaikutuksesta. Sekä tehostunut glukoneogeneesi että solujen vähentynyt glukoosin käyttö johtavat veren glukoosipitoisuuden nousuun. Rasva-aineenvaihduntaan kortisoli vaikuttaa lisäämällä rasvahappojen mobilisaatiota rasvakudoksesta ja lisäämällä näin plasman vapaiden rasvahappojen pitoisuutta ja niiden käyttöä energialähteenä. Lisäksi kortisoli tehostaa rasvahappojen hapettumista soluissa. (Nienstedt ym. 1991, 403 - 404; Guyton 1991, 846 - 847.)

Kortisolia erittyy vereen 15 - 30 mg vuorokaudessa. Eritys vaihtelee suuresti elimistön toimintatilan ja vuorokaudenajan mukaan. Seerumin kortisolipitoisuus on korkeimmillaan aamulla ja alhaisimmillaan keskiyöllä - aamuarvot ovat noin 150 - 650 nmol/l (Ellfolk ym. 1993, 211). Kortisoli on veressä sitoutuneena transkortiiniin, kuljettajavalkuaisaineeseen, ja hieman myös albumiiniin. Sitoutuminen puskuroi kortisolin erityksen äkillisiä muutoksia. Sitoutuneena kortisoli on tehotonta, mutta se irtautuu tarvittaessa transkortiinista. Pääosa kortisolista metaboloituu maksassa ja erittyy eri muodoissa virtsaan. (Guyton 1991, 850 - 851.)

Kortisolia erittyy fyysisissä ja mentaalisisä stressitilanteissa ja sitä käytetään tulehdusreaktioiden sekä allergioiden hoidossa. Hypotalamuksen kortikoliberiinin stimuloimana aivolisäkkeen etulohko erittää yleiseen verenkiertoon kortikotropiinia (ACTH), joka kontrolloi kortisolin eritystä. Kortisoli säätelee myös itse omaa pitoisuuttaan veressä estämällä hypotalamuksen eritystoimintaa. (Guyton 1991, 848 - 850.)

### 3 HORMONAALISET TEKIJÄT JA VOIMAHARJOITTELU NAISILLA

Naisten ja miesten välillä on huomattavia hormonaalisia eroja (Shangold 1984; Wells 1985, 6). Voimaharjoittelun kannalta tärkeän hormonin testosteronin pitoisuus on naisilla vain noin kymmenesosa miesten määrästä (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983; Cumming ym. 1987; Häkkinen ym. 1990). Perinnöllisyys ja testosteronin erityy ovat tärkeimmät lihaskokoon vaikuttavat tekijät - harjoittelun avulla lihasmassa voi kuitenkin kasvaa vielä 30 - 60 %. Miesten suuremman testosteronipitoisuuden ja androgeenien määrän takia heidän lihaksensa ovat huomattavasti suuremmat kuin naisilla. Murrosiän jälkeen miesten lihasmassa kasvaa noin 50 % naisten lihasmassaa suuremmaksi. (Guyton 1991, 944, 893.) Naisilla estrogeenihormonien suuri määrä aiheuttaa puolestaan miehiä suuremman kehon rasvakudoksen määrän (Wells 1985, 14). Pienet erot seerumin testosteronipitoisuudessa eivät kuitenkaan aiheuta yksilöllisiä eroja lihasvoimassa ja -massassa naisten tai miesten välillä (Fahey ym. 1976).

Suuremman androgeenimäärän (Mooradian ym. 1987) ja lihasmassan ansiosta miehet ovat myös voimakkaampia kuin naiset (Wells 1985, 35). Testosteronin ja voiman kehityksen välistä suhdetta ei ole täysin määritelty. Testosteronilla on lihaskokoa kasvattava vaikutus, mutta vaikutuksen välittävänä tekijänä ovat myofibrillien androgeenireseptorit. On mahdollista, että voimaharjoittelu aiheuttaa muutoksia reseptoreissa, vaikka veren androgeenimäärä pysyy muuttumattomana. (Mooradian ym. 1987.) Voima on suorassa yhteydessä aktivoitujen lihassolujen lukumäärään ja kokoon. Kun lihasvoima suhteutetaan rasvattomaan kehonpainoon tai lihaksen poikkipinta-alaan, sukupuolten väliset erot usein katoavat tai pienenevät. (Wells 1985, 35.) Suurin ero miesten ja naisten lihasvoimassa ilmenee ylävartalon voimassa ja pienin alaraajojen voimassa (Wilmore 1974; Bell ym. 1997).

Yksilölliset erot seerumin testosteronipitoisuudessa ovat naisilla huomattavasti suuremmat kuin miehillä (Westerlind ym. 1987; Häkkinen ym. 1989). Seerumin absoluuttinen testosteronipitoisuus näyttäisi olevan naisilla läheisessä yhteydessä voiman harjoitettavuuteen, kun voimaharjoittelu on intensiivistä (Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 1992; Häkkinen ym. 2000).

Häkkinen ym. (1989 & 2000) tutkimustulokset osoittavat, että seerumin testosteronin yksilöllinen absoluuttinen pitoisuus oli tutkituilla naisilla korrelatiivisessa yhteydessä voimaharjoittelujakson aikana ilmenneeseen maksimivoiman yksilölliseen kehitykseen. Ne koehenkilöt, joilla oli korkea seerumin testosteronipitoisuus, pystyivät lisäämään voimaansa enemmän kuin ne, joilla pitoisuus oli alhaisempi. (Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 2000.) Yksilöllisen seerumin testosteronin ja SHBG:n suhteen on todettu olevan yhteydessä naisten harjoitettujen lihasten hypertrofiaan (Häkkinen ym. 1992).

Testosteroni saattaa siis olla tärkeä tekijä naisten harjoitettavuuden ja voiman kehittymisen kannalta (Krahenbuhl ym. 1978; Häkkinen ym. 1990). Kaikissa tutkimuksissa (Fahey ym. 1976; Krahenbuhl ym. 1978; Westerlind ym. 1987) seerumin testosteronin ja voiman tai voiman kehittymisen välillä ei kuitenkaan ole havaittu merkittävää yhteyttä. Ehkä plasman kokonaisandrogenimäärä vaikuttaa naisten voimaan ja sen kehittymiseen enemmän kuin pelkkä testosteroni. Lisäksi voiman kehittymiseen saattavat vaikuttaa lihassolujen lukumäärä ja tyyppi. (Krahenbuhl ym. 1978.) Huippu-urheilijoiden voiman kehittymisen ja elimistön androgeenitason kohoamisen välillä on todettu olevan yhteys (Häkkinen ym. 1988c).

Myös vapaan testosteronin pitoisuudessa naisilla on suuret yksilölliset erot. Seerumin vapaan testosteronin yksilöllisen absoluuttisen pitoisuuden on havaittu olevan melko läheisessä yhteydessä nopeusvoimaharjoittelujakson aikana ilmenneeseen nopeusvoiman yksilölliseen muutokseen. Naisilla, joilla oli korkea seerumin vapaan testosteronin ja kokonais-testosteronin pitoisuus, harjoitettujen lihasten voimantuottoaika lyheni harjoitusjakson aikana enemmän kuin niillä, joilla seerumin testosteronin pitoisuus oli alhaisempi. (Häkkinen ym. 1990.)

Naisten voimaharjoittelun ohjelmoinnissa tulee olla tarkkana. Intensiivisen voimaharjoittelujakson pituus tulisi olla naisilla lyhyempi kuin miehillä, koska naisilla ylitreenautumisen riskit ovat hermostolliselta ja hormonaaliselta kannalta suuremmat kuin miehillä. Lisäksi naisten yksilölliset hormonaaliset erot ovat yhteydessä siihen, että naisten maksimivoiman harjoitettavuudessa ja kehityksessä on vastaavasti suuret yksilölliset erot. Naisten voimaharjoittelun ohjelmoinnissa pitää kiinnittää huomiota riittävän lyhyeen jaksotukseen ja maksimivoimaharjoittelun määrän yksilölliseen annostukseen. (Häkkinen 1990, 79.)

## **4 SEERUMIN HORMONIPITOISUUDET VOIMAHARJOITTELUSSA LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ**

Hormonaalinen säätely fyysisen suorituskyvyn yhteydessä on monitahoinen ja liittyy läheisesti elimistön muihin säätelymekanismeihin. Voimaharjoitus, kuten muukin fyysinen tai psyykinen kuormitus, aiheuttaa akuutin stressivasteen hormonaalisessa säätelyjärjestelmässä, jolloin veren useiden hormonien pitoisuudet nousevat huomattavasti. (Häkkinen 1990, 52.) Elimistön endokriinijärjestelmän on todettu reagoivan sekä akuuttiin fyysiseen kuormitukseen (mm. Weiss ym. 1983; Häkkinen ym. 1988, 1988b; Kraemer ym. 1993) että pitkäaikaiseen fyysiseen harjoitteluun (mm. Johnson ym. 1983; Häkkinen ym. 1985c; Kraemer ym. 1999).

Yksittäinen voimaharjoitus aiheuttaa aina hermo-lihasjärjestelmän kuormittumista hormonaalisten ja hermostollisten vasteiden myötä. Yhden harjoituskerran akuutit vaikutukset ovat yhteydessä harjoituksen määrään, intensiteettiin, kokonaiskestoon, palautusten kestoon ja henkilön sen hetkiseen suoritusasteeseen. Kukin henkilö reagoi kulloiseenkin kuormitukseen kuitenkin yksilöllisesti. (Häkkinen 1990, 43, 74.) Yksittäisen voimaharjoituksen aiheuttama seerumin hormonipitoisuuksien nousu palautuu nopeasti perustasolle. Muutamia viikkoja kestävä normaali voimaharjoittelu ei yleensä aiheuta muutoksia elimistön hormonitasapainossa. (Häkkinen ym. 1985c.)

### **4.1 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen**

Voimaharjoituksen aiheuttama seerumin kasvuhormonin pitoisuuden nousu on havaittu sekä voimaurheilijoilla (Häkkinen ym. 1988 & 1988b; Häkkinen & Pakarinen 1993b) että kuntoilijoilla (mm. Craig ym. 1989; Kraemer ym. 1992, 1993 & 1998). Kasvuhormonin pitoisuuden akuutti nousu näyttäisi olevan yhteydessä kuormituksen intensiteettiin ja määrään (Karagiorgos ym. 1979; Van Helder ym. 1984; Häkkinen ym. 1988; Gotshalk ym. 1997) sekä kuorman suuruuteen ja lepotaukojen pituuteen (Kraemer ym. 1991). Anaerobinen aineenvaihdunta ja happamuuden lisääntyminen lienevät pääasiallisimmat syyt kasvuhormonin vapautumiseen (Sutton & Lazarus 1976; Van Helder ym. 1984; Kraemer ym. 1993; Gordon ym. 1994).

Hypertrofistyyppinen voimaharjoitus aiheutti Kraemerin ym. (1993) tutkimuksessa naisten seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun heti, 5 ja 15 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen ja 90 ja 120 minuutin kuluttua arvot olivat lähtötasoa alhaisemmat. Kasvuhormonipitoisuuden nousu oli yhteydessä laktaattipitoisuuden nousuun. Kuormaltaan suurempi ja lepotauoiltaan pidempi voimaharjoitus ei aiheuttanut kasvuhormonipitoisuuden nousua, mutta kylläkin laskun 90 minuuttia harjoituksen jälkeen. Mulliganin ym. (1996) tutkimuksessa kahdesta voimaharjoituksesta työmäärältään kolminkertainen harjoitus johti nuorilla naisilla pidempään (30 vs. 15 min) kohonneena olevaan kasvuhormonivasteeseen.

Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa ennen kuuden kuukauden voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty alaraajojen ojentajia kuormittava voimaharjoitus (5 x 10 RM) aiheutti 40-vuotiaiden naisten ja miesten seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun. Myös Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksessa intensiivinen voimaharjoitus aiheutti lepotasoon verrattuna moninkertaisen seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun 30- ja 50 -vuotiailla naisilla ja miehillä.

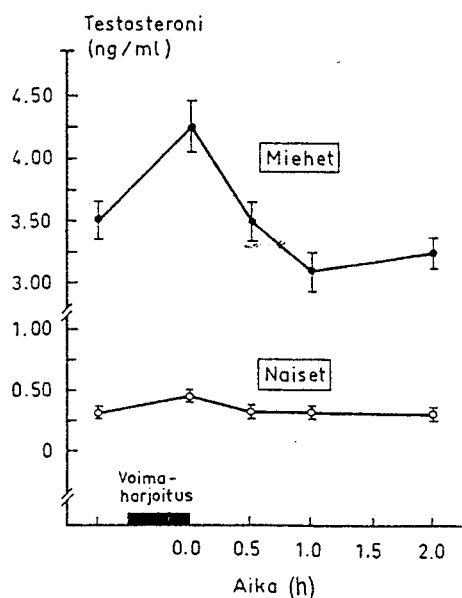
Van Helderin ym. (1984) tutkimuksessa hyväkuntoisten miesten seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi huomattavasti 85 % teholla tehdyn alaraajojen voimaharjoituksen jälkeen. Hormonipitoisuuden nousu korreloi laktaattipitoisuuden nousun kanssa. Kasvuhormonipitoisuus oli suurimmillaan 15 minuuttia harjoituksen jälkeen. Kestoltaan samanpitäinen, mutta alhaisemmilla kuormilla ja suuremmilla toistomäärillä tehty voimaharjoitus ei aiheuttanut muutoksia seerumin kasvuhormonipitoisuudessa. (Van Helder ym. 1984.)

Craigin ym. (1989) tutkimuksessa suhteelliselta intensiteetiltään samanlainen voimaharjoitus aiheutti akuutin kasvuhormonipitoisuuden nousun nuorilla miehillä ennen 12 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen, mutta jakson jälkeen nousu oli suurempi kuin ennen jaksoa. Myös Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoitus johti nuorten miesten kasvuhormonipitoisuuden nousuun ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen - nousu havaittiin ennen jaksoa viidestä 30 minuuttiin harjoituksen päätyttyä ja jakson jälkeen 0 - 15 minuutin kuluttua sen päättymisestä. Kasvuhormonipitoisuus oli harjoitusjakson jälkeen alhaisempi 30 minuuttia harjoituksen päättymisestä kuin mitä se oli samaan aikaan ennen voimaharjoittelua. Kasvuhormonin laskua selittää alhaisempi seerumin laktaattipitoisuus. (Kraemer ym. 1999.)

## 4.2 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen

Yksittäisen voimaharjoituksen ollessa riittävän intensiivinen ja kuormittava, havaitaan miehillä selvä seerumin testosteronipitoisuuden nousu (mm. Weiss ym. 1983; Häkkinen ym. 1988, 1988b, 2000; Jensen ym. 1991). Testosteronipitoisuuden nousuun ja koko hormonivasteen profiiliin vaikuttavat voimaharjoituksen intensiteetti ja kesto, palautusten ja aktivoituneen lihasmassan määrä, henkilön ikä, maksimaalinen yritys ja suoritustaso. Seerumin testosteronipitoisuus pysyy kauemmin kohonneena voimaharjoituksen jälkeen, kun kokonaistyömäärää nostetaan (Gotshalk ym. 1997). Liian kuormittava tai pitkäkestoinen voimaharjoitus saattaa aiheuttaa seerumin testosteronipitoisuuden laskun jo harjoituksen kuluessa. Tällöin harjoitus ei vastaa enää tarkoitustaan, vaan saattaa olla jopa liian kuluttava. (Häkkinen 1990, 53.) Seerumin testosteronin muutokset ovat myös yksilöllisiä (Fahey ym. 1976; Häkkinen 1990, 53; Nicklas ym. 1995).

Naisilla vastaava voimaharjoitus saattaa aiheuttaa pienemmän nousun seerumin testosteronipitoisuudessa kuin miehillä (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983; Häkkinen & Pakarinen 1995). Heillä testosteronin lähtöarvotkin ovat noin kymmenesosa miesten määrästä (Weiss ym. 1983). Jensenin ym. (1991) tutkimuksessa 90 minuutin intensiivinen voimaharjoitus aiheutti 27 % nousun harjoitelleiden miesten seerumin testosteronipitoisuudessa. Yksilölliset erot voimaharjoituksen hormonivasteessa olivat suuret. Samansuuruisen nousun (22 %) havaitsivat myös Weiss ym. (1983) 30 minuutin voimaharjoituksen jälkeen miehillä, mutta ei naisilla. Arvot palautuivat lepotasolle puolessa tunnissa. (kuva 3)



KUVA 3. Yhden voimaharjoituskerran vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen miehillä ja naisilla (Weiss ym. 1983).



Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksessa intensiivinen voimaharjoitus aiheutti nuorten ja keski-ikäisten miesten seerumin testosteronipitoisuuden 9 - 15 % nousun. Nuorilla naisilla testosteronipitoisuudessa ei tapahtunut muutoksia ja keski-ikäisilläkin naisilla nousu oli pieni. Cummingin ym. (1987) tutkimuksessa kaksi kuukautta voimaa harjoitelleilla naisilla seerumin testosteroni ja vapaa testosteroni nousivat lepotasoa korkeammalle heti voimaharjoituksen alussa ja kohosivat lisää harjoituksen loppupuolella, mutta enemmän niillä naisilla, joilla testosteronipitoisuus oli pienempi harjoituksen alussa. Seerumin laktaattipitoisuus korreloi testosteronipitoisuuden kanssa harjoituksen lopussa. (Cumming ym. 1987.)

Useimmissa tutkimuksissa (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983; Westerlind ym. 1987; Häkkinen ym. 1990; Kraemer ym. 1991; Häkkinen & Pakarinen 1995) voimaharjoituksen ei ole havaittu aiheuttavan akuutteja muutoksia naisten seerumin testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuuksissa. Muut endogeeniset anaboliset hormonijärjestelmät saattavat olla tärkeämpiä naisten fysiologisessa adaptoitumisessa voimaharjoitteluun (Kraemer ym. 1993).

Fahey ym. (1976) eivät havainneet voimaharjoituksen aiheuttamassa seerumin testosteronipitoisuuden nousussa (19 %) eroa kokeneiden ja kokemattomien miesvoimaurheilijoiden välillä. Testosteronipitoisuuden nousu oli kuitenkin suurempi niillä koehenkilöillä, joilla testosteronin perustasokin oli korkeampi. Naisilla ja nuoremmilla miehillä testosteronipitoisuuden nousua ei havaittu. Syinä tähän voivat olla voimaurheilijoiden korkeampi harjoitusintensiteetti, naisten aggressiivisuuden ja voimaharjoittelukokemuksen puute sekä nuorten miesten motivaation puute. (Fahey ym. 1976.)

Häkkisen ym. (1988b) tutkimuksessa huippupainonnostajat suorittivat kaksi intensiivistä voimaharjoitusta yhden päivän aikana. Aamupäiväharjoitus aiheutti seerumin testosteronin 13 % laskun. Iltapäiväharjoituksessa testosteronipitoisuus nousi 44 % ja vapaa testosteroni 37 %. Testosteronipitoisuudet palautuivat tunnissa lähes lepotasolle. Syynä voimaharjoitusten aiheuttamaan erilaiseen testosteronivasteeseen lienee kyseisen hormonipitoisuuden vuorokausivaihtelu (Clair ym. 1985), sillä koehenkilöiden lepopäivän testosteroniarvot olivat noin 33 % korkeammat aamulla kuin illalla. Toisen harjoituksen alussa testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuudet olivat paljon alhaisemmat kuin ensimmäisen harjoituksen lopussa. (Häkkinen ym. 1988b.)

Biologisesti aktiivinen vapaa testosteroni on todettu tärkeäksi nuorten miesten harjoitettavuuden kannalta (Häkkinen ym. 1987; Häkkinen & Pakarinen 1994). Pienen molekyylipainonsa ansiosta se läpäisee plasman kalvon ja pääsee kosketuksiin tuman kanssa ja elimistön bioaktiivisuus lisääntyy (Mooradian ym. 1987; Nankin & Calkins 1986).

Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoitus aiheutti akuutin seerumin testosteronipitoisuuden ja vapaan testosteronin nousun nuorilla miehillä ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Ennen harjoitusjaksoa testosteronipitoisuus pysyi kohonneena 15 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen ja 30 minuutin palautumisen jälkeen arvot olivat laskeneet perustasolle. Voimaharjoittelujakson jälkeen testosteronin akuutti nousu oli havaittavissa viiden minuutin levon jälkeen. Vapaa testosteroni pysyi kohonneena 15 minuuttia harjoituksen loppumisen jälkeen ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. (Kraemer ym. 1999.)

Craigin ym. (1989) tutkimuksessa ennen 12 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty voimaharjoitus ei aiheuttanut akuutteja muutoksia seerumin testosteronipitoisuudessa nuorilla miehillä. Voimaharjoituksen aiheuttama testosteronipitoisuuden nousu lienee yhteydessä vähentyneeseen testosteronin puhdistumiseen maksan kautta vähentyneen sisäelinverenkierron takia. Sisäelinten verenkierto ei vähene voimaharjoituksen aikana, ellei harjoitusintensiteetti ole korkea. Tässä tutkimuksessa 74 %:n teho ei ehkä ollut riittävä vähentämään sisäelinten verenkiertoa, mikä johti testosteronin poistumiseen maksan kautta ja muuttumattomaan seerumin testosteronipitoisuuteen. (Craig ym. 1989.)

#### **4.3 Voimaharjoituksen akuutti vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen**

Seerumin kortisolipitoisuuden on havaittu nousevan voimaharjoituksen akuutin stressin vaikutuksesta miesvoimailijoilla (mm. Häkkinen ym. 1988, 1988b) ja fyysisesti aktiivisilla miehillä (mm. McCall ym. 1999; Kraemer ym. 1999). Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös naisilla (mm. Cumming ym. 1987; Kraemer ym. 1993; Mulligan ym. 1996). Kuormituksen intensiteetti vaikuttaa plasman kortisolipitoisuuteen - alhaisilla kuormilla kortisolin puhdistus ylittää sen tuotannon ja plasman kortisolipitoisuus saattaa jopa laskea (Davies & Few 1973). Voimaharjoituksen kokonaistyömäärä vaikuttaa siihen, kuinka kauan seerumin kortisolipitoisuus pysyy kohonneena (Mulligan ym. 1996; Gotshalk ym. 1997).

Cummingin ym. (1987) tutkimuksessa voimaharjoitus aiheutti nuorten naisten seerumin kortisolipitoisuuden nousun. Kortisolipitoisuus nousi enemmän niillä koehenkilöillä, joiden seerumin testosteronipitoisuus oli voimaharjoituksen alussa alhaisempi. Myös laktaattipitoisuuden nousu oli yhteydessä kortisolipitoisuuden nousuun. Kraemerin ym. (1993) tutkimuksessa hypertrofistyyppinen voimaharjoitus aiheutti naisten seerumin kortisolipitoisuuden nousun, joka ilmeni jo harjoituksen kuluessa ja 0 - 15 minuuttia sen jälkeen. Myös raskaammilla kuormilla ja pidemmällä palautuksilla tehty harjoitus aiheutti kortisolिन nousun heti harjoituksen jälkeen, mutta se oli pienempi kuin kevyemmällä kuormilla ja lyhyemmällä palautuksilla tehtyjen harjoituksen aiheuttama kortisolipitoisuuden nousu. (Kraemer ym. 1993.) Voimaharjoitus aiheutti kortisolिन nousun naisilla ja miehillä myös Kraemerin ym. (1998) tutkimuksessa, mutta naisilla nousu tapahtui vasta kuuden ja kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen.

Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoitus aiheutti nuorilla miehillä akuutin seerumin kortisolipitoisuuden nousun ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa ja kortisolipitoisuus pysyi kohonneena vielä 30 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen. Harjoitusjakson jälkeen kortisolिन nousu havaittiin vasta 15 ja 30 minuuttia harjoituksen päättymisestä. (Kraemer ym. 1999.) Häkkisen ym. (1988b) tutkimuksessa aamupäiväharjoitus aiheutti painonnostajien seerumin kortisolipitoisuuden 31 % laskun ja iltapäiväharjoitus 44 % nousun kortisolipitoisuudessa. Harjoitusten aiheuttamaan erilaiseen hormonivasteeseen voi olla syynä kortisolipitoisuuden vuorokausivaihtelu (Follenius & Brandenberger 1986), joka peitti alleen aamuharjoituksen aiheuttaman mahdollisen kortisolipitoisuuden nousun. (Häkkinen ym. 1988b.)

#### **4.4 Voimaharjoittelun pitkän aikavälin vaikutukset seerumin kasvuhormoni-, testosteroni- ja kortisolipitoisuuksiin**

Voimaharjoittelun ei ole todettu vaikuttavan elimistön kasvuhormonin perustasoihin harjoitelleilla (Häkkinen ym. 1988) eikä harjoittelemattomilla (mm. Craig ym. 1989; Kraemer ym. 1998) henkilöillä. Jos kasvuhormonipitoisuuden muutoksia esiintyy voimaharjoittelun seurauksena, ne johtuvat todennäköisesti muista tekijöistä, kuten reseptoriherkkyyden muutoksista tai hormonipitoisuuden vuorokausivaihtelusta (Kraemer 1992, 298).

Kahdeksan viikon ajan kaksi kertaa viikossa suoritettu intensiivinen voimaharjoittelu ei aiheuttanut muutoksia seerumin kasvuhormonin perustasoissa miehillä ja naisilla, jotka eivät olleet aikaisemmin tehneet voimaharjoittelua (Kraemer ym. 1998). Niin ikään kolme kertaa viikossa 10 - 12 viikon ajan toteutetun hypertrofistyyppisen voimaharjoittelun ei ole todettu aiheuttavan muutoksia plasman kasvuhormonipitoisuuksissa nuorilla miehillä (Craig ym. 1989; Kraemer ym. 1999; McCall ym. 1999). Myöskään viikon ajan kaksi kertaa päivässä suoritettua erittäin intensiivisen voimaharjoittelujakson ei ole todettu aiheuttavan kasvuhormonipitoisuuden muutoksia miesvoimaurheilijoilla (Häkkinen ym. 1988).

Häkkinen ym. (1985c) tutkimuksessa 24 viikon intensiivinen hermostollistyyppinen voimaharjoittelujakso ei myöskään johtanut muutoksiin voimaharjoitteluun tottuneiden nuorten miesten kasvuhormonin perustasoissa. Usean kuukaudenkaan voimaharjoittelulla ei siis näyttäisi olevan pitkäkestoista vaikutusta elimistön kasvuhormonipitoisuuteen.

Elimistön testosteronipitoisuuden on havaittu sekä nousevan (mm. Johnson ym. 1983; Häkkinen ym. 1985c), pysyvän muuttumattomana (mm. Guezennec ym. 1986; Craig ym. 1989; Nicklas ym. 1995; Bell ym. 1997; Ostrowski ym. 1997; McCall ym. 1999) että laskevan (mm. Häkkinen ym. 1987; Häkkinen ym. 1988) voimaharjoittelun seurauksena. Seerumin testosteronin nousu on havaittu nuorilla miesvoimaurheilijoilla 24 viikon lihahypertrofiaan johtaneen erittäin intensiivisen voimaharjoitusjakson seurauksena (Häkkinen ym. 1985c) ja viikon ylikuormitusharjoittelun jälkeen (Fry ym. 1994). Säännöllinen maksimaalinen harjoittelu ja lihasten ylikuormittaminen lienevät edellytyksiä jatkuvasti kohooneelle elimistön testosteronipitoisuudelle (Fahey ym. 1976).

Lyhyen intensiivisen voimaharjoittelujakson aiheuttamat seerumin testosteronimuutokset kuvastavat harjoittelun aiheuttamaa fysiologisen rasituksen määrää. Viikon ajan kaksi kertaa päivässä suoritettua (Häkkinen ym. 1988) ja kahden viikon hyvin intensiivisen voimaharjoittelun (Häkkinen ym. 1987) on havaittu aiheuttavan testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuuksien laskun miespainonnostajilla. Hormoniarvot palautuivat kuitenkin harjoitusjaksoa edeltävälle tasolle yhden lepopäivän (Häkkinen ym. 1988) ja harjoittelun kevennyksen (Häkkinen ym. 1987) jälkeen, eivätkä ne olleet yhteydessä voiman laskuun.

Seerumin testosteronin lasku johtuu vähentyneestä hormonin tuotannosta ja/tai lisääntyneestä käytöstä. Lepo ja palautuminen näyttävät olevan tärkeitä testosteronipitoisuuden kannalta. Vapaan testosteronin lasku lienee yhteydessä lisääntyneeseen kulutukseen tai SHBG:n pitoisuuden lisääntymiseen. (Häkkinen ym. 1987; Häkkinen ym. 1988.)

Craigin ym. (1989) tutkimuksessa kolmen kuukauden voimaharjoittelujakso ei aiheuttanut muutoksia seerumin testosteronipitoisuudessa nuorilla miehillä. Kraemer ym. (1999) eivät myöskään havainneet muutoksia testosteronin perustasoissa fyysisesti aktiivisilla nuorilla miehillä kymmenen viikon voimaharjoittelujakson aikana. Vapaan testosteronin lepoarvot olivat kuitenkin kymmenen viikon harjoittelun jälkeen korkeammat kuin ennen harjoittelua. (Kraemer ym. 1999.) Voimaharjoittelun määrän ja intensiteetin muutosten ei ole havaittu vaikuttavan seerumin testosteronin perustasaan 2 - 3 kuukauden voimaharjoittelujakson aikana. Elimistön endokriinijärjestelmä kykenee siis ylläpitämään androgeenihormonien päivittäisen homeostaattisen tasapainon. (Häkkinen ym. 1985c).

Muutamia viikkoja (3 - 16 vk) kestävä voimaharjoittelun ei ole todettu aiheuttavan muutoksia naisten seerumin testosteronin pitoisuudessa (Westerlind ym. 1987; Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 1992; Bell ym. 1997). Myöskään naisten vapaa testosteroni ja kortisoli eivät muuttuneet voimaharjoittelujakson aikana Häkkisen ym. (1989 & 1992) tutkimuksissa. Elimistön oma hormonituotanto riitti voimaharjoittelun tarpeisiin ja harjoittelu ei ollut liian kuormittavaa tai kuluttavaa. Myöskään nopeusvoimaharjoittelun ei ole havaittu vaikuttavan tavallista liikuntaa harrastavien naisten elimistön hormonitasapainoon. Joka toinen päivä 16 viikon ajan toteutettu nopeusvoimaharjoittelu ei aiheuttanut systemaattisia muutoksia elimistön seerumin testosteronin, vapaan testosteronin tai kortisolin pitoisuuksissa. (Häkkinen ym. 1990.)

Kaksi kertaa päivässä viikon ajan toteutettu intensiivinen voimaharjoittelujakso ei aiheuttanut muutoksia kortisolin lepoarvoissa miesvoimaurheilijoilla (Häkkinen ym. 1988). Kortisolin lepoarvot eivät myöskään muuttuneet nuorilla miehillä kymmenen viikon hypertrofistyyppisen voimaharjoittelun seurauksena (Kraemer ym. 1999).

Niin ikään neljä kertaa viikossa kymmenen viikon ajan toteutettu voimaharjoittelujakso ei aiheuttanut harjoitelleiden miesten elimistön kortisolimuutoksia Ostrowskin ym. (1997) tutkimuksessa. Intensiteetiltään samanlaiset, mutta työmäärältään poikkeavat harjoitusohjelmat eivät eronneet toisistaan aiheuttamansa hormonivasteen suhteen. Harjoitusjakso saattoi olla liian lyhyt aiheuttaakseen muutoksia kortisolin perustasossa aikaisemminkin harjoitelleilla miehillä. (Ostrowski ym. 1997.)

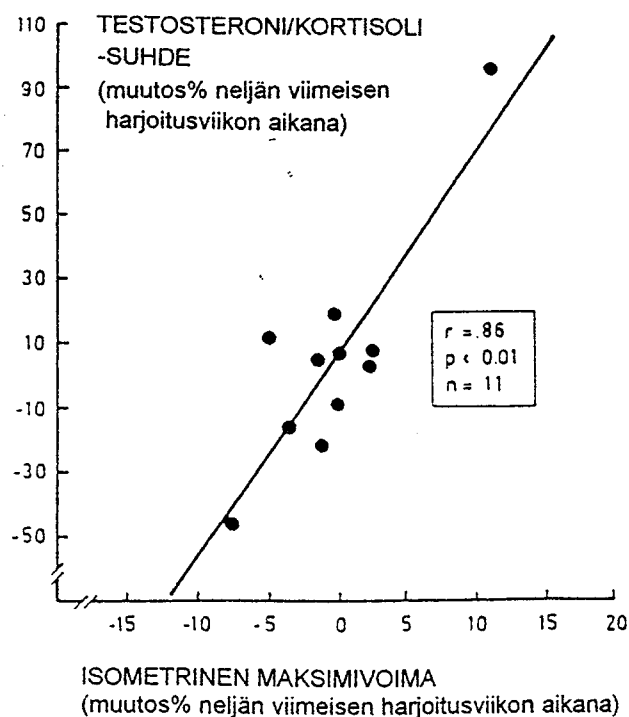
Voimaharjoittelun aiheuttama kortisolin lasku on havaittu nuorilla miehillä 24 viikon lihashypertrofiaan johtaneen erittäin intensiivisen voimaharjoitusjakson seurauksena (Häkkinen ym. 1985c). Myös Kraemerin ym. (1998) tutkimuksessa intensiivinen kahdeksan viikon voimaharjoittelujakso johti seerumin kortisolipitoisuuden laskuun jakson lopussa miehillä ja naisilla, joilla ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa. Seerumin kortisolipitoisuuden lasku on tietävästi yhteydessä fyysisen rasituksen aiheuttamaan aivolisäkkeen kortikotropiinireseptoreiden aktiivisuuden vähenemiseen (Hickson & Marone 1993). Kortisolipitoisuuden lasku johtaa elimistön anaboliaan lisääntyvän proteiinisynteesin kautta ja näin ollen lihashypertrofiaan. (Kraemer ym. 1999.)

Kohonnut elimistön kortisolipitoisuus on yhteydessä kovaan harjoitteluun ja fyysiseen rasitukseen (Alén ym. 1988; Neary ym. 1994). Kortisolipitoisuuden muutokset heijastavat muutosta hormonin tuotannossa, sitoutumisessa, puhdistumisessa tai näiden yhdistelmissä (Neary ym. 1994). Bellin ym. (1997) tutkimuksessa voimaharjoitteluun tottuneiden nuorten miesten kortisolipitoisuus nousi kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen, mutta laski perustasolle seuraavien kahdeksan viikon aikana. Naisilla kortisolipitoisuus laski ensin ja nousi sitten 12 viikon harjoittelun jälkeen. Koska testosteronipitoisuudessa ei tapahtunut muutoksia, testosteroni/kortisoli -suhde saattoi laskea harjoittelun viimeisillä viikoilla. Kortisolin tuoton adaptoituminen voi myös olla erilainen naisilla ja miehillä. (Bell ym. 1997.)

Seerumin testosteroni/kortisoli -suhdetta on käytetty fyysisen kuormituksen yhteydessä kuvaamaan elimistön anabolia/katabolia -tasapainotilaa. Tämän suhteen oletetaan kuvaavan myös elimistön mahdollista ylikuormittumista (Häkkinen ym. 1985c; Ostrowski ym. 1997). Mitä pidemmästä ja kuormittavammasta voimaharjoittelusta on kyse, sitä suuremaksi muodostuu elimistön oman hormonituotannon ja hormonitasapainon merkitys harjoittelun tehokkuuden ja voiman kehittymisen kannalta. (Häkkinen 1990, 74 - 75.)

Voimaharjoittelu voi aiheuttaa pidemmällä tähtäyksellä ajoittaisia muutoksia elimistön anabolia/katabolia -tasapainossa (Häkkinen ym. 1985c). Lyhytaikaisina nämä hormoni-muutokset kuvastavat harjoittelun fyysistä kuormittavuutta, mutta pidempiaikaisena hormonitasapainon muutos heijastaa jo urheilijan harjoitettavuutta (Häkkinen ym. 1988).

Hormonitasapainon ja maksimivoiman kehityksen on havaittu olevan yhteydessä toisiinsa intensiivisen voimaharjoittelujakson viimeisillä viikoilla. Häkkisen ym. (1985c) tutkimuksessa miehillä, joilla seerumin testosteroni/kortisoli -suhde laski viimeisten kovien harjoitusviikkojen aikana, ilmeni myös alaraajojen ojentajien maksimivoiman heikkenemistä. Voimaharjoittelu oli muodostunut jakson lopussa liian kovaksi ja miehet ajautuivat ylipainotilaan. Miesten testosteronin määrä oli saattanut laskea liian alhaiseksi käynnistääkseen lihasten proteiiniaineenvaihdunnan anabolisen vaiheen ja kumotakseen kohonneen kortisolin tähän aiheuttaman katabolisen vaikutuksen. Ne miehet, joiden testosteroni/kortisoli -suhde säilyi ennallaan tai nousi, sietivät vielä hyvin intensiivistä voimaharjoittelua ja pysyivät kehittämään hieman maksimivoimaansa harjoitusjakson tässä vaiheessa. (kuva 4) (Häkkinen ym. 1985c.)



KUVA 4. Nuorten miesten alaraajojen ojentajien isometrisen maksimivoiman ja seerumin testosteroni/kortisoli -suhteen muutoksen yhteys 24 viikon voimaharjoittelujakson neljän viimeisen harjoitusviikon aikana (Häkkinen ym. 1985c).

## **5 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMAHARJOITTELUN HORMONAALISIIN VASTEISIIN**

Ikääntyessä anabolisten hormonien ja kasvutekijöiden, kuten kasvuhormonin ja testosteronin, pitoisuudet plasmassa pienenevät vähentyneen tuotannon ja erityksen takia (Rudman ym. 1981; Mooradian ym. 1987). Naisten vaihdevuodet merkitsevät munasarjojen hormonierityksen jyrkän vähenemisen myötä siirtymistä kataboliseen tilaan, koska mm. kortisolin erityks jatkua ennallaan (Nienstedt ym. 1991, 413). Homeostaasin ylläpito vaikeutuu endokriinitoiminnan heikkenemisen vuoksi (Weg 1975).

Pitkäaikaisen voimaharjoittelun aikana anabolisten hormonien pitoisuus on tärkeä tekijä lihasvoiman kehittymisen kannalta varsinkin ikääntyneille ihmisille (Häkkinen & Pakarinen 1994). Voimaharjoittelun aiheuttamat hormonimuutokset ovat myös tärkeitä, koska ne ehkäisevät lihasmassan, voiman ja toimintakyvyn vähenemistä. Elimistön endokriinijärjestelmä säätelee proteiiniaineenvaihduntaa ja sitä kautta lihaskudoksen kasvua. Kasvuhormoni ja testosteroni lisäävät kehon rasvatonta painoa ja lihasmassaa. (Craig ym. 1989; Griggs ym. 1989; Kraemer ym. 1999.)

### **5.1 Ikääntymisen vaikutus voimaharjoittelun pitkäaikaisiin hormonaalisiin vasteisiin**

Voimaharjoittelu ei johda keski-ikäisillä ja ikääntyneillä ihmisillä anabolisten ja katabolisten hormonipitoisuuksien merkittäviin muutoksiin, kun harjoitusohjelman kokonaiskuormitus ei ylitä normaalia fysiologista suorituskykyä (Häkkinen & Pakarinen 1994). Kolmesti viikossa 10 - 16 viikon ajan suoritettua intensiivisen voimaharjoittelun ei ole todettu aiheuttavan muutoksia plasman kasvuhormonipitoisuuksissa 55 - 70 -vuotiailla miehillä (Craig ym. 1989; Nicklas ym. 1995; Kraemer ym. 1999). Myöskään kuuden kuukauden (Häkkinen ym. 2000) ja kolmesti viikossa vuoden ajan (Pyka ym. 1994) toteutettua voimaharjoittelun ei ole havaittu aiheuttavan muutoksia elimistön kasvuhormonin perustasoissa 40- ja 70-vuotiailla naisilla eikä miehillä.



Vanhojen miesten seerumin testosteronipitoisuuksissa ei ole havaittu muutoksia 3 - 4 kuukauden intensiivisen voimaharjoittelujakson seurauksena (Craig ym. 1989; Nicklas ym. 1995). Kraemer ym. (1999) eivät myöskään havainneet muutoksia testosteronin ja vapaan testosteronin perustasoissa fyysisesti aktiivisilla vanhoilla miehillä kymmenen viikon voimaharjoittelujakson aikana.

Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa kuuden kuukauden voimaharjoittelujakso ei aiheuttanut muutoksia 40- ja 70-vuotiaiden naisten ja miesten seerumin testosteronin, vapaan testosteronin tai kortisolin pitoisuuksissa. Myöskään Häkkisen ja Pakarisen (1994) tutkimuksessa 12 viikon voimaharjoittelu ei aiheuttanut muutoksia 50- ja 70-vuotiaiden naisten ja miesten testosteronipitoisuuksissa. Vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuudetkin pysyivät muuttumattomina muilla paitsi 70-vuotiailla naisilla, joilla ne hieman laskivat jakson loppua kohti. Myös Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa vanhojen miesten elimistön kortisolipitoisuus laski kymmenen viikon harjoitusjakson aikana siten, että se oli kolmen ja kymmenen viikon harjoittelun jälkeen alhaisempi kuin ennen harjoittelua.

## **5.2 Ikääntymisen vaikutus voimaharjoittelun akuutteihin hormonaalisiin vasteisiin**

Ikääntyneillä ihmisillä yksittäisen voimaharjoituksen aiheuttama seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousu on pienempi kuin nuorilla. Craigin ym. (1989) tutkimuksessa voimaharjoitus aiheutti 63-vuotiailla miehillä akuutin seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun ennen 12 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen, mutta nousu oli huomattavasti pienempi kuin nuorilla miehillä. Harjoitusvuosillakaan ei liene vaikutusta voimaharjoituksen hormonivasteeseen, sillä senioripainonnostajilla 90 minuutin harjoitus aiheutti pienemmän kasvuhormonin nousun kuin junioripainonnostajilla (Wisniewska ym. 1984).

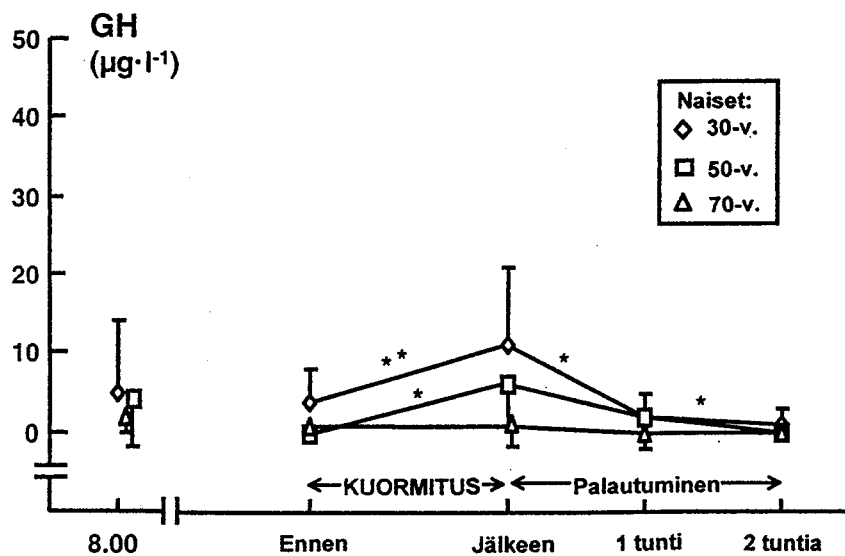
Nicklasin ym. (1995) tutkimuksessa ennen 16 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty intensiivinen voimaharjoitus aiheutti perustasoon verrattuna noin 18-kertaisen kasvuhormonipitoisuuden nousun 60-vuotiailla miehillä. Syinä havaittuun hormonivasteeseen lienevät koehenkilöiden alhainen kasvuhormonin perustaso, korkea harjoitusintensiivisyys ja lihasvoiman kasvu. Toistuva voimaharjoituksen aiheuttama kasvuhormonin erittyminen saattaa olla parempi voiman kasvun kannalta kuin nousu kasvuhormonin perustasossa. (Nicklas ym 1995.)

Pykan ym. (1994) tutkimuksessa neljästi vuoden voimaharjoittelujakson lomassa 85 %:n kuormilla tehty voimaharjoitus ei aiheuttanut akuutteja muutoksia elimistön kasvuhormonipitoisuuksissa 70-vuotiailla naisilla ja miehillä, joilla ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa. Voimaharjoituksen akuutti vaikutus elimistön kasvuhormonipitoisuuteen ei ole välttämättä aina samanlainen. Sekä koehenkilöillä että kontrollihenkilöillä havaittiin huomattavaa vaihtelua kasvuhormonipitoisuudessa testistä toiseen. (Pyka ym. 1994.)

Myöskään Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa fyysisesti aktiivisten 62-vuotiaiden miesten seerumin kasvuhormonipitoisuus ei noussut voimaharjoituksen seurauksena ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa eikä sen jälkeen. Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksessa intensiivinen voimaharjoitus aiheutti seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun 30- ja 50-vuotiailla, mutta ei 70-vuotiailla naisilla ja miehillä (kuva 5). Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa voimaharjoitus ei aiheuttanut kasvuhormonimuutoksia 70-vuotiailla naisilla, mutta samanikäisillä miehillä seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi ennen kuuden kuukauden voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen.

Yhtenä syynä voimaharjoituksen aiheuttamaan alhaiseen kasvuhormonivasteeseen vanhoilla ihmisillä on pidetty sitä, että lihasheikkoudesta tai motivaation puutteesta johtuen he eivät kykene maksimaaliseen yritykseen voimatestissä (Pyka ym. 1992; Craig ym. 1989). Kuitenkin Pykan ym. (1994) tutkimuksessa huomattavaan voimanlisäykseen johtanut vuoden voimaharjoittelujaksokaan ei johtanut muutoksiin elimistön kasvuhormonipitoisuudessa voimatestin jälkeen. Todennäköisempi syy lienee hypotalamuksen somatostatiinipitoisuuden nousu, joka vähentää kasvuhormonin erittymistä ikääntyneillä (Borer ym. 1986).

Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoitus aiheutti akuutin seerumin testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin nousun vanhoilla miehillä ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Vapaan testosteronin pitoisuus kasvoi vähemmän kuin nuorilla miehillä. Ennen harjoitusjaksoa testosteronipitoisuus pysyi kohonneena 15 minuuttia ja jakson jälkeen viisi minuuttia harjoituksen loppumisen jälkeen. Vapaa testosteroni oli kohonneena 15 minuuttia työn loppumisen jälkeen ennen harjoitusjaksoa ja viisi minuuttia jakson jälkeen. Kortisolipitoisuus pysyi kohonneena 30 minuuttia harjoitusten loppumisesta. Jakson jälkeen vanhojen miesten arvot olivat nuorten arvoja korkeammat heti harjoituksen loputtua ja viiden minuutin palautumisen jälkeen. (Kraemer ym. 1999.)



KUVA 5. Eri ikäisten naisten seerumin kasvuhormonipitoisuus aamulla, ennen voimaharjoitusta ja sen jälkeen sekä palautumisen aikana (\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ ) (Häkkinen & Pakarinen 1995).

Myös Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa ennen kuuden kuukauden harjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty voimaharjoitus aiheutti 70-vuotiaiden miesten seerumin testosteronin ja vapaan testosteronin nousun, mutta samanikäisillä naisilla ei tapahtunut testosteronimuutoksia. Vanhojen miesten voimaharjoituksen aiheuttamaan kohonneeseen testosteronipitoisuuteen saattavat olla syinä luteinisoivan hormonin (Mooradian ym. 1987) tai laktaatin aiheuttaman kivesten cAMP:n tuotannon lisääntyminen (Lu ym. 1997).

Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksessa voimaharjoitus ei aiheuttanut seerumin testosteroni- tai kortisolimuutoksia 70-vuotiailla naisilla eikä miehillä. Myöskään Craigin ym. (1989) ja Nicklasin ym. (1995) tutkimuksessa ennen 12 ja 16 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty voimaharjoitus ei aiheuttanut akuutteja testosteronimuutoksia vanhoilla miehillä. Syynä voi olla ajoitus, sillä testosteronin on havaittu nousevan huippuaroonsa harjoituksen alussa ja laskevan sitten nopeasti (Weiss ym. 1983). Nyt hormoninäytteet otettiin harjoituksen tai vasta jäähdyttelyn jälkeen ja suorituksen aikainen testosteronin nousu on voinut jäädä huomaamatta (Craig ym. 1989; Nicklas ym. 1995). Toisaalta Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa testosteronipitoisuus pysyi kohonneena 15 minuuttia harjoituksen päättymisestä. Nicklasin ym. (1995) tutkimuksessa voimaharjoitus vaati lähes maksimaalista yritystä joka toistossa, mutta harjoituksen absoluuttinen kokonaiskuorma on saattanut olla liian alhainen aiheuttaakseen testosteronimuutoksia.

## 6 VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTIT NEUROMUSKULAARISET VASTEET

Kun fyysisellä harjoittelulla, kuten voimaharjoituksella, järkytetään hetkellisesti ja riittävästi elimistön tasapainotilaa, seurauksena on akuutti väsymystila ja suorituskyvyn tilapäinen heikkeneminen (Häkkinen 1990, 54). Voimaharjoituksen aiheuttama lihasvoiman heikkeneminen riippuu kuormitustyyppistä (Komi & Viitasalo 1977), palautusten kestosta (Viitasalo & Komi 1981), koehenkilön suoritusasosta (Kroll ym. 1980) sekä lihassoluja-kaumasta (Thorstensson & Karlsson 1976). Myös hermostollinen väsymys ja seerumin laktaattipitoisuuden nousu ovat yhteydessä käytettyihin kuormiin ja henkilön suoritusastoon (Van Helder 1984; Häkkinen ym. 1988b). Neuromuskulaarisen suorituskyvyn akuutti heikkeneminen kuvastaa harjoituksen aiheuttamaa kokonaisrasitusta (Häkkinen ym. 1988).

### 6.1 Voiman lasku akuutissa voimaharjoituksessa

Voimaharjoituksen välittömän väsymisvaikutuksen aiheuttama maksimivoiman lasku havaitaan sekä naisilla että miehillä. Voiman lasku saattaa kuitenkin olla miehillä suhteellisesti suurempaa kuin naisilla (Häkkinen 1994). Häkkisen (1990b) tutkimuksessa miesvoimaurheilijoiden alaraajojen ojentajalihasten isometrinen maksimivoima heikkeni maksimivoimaharjoituksen aikana noin 10 %. Naisilla vastaavalla suhteellisella harjoitusintensiteetillä ja -määrällä toteutettu harjoitus aiheutti vain 5 % laskun maksimivoimassa. Miesten ja naisten ero voiman laskussa selittyy osittain sillä, että naiset eivät pysty hormonaalisista eroista johtuen yhtä aggressiiviseen kuormittamiseen kuin miehet (Ryushi ym. 1988). Naisten väsymyksen sietokyky voi puolestaan olla parempi kuin miehillä, mitä naisten lihaksiston hitaampi solukko saattaa osaltaan selittää (Häkkinen 1990, 47).

Myös Häkkisen (1994) tutkimuksessa miesvoimaurheilijoiden alaraajojen ojentajien maksimivoima heikkeni pitkäkestoisen kyykkyharjoituksen aikana 47 %, kun naisvoimaurheilijoilla voiman lasku oli vain 29 %. Häkkisen ja Pakarisen (1995) tutkimuksessa intensiivinen voimaharjoitus aiheutti 30-vuotiailla naisilla ja miehillä 19 - 24 %, 50-vuotiailla 31 - 34 % ja 70-vuotiailla 14 - 20 % alaraajojen ojentajalihasten maksimivoiman heikkenemisen.

Jos voimaharjoitus sisältää paljon pitkäkestoisia, suurella jännitystasolla tapahtuvia isometrisiä lihasjännityksiä, lihaksiston vähentynyt tai estynyt verenkierto vaikeuttaa maitohapon poistumista lihaksesta. Tällöin väsyminen ja lihasten voiman lasku ilmenevät nopeasti. Minuutin yhtäjaksoisessa isometrisessä työssä käsivoiman on todettu vähenevän enemmän ja palautuvan hitaammin kuin kolme minuuttia kestäneessä rytmisessä isotoniisessa työssä. (Stull & Clarke 1971.) Voiman palautuminen saattaa olla miehillä hitaampaa kuin naisilla (Häkkinen 1993 & 1994). Häkkisen (1993) tutkimuksessa samalla suhteellisella intensiteetillä tehty voimaharjoitus aiheutti miesvoimaurheilijoilla 24 % ja naisilla 21% maksimivoiman laskun, mutta naisten voima palautui nopeammin kuin miehillä.

Lihaväsymyksen välittömät vaikutukset näkyvät systemaattisesti myös koko voima-aika -käyrän alueella niin absoluuttisen maksimivoiman pienenemisenä kuin koko käyrän loivenemisenä, jolloin voimantuottoajat tietyn submaksimaalisen voimataso tuottamiseen pitenevät (Viitasalo & Komi 1981; Häkkinen & Komi 1986; Häkkinen ym. 1988b). Voima-aika -käyrän loiveneminen saattaa johtua osaltaan nopeiden lihassolujen väsymisestä tai hermostollisista tekijöistä, jolloin motoristen yksiköiden aktivointi vähenee väsymisen takia (Häkkinen 1990, 48). Suhteellisessa voima-aika -käyrässä ei välttämättä tapahdu muutoksia voimaharjoituksen seurauksena (Häkkinen ym. 1988b).

Viitasalon ja Komin (1981) tutkimuksessa vajaat kymmenen minuuttia kestänyt oikean jalan ojentajalihasten väsytyksestä aiheutti 24 % heikkenemisen nuorten miesten maksimivoimassa ja 36 % heikkenemisen voimantuottonopeudessa. Voimantuoton heikkeneminen oli suurinta korkeammilla (45 - 65 %) voimatasoilla. Voiman ja voimantuottonopeuden heikkeneminen oli suurempaa henkilöillä, joilla oli enemmän nopeita lihassoluja vastus lateraliksessa.

Häkkisen ym. (1988b) tutkimuksessa huippupainonnostajat suorittivat yhden päivän aikana kaksi intensiivistä voimaharjoitusta. Aamupäivän harjoitus johti alaraajojen ojentajien isometrisen maksimivoiman 7,5 % heikkenemiseen ja iltapäiväharjoitus 8,5 % voiman laskuun. Absoluuttinen voima-aika -käyrä muuttui siten, että aika tiettyjen voimatasojen saavuttamiseen piteni ensimmäisessä harjoituksessa, mutta ei toisessa. Suhteellisessa voima-aika -käyrässä ei tapahtunut muutosta kummassakaan harjoituksessa.

## 6.2 Hermostollinen väsyminen kuormitustilanteessa

Lihaskäyttöä mitataan EMG:n (elektromyografia) avulla. EMG-signaali on hermoston lihaskäytön aktivoitumisesta aiheutuva sähköinen signaali. Lihaskäytössä lihaskäytön solukalvolla leviävä aktiopotentiaali aiheuttaa lihaksen sähköisen varauksen muuttumisen, joka voidaan mitata ihon pinnalla olevilla pintaelektrodeilla tai lihakseen asetettavilla neula- ja lankaelektrodeilla. (Basmajian & De Luca 1985, 1, 22 - 34, 65.) Rekisteröity EMG-signaali edustaa ko. lihaksen toimivien motoristen yksiköiden yhteiskäyttöä, jolloin EMG-signaalia voidaan käyttää kuvaamaan mitattavan lihaksen käyttöasteen tai määrää (integroitu EMG) (Häkkinen & Komi 1985; Häkkinen 1989).

Keskushermoston rooli on tahdonalaisessa voimantuotossa keskeinen. Lihaksen käyttöaste on lähes suorassa yhteydessä tuotettuun isometriseen voimaan (Moritani & DeVries 1979). Mitä enemmän keskushermosto pystyy käyttämään lihasten motorisia yksiköitä, sitä suurempi on lihaksen tuottama voima. (Häkkinen 1990, 27.) Lihaksen tuottama tahdonalainen absoluuttinen maksimivoima on melko suorassa yhteydessä lihaksen poikkipinta-alaan (Ryushi ym. 1988).

Suurella intensiteetillä tapahtuvan maksimivoimaharjoituksen vaikutuksesta harjoittelijan hermostollinen kapasiteetti kuormitettujen lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen käyttöasteeseen laskee väsymysvaikutuksen takia. Tämä voidaan havaita kuormitettujen lihasten maksimaalisen EMG:n vähenemisenä harjoituksen jälkeen. Koska lihasten tahdonalainen maksimaalinen käyttöaste on lähes suorassa yhteydessä lihasten maksimivoimaan, myös maksimivoimataso laskee huomattavasti akuutin väsymyksen takia. (Häkkinen ym. 1988, 1988b.) Todennäköisesti väsyminen tapahtuu pääasiassa keskushermostossa - lihaskäytössä tapahtuva väsymys kohdistuu energiavarastoihin ja palamistuotteiden kasaantumisen ja johtuviin muutoksiin yksittäisen lihassolun kemiallisessa tilassa (Häkkinen 1990, 45).

Saman lihaskäytön eri lihaksissa saattaa olla eroja hermostollisessa käyttöasteessa. Häkkinen ym. (1988b) tutkimuksessa huippupainonnostajien vastus medialiksen hermostollinen käyttöaste laski huomattavasti voimaharjoituksen aikana. Vastus lateraaliksen iEMG:ssä ei tapahtunut kuitenkaan muutoksia.

Häkkisen ja Komin (1986) tutkimuksessa vastus lateraliksena ja medialiksena keskiarvoistettuna maksimaalisessa iEMG:ssä ei tapahtunut muutoksia alaraajojen ojentajien 60 % teholla väsymykseen asti tehdyn supistuksen aikana, mutta vastaava keskimääräinen maksimivoima laski huomattavasti.

Häkkisen (1994) tutkimuksessa vastus lateraliksena ja medialiksena keskiarvoistettu maksimaalinen iEMG heikkeni naisvoimailijoilla 32 % ja miesvoimailijoilla 44 % kyykkyharjoituksen (10 x 10 x 70 % 1RM) seurauksena. Myös Häkkisen (1993) tutkimuksessa samalla maksimaalisella suhteellisella intensiteetillä tehty kyykkyharjoitus (20 x 1 x 100 % 1RM) johti miesvoimailijoiden vastus medialiksena ja lateraliksena maksimaalisen iEMG:n heikkenemiseen - naisvoimailijoilla heikkenemistä tapahtui vain vastus medialiksena.

### **6.3 Veren laktaattipitoisuuden muuttuminen akuutissa voimaharjoituksessa**

Intensiivinen voimaharjoitus kuluttaa paljon energiaa. Maksimityössä lihakset käyttävät ATP-varantojensa uudistamiseen runsasenergistä kreatiinifosfaattia ja anaerobista glykolyysiä. Anaerobisessa glykolyysissä glukoosi pilkkoutuu ilman happea ja aineenvaihdunnan välituotteena syntyy maitohappoa. Maksa pystyy muodostamaan lihaksesta verenkiertoon siirtyneestä maitohaposta uudestaan glukoosia. (Nienstedt ym. 1991, 86 - 87, 394.)

Lihaksiston maitohapon pitoisuus kohoaa vain vähän hermostollisyyppisessä maksimivoimaharjoituksessa, koska palautumisajat ovat riittävän pitkiä (Häkkinen 1990, 45; Häkkinen ym. 1988b). Hypertrofistyyppisessä voimaharjoituksessa, jossa toistojen määrä on suuri ja palautukset lyhyitä, väsyminen tapahtuu lähinnä lihastasolla. Tätä heijastavat lihaksen välittömien energiavarastojen (ATP ja KP) väheneminen sekä harjoituksen jälkeinen korkea veren maitohappopitoisuus. Lihaksen välittömien energiavarastojen palautuminen on kuitenkin nopeaa. (Tesch ym. 1986.) Voimaharjoittelun ei ole todettu vaikuttavan veren maitohappopitoisuuden nousuun akuutissa kuormituksessa (Kraemer ym. 1998).

Plasman laktaattipitoisuuden nousu on riippuvainen voimaharjoituksen kokonaistyömäärästä (Gotshalk ym. 1997), käytettävistä kuormista (Van Helder ym. 1984), kuormitustyyppistä (Häkkinen & Pakarinen 1993b), intensiteetistä, kestosta, työn ja levon suhteesta, lihasverenkierrasta ja lihasjännityksestä (Tesch ym. 1986).

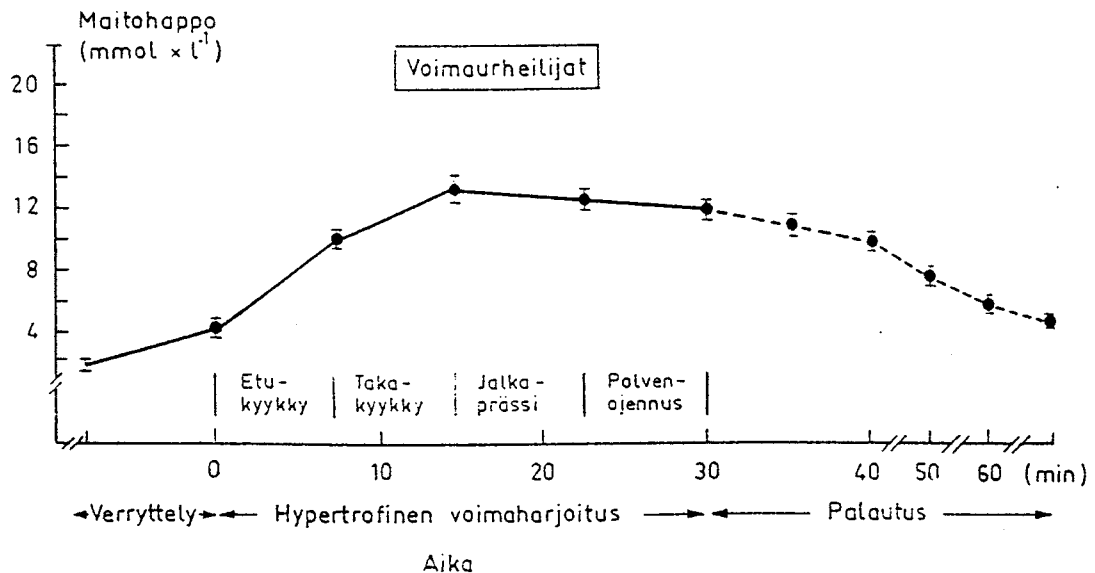
Van Helderin ym. (1984) tutkimuksessa suurilla kuormilla ja pienellä toistomäärällä tehty alaraajojen voimaharjoitus aiheutti miehillä suuremman laktaattipitoisuuden nousun kuin samanpituinen, kevyillä kuormilla ja suurella toistomäärällä tehty harjoitus. Laktaattipitoisuus pysyi kohonneena 15 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen ja palautui lepota-  
solle 40 minuutissa. Kraemerin ym. (1993) tutkimuksessa kokonaistyömäärältään kovempi voimaharjoitus aiheutti naisilla suuremman laktaattipitoisuuden nousun kuin raskaammilla kuormilla ja pidemmällä palautuksilla tehty voimaharjoitus. Cummingin ym. (1987) tutkimuksessa naisten seerumin laktaattipitoisuus nousi huomattavasti voimaharjoituksen aikana. Laktaattipitoisuus kohosi enemmän alaraajojen kuin ylävartalon työskentelyn aikana.

Häkkisen (1993) tutkimuksessa maksimivoimaharjoitus (20 x 1 x 100 % 1RM kyykky) aiheutti miesvoimaurheilijoiden veren laktaattipitoisuuden kohoamisen 1,9 mmol/l:sta 3,5 mmol/l:aan ja naisvoimailijoiden laktaattipitoisuus nousi 1,5 mmol/l:sta 2,5 mmol/l:aan. Häkkisen (1994) tutkimuksessa hypertrofistyyppinen voimaharjoitus (10 x 10 x 70 % 1RM kyykky) aiheutti miesvoimailijoiden veren laktaattipitoisuuden nousun 1,4 mmol/l:sta 15,0 mmol/l:aan. Naisilla laktaattipitoisuus nousi 1,4 mmol/l:sta 6,0 mmol/l:aan. Yksilölliset laktaattiarvot korreloivat harjoituksen aiheuttaman yksilöllisen maksimivoiman laskun kanssa.

Teschin ym. (1986) tutkimuksessa 30 minuutin alaraajojen hypertrofistyyppisessä voimaharjoituksessa mieskehonrakentajien lihaksen laktaattipitoisuus nousi huippuunsa (13,3 mmol/l) harjoituksen puolivälissä ja pysyi kohonneena 40 minuuttia harjoituksen jälkeen (kuva 6). Substraattien loppuminen ja suuremman lihasmassan työskenteleminen harjoituksen alussa lienevät syynä laktaatin tuotannon heikkenemiseen harjoituksen lopussa.

Motivoituneiden 65-vuotiaiden henkilöiden laktaatin huippuarvot ovat 10 - 12 mmol/l eli saman verran kuin nuoremmilla henkilöillä (Sidney & Shephard 1977). Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa voimaharjoitus (4 x 10 RM kyykky) aiheutti seerumin laktaatin huomattavan nousun nuorilla ja vanhoilla miehillä ennen kymmenen viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Laktaattipitoisuus pysyi kohonneena 30 minuuttia harjoituksen jälkeen. Nuorilla miehillä laktaatin nousu oli suurempi kuin vanhoilla miehillä, vaikka suhteellinen harjoitusintensiteetti oli sama molemmilla ryhmillä. Nuorten laktaattiarvot olivat alhaisemmat harjoitusjakson jälkeen kuin ennen sitä. (Kraemer ym. 1999.)





KUVA 6. Veren maitohappopitoisuus voimaurheilijoilla intensiivisen hypertrofistyyppisen voimaharjoituksen kuluessa ja palautumisen aikana (Tesch ym. 1986).

Häkkinen ym. (2000) tutkimuksessa noin 30 minuutin alaraajojen ojentajia kuormittava voimaharjoitus (5 x 10 RM) aiheutti veren laktaattipitoisuuden huomattavan nousun ennen kuuden kuukauden voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen 40- ja 70-vuotiailla naisilla ja miehillä. Ennen harjoitusjaksoa laktaattipitoisuuden nousu oli 40-vuotiailla miehillä suurempi kuin samanikäisillä naisilla (nousu 5,5 vs. 4,2 mmol/l:aan) ja 40-vuotiailla naisilla suurempi kuin 70-vuotiailla naisilla (4,2 vs. 3,4 mmol/l). Jakson jälkeen keski-ikäisten miesten ja naisten laktaattipitoisuus oli harjoituksen lopussa korkeampi kuin ikääntyneiden miesten ja naisten (6,3 vs. 3,8 mmol/l ja 5,2 vs. 2,5 mmol/l). (Häkkinen ym. 2000.)

#### 6.4 Akuutin voimaharjoituksen aiheuttama lihaskipu

Fyysisen harjoituksen aiheuttama lihaskipu jaetaan kolmeen ryhmään: suorituksen aikainen tai heti sen jälkeen ilmenevä lihaskipu, viivästynyt lihaskipu ja lihaskrampit. Suorituksen aikainen kipu aiheutuu mm. hapoista, ioneista, proteiineista ja hormoneista. Viivästynyt lihaskipu ilmenee 24 - 48 tuntia harjoituksen jälkeen ja voi kestää useita vuorokausia (Vecchiet ym. 1999). Se on yhteydessä voiman laskuun, vähentyneeseen liikelaajuuteen ja veren kohonneeseen kreatiinikinaasipitoisuuteen, jotka kaikki ilmentävät lihassoluvauriota ja tulehdusreaktiota. Lihaskrampit johtunevat hikoilun aiheuttamasta neste-elektrolyytti-epätasapainosta. Lihaskipujen tarkka mekanismi on epäselvä. (Miles & Clarkson 1994.)

Viivästynyt lihaskipu on seurausta etenkin epätavallisista ja voimakkaista eksentrisistä lihassupistuksista (Newham 1988; Vecchiet ym. 1999). Eksentrisen lihastyö aiheuttaa lihassyiden mekaanista rasitusta ja lihasproteiinien vaurioita ja täten lihastoiminnan heikkenemistä (Appell ym. 1992). Lihaskivun voimakkuus on kuitenkin riippuvainen enemmän harjoituksen intensiteetistä kuin lihastyötavasta (Fitzgerald ym. 1991). Hyvin intensiivisen ja lyhytkestoisen voimaharjoituksen on todettu aiheuttavan enemmän lihaskipua ja seerumin entsyymiaktiivisuuksien nousua kuin alhaisella intensiteetillä tehty, työmäärältään samansuuruinen pitkäkestoinen harjoitus (Tiidus & Ianuzzo 1983).

Geislerin ym. (1996) tutkimuksessa eksentrisiä lihassupistuksia sisältävä voimaharjoitus aiheutti nuorten voimaharjoitteluun tottumattomien miesten seerumin kreatiinikinaasiaktiivisuuden lisääntymisen 48 ja 72 tuntia harjoituksen päättymisen jälkeen. Byrnesin ym. (1985) tutkimuksessa naisten seerumin kreatiinikinaasiarvot olivat kohonneena 5 - 25 tuntia eksentrisiä supistuksia sisältävän voimaharjoituksen jälkeen.

Tiiduksen ja Ianuzzon (1983) tutkimuksessa lihaskivun voimakkuus ja seerumin entsyymiaktiivisuudet olivat suurimmillaan 8 - 24 ja 48 tuntia alaraajojen lihasten konsentrisia ja eksentrisiä supistuksia sisältävän harjoituksen jälkeen. Gleesonin ym. (1995) tutkimuksessa harjoittelemattomien koehenkilöiden alaraajojen lihaskipu oli suurimmillaan kaksi vuorokautta 40 minuutin penkillenousuharjoituksen jälkeen. Seerumin kreatiinikinaasiarvot olivat korkeimmillaan 1 - 7 vuorokautta rasituksen jälkeen.

Harjoittelu vähentää lihasvaurioiden ja -kivun määrää ja kestoja (Byrnes & Clarkson 1986; Appell ym. 1992; Vecchiet ym. 1999). Hurleyn ym. (1995) tutkimuksessa samalla absoluuttisella ja suhteellisella kuormituksella tehty voimaharjoitus aiheutti 16 viikon harjoitusjakson jälkeen huomattavasti pienemmän seerumin kreatiinikinaasipitoisuuden nousun ikääntyneillä miehillä kuin ennen harjoitusjaksoa. Lihaskivun kokeminen on myös yksilöllistä (Byrnes ym. 1985).

## 7 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMAN- TUOTTOON

Lihaskeho heikkenee noin 1 % vuodessa 30. ikävuoden jälkeen (Nienstedt ym. 1991, 597). Ikääntyessä kehon rasvamäärä lisääntyy ja rasvaton paino vähenee (Novak 1972; Shephard 1986). Ikääntyminen aiheuttaa sekä rakenteellisia että toiminnallisia muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä. Nämä muutokset liittyvät elimistön hormonaalisiin muutoksiin ja jokapäiväisten toimintojen vähentyneeseen harjoitusvaikutukseen. (Shephard 1989; Häkkinen & Häkkinen 1991.)

Veressä kiertävien anabolisten hormonien alhaisen määrän katsotaan olevan yhteydessä ikääntyneiden vähentyneeseen lihasmassaan ja voimaan (Rudman ym. 1981; Griggs ym. 1989). Etenkin naisilla veren testosteronipitoisuuden väheneminen ikääntyessä vaikuttaa maksimaalisen tahdonalaisen neuromuskulaarisen suorituskyvyn heikkenemiseen (Häkkinen & Pakarinen 1993). Ikääntyminen vaikuttaa aerobiseen suorituskykyyn enemmän kuin anaerobiseen ja naisten toimintakyky heikkenee nopeammin kuin miesten (Stones & Kozma 1982). Ikääntymisen aiheuttamat fysiologiset muutokset ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä (Heikkinen 1989).

Lihastrofia eli lihasmassan pieneneminen ilmenee selvästi 60 ikävuoden jälkeen sekä naisilla että miehillä. Ikääntymisen aiheuttama yksittäisten lihassolujen koon pieneneminen johtaa myös koko lihaksiston poikkipinta-alan pienenemiseen (Häkkinen & Häkkinen 1991). Essen-Gustavssonin ja Borgesin (1986) tutkimuksessa 70-vuotiailla alaraajojen ojentajalihaksiston lihassolujen pinta-alat olivat selvästi pienemmät kuin 30- ja 50-vuotiailla naisilla ja miehillä. Lihastrofia ilmeni enemmän nopeiden kuin hitaiden lihassolujen pinta-alan pienentyneenä suhteena (Larsson 1978; Aniansson ym. 1981; Essen-Gustavsson & Borges 1986). Naisilla hitaiden lihassolujen pinta-ala oli kaikissa ikäryhmissä suurempi kuin nopeiden lihassolujen pinta-ala. (Essen-Gustavsson & Borges 1986.) Ikääntyneiden lihasmassan vähenemisen on todettu aiheutuvan lihassolujen koon pienenemisen lisäksi myös lihassolujen lukumäärän vähenemisestä (Lexell ym. 1983).

Ikääntymisen tuoma lihasatrofia johtaa myös maksimivoiman huomattavaan heikkenemiseen. Maksimivoiman heikkenemisen on osoitettu olevan 30 ja 70 ikävuoden välillä noin 30 - 40 %. (Viitasalo ym. 1985; Häkkinen & Häkkinen 1991.) Voiman väheneminen saattaa nopeutua 60 ikävuoden vaiheilla, jolloin lihasatrofiakin ilmenee selvästi. Se saattaa myös olla nopeampaa alaraajojen kuin vartalon ja yläraajojen lihaksistossa (Viitasalo ym. 1985). Isometrinen lihasvoima säilyy melko hyvin 45 ikävuoteen saakka, mutta 65-vuotiaana se on heikentynyt noin 20 % miehillä ja 10 % naisilla (Shephard 1978, 114).

Häkkinen ja Häkkinen (1991) tutkimuksessa alaraajojen ojentajalihasten voima poikkipinta-alayksikköä kohden oli keskimäärin sama 30-, 50- ja 70-vuotiailla naisilla. Vanhimmasa ikäryhmässä yksilölliset erot olivat suurimpia. Maksimivoiman heikkeneminen oli läheisessä yhteydessä lihasmassan vähenemiseen, mutta ikääntymisen tuomat hermolihaskäytännön voimantuottoon vaikuttavat muut muutokset lienevät tapahtuneet yksilöllisimmin vanhimmassa ikäryhmässä. Lihaksen poikkipinta-alan ja maksimivoiman välinen korrelaatio oli niin ikään vanhimmassa ikäryhmässä pienempi kuin keski-ikäisten ja nuorten ryhmässä. (Häkkinen & Häkkinen 1991.)

Maksimivoiman heikkeneminen ei ole siis välttämättä ihan suorassa yhteydessä lihasatrofian asteeseen, koska ikääntyessä ilmenee muitakin muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä. Esimerkiksi keskushermoston kyky lihasten motoristen yksiköiden nopeaan maksimaaliseen aktivointiin heikkenee iän myötä. Myös motoristen neuronien lukumäärän on todettu vähentyvän 70 ikävuoden jälkeen (Aniansson ym. 1981; Lexell ym. 1983). Hermolihaskäytännön voimantuotto-ominaisuuksissa tapahtuu ikääntymisen myötä heikkemistä maksimivoiman ohella myös nopeusvoimassa (Häkkinen 1990, 177, 181). Tähän viittaa lihaksiston isometrisen voima-aika -käyrän loiventuminen ikääntymisen myötä naisilla ja miehillä. Alaraajojen ojentajien voima-aika -käyrän loiventuminen ikääntymisen myötä on havaittu sekä absoluuttisissa että suhteellisissa voima-aika -käyrissä. Tietyn voimatason voimantuottoaika pitenee, kun ihminen vanhenee. (Häkkinen & Häkkinen 1991.)

Lihasmassan vähenemisen ja lihaksen neuropatisten muutosten lisäksi lihasvoiman vähenemisen syinä ikääntyneillä ihmisillä saattavat olla psyykkiset tekijät ja krooniset sairaudet. Psyykkisten tekijöiden vaikutusta voiman vähenemiseen on vaikea arvioida, mutta motivaation puute saattaa vaikuttaa voimantuottoon. (Frontera & Meredith 1989.)

## 8 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET VOIMAN KEHITTYMISEEN NUORILLA JA VANHOILLA NAISILLA

Hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto kasvaa voimaharjoitusta seuraavan levon aikana. Kun yksittäisiä voimaharjoituksia toistetaan sopivin väliajoin, seurauksena on hermo-lihasjärjestelmän rakenteellinen ja toiminnallinen adaptoituminen. Voimaharjoittelun vaikutukset kohdistuvat koko hermo-lihasjärjestelmään, jolloin sekä hermostollisissa ohjausmekanismeissa että lihaksen rakenteessa ja toiminnassa tapahtuu spesifistä adaptoitumista. Tämä johtaa voimantuotto-ominaisuuksien kehittymiseen. (Häkkinen 1990, 54.) Voimaurheilijoilla hormonitasapainolla on tärkeä rooli voiman kehittämisessä (Häkkinen 1989). Käytetty voimaharjoittelumenetelmä ja henkilön harjoitettavuustaso vaikuttavat hermostollisten ja hypertrofisten adaptaatioiden suuruuteen ja niiden keskinäiseen ajoittumiseen voimaharjoittelun kuluessa (Häkkinen 1989).

### 8.1 Hermostolliset muutokset ja voiman kasvu naisten voimaharjoittelussa

Voimaharjoittelun alkuvaiheen suhteellisen suuri voimanolisäys aloittelijoilla ja vain vähän voimaa harjoitelleilla urheilijoilla johtuu lähinnä hermoston parantuneesta toiminnasta. Lihavoima lisääntyy harjoitusmenetelmästä riippumatta. Käytettävien kuormien tulee kuitenkin olla riittävän suuria, jotta parannusta tapahtuisi. Hermostollinen muutos johtuu sekä motoristen yksiköiden synkronisaation lisääntymisestä että keskushermoston kyvystä aktivoida harjoitettuja lihaksia aikaisempaa enemmän (Häkkinen 1989; Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 1992). Aloittelijat eivät usein pysty aktivoimaan lihaksiaan täydellisesti ennen harjoittelua ja heidän toiminnallinen kapasiteettinsa ei ole vielä kokonaan käytössä (Sale 1986). Kuormituksen intensiteetti tulee voiman kehittymisen myötä tärkeäksi hermotuksen ja voiman lisääntymisen kannalta (Häkkinen ym. 1985).

Lihaksen saaman tahdonalaisen hermotuksen määrän kasvaessa lisääntyy samalla lihaksen maksimivoima ilman, että lihaksen hypertrofiset muutokset eli lihaskoon kasvu olisi kovin suurta (Häkkinen 1990, 56). Voimaharjoittelun myötä lihastyö myös taloudellistuu eli tietyn voimatason tuottamiseen tarvitaan vähemmän hermostollista aktiivisuutta kuin aikaisemmin (Komi ym. 1978).

Hermostolliset muutokset ovat naisilla lyhyen tähtäyksen voimaharjoittelussa samansuuruisia kuin miehillä (Roy ym. 1984). Pidemmällä tähtäyksellä muutosten suuruus ja ilmenemisajankohta sekä maksimivoiman kehittyminen saattavat kuitenkin naisilla poiketa miehillä havaituista muutoksista intensiivisessä voimaharjoittelussa (Häkkinen ym. 1989).

Häkkinen ym. (1989) tutkimuksessa intensiivinen, suurilla kuormilla toteutettu maksimivoimaharjoittelu johti naisilla harjoitusjakson ensimmäisten viikkojen aikana alaraajojen ojentajalihasten hermotuksen huomattavaan lisääntymiseen ja samalla huomattavaan kehitykseen maksimivoimassa. Muutokset olivat samansuuruisia kuin vastaavan tyyppisessä harjoittelussa miehillä, joilla oli vastaavanlainen harjoitustausta. Naisilla lihasten maksimaalisen hermotuksen määrä kehittyi yhtäjaksoisena vain noin 6 - 8 viikon ajan, jonka jälkeen ilmeni huomattava lasku lihasten maksimaalisen tahdonalaisen aktivoinnin määrässä harjoitusjakson lopulla. Miehillä lihasten hermotuksen lisääntyminen jatkui useita viikkoja pidempään. Naisilla harjoittelu muodostui kenties liian rasittavaksi 6 - 8 viikon jälkeen ja he ajautuivat hermostolliseen ylipärasitustilaan. (Häkkinen ym. 1989.) Myös naisten alhainen testosteronipitoisuus rajoittaa harjoitettavuutta (Häkkinen ym. 1990).

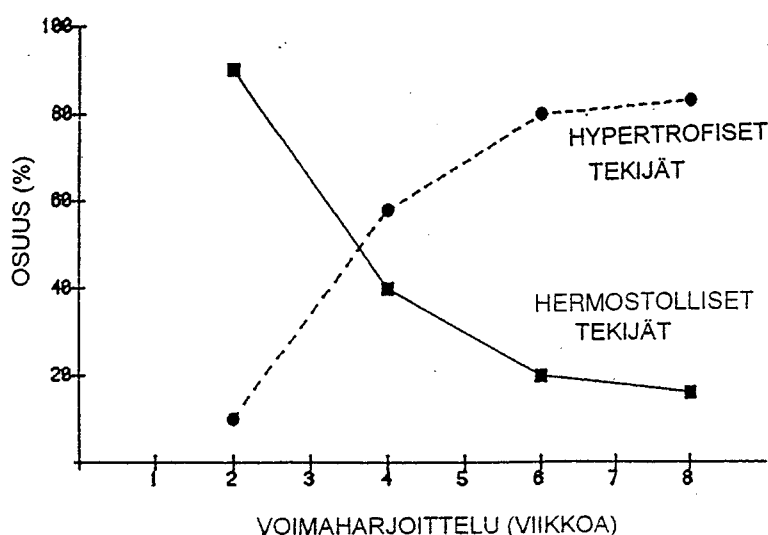
Häkkinen ym. (1992) tutkimuksessa kolmen viikon intensiivinen voimaharjoittelu johti naisten alaraajojen ojentajien maksimaalisen isometrisen voiman lähes 10 % kasvuun. Lihasvoiman kasvu johtui suurelta osin harjoitettujen lihasten tahdonalaisen aktivaation lisääntymisestä ja vain vähäisessä määrin lihashypertrofiasta. Tutkittujen lihasten maksimaalinen hermotus (iEMG) lisääntyi 15,8 %. Yksilölliset muutokset iEMG:ssä korreloivat merkittävästi maksimivoiman yksilöllisten muutosten kanssa. Voiman kasvun huippu saavutettiin hieman kevennetyn harjoittelun ja levon jälkeen, mikä puhuu harjoittelun jakson puolesta. (Häkkinen ym. 1992.)

Westerlindin ym. (1987) tutkimuksessa nuorten naisten yhden maksimin kyykkytulos parani kymmenen viikon voimaharjoittelun ansiosta 19,3 %. Rasvattomassa kehonpainossa ei tapahtunut muutoksia, joten voiman kasvu johtui luultavasti hermostollisista tekijöistä. Häkkinen ym. (2000) tutkimuksessa alaraajojen ojentajien yhden toiston maksimi parani keski-ikäisillä naisilla 28 % kuuden kuukauden maksimivoimaharjoittelun seurauksena. Samalla lisääntyi myös oikean ja vasemman jalan vastus lateraalisen ja vastus medialiksen maksimaalinen iEMG.

Bellin ym. (1997) tutkimuksessa nuorten voimaharjoittelua harrastaneiden naisten alaraajojen konsentrisen voima lisääntyi kolme kertaa viikossa 16 viikon ajan toteutetun voimaharjoittelun ansiosta 80,6 % ja yläraajojen voima 29,1 %. Samanpituinen harjoitusjakso johti Häkkisen ym. (1990) tutkimuksessa nuorten liikunnallisesti aktiivisten naisten alaraajojen isometrisen maksimivoiman 27,9 % kasvuun. Myös vastus medialiksen ja vastus lateraaliksen hermostollinen aktivaatio lisääntyi iEMG-aika -käyrän alkupäässä ja yksilölliset muutokset korreloivat voima-aika -käyrän muutosten kanssa. Neuromuskulaariset muutokset tapahtuivat pääasiassa jo ensimmäisten kahdeksan harjoitusviikon aikana.

## 8.2 Hypertrofiset muutokset ja voiman kasvu naisten voimaharjoittelussa

Voimaharjoittelu johtaa varsinkin aloittelijoilla jossakin määrin myös lihasmassan kasvuun eli lihassolujen myofibrillien koon ja lukumäärän lisääntymiseen (MacDougall 1976). Useiden viikkojen säännöllinen voimaharjoittelu aiheuttaa lihashypertrofisia muutoksia eli lihassolujen supistuvan valkuaisen määrän lisääntymistä. Samalla voiman kehittyminen jatkuu hermostollisten tekijöiden osuuden pienentyessä (Moritani & DeVries 1979) (kuva 7). Hypertrofia ilmenee sekä hitaissa että nopeissa lihassoluissa, vaikka nopeissa soluissa se saattaa olla suurempaa (Houston ym. 1983). Lishypertrofiset muutokset ovat riippuvaisia myös toteutettavasta harjoittelumenetelmästä. (Häkkinen 1990, 59 - 60, 56 - 57.)



KUVA 7. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden suhteellinen osuus maksimivoiman kehitymisessä aloittelijoilla (Moritani & DeVries 1979).

Nopeusvoimatyyppinen harjoittelu ei juuri johda lihashypertrofiaan, sillä lihasten aktivaatioaika on alhaisten kuormien takia lyhyt. Pientä hypertrofiaa saattaa esiintyä lähinnä nopeissa lihassoluissa. (Häkkinen ym. 1985b.) Vaikka hypertrofian aikaansaamiseksi suositellaankin yleensä suurta työmäärää kohtuullisella intensiteetillä, työmäärässä saattaa olla ainakin harjoitelleilla henkilöillä kynnyks, jonka ylittäminen ei johda suurempaan lihashypertrofiaan muutamien harjoitusviikkojen aikana (Ostrowski ym. 1997). Lihassoluilla saattaa olla yksilöllinen rajoitettu koko, jonka ne voivat saavuttaa (Tesch & Larsson 1982).

Maksimivoimaharjoittelu johtaa myös naisilla harjoitetun lihaksen poikkipinta-alan kasvuun, joskin kasvu on verraten pientä. Naisten ja miesten välillä ei ilmene lyhyellä tähtäyksellä välttämättä oleellista eroa lihasmassan kasvussa. (Cureton ym. 1988; Häkkinen ym. 1989; Staron ym. 1990.) Sen sijaan useiden kuukausien ja vuosien kuluessa voimaharjoittelun aiheuttama lihasmassan ja maksimivoiman kasvu jää naisilla hormonaalisista eroista johtuen selvästi pienemmäksi kuin miehillä (Häkkinen 1990, 63 - 64).

Häkkinen ym. (1992) tutkimuksessa kolmen viikon intensiivinen voimaharjoittelu johti naisten reisilihaksen poikkipinta-alan vajaan 5 % kasvuun, joka oli paljon pienempi kuin maksimivoiman ja iEMG:n lisääntyminen. Voima lihaksen poikkipinta-alaa kohden kasvoi huomattavasti, mikä korostaa hermoston roolia voiman lisääntymisessä. Reisilihaksen poikkipinta-alan yksilöllinen kasvu korreloi maksimivoiman lisääntymisen kanssa. Kolmen viikon jakso oli liian lyhyt johtaakseen suurempaan hypertrofiaan, mutta se osoitti hypertrofisten tekijöiden osuuden myös naisten voiman kehittämisessä. (Häkkinen ym. 1992.)

Wilmoren (1974) tutkimuksessa kymmenen viikon intensiivinen voimaharjoittelu johti miehillä ja naisilla merkittävään ja lähes yhtä suureen voiman kehittymiseen, mutta miesten lihashypertrofia oli huomattavasti suurempaa kuin naisten. Samoin kuuden kuukauden maksimivoimaharjoittelun ei ole todettu johtavan naisilla kuin 0,4 % kasvuun reiden ympärystimissä, vaikka lihasvoima kasvoi huomattavasti (Brown & Wilmore 1974). Curetonin ym. (1988) tutkimuksessa 16 viikon hypertrofistyyppinen voimaharjoittelujakso johti naisten ala- ja yläraajojen maksimivoiman huomattavaan kehittymiseen sekä olkavarren lihasten hypertrofiaan. Staronin ym. (1990) tutkimuksessa naisten alaraajojen voima lisääntyi 20 viikon maksimivoimaharjoittelun seurauksena ja aiheutti vastus lateraalisen päalihassolutyyppien huomattavaa lihashypertrofiaa.



### 8.3 Voimaharjoittelun vaikutukset voima-aika -käyrään

Jokaisella lihaksella ja lihasryhmällä on mitattavissa voimadynamometrillä yksilöllinen voima-aika -käyrä isometrisessä supistustilanteessa, jossa henkilö tuottaa maksimaalisen voimansa mahdollisimman nopeasti. Käyrän jyrkkyys on osaltaan riippuvainen siitä, kuinka henkilö pystyy aktivoimaan mahdollisimman monta (erityisesti nopeata) motorista yksikköä toimimaan mahdollisimman suurella syttymisfrekvenssillä. (Häkkinen 1990, 27, 32.) Voima-aika -käyrän muotoon vaikuttaa myös lihaksen solujakauma - käyrä on jyrkempi eli voimantuotto nopeampaa henkilöillä, joiden lihaksistossa on paljon nopeita soluja (Viitasalo & Komi 1978).

Maksimivoimaharjoittelu johtaa muutoksiin pääasiassa voima-aika -käyrän voimapäässä eli maksimivoiman lisääntyessä pystytään tuottamaan tiettyssä ajassa enemmän voimaa voimaharjoittelujakson jälkeen kuin ennen sitä (Häkkinen & Komi 1985; Häkkinen 1985; Häkkinen ym. 1987; Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 1992). Maksimivoimaharjoittelun vaikutusten voima-aika -käyrän muotoon ollaan havaittu olevan samanlaisia sekä miehillä että naisilla (Häkkinen ym. 1989). Kun voimantuottoaika mitataan suhteessa sen hetkiseen maksimivoimaan, maksimivoimaharjoittelulla ei ole todettu olevan vaikutusta voima-aika -käyrän muotoon (Sukop & Nelson 1974). Pitkällä tähtäyksellä suhteellisen voima-aika -käyrän on todettu loivenevan (Häkkinen & Komi 1985).

Nopeusvoimaharjoittelu kohdistuu puolestaan lähinnä voima-aika -käyrän alkuosiin, jolloin harjoittelun vaikutuksesta pystytään tuottamaan tiettyssä lyhyessä ajassa enemmän voimaa kuin ennen harjoittelua. Näin tietty submaksimaalinen voimataso pystytään tuottamaan harjoitusjakson jälkeen lyhyemmässä ajassa kuin ennen harjoittelua. Harjoittelun vaikutuksesta pystytään myös tuottamaan tietty suhteellinen voimataso sen hetkisestä maksimivoimasta aikaisempaa lyhyemmässä ajassa huolimatta siitä, että absoluuttinen maksimivoima on saattanut lisääntyä hieman. (Häkkinen & Komi 1985; Häkkinen ym. 1985b.)

Hermoston osuuden tärkeyttä voima-aika -käyrän alkuosien siirtymissä osoittaa iEMG:n muutoksen ja voimantuoton muutoksen välillä havaittu korrelaatio nopean isometrisen supistuksen alussa. Aktiivisten motoristen yksiköiden määrän ja/tai syttymistiheyden lisääntyminen ja/tai niiden rekrytoinnin muutos lienevät syinä hermostollisiin muutoksiin. (Häkkinen ym. 1985b.) Nopeusvoimaharjoittelun aiheuttama neuromuskulaarinen adaptaatio on todettu naisilla samansuuruisiksi kuin miehillä (Häkkinen ym. 1990) - tosin naisten voimantuottoajat ennen harjoittelua ovat yleensä pidemmät kuin miehillä (Ryushi ym. 1988).

Häkkinen ym. (1990) tutkimuksessa naisten 500 N:n voimantuottoaika lyheni 42,3 %, maksimaalinen voimantuottonopeus parani 24,8 % ja voima-aika -käyrä siirtyi ylös ja vasemmalle 16 viikon nopeusvoimatyypin voimaharjoittelujakson aikana. Muutokset tapahtuivat pääasiassa jo ensimmäisten kahdeksan viikon aikana. Suhteellinen voimantuottoaika ei parantunut. (Häkkinen ym. 1990.)

#### **8.4 Voimaharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmän voimantuottoon ikääntyneillä**

Ikääntymisen aiheuttamaa lihasatrofiaa ja voimantuotto-ominaisuuksien sekä yleensä liikunta- ja toimintakykyisyyden heikkenemistä voidaan ehkäistä fyysisellä harjoittelulla (Frontera ym. 1988; Grimby 1988). Intensiivisellä voimaharjoittelulla pystytään myös ikääntyneillä ihmisillä saamaan aikaan maksimivoiman kasvua, joka aiheutuu hermostossa tapahtuvasta harjoitusvaikutuksesta (Moritani & DeVries 1980) sekä lihashypertrofiasta (Frontera ym. 1988).

Frontera ym. (1988) havaitsivat 12 viikon ajan kolme kertaa viikossa toteutetun intensiivisen hypertrofistyyppisen voimaharjoittelun johtavan huomattaviin lihashypertrofisiin muutoksiin alaraajojen ojentajalihasten hitaissa ja nopeissa soluissa 60 - 72 -vuotiailla miehillä. Yksittäisen lihassolun pinta-alan kasvu voimaharjoittelujakson aikana oli suurempaa kuin koko lihaksen poikkipinta-alan kasvu. (Frontera ym. 1988.)

Hurleyn ym. (1995) tutkimuksessa 50 - 69 -vuotiaiden miesten alaraajojen maksimivoima lisääntyi 16 viikon voimaharjoittelun seurauksena 43 % ja reiden pinta-ala 7,2 %. Kraemerin ym. (1999) tutkimuksessa 62-vuotiaiden miesten reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi kymmenen viikon hypertrofistyyppisen voimaharjoittelun seurauksena 5,9 % ja polven ojentajien maksimivoima lisääntyi samalla 15 %. Voiman suhteellinen kasvu oli yhtä suuri kuin nuorilla miehillä, mutta nuorten reisilihasten hypertrofia oli suurempi (10,1 %). Quadriceps femoriksen hypertrofia ei yksinään eronnut ryhmien välillä. Nuorten suurempi hypertrofia johtunee androgeenien suuremmasta määrästä ja erilaisesta hormonien adaptaatiomallista. Vanhojen miesten voiman kasvua selittänevät suuressa määrin hermostolliset tekijät (Häkkinen ym. 1996). Myös kohonnut testosteronipitoisuus vaikuttaa hermostoon ja sitä kautta vanhojen miesten lisääntyneeseen voimaan (Mooradian ym. 1987).

Myös ikääntyneillä naisilla on havaittu lihashypertrofiaa systemaattisen voimaharjoittelun seurauksena. Anianssonin ym. (1984) tutkimuksessa voimaharjoittelun aiheuttama lihashypertrofia oli 63 - 84 -vuotiailla naisilla nopeissa soluissa hieman suurempaa kuin hitaissa, ja myös nopeiden ja hitaiden lihassolujen pinta-alasuhte kasvoi. Samoin Charetten ym. (1991) tutkimuksessa 12 viikon voimaharjoittelujakso johti nopeiden lihassolujen poikkipinta-alan kasvuun ikääntyneiden naisten vastus lateralis -lihaksessa. Walshin ja Rutherfordin (1996) tutkimuksessa kuuden kuukauden isometrisen voimaharjoittelujakson seurauksena 72-vuotiaiden naisten quadriceps femoriksen maksimivoima lisääntyi noin 50 % ja poikkipinta-ala noin 4 %.

Häkkisen ja Pakarisen (1994) tutkimuksessa 12 viikon voimaharjoittelujakson seurauksena 50-vuotiaiden naisten alaraajojen isometrinen maksimivoima kasvoi 33 % ja 70-vuotiaiden 37 %. Samanikäisillä miehillä kasvu oli 39 % ja 19 %. Viimeisten neljän kovimman harjoitusviikon aikana voiman kehitystä ei enää tapahtunut, vaan se jopa heikkeni 70-vuotiailla naisilla ja miehillä sekä 50-vuotiailla naisilla.

Ikääntyneillä miehillä on todettu kehitystä niin ikään hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksissa intensiivisen voimaharjoittelun seurauksena. Suurilla kuormilla, mutta pienillä supistusnopeuksilla toteutetun harjoittelun vaikutukset kohdistuivat normaalin voimaharjoittelun spesifisyysperiaatteen mukaisesti lähinnä voima-nopeus -käyrän voimapäähen. (Frontera ym. 1988.)

Riittävän pitkäkestoisella ja intensiivisellä voimaharjoittelulla saadaan siis myös ikääntyneillä naisilla ja miehillä aikaan hermo-lihasjärjestelmän rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia, jolloin myös harjoitettavien lihasten voima kasvaa. Verraten suuri harjoitusvaikutus selittyy osittain alhaisella lähtötasolla. (Aniansson ym. 1984; Frontera ym. 1988.) Maksimivoiman kehittyminen saattaa olla lyhyellä aikavälillä ikääntyneillä yhtä suurta kuin nuorilla aikuisilla, joilla ei ole aikaisempaa voimaharjoitustaustaa. Pidemmällä aikavälillä voiman kehitys saattaa jäädä ikääntyneillä hieman vähäisemmäksi kuin nuorilla aikuisilla. (Moritani & DeVries 1980; Grimby 1988.)

Pykan ym. (1994) tutkimuksessa päälihasryhmien voima kasvoi nopeasti 10 - 12 viikon ajan 70-vuotiailla miehillä ja naisilla, joilla ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa. Lonkan koukistajien maksimivoiman kasvu oli jopa 97 %. Alun nopean voiman kasvun jälkeen kehitystä ei enää tapahtunut yhteensä vuoden kestäneen voimaharjoittelujakson aikana. (Pyka ym. 1994.) Nicklasin ym. (1995) tutkimuksessa 55 - 70 -vuotiaiden miesten sekä ylävartalon että alavartalon voima kasvoi noin 40 % kolme kertaa viikossa toteutetun 16 viikkoa kestäneen intensiivisen voimaharjoitusjakson aikana. Samalla kehon rasvaton paino lisääntyi 1,9 kiloa ja rasvamäärä väheni 1,7 %. Koehenkilöt noudattivat tarkkaa ruokavaliota voimaharjoitusjakson ajan. (Nicklas ym. 1995.)

Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa alaraajojen ojentajien maksimivoima (1RM) kasvoi 70-vuotiailla miehillä 16 % ja samanikäisillä naisilla 24 % kuuden kuukauden voimaharjoittelujakson seurauksena. Harjoitteluun kuului myös nopeusvoimaharjoittelua. Ikääntyneiden voimaharjoitteluun onkin hyvä sisällyttää myös nopeusvoimatyypisiä harjoitusärsykeitä hermoston aktivointikyvyn heikkenemisen ja nopeiden lihassolujen atrofisten vaikutusten ehkäisemiseksi. Tällöin edellytykset liikunta- ja toimintakykyisyyden säilymiselle mahdollisimman hyvänä mahdollisimman pitkään paranevat. (Häkkinen 1990, 196 - 197.)

## 9 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia voimaharjoituksen akuutteja ja pitkäaikaisia hormonaalisia ja neuromuskulaarisia vasteita nuorilla ja vanhoilla naisilla. Anabolisista hormoneista tutkittiin seerumin kasvuhormonin, testosteronin sekä vapaan testosteronin ja katabolisista hormoneista seerumin kortisolin pitoisuuden muuttumista akuutissa rasituskokeessa. Lisäksi seurattiin hormonien perustasojen muuttumista 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana.

Neuromuskulaarisista muuttujista tutkittiin alaraajojen ojentajien konsentrisen ja isometrisen maksimivoiman, voimantuottonopeuden, ensimmäisten 500 millisekunnin aikana tuotetun voiman sekä lihasten maksimaalisen EMG-aktiivisuuden lisääntymistä 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena. Akuutissa rasituskokeessa tutkittiin lisäksi voiman laskua ja veren laktaattipitoisuuden muuttumista sekä hermostollista väsymystä kuormitustilanteissa lihasten EMG-rekisteröinnin avulla. Koehenkilöt kirjasiivat myös lihaskipuaan ennen rasituskoea ja muutamana päivänä sen jälkeen.

Hypoteesina tutkimuksessa oli, että kasvuhormoni- ja kortisolipitoisuus nousevat akuutin voimaharjoituksen seurauksena. Testosteronin ja vapaan testosteronin nousun oletettiin olevan pieni. Lisäksi ikääntyneillä naisilla hormonipitoisuuksien nousu saattaa olla akuutissa kuormitustilanteessa pienempi kuin nuorilla naisilla anabolisten hormonien vähentyneen tuotannon takia. Sen sijaan hormonien perustasojen oletettiin pysyvän lähes muuttumattomina voimaharjoittelujakson ajan.

Alaraajojen ojentajien isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman oletettiin kehittyvän voimaharjoittelujakson seurauksena huomattavasti, koska koehenkilöillä ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa. Koska voimaharjoittelu oli enemmän lihashypertrofiaan ja maksimivoiman kasvuun tähtäävää kuin nopeusvoimatyypistä, voimantuottonopeudessa ja 500 ms:n aikana tuotetussa voimassa ei oletettu tapahtuvan suuria muutoksia. Akuutissa rasituskokeessa isometrisen maksimivoiman, voimantuottonopeuden ja ensimmäisten 500 millisekunnin aikana tuotetun voiman oletettiin laskevan väsymysvaikutuksen takia.

## 10 TUTKIMUSMENETELMÄT

Yhteensä 22 naista suorittivat 21 viikon ajan ohjattua voimaharjoittelua kaksi kertaa viikossa. Ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen koehenkilöille tehtiin akuutti rasituskoekuormittamalla alaraajojen ojentajalihaksia. Mittaukset tehtiin tammi-kesäkuussa 1998.

### 10.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä olivat 12 nuorta ja 10 vanhaa tervettä naista. Koehenkilöt eivät olleet tehneet aikaisemmin säännöllistä kuntosaliharjoittelua. Nuorten naisten ikä oli  $37 \pm 6$  vuotta (N35) ja vanhojen naisten ikä  $64 \pm 3$  vuotta (N65). Koehenkilöiden antropometriset mitat ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen näkyvät taulukossa 1. Rasvaprosentti määritettiin neljästä ihopoimusta: biceps, triceps, subscapularis ja suprailiaca (Durnin & Rahaman 1967). Mittaukset tehtiin dominoivalta puolelta kehoa.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden antropometriset mitat ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen.

	nuoret (n = 12)		vanhat (n = 10)	
	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen
ikä (v)	$37 \pm 6$	-	$64 \pm 3$	-
pituus (m)	$1,62 \pm 0,05$	-	$1,60 \pm 0,06$	-
paino (kg)	$63,4 \pm 8,4$	$63,7 \pm 8,6$	$70,5 \pm 6,1$	$70,7 \pm 5,3$
rasva%	$32,3 \pm 4,1$	$31,1 \pm 4,7^*$	$38,7 \pm 1,6$	$37,5 \pm 1,7^*$

\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .001$ ) ennen voimaharjoittelujaksoa mitatusta arvosta

## 10.2 Akuutti rasituskoe

Koehenkilöt suorittivat akuutin rasituskokeen ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Laitteisiin ja suoritustekniikkaan oli tutustuttu ennen ensimmäistä rasitusmittausta. Rasituskokeessa koehenkilöt suorittivat lyhyen lämmittelyn jälkeen jalkadynamometrissä maksimaalisen isometrisen kahden jalan ojennuksen kolmesti. Suoritusten välissä oli minuutin tauko. Noin viisi minuuttia näiden kolmen suorituksen jälkeen tehtiin kymmenen kertaa peräkkäin konsentriin kahden jalan ojennus David 210 -laitteella ja heti tämän jälkeen jalkadynamometrissä yksi maksimaalinen isometrinen kahden jalan ojennus. Tämä sarja toistettiin viisi kertaa kahden minuutin palautuksella. Viimeisten konsentristen jalkojen ojennusten jälkeen maksimaalinen isometrinen kahden jalan ojennus suoritettiin kaksi kertaa 10 - 15 sekunnin välein. Maksimaaliset isometriset kahden jalan ojennukset suoritettiin tuottamalla voima mahdollisimman nopeasti ja koehenkilöä kannustettiin voimakkaasti kaikissa suorituksissa.

Noin 30 minuuttia kestävä rasituskoe tehtiin molemmilla kerroilla samaan kellonaikaan. Jalkadynamometrissä aluksi suoritetuista kolmesta isometrisestä kahden jalan ojennuksesta paras tulos merkittiin maksimiarvoksi. Polvikulma oli jalkadynamometrissä 107 astetta. Ensimmäiset kymmenen konsentrista suoritusta (10 RM) tehtiin 70 % teholla koehenkilön sen hetkisestä yhden toiston maksimista. Tämän jälkeen kuormaa nostettiin 10 - 15 kiloa per sarja kolmanteen sarjaan asti, mikäli koehenkilön suorituskyky sen salli. Väsymyksen myötä kuormaa laskettiin neljännessä tai viidennessä sarjassa ja tarvittaessa koehenkilöä autettiin suorituksissa, jotta kaikki kymmenen suoritusta pystyttiin tekemään.

## 10.3 EMG-signaalien rekisteröinti

EMG-signaalit rekisteröitiin bipolaarisilla pintaelektrodeilla kummankin jalan vastus lateralis- ja vastus medialis -lihaksesta. Iho puhdistettiin hyvin ja elektrodeihin laitettiin johtavaa pastaa. Elektrodit asetettiin pitkittäin sähköstimulaattorilla etsityn lihaksen motorisen pisteen päälle. Elektrodien paikat merkittiin pienillä tatuoinneilla ihoon, jotta elektrodit voitaisiin asettaa jokaisella mittauskerralla samaan kohtaan. EMG-signaalit nauhoitettiin telemetrisesti ja rekisteröitiin mikrolle ja magneettinauhalle. EMG:t integroitiin (iEMG) jokaisesta lihaksesta erikseen ja aikanormalisoitiin sekuntia kohden ( $\mu\text{V} \times \text{s}$ ). Tuloksissa analysoitiin isometrisen maksimivoimantuoton (500 - 1500 ms) aikaiset EMG:t.

## 10.4 Verinäytteet

Koehenkilöiltä otettiin viisi verinäytettä kyynärlaskimosta akuutin rasituskokeen aikana. Ensin otettiin leponäyte, jota ennen koehenkilöt eivät saaneet rasittaa itseään. Toinen näyte otettiin heti kolmannen sarjan (kymmenen konsentrista ja yksi isometrinen kahden jalan ojennus) jälkeen ja seuraavat verinäytteet välittömästi viimeisen sarjan jälkeen sekä 15 ja 30 minuuttia rasituksen loppumisen jälkeen. Toinen verinäyte otettiin sormenpästä ja siitä analysoitiin veren laktaattipitoisuus. Laskimonäytteistä analysoitiin laktaatin lisäksi seerumin kasvuhormoni-, testosteroni-, vapaa testosteroni- ja kortisolipitoisuudet.

Kahden viikon sisällä ennen rasituskoetta tai sen jälkeen otettiin kaksi kontrolliverinäytettä samaan kellonaikaan, jolloin rasituskoe tapahtui. Ensimmäinen näyte vastasi rasituskokeen leponäytettä ja toinen viimeisen sarjan jälkeen otettua verinäytettä. Toinen näyte otettiin 30 minuuttia leponäytteen jälkeen. Kontrolliverinäytteistä analysoitiin hormonipitoisuudet vuorokausivaihtelun määrittämiseksi. Koehenkilöt kävivät myös neljä viikkoa ennen voimaharjoittelujakson alkamista ja seitsemän viikon välein jakson aikana hormonipitoisuuksien perusmittauksissa. Harjoittelujaksoa edeltävät neljä viikkoa toimivat hormonipitoisuuksien kontrollijaksona. Näytteet otettiin yön kestäneen paaston jälkeen klo 7 ja 8 välillä aamulla.

Verinäytteistä analysoitiin seerumin kasvuhormonin, testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin sekä veren laktaatin pitoisuudet. Hormonianalyysit suoritettiin Oulun Yliopistolaisen Sairaalan kliinisessä laboratoriossa. Hormonipitoisuuksien määrittämistä varten seeruminäytteet säilytettiin  $-20^{\circ}\text{C}$ :ssa määrittämishetkeen saakka. Kaikki hormonit analysoitiin kahdesti radioimmunologisella menetelmällä käyttämällä Farnos Diagnostican reagenssipakkausta. (Häkkinen ym. 1990; Kraemer ym. 1999.)

Laktaatin määrittäminen suoritettiin rinnakkaismäärittämisellä Boehring Mannheimin menetelmällä Hitachi 2000 –spektrofotometrillä. Kapillaariin otettu 25  $\mu\text{l}$ :n verimäärä saostettiin koeputkessa, jossa oli 0,5 ml jääkylmää perkloorihappoa. Näyte pakastettiin  $-20^{\circ}\text{C}$ :ssa määrittämishetkeen saakka, jos sitä ei sentrifugoitu heti kymmenen minuutin ajan nopeudella 3500 kierrosta minuutissa. Määrittäminen suoritettiin supernatantista ja se perustuu entsyymaattiseen reaktioon, jossa muodostuvan NADH:n määrä mitataan spektrofotometrisesti.



### **10.5 Lihaskipujen kirjaaminen**

Koehenkilöt kirjasivat lihaskipujaan vuorokausi ennen akuuttia rasisuskoetta ja kuutena päivänä sen jälkeen. Kivun kovuus merkittiin 10 cm:n janalle, jonka toisena ääripäänä oli "ei ollenkaan kipua" ja toisena ääripäänä "pahin mahdollinen kipu". Lisäksi koehenkilöt merkitsivät sen lihasryhmän, jossa kipu oli kovin.

### **10.6 Voimaharjoittelujakso**

Koehenkilöt suorittivat voimaharjoittelua kuntosalilla kaksi kertaa viikossa 21 viikon ajan submaksimaalisella (60 - 80 %) intensiteetillä. Harjoittelu tapahtui erilaisilla voimalaitteilla päälihasryhmille. Alku- ja loppuviikon harjoitusohjelmat poikkesivat hieman toisistaan. Harjoittelu oli pääasiassa lihasten hypertrofiaan ja maksimivoiman kasvuun tähtäävää, mutta noin 20 % siitä toteutettiin nopeusvoimatyypisenä. Harjoitusohjelmaa muutettiin seitsemän viikon välein, jolloin myös kuormitusta ja sarjojen määrää lisättiin. Kahdeksannesta viikosta lähtien mukana oli nopeita sarjoja jalkaprässissä (25 %), kahden jalan reisi-  
penkissä (30 %), yhden jalan reisi-  
penkissä (31 %) ja penkkipunnerruksessa (29 %). Harjoittelu tapahtui valvotusti. Lämmittely ja jäähdyttely sisältyivät jokaiseen harjoituskertaan, joka kesti noin 1 - 1,5 tuntia.

### **10.7 Tulosten tilastollinen käsittely**

Tulokset käsiteltiin Excel 97 ja SPSS 8.0 for Windows -ohjelmilla. Tuloksista laskettiin ryhmien keskiarvot ja keskihajonnat. Mittauskertojen välisiä eroja analysoitiin parillisella t-testillä ja ryhmien välisiä eroja riippumattomien otosten t-testillä. Muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen avulla. Erojen merkitsevyys- tarkastelussa käytettiin kolmea merkitsevyystasoa: \*\*\* $p \leq 0.001$ , \*\* $p \leq 0.01$  ja \* $p \leq 0.05$ .

## 11 TULOKSET

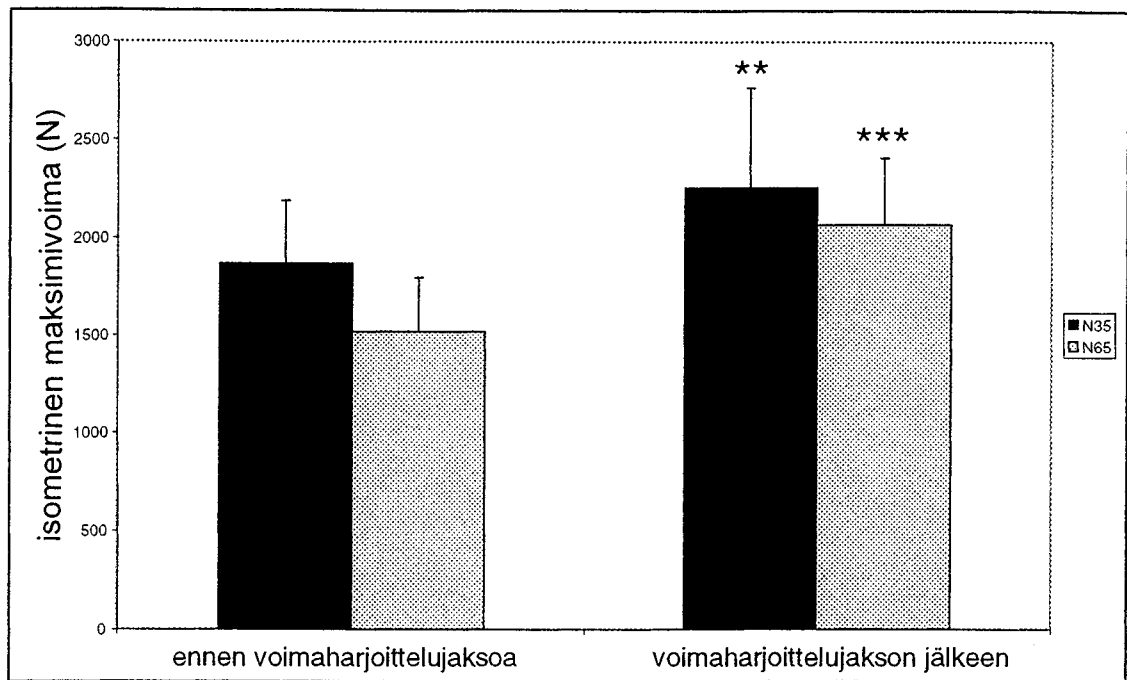
### 11.1 Antropometriset muutokset

Koehenkilöiden paino pysyi muuttumattomana voimaharjoittelujakson aikana, johon nuoret naiset osallistuivat 98 %:sti ja vanhojen naisten osallistumisaktiivisuus oli 99,5%. Kehon rasvamäärä väheni kuitenkin nuorilla naisilla 32,3 %:sta 31,1 %:iin ( $p < .001$ ) ja vanhoilla naisilla 38,7 %:sta 37,5 %:iin ( $p < .001$ ).

### 11.2 Voiman ja EMG:n muutokset voimaharjoittelujakson aikana

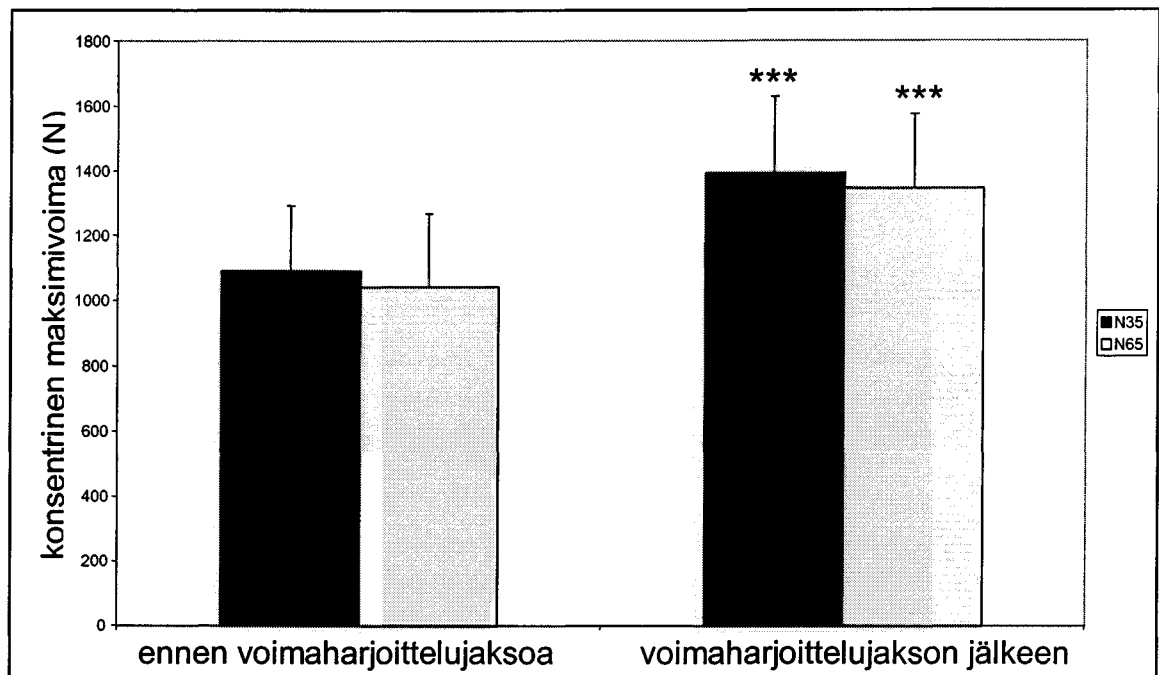
Akuutin rasituskokeen alussa mitattu alaraajojen ojentajien isometrinen maksimaalinen voima oli nuorilla naisilla ennen voimaharjoittelujaksoa suurempi kuin vanhoilla naisilla ( $1867 \pm 322$  N vs.  $1516 \pm 281$  N,  $p < .01$ ). Alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima kasvoi voimaharjoittelujakson seurauksena nuorilla naisilla 20,6 % ( $p < .01$ ) ja vanhoilla naisilla 36,1 % ( $p = .000$ ) (kuva 8). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa voiman kasvussa. Voimaharjoittelujakson jälkeen voimassa ei ollut eroa nuorten ja vanhojen naisten välillä ( $2252 \pm 511$  N vs.  $2062 \pm 340$  N).

Konsentrisessa maksimivoimassa ei ollut eroa ryhmien välillä ennen rasituskoetta eikä sen jälkeen. Alaraajojen ojentajien konsentrisen maksimivoima kasvoi 21 viikon voimaharjoittelujakson seurauksena nuorilla naisilla 27,8 % ( $1089 \pm 206$  N vs.  $1393 \pm 235$  N,  $p = .000$ ) ja vanhoilla naisilla 29,2 % ( $1040 \pm 226$  N vs.  $1344 \pm 226$  N,  $p = .000$ ). Ryhmien välillä ei ollut eroa voiman kehittämisessä (kuva 9).



KUVA 8. Alaraajojen ojentajien isometrisen maksimivoiman kehittyminen 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*:llä merkitty eroa tilastollisesti merkitsevästi harjoitusjaksoa edeltävästä arvosta).

Akuutin rasituskokeen alussa mitattu vasemman jalan vastus medialiksen maksimaalinen iEMG isometrisessä suorituksessa lisääntyi voimaharjoittelun seurauksena nuorilla ja vanhoilla naisilla. Nuorilla iEMG lisääntyi 27,5 % ( $143 \pm 58 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $182 \pm 78 \mu\text{V} \times \text{s}$ ,  $p < .001$ ) ja vanhoilla naisilla 28,3 % ( $103 \pm 31 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $132 \pm 37 \mu\text{V} \times \text{s}$ ,  $p < .01$ ). Myös vasemman jalan vastus medialiksen ja vastus lateraliksen keskiarvoistettu iEMG lisääntyi kummallakin ryhmällä – nuorilla 21,9 % ( $144 \pm 49 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $175 \pm 69 \mu\text{V} \times \text{s}$ ,  $p < .05$ ) ja vanhoilla 21,9 % ( $104 \pm 37 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $127 \pm 46 \mu\text{V} \times \text{s}$ ,  $p < .01$ ). Oikean jalan vastus lateraliksen ja vastus medialiksen keskiarvoistetussa iEMG:ssä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta nuorilla ( $160 \pm 77 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $179 \pm 96 \mu\text{V} \times \text{s}$ ) eikä vanhoilla ( $110 \pm 37 \mu\text{V} \times \text{s}$  vs.  $128 \pm 47 \mu\text{V} \times \text{s}$ ) naisilla.



KUVA 9. Alaraajojen ojentajien konsentrisen maksimivoiman (1 RM) kehittyminen 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*\*\*)eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p=0.000$ ) harjoitusjaksoa edeltävästä arvosta).

Voimantuottonopeudessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia 21 viikon voimaharjoittelujakson seurauksena nuorilla ( $6692 \pm 2133$  N/s vs.  $6580 \pm 2237$  N/s) eikä vanhoilla ( $5158 \pm 2406$  N/s vs.  $6791 \pm 2953$  N/s) naisilla. Myöskään 500 millisekunnin aikana tuotetussa voimassa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia nuorten naisten ( $818 \pm 310$  N vs.  $832 \pm 278$  N) eikä vanhojen naisten ( $649 \pm 326$  N vs.  $863 \pm 352$  N) ryhmässä.

### 11.3 Neuromuskulaariset muutokset akuutissa rasisuskokeessa

Alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima laski rasisuskokeen aikana ennen voimaharjoittelujaksoa nuorilla naisilla 36,7 % ( $1867 \pm 322$  N vs.  $1182 \pm 319$  N,  $p=0.000$ ) ja vanhoilla naisilla 23,1 % ( $1516 \pm 281$  N vs.  $1167 \pm 287$  N,  $p=0.000$ ). Nuorilla naisilla maksimivoiman absoluuttinen ( $p<0.01$ ) ja prosentuaalinen ( $p<0.05$ ) lasku oli suurempi kuin vanhoilla naisilla. Heillä maksimivoiman lähtötasokin oli korkeampi kuin vanhoilla naisilla ( $p<0.01$ ).

Voimaharjoittelujakson jälkeen maksimivoiman lasku oli vastaavassa rasituksessa nuorilla naisilla 36,9 % ( $2252 \pm 511$  N vs.  $1421 \pm 219$  N,  $p=.000$ ) ja vanhoilla naisilla 28,3 % ( $2062 \pm 340$  N vs.  $1479 \pm 318$  N,  $p=.000$ ). Vanhojen naisten absoluuttinen voiman lasku oli suurempi ( $p<.01$ ) voimaharjoittelujakson jälkeen kuin ennen sitä ( $584 \pm 123$  N vs.  $349 \pm 23$  N). Suhteellisesti vastaavassa voiman laskussa ei ollut eroa rasiuskokeiden välillä ( $28,8 \pm 7,0$  % vs.  $23,2 \pm 11,5$  %).

Ennen voimaharjoittelujaksoa tehdyssä rasiuskokeessa 500 ms:n aikana tuotettu alaraajojen isometrinen voima laski testin aikana nuorilla naisilla 28,7 % ( $819 \pm 310$  N vs.  $584 \pm 172$  N,  $p<.05$ ) ja vanhoilla naisilla 24,9 % ( $649 \pm 326$  N vs.  $488 \pm 147$  N,  $p<.05$ ). Vastaava lasku voimaharjoittelujakson jälkeisessä rasiuskokeessa oli nuorilla naisilla 21,3 % ( $832 \pm 278$  N vs.  $656 \pm 194$  N,  $p<.05$ ) ja vanhoilla naisilla 32,6 % ( $863 \pm 352$  N vs.  $581 \pm 188$  N,  $p<.01$ ). Rasiuskokeiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa 500 ms:n aikana tuotetun voiman laskussa kummallakaan ryhmällä. Myöskään ryhmien välillä ei ollut eroa voiman laskussa.

Voimantuottonopeus laski tilastollisesti merkitsevästi nuorilla naisilla molempien rasiuskokeiden aikana. Ennen voimaharjoittelujaksoa lasku oli 27,2 % ( $6692 \pm 2133$  N/s vs.  $4873 \pm 1323$  N/s,  $p<.01$ ) ja harjoittelujakson jälkeen 25,2 % ( $6580 \pm 2237$  N/s vs.  $4919 \pm 1189$  N/s,  $p<.01$ ). Vanhoilla naisilla voimantuottonopeus laski ensimmäisessä rasiuskokeessa 22,1 % ( $5158 \pm 2406$  N/s vs.  $4017 \pm 1021$  N/s) ja toisessa rasiuskokeessa 27,8 % ( $6791 \pm 2953$  N/s vs.  $4906 \pm 1471$  N/s,  $p<.01$ ). Rasiuskokeiden välillä ei ollut eroa voimantuottonopeuden laskussa kummallakaan ryhmällä. Nuorten ja vanhojen naisten välillä ei ollut myöskään eroa voimantuottonopeuden laskussa.

Lihasten maksimaalisessa iEMG:ssä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää heikkenemistä kummassakaan rasiuskokeessa nuorilla eikä vanhoilla naisilla (taulukko 2). Voimaharjoittelujaksoa edeltävässä rasiuskokeessa vanhojen naisten oikean jalan vastus lateraalisen maksimaalinen iEMG oli sen sijaan suurempi rasiuskokeen lopussa kuin sen alussa muutoksen ollessa 11,3 % ( $108 \pm 49$   $\mu$ V x s vs.  $121 \pm 53$   $\mu$ V x s,  $p<.05$ ).

TAULUKKO 2. Nuorten (ylärivi) ja vanhojen (alarivi) naisten oikean ja vasemman jalan agonistilihasten maksimaalisen iEMG:n muutos akuutissa rasituskokeessa ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen (vlo/vlv = vastus lateralis oikea/vasen, vmo/vmv = vastus medialis oikea/vasen).

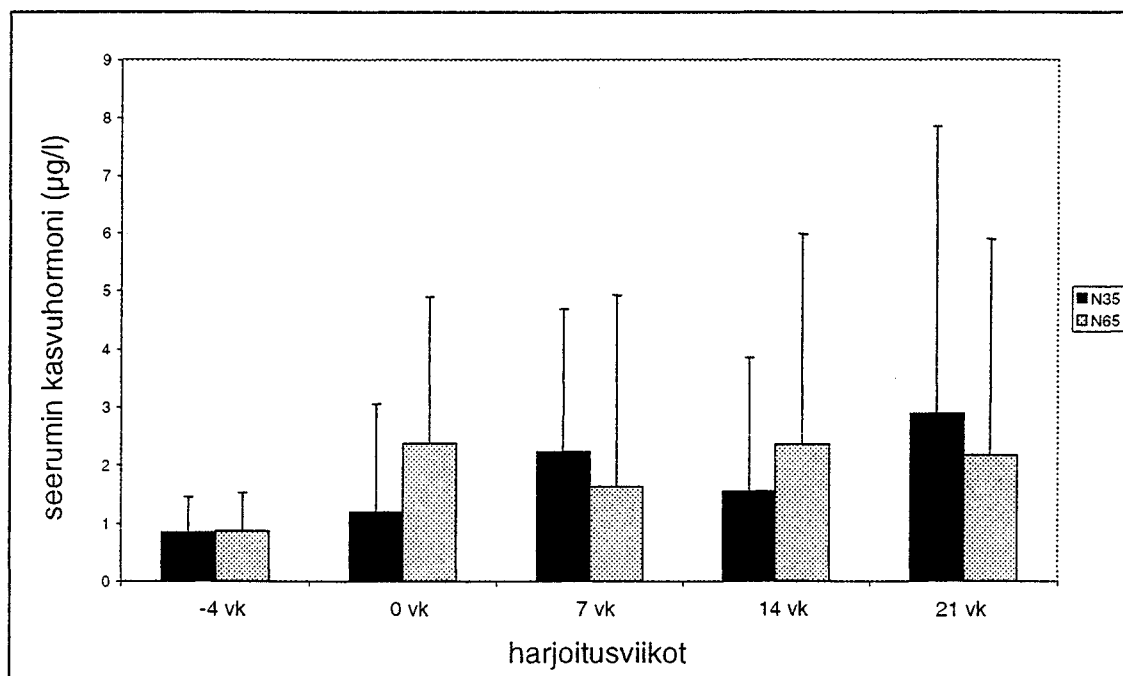
	1. rasituskoe		2. rasituskoe	
	ennen	jälkeen	ennen	jälkeen
vlo	155 ± 89	156 ± 86	166 ± 108	153 ± 73
	108 ± 49	121 ± 53*	119 ± 56	126 ± 51
vlv	144 ± 51	150 ± 60	175 ± 67	158 ± 56
	106 ± 45	110 ± 45	122 ± 65	126 ± 62
vmo	165 ± 72	162 ± 72	192 ± 94	176 ± 90
	111 ± 28	118 ± 37	138 ± 44	144 ± 54
vmv	143 ± 58	152 ± 76	182 ± 78	171 ± 68
	103 ± 31	105 ± 26	132 ± 37	144 ± 49
vlo+vmo/2	160 ± 77	159 ± 74	179 ± 96	160 ± 67
	110 ± 37	119 ± 45	128 ± 47	135 ± 51
vlv+vmv/2	144 ± 49	151 ± 65	175 ± 69	164 ± 58
	104 ± 37	107 ± 36	127 ± 46	135 ± 51

\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .05$ ) rasituskokeen alussa mitatusta arvosta

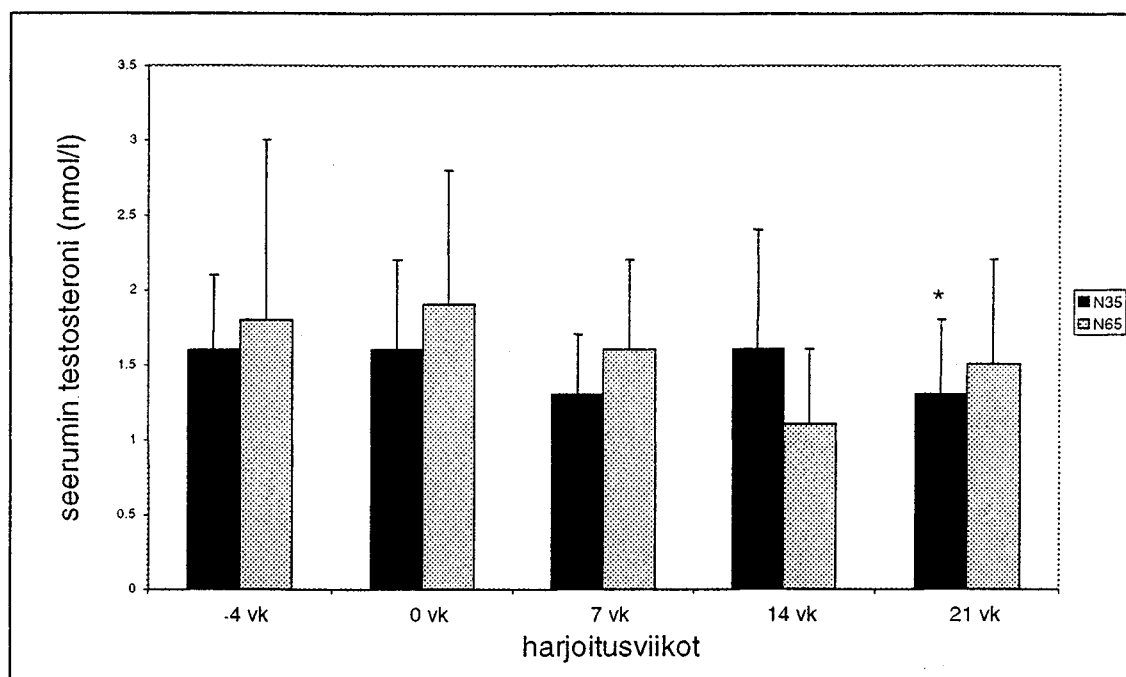
#### 11.4 Hormonipitoisuuksien perustasot voimaharjoittelujakson aikana

Seerumin kasvuhormonin, testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuuksien keskiarvot olivat voimaharjoittelujakson aikana viitearvojen sisällä nuorilla ja vanhoilla naisilla. Koska molemmilla ryhmillä oli suuria yksilöllisiä eroja hormonipitoisuuksien perustasoissa, ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ainoastaan seerumin kortisolin pitoisuudessa seitsemän viikon voimaharjoittelun jälkeen, jolloin vanhojen naisten kortisolipitoisuus oli alhaisempi ( $p < .01$ ) kuin nuorten naisten (kuva 13). Kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut muutoksia hormonien perustasoissa kontrollijakson aikana eli neljässä viikossa ennen voimaharjoittelun aloittamista.

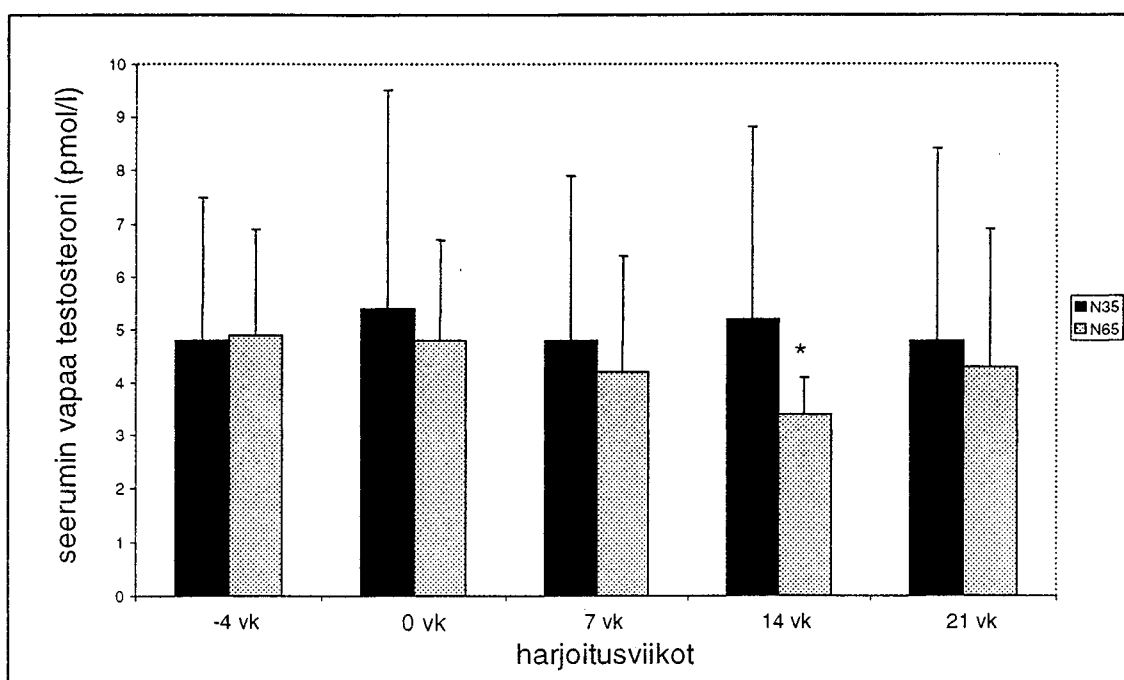
Seerumin kasvuhormonipitoisuuden perustasossa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia 21 viikon harjoittelujakson aikana nuorilla eikä vanhoilla naisilla (kuva 10). Seerumin testosteronipitoisuudessa ei tapahtunut muutoksia vanhoilla naisilla, mutta nuorilla naisilla testosteronipitoisuus oli voimaharjoittelujakson lopussa alhaisempi ( $p < .05$ ) kuin jakson alussa (kuva 11). Vapaan testosteronin pitoisuus oli 14 viikon harjoittelun jälkeen vanhoilla naisilla alhaisempi ( $p < .05$ ) kuin voimaharjoittelujakson alussa. Nuorilla naisilla seerumin vapaan testosteronin pitoisuuden perustasoissa ei tapahtunut muutoksia (kuva 12). Kortisolin osalta ainoat muutokset olivat vanhojen naisten ryhmässä seitsemän viikon harjoittelun jälkeen, jolloin pitoisuus oli merkitsevästi ( $p < .01$ ) alhaisempi kuin voimaharjoittelujakson alussa (kuva 13).



KUVA 10. Nuorten (N35) ja vanhojen (N65) naisten seerumin kasvuhormonin lepopitoisuudet 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana.

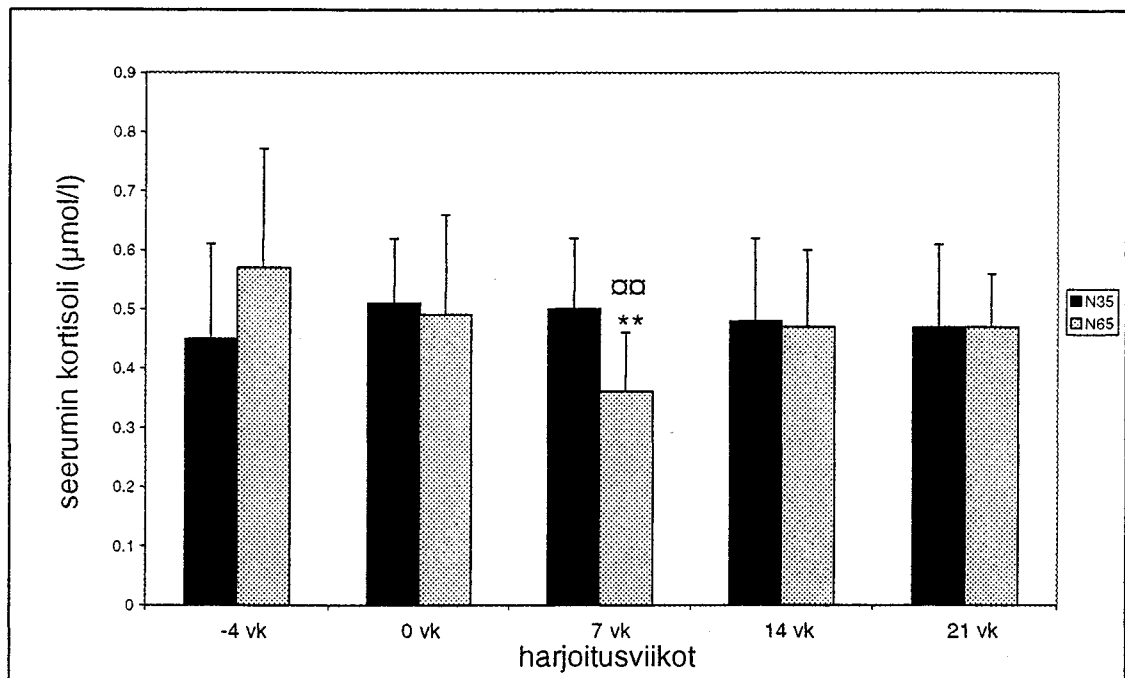


KUVA 11. Nuorten (N35) ja vanhojen (N65) naisten seerumin testosteronin lepopitoisuudet 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana (\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .05$ ) harjoitusjaksoa edeltävästä arvosta).



KUVA 12. Nuorten (N35) ja vanhojen (N65) naisten seerumin vapaan testosteronin lepopitoisuudet 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana (\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .05$ ) harjoitusjaksoa edeltävästä arvosta).





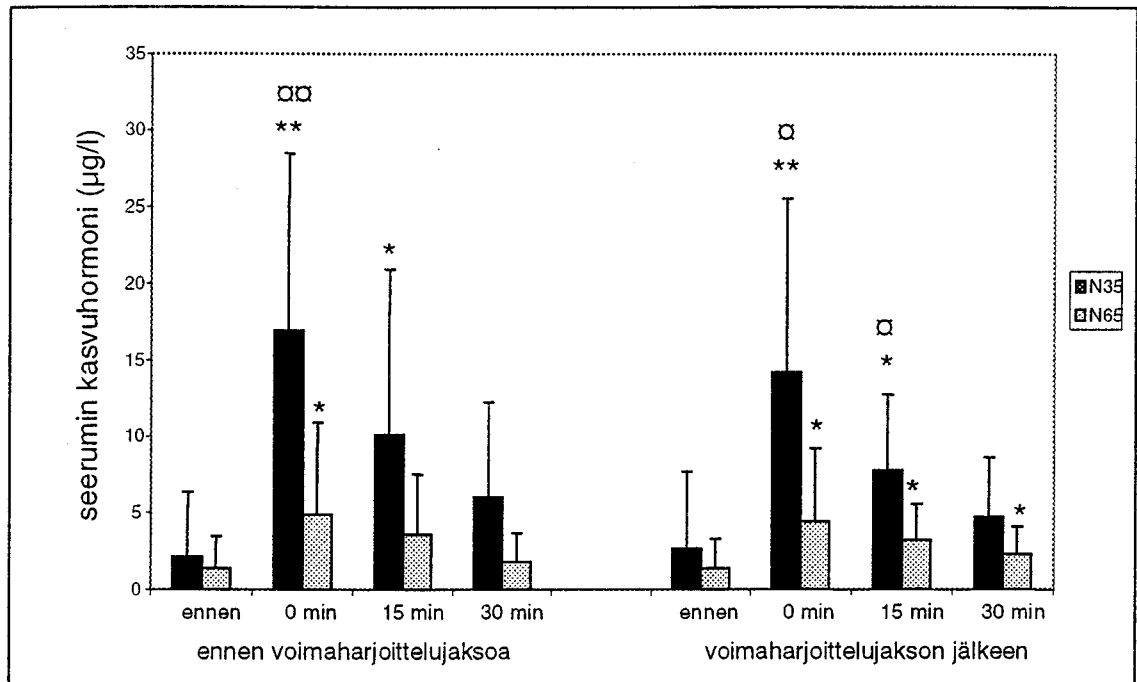
KUVA 13. Nuorten (N35) ja vanhojen (N65) naisten seerumin kortisolin lepopitoisuudet 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana (\*\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .01$ ) harjoitusjaksoa edeltävästä arvosta, □□ tilastollisesti merkitsevä ero ( $p < .01$ ) nuorten ja vanhojen naisten välillä).

### 11.5 Seerumin kasvuhormonipitoisuuden muuttuminen akuutissa rasituskokeessa

Akuutti rasituskoe aiheutti seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla ( $p < .01$ ) ja vanhoilla ( $p < .05$ ) naisilla (kuva 14). Nuorilla naisilla kasvuhormonipitoisuuden nousu oli ensimmäisessä rasituskokeessa lähes 8-kertainen ja toisessa yli 5-kertainen ennen räsitusta mitattuun arvoon verrattuna. Vanhoilla naisilla nousu oli lepoarvoon verrattuna yli 3-kertainen kummassakin mittauksessa. Ensimmäisessä rasituskokeessa heti työn päättymisen jälkeen mitattu vanhojen naisten seerumin kasvuhormonipitoisuus ei kuitenkaan eronnut merkitsevästi kahden viikon sisällä mitatusta kontrolliarvosta.

Nuorilla naisilla seerumin kasvuhormonipitoisuus pysyi kohonneena ( $p < .05$ ) 15 minuuttia harjoituksen päättymisestä kummassakin rasituskokeessa. Vanhojen naisten seerumin kasvuhormonipitoisuus pysyi kohonneena ( $p < .05$ ) voimaharjoittelujakson jälkeen tehdyssä rasituskokeessa 15 ja 30 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen.

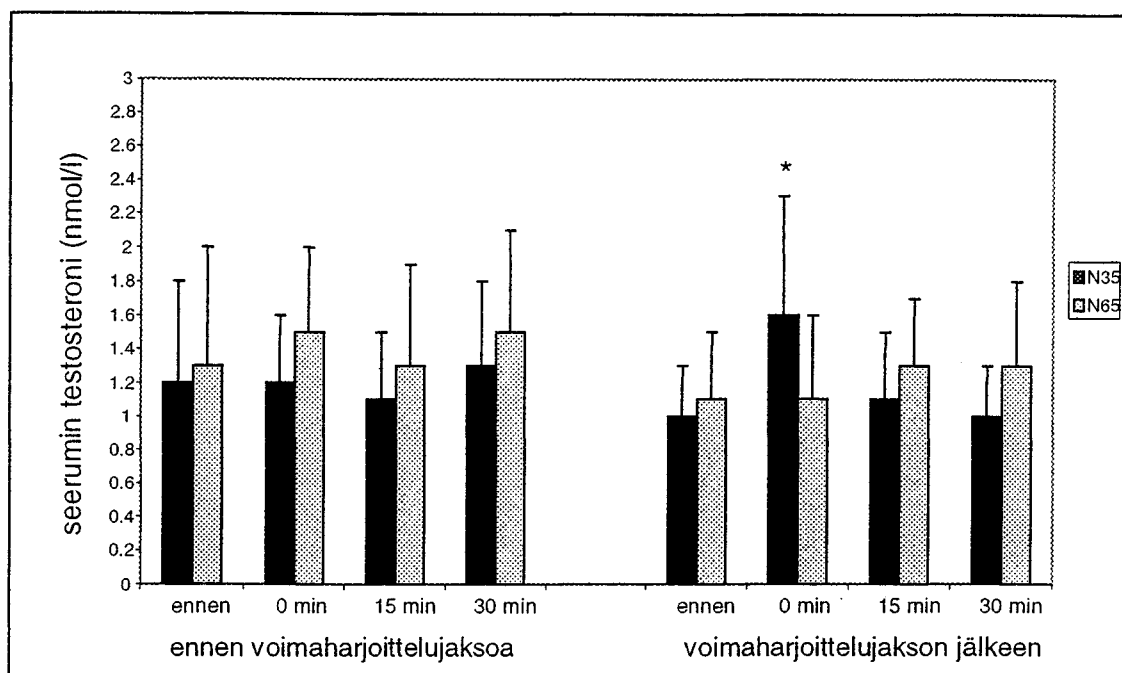
Ennen voimaharjoittelujaksoa tehdyssä rasisuskokeessa seerumin kasvuhormonipitoisuus oli nuorilla naisilla heti voimaharjoituksen jälkeen merkitsevästi korkeampi ( $p < .01$ ) kuin vanhoilla naisilla. Voimaharjoittelujakson jälkeen ero oli ryhmien välillä merkitsevä ( $p < .05$ ) heti voimaharjoituksen jälkeen sekä 15 minuuttia sen päättymisestä.



KUVA 14. Akuutin rasisuskokeen aiheuttama seerumin kasvuhormonipitoisuuden muutos ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*:llä merkitty eroa tilastollisesti merkitsevästi harjoitusta edeltävästä arvosta, □:lla merkityssä tilastollisesti merkitsevä ero nuorten ja vanhojen naisten välillä).

### 11.6 Seerumin testosteronin, vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuuden muuttuminen akuutissa rasisuskokeessa

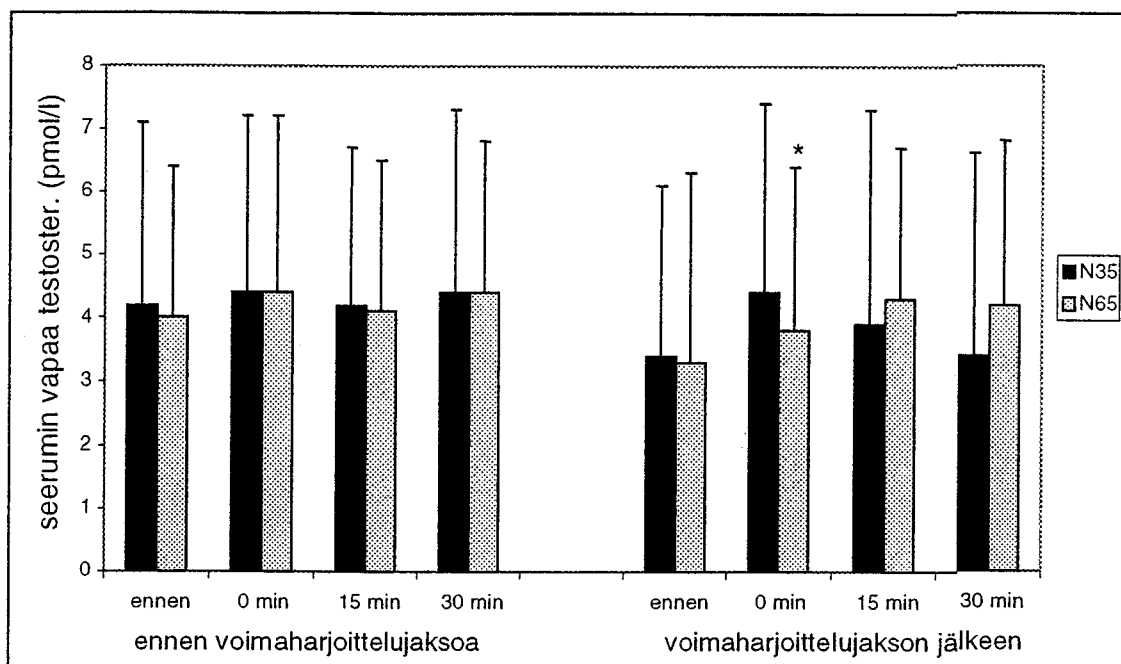
Ennen voimaharjoittelujaksoa tehty rasisuskoe ei aiheuttanut nuorten naisten seerumin testosteronipitoisuudessa muutoksia. Voimaharjoittelujakson jälkeen tehty rasisuskoe aiheutti seerumin testosteronipitoisuuden noin 67 % nousun ( $p < .05$ ) heti voimaharjoituksen päätyttyä nuorilla naisilla (kuva 15). Kohonnut testosteroniarvo ei kuitenkaan poikennut merkitsevästi kahden viikon sisällä mitatusta kontrolliarvosta. Vanhoilla naisilla testosteronipitoisuuden muutoksia ei tapahtunut kummassakaan rasisuskokeessa.



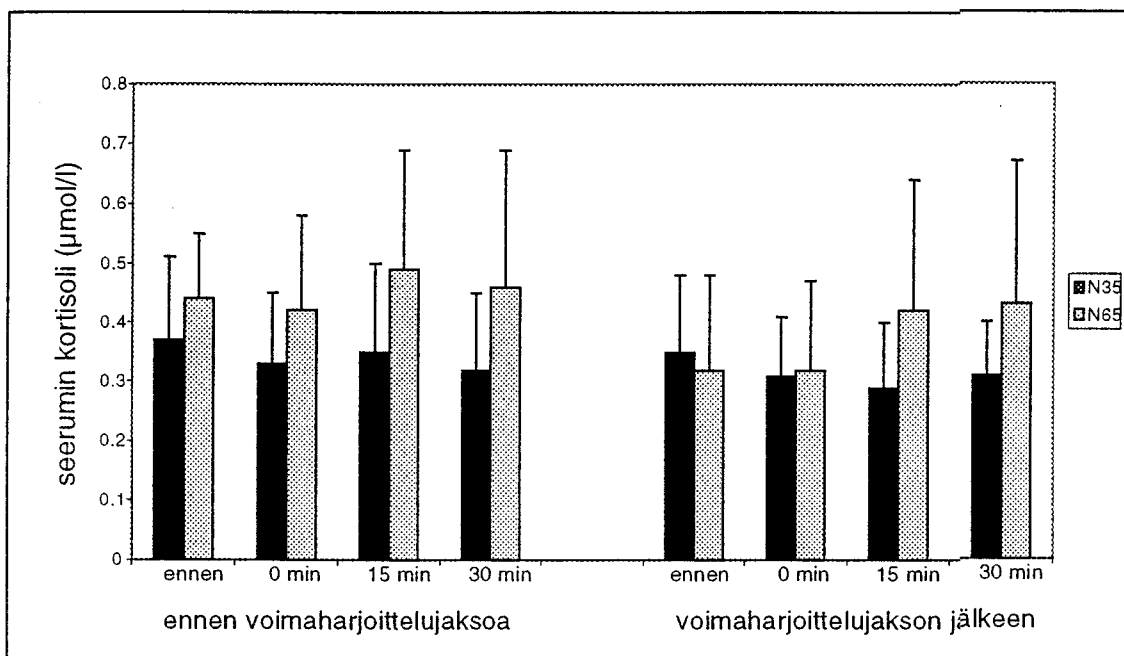
KUVA 15. Akuutin rasituskokeen aiheuttama seerumin testosteronipitoisuuden muutos ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .05$ ) harjoitusta edeltävästä arvosta).

Kumpikaan rasituskoe ei aiheuttanut muutoksia nuorten naisten vapaan testosteronin pitoisuudessa. Vanhoilla naisilla ennen voimaharjoittelua tehty rasituskoe ei aiheuttanut muutoksia vapaan testosteronin pitoisuudessa, mutta harjoitusjakson jälkeen tehdyssä rasituskokeessa seerumin vapaan testosteronin pitoisuus oli heti suorituksen jälkeen noin 15 % lepotasoa korkeampi ( $p < .05$ ) (kuva 16). Suorituksen jälkeen mitattu vapaan testosteronin pitoisuus ei eronnut kuitenkaan merkitsevästi kahden viikon sisällä mitatusta kontrolliarvosta.

Ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen tehty akuutti rasituskoe ei aiheuttanut muutoksia seerumin kortisolipitoisuudessa nuorilla eikä vanhoilla naisilla (kuva 17). Ryhmien ja rasituskokeiden välillä ei myöskään ollut eroja kortisolipitoisuuden muutoksissa.



KUVA 16. Akuutin rasituskokeen aiheuttama seerumin vapaan testosteronin pitoisuuden muutos ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*eroaa tilastollisesti merkitsevästi ( $p < .05$ ) harjoitusta edeltävästä arvosta).

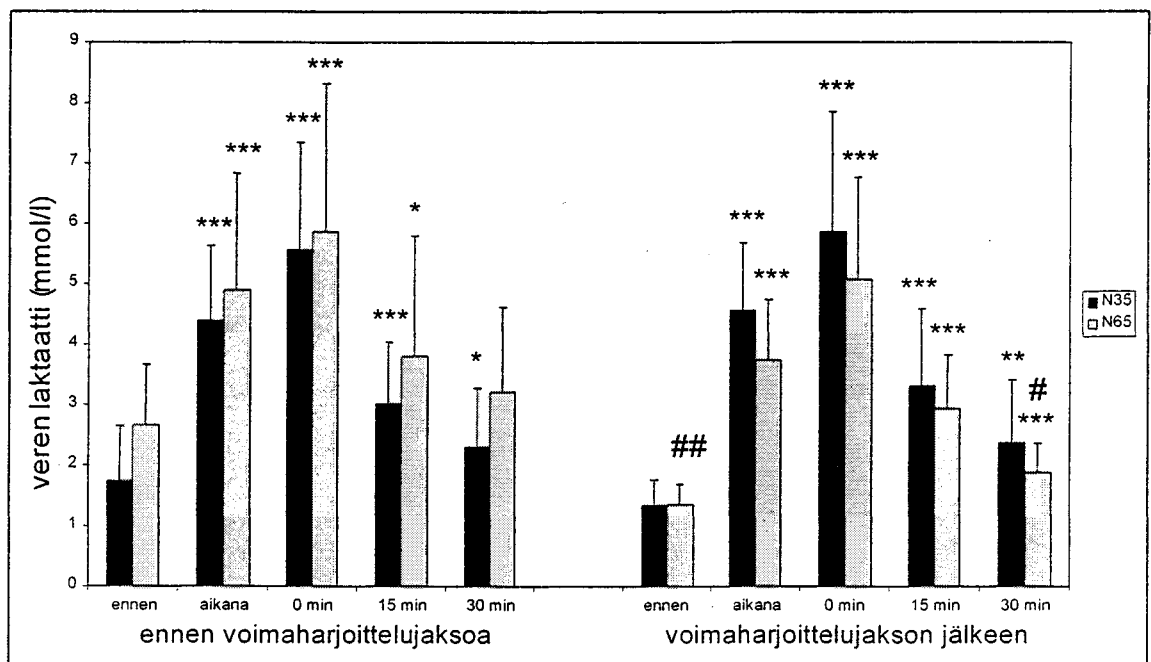


KUVA 17. Akuutin rasituskokeen aiheuttama seerumin kortisolipitoisuuden muutos ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla.

### 11.7 Veren laktaattipitoisuuden muuttuminen akuutissa rasisuskokeessa

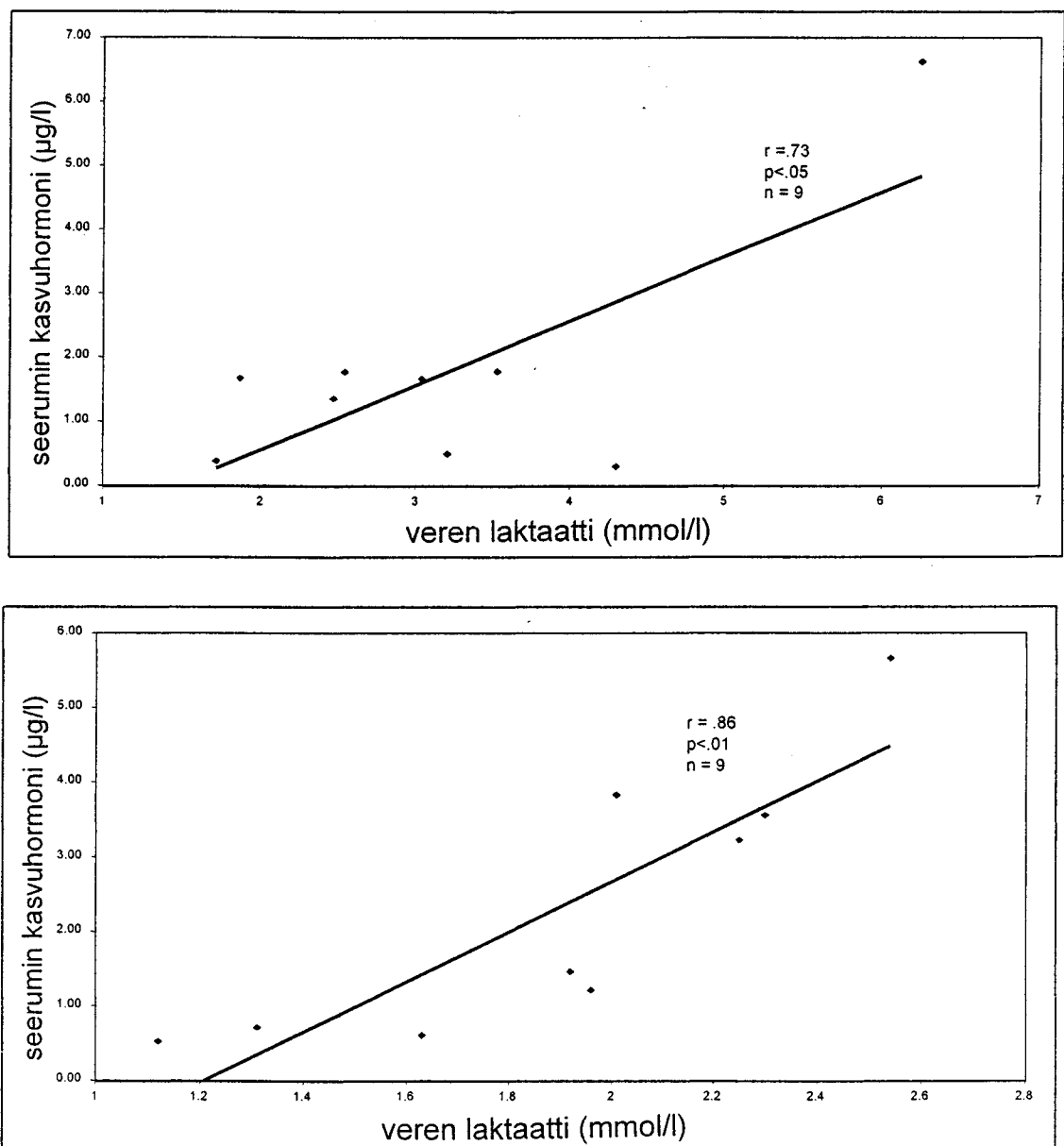
Akuutti rasisuskoe aiheutti veren laktaattipitoisuuden merkittävän nousun ( $p=.001$ ) ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen sekä nuorilla että vanhoilla naisilla (kuva 18). Veren laktaattipitoisuus oli korkeimmillaan heti rasisuskokeen jälkeen. Nuorilla naisilla laktaattipitoisuus pysyi kohonneena kummankin rasisuskokeen jälkeen vielä 15 ja 30 minuuttia harjoituksen päättymisestä. Vanhoilla naisilla laktaattipitoisuus pysyi kohonneena ennen voimaharjoittelujaksoa 15 minuuttia ja jakson jälkeen 30 minuuttia.

Voimaharjoittelujakson jälkeen vanhoilta naisilta mitatut veren laktaattiarvot olivat ennen rasisuskoetta ( $p<.01$ ) ja 30 minuuttia sen päättymisen jälkeen ( $p<.05$ ) alhaisemmat kuin vastaavat arvot rasisuskokeessa ennen voimaharjoittelujaksoa. Heillä myös heti rasisuskokeen jälkeen mitattu veren laktaattipitoisuus korreloi tilastollisesti merkitsevästi ( $p<.05$ ) samaan aikaan mitatun seerumin kortisolipitoisuuden kanssa molemmissa rasisuskokeissa.



KUVA 18. Akuutin rasisuskokeen aiheuttama veren laktaattipitoisuuden nousu ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen nuorilla (N35) ja vanhoilla (N65) naisilla (\*:llä merkitty eroa tilastollisesti merkitsevästi harjoitusta edeltävästä arvosta, #:lla merkitty eroa tilastollisesti merkitsevästi vastaavasta arvosta ennen voimaharjoittelujaksoa).

Ennen voimaharjoittelujaksoa tehdyssä rasituskokeessa vanhojen naisten kasvuhormonin pitoisuuden absoluuttinen muutos rasiusta edeltävästä arvosta heti rasituksen loppumisen jälkeen mitattuun arvoon korreloi laktaattipitoisuuden absoluuttisen muutoksen kanssa ( $p < .05$ ). Myös 30 minuuttia rasituksen loppumisen jälkeen mitattu kasvuhormoni- ja laktaattipitoisuus korreloivat keskenään ( $p < .05$ ). Harjoitusjakson jälkeen tehdyssä rasituskokeessa vanhojen naisten ennen rasiusta ( $p < .05$ ) ja 15 minuuttia ( $p < .01$ ) ja 30 minuuttia ( $p < .01$ ) rasituksen jälkeen mitattu kasvuhormoni- ja laktaattipitoisuus korreloivat keskenään (kuva 19).

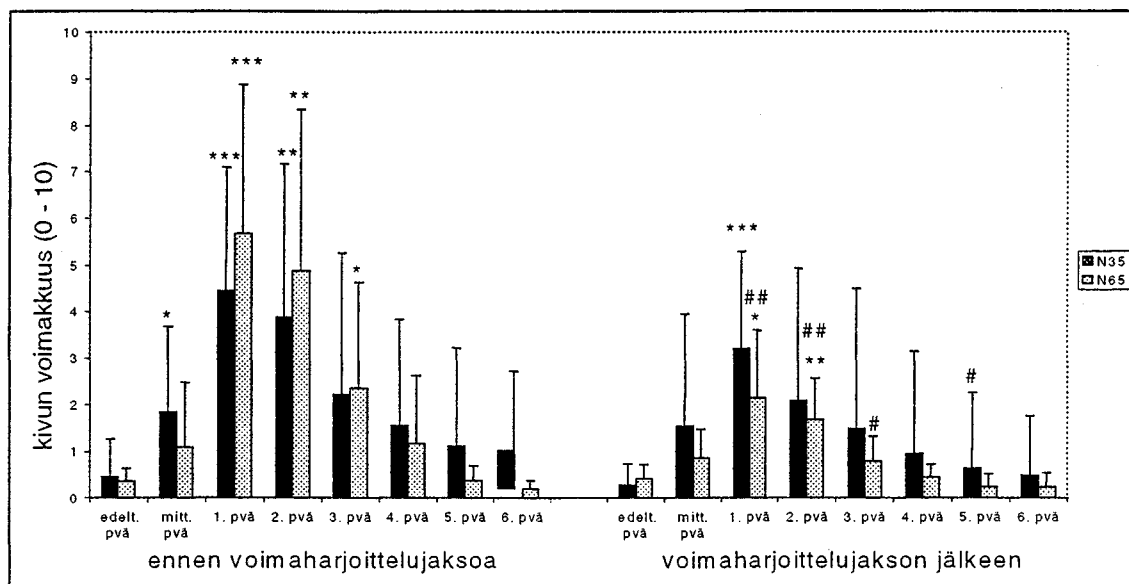


KUVA 19. Vanhojen naisten seerumin kasvuhormonipitoisuuden ja veren laktaattipitoisuuden korrelaatio 30 minuuttia rasituksen päättymisen jälkeen ennen voimaharjoittelujaksoa (yläkuva) ja sen jälkeen (alakuva) tehdyssä rasituskokeessa.

## 11.8 Subjektiiivinen kivun kokeminen akuutin rasituskokeen jälkeen

Ennen voimaharjoittelujaksoa suoritetun rasituskokeen jälkeen nuoret naiset tunsivat rasituskoetta edeltävään päivään verrattuna suurempaa lihaskipua mittauspäivänä sekä kahtena päivänä sen jälkeen. Vanhoilla naisilla lihaskivut tuntuivat kolmena mittausta seuraavana päivänä suuremmilta kuin rasituskoetta edeltävänä päivänä. Lihaskipu oli suurin kummallakin ryhmällä ensimmäisenä päivänä mittauspäivän jälkeen (kuva 20). Eniten lihaskipuja oli reisissä ja jonkin verran myös pakarissa, niskassa ja alaselässä.

Voimaharjoittelujakson jälkeen rasituskoe aiheutti lihaskipuja nuorilla naisilla ainoastaan mittausta seuraavana päivänä. Vanhat naiset tunsivat lihaskipuja kahtena mittausta seuranneena päivänä. Eniten lihaskipua tunnettiin kummassakin ryhmässä mittauspäivän jälkeisenä päivänä. Pahimmat kipualueet olivat reisissä ja pakarissa. Nuoret naiset tunsivat toisessa rasituskokeessa viidentenä päivänä rasituskokeen jälkeen vähemmän kipua ( $p=.05$ ) kuin vastaavana aikana ensimmäisen rasituskokeen jälkeen. Vanhoilla naisilla koettu lihaskipu oli toisessa rasituskokeessa ensimmäisenä ( $p<.01$ ), toisena ( $p=.01$ ) ja kolmantena ( $p<.05$ ) päivänä mittauspäivän jälkeen pienempi kuin rasituskokeessa ennen harjoittelujaksoa.



KUVA 20. Nuorten (N35) ja vanhojen (N65) naisten subjektiivinen kivun kokeminen asteikolla 0 – 10 ennen 21 viikon voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen (\*:llä merkitty eroaa tilastollisesti merkitsevästi mittausta edeltävän päivän arvosta, #:lla merkitty eroaa tilastollisesti merkitsevästi vastaavasta arvosta ennen voimaharjoittelujaksoa).

## 12 POHDINTA

Alaraajojen konsentrisen ja isometrisen maksimivoima kasvoivat huomattavasti 21 viikon voimaharjoittelun seurauksena sekä nuorilla että vanhoilla naisilla. Yksittäinen voimaharjoitus aiheutti voiman ja voimantuottonopeuden laskun akuutin väsymysvaikutuksen takia. Veren laktaattipitoisuus nousi molemmilla ryhmillä huomattavasti kummassakin rasituskokeessa. Seerumin hormonipitoisuuksien perustasoissa ei tapahtunut suuria muutoksia kummallakaan ryhmällä. Akuutti rasituskoke aiheutti merkitseviä muutoksia ainoastaan kasvuhormonin osalta. Nuorilla naisilla seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousu oli suurempi kuin vanhoilla naisilla, mutta vanhoilla naisilla kasvuhormonipitoisuus pysyi kohonneena toisessa rasituskokeessa kauemmin kuin ensimmäisessä.

Alaraajojen isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman lisääntyminen voimaharjoittelujakson seurauksena oli oletettavaa koehenkilöiden alhaisen lähtötason takia, koska he eivät olleet tehneet aikaisemmin voimaharjoittelua. Isometrisen maksimivoima kasvoi nuorilla naisilla 20,6 % ja vanhoilla 36,1 %. Ennen voimaharjoittelujaksoa mitattua alaraajojen isometristä maksimivoimaa voidaan pitää todellisena maksimituloksena, koska alkumittaus suoritettiin kahdesti. Nuoret naiset olivat vanhoja naisia voimakkaampia ennen voimaharjoittelun aloittamista, mutta eivät enää harjoittelujakson jälkeen, joskaan ero voiman lisääntymisessä ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Voiman kasvu saattoi johtua hermostollisista ja hypertrofisista tekijöistä. Lihashypertrofiaan viittaa koehenkilöiden kehon rasvamäärän väheneminen painon pysyessä muuttumattomana. Lihasmassa ja rasvaton kehonpaino ovat saattaneet lisääntyä harjoittelujakson aikana. Hermoston parantuneesta toiminnasta on osoituksena rasituskokeen alussa mitatun vasemman jalan vastus medialiksen maksimaalisen iEMG:n sekä vastus medialiksen ja vastus lateraliksen keskiarvoistetun iEMG:n lisääntyminen isometrisessä suorituksessa nuorilla ja vanhoilla naisilla voimaharjoittelun seurauksena. Hermotuksen paraneminen johtunee keskushermoston parantuneesta kyvystä aktivoida harjoitettuja lihaksia aikaisempaa enemmän ja motoristen yksiköiden synkronisaation lisääntymisestä (Häkkinen 1989; Häkkinen ym. 1989). Aloittelijat eivät usein pysty ennen harjoittelua aktivoimaan lihaksiin täydellisesti (Sale 1986), joten harjoittelun myötä toiminnallinen kapasiteetti parani.



Hermoston parantunut toiminta vastaa yleensä voimaharjoittelun alkuvaiheen suuresta voimanlisäyksestä. Häkkisen ym. (1990) tutkimuksessa naisten vastus lateraaliksen ja vastus medialiksen hermostollinen aktivaatio lisääntyi ensimmäisten kahdeksan harjoitusviikon aikana. Myös nyt hermostolliset muutokset ovat saattaneet olla suurimmillaan jo muutama ensimmäisen harjoitusviikon jälkeen ja laskea huippuarvosta jonkin verran harjoitusjakson loppua kohden. Myös oikean jalan agonistilihasten hermotus on voinut parantua harjoitusjakson alussa ja lähteä laskuun harjoittelun edetessä.

Voimantuottonopeus ja 500 millisekunnin aikana tuotettu voima eivät kasvaneet voimaharjoittelujakson seurauksena kummallakaan ryhmällä, vaikka kahdeksannesta harjoitusviikosta lähtien harjoitteluun kuului myös nopeusvoimatyyppistä harjoittelua. Maksimivoiman ja nopeusvoiman paremmalla jaksotuksella voimantuottonopeus olisi saattanut parantua, mutta harjoittelulla tähdättiin nimenomaan maksimivoiman kasvuun ja lihashypertrofiaan.

Rasituskoee aiheutti akuutin väsymysvaikutuksen isometrisen maksimivoiman, 500 ms:n aikana tuotetun voiman ja voimantuottonopeuden laskun myötä. Myös veren laktaattipitoisuus kohosi merkittävästi eli koehenkilöt joutuivat turvautumaan anaerobiseen energiantuottoon rasituksen aikana. Paljon toistoja ja lyhyitä palautumistaukoja sisältävässä hypertrofistyyppisessä voimaharjoituksessa elimistön laktattipitoisuuden on havaittakin nousevan huomattavasti (Tesch ym. 1986; Häkkinen 1994; Häkkinen ym. 2000). Vanhoilla naisilla laktaattipitoisuuden nousu oli samansuuruinen kuin nuorilla naisilla. Motivoituneiden vanhojen ihmisten laktaatin huippuarvot onkin todettu yhtä suuriksi kuin nuorilla ihmisillä (Sidney & Shephard 1977).

Akuutin voimaharjoituksen aiheuttama kokonaisrasitus oli riittävä aiheuttamaan väsymystä ja maksimivoiman laskun sekä maitohapon kertymisen verenkiertoon. Veren laktaattipitoisuus pysyi kohonneena nuorilla naisilla 30 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen. Vanhoilla naisilla laktaattipitoisuus pysyi kohonneena ensimmäisessä rasituskokeessa 15 minuuttia ja toisessa 30 minuuttia.

Maksimivoiman lasku oli nuorilla naisilla ennen voimaharjoittelua suoritetussa rasituskokeessa suurempi kuin vanhoilla naisilla. Vanhoilla naisilla maksimivoiman absoluuttinen lasku oli suurempi harjoittelujakson jälkeen kuin ennen sitä. Vanhat naiset pystyivät voimaharjoittelujakson jälkeen kuormittamaan lihaksiaan enemmän ja saivat itsestään enemmän irti kuin ennen harjoittelua, mistä kertoo myös pidempään koholla ollut veren laktaattipitoisuus.

Hermostollisen kapasiteetin lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen aktivointiin on aikaisemmissa tutkimuksissa (Häkkinen ym. 1988, 1988b; Häkkinen 1993 & 1994) todettu laskevan maksimivoimaharjoituksen aiheuttaman väsymysvaikutuksen takia. Nyt lihasten maksimaalisessa iEMG:ssä ei tapahtunut heikkenemistä kummassakaan rasituskokeessa nuorilla eikä vanhoilla naisilla. Syynä tähän saattaa olla rasituskokeen kuormitustyyppi, joka oli laktinen hypertrofisessa harjoittelussa käytetty ja hormonimuutoksiin tähtäävä, eikä niinkään hermostollistyyppinen kuormitus, jossa tuotetaan suuria voimia, mutta harjoituksen kokonaistyömäärä on alhaisempi kuin hypertrofisessa harjoituksessa.

Ensimmäisessä rasituskokeessa vanhojen naisten oikean jalan vastus lateraaliksen maksimaalinen iEMG oli suurempi rasituskokeen lopussa kuin sen alussa. Sama suuntaus oli myös vastus medialiksen sekä vastus medialiksen ja vastus lateraaliksen keskiarvoistetun iEMG:n kohdalla oikeassa jalassa sekä tutkittujen lihasten kohdalla vasemmassa jalassa. Myös toisessa rasituskokeessa lihasten maksimaalisen iEMG:n suuntaus oli kasvava harjoituksen loppua kohden. Syynä iEMG:n lisääntymiseen saattaa olla, että vanhat naiset eivät pysty lihasten maksimaaliseen hermotukseen voimaharjoituksen alussa, kun lihakset eivät ole lämmenneet riittävästi. Nuorilla naisilla tutkittujen lihasten iEMG:n suuntaus oli laskeva eli he kykenivät vanhoja naisia paremmin hermottamaan lihaksiaan myös voimaharjoituksen alussa.

Seerumin kasvuhormonipitoisuuden perustasossa ei tapahtunut muutoksia 21 viikon voimaharjoittelujakson aikana nuorilla eikä vanhoilla naisilla. Muutoksia ei ole havaittu suunnilleen samanpituisen voimaharjoittelujakson seurauksena useissa muissakaan tutkimuksissa nuorilla (mm. Craig ym. 1989; Nicklas ym. 1995; Kraemer ym. 1999) eikä vanhoilla (mm. Pyka ym. 1994; Häkkinen ym. 2000) ihmisillä. Muutamien viikkojen voimaharjoittelu ei yleensä aiheuta muutoksia elimistön hormonitasapainossa (Häkkinen ym. 1985).

Seerumin vapaan testosteronin ja kortisolin pitoisuuksien perustasoissa ei tapahtunut muutoksia voimaharjoittelujakson aikana nuorilla naisilla, mutta seerumin testosteronin pitoisuus oli jakson lopussa alhaisempi kuin sen alussa. Testosteronipitoisuuden lasku johtunee testosteronin lisääntyneestä käytöstä tai sen vähentyneestä tuotannosta (Häkkinen ym. 1987 & 1988). Aikaisemmissa tutkimuksissa (Westerlind ym. 1987; Häkkinen ym. 1989; Häkkinen ym. 1992; Bell ym. 1997) lyhyemmät voimaharjoittelujaksot (3 - 16 vk) eivät ole aiheuttaneet muutoksia naisten seerumin testosteronipitoisuuden perustasossa. Nuorille naisille 21 viikon harjoittelujakso saattoi muodostua lopussa liian kuluttavaksi ja anabolial/katabolia-tasapaino järkkäyi. Palautuminen on myös tärkeää elimistön testosteronipitoisuuden kannalta (Häkkinen ym. 1987 & 1988) - nuoret naiset eivät ehkä ehtineet palautua riittävästi harjoituskertojen välissä ja testosteronipitoisuus lähti laskuun.

Vanhoilla naisilla seerumin vapaan testosteronin pitoisuus oli 14 viikon harjoittelun jälkeen alhaisempi kuin ennen harjoittelua, mutta testosteronin perustasossa ei tapahtunut muutoksia harjoittelujakson aikana. Vapaan testosteronin pitoisuuden laskuun saattaa olla syynä lisääntynyt hormonin kulutus tai SHBG:n lisääntyminen elimistössä (Häkkinen ym. 1987 & 1988). Hormonin pitoisuus palautui kuitenkin lähes harjoittelua edeltävälle tasolle harjoitusjakson lopussa.

Seerumin kortisolipitoisuus oli vanhoilla naisilla seitsemän viikon harjoittelun jälkeen alhaisempi kuin ennen harjoittelua. Kortisolipitoisuuden lasku saattaa johtua fyysisen rasituksen aiheuttamasta aivolisäkkeen kortisolin eritystä kontrolloivan kortikotropiinin aktiivisuuden vähenemisestä (Hickson & Marone 1993). Kortisolin lasku johti väliaikaiseen elimistön kataboliatilan vähenemiseen ja anaboliatilan kasvuun.

Seerumin kasvuhormonipitoisuus lisääntyi akuutissa rasituskokeessa nuorilla ja vanhoilla naisilla ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Nuorilla naisilla nousu oli molemmissa rasituskokeissa suurempi kuin vanhoilla naisilla. Ensimmäisessä rasituskokeessa vanhojen naisten seerumin kasvuhormonipitoisuus heti rasituksen jälkeen ei kuitenkaan eronnut merkittävästi kahden viikon sisällä mitatusta kontrolliarvosta, joten nousun syynä saattaa olla kasvuhormonipitoisuuden vuorokausivaihtelu.

Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa samantyyppinen kuormitus aiheutti 40-vuotiaiden naisten seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun ennen kuuden kuukauden voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen, mutta 70-vuotiailla naisilla ei tapahtunut kasvuhormonipitoisuuden muutoksia kummallakaan kerralla. Myös Craig ym. (1989) havaitsivat ikääntyneillä miehillä pienemmän seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun kuin nuorilla miehillä hieman pitkäkestoisemman ja useampaa lihasryhmää kuormittavan voimaharjoituksen seurauksena.

Syynä ikääntyneiden ihmisten pienempään seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousuun voi olla, että vanhemmat ihmiset eivät liikunta-aktiivisuuden intensiteetin vähenemisestä ja tästä mahdollisesti aiheutuvasta lihasheikkoudesta johtuen pysty yhtä aggressiiviseen lihasten kuormittamiseen kuin nuoret. Myös hypotalamuksen somatostatiinipitoisuuden nousu vähentää kasvuhormonin erittymistä ikääntyneillä ihmisillä (Borer ym. 1986).

Anaerobinen aineenvaihdunta ja elimistön happamuuden lisääntyminen vaikuttavat kasvuhormonin vapautumiseen (Kraemer ym. 1993; Gordon ym. 1994). Kummassakin rasisutuskokeessa nuorten ja vanhojen naisten veren laktaattipitoisuus nousi huomattavasti. Vanhoilla naisilla voimaharjoittelujaksoa edeltävässä rasisutuskokeessa kasvuhormonipitoisuuden absoluuttinen nousu korreloi laktaattipitoisuuden absoluuttisen nousun kanssa. Toisesakin rasisutuskokeessa samaan aikaan (ennen rasisutusta sekä 15 ja 30 minuuttia rasisutuksen päättymisen jälkeen) mitatut seerumin kasvuhormonipitoisuus ja veren laktaattipitoisuus korreloivat keskenään vanhoilla naisilla. Kasvuhormoni- ja laktaattipitoisuuden korrelaatio on havaittu myös muissa tutkimuksissa (Van Helder ym. 1984; Kraemer ym. 1993).

Nuorten naisten seerumin kasvuhormonipitoisuus pysyi kohonneena kummassakin rasisutuskokeessa 15 minuuttia harjoituksen päättymisen jälkeen. Vanhoilla naisilla kasvuhormonipitoisuus oli koholla jälkimmäisessä rasisutuskokeessa 30 minuuttia harjoituksen päättymisestä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu samanlaisia tuloksia (mm. Kraemer ym. 1993 & 1999). Koska vanhoilla naisilla kasvuhormonipitoisuus pysyi toisessa rasisutuskokeessa kauemmin kohonneena kuin ensimmäisessä, he pystyivät kenties voimaharjoittelujakson jälkeen kuormittamaan lihaksiaan enemmän kuin ennen jaksoa. Elimistön hormonaalinen säätelyjärjestelmä mukautuu voimaharjoitusärsykkeeseen myös ikääntyneillä ihmisillä.

Akuutti rasituskoe ei aiheuttanut muutoksia seerumin kortisolipitoisuudessa ennen voimaharjoittelujaksoa eikä sen jälkeen nuorilla eikä vanhoilla naisilla. Kraemerin ym. (1993) tutkimuksessa kokonaistyömäärältään ja intensiteetiltään suurempi hypertrofistyyppinen voimaharjoitus aiheutti naisten seerumin kortisolipitoisuuden nousun. Nyt kuormituksen intensiteetti ei ehkä ollut riittävä, jotta kortisolin tuotanto olisi ylittänyt sen puhdistumisen (Davies & Few 1973). Vanhoilla naisilla seerumin yksilöllinen kortisolipitoisuus heti rasituskokeen päätyttyä korreloi samaan aikaan mitatun veren laktattipitoisuuden kanssa. Myös Cummingin ym. (1987) tutkimuksessa laktattipitoisuuden nousu oli yhteydessä kortisolipitoisuuden nousuun nuorilla naisilla.

Voimaharjoittelujakson jälkeisessä rasituskokeessa nuorten naisten seerumin testosteronipitoisuus ja vanhojen naisten seerumin vapaan testosteronin pitoisuus olivat heti harjoituksen päätyttyä korkeammat kuin ennen rasitusta. Kohonneet hormonipitoisuudet eivät kuitenkaan poikenneet kahden viikon sisällä mitatuista kontrolliarvoista, joten nousun syynä saattaa olla hormonipitoisuuksien normaali vuorokausivaihtelu, eikä välttämättä todellinen harjoitusvaikutus.

Useimmissa tutkimuksissa (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983; Westerlind ym. 1987; Häkinen ym. 1990; Kraemer ym. 1991) voimaharjoituksen ei ole havaittu aiheuttavan akuutteja muutoksia naisten seerumin testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuuksissa. Tämä johtunee osaltaan naisten alhaisesta elimistön testosteronipitoisuudesta. Rasituskokeen keston tulisi olla mahdollisesti myös pidempi (30 - 60 minuuttia) aiheuttaakseen seerumin testosteronipitoisuuden nousun (Fahey ym. 1976; Weiss ym. 1983).

Akuutti rasituskoe aiheutti lihaskipuja sekä ennen voimaharjoittelujaksoa että sen jälkeen. Pahimmat kipualueet olivat reisissä ja pakaroissa eli juuri rasituskokeessa eniten työskennelleissä lihaksissa. Vanhat naiset tunsivat lihaskipuja useampana päivänä mittauspäivän jälkeen kuin nuoret naiset. Lihaskivut olivat suurimmillaan kummallakin ryhmällä ensimmäisenä päivänä mittauspäivän jälkeen. Viivästynyt lihaskipu ilmenee 24 - 48 tuntia harjoituksen jälkeen ja voi kestää useita vuorokausia (Miles & Clarkson 1994; Vecchiet ym. 1999). Muissakin tutkimuksissa (Tiidus & Ianuzzo 1983; Byrnes ym. 1985) lihaskivun voimakkuus on ollut suurimmillaan noin 24 tuntia alaraajojen voimaharjoituksen jälkeen.

Voimaharjoittelujakson jälkeen rasituskokeesta aiheutuneet lihaskivut olivat vanhoilla naisilla pienemmät kuin ennen harjoittelujaksoa ja kumpikin ryhmä tunsu lihaskipuja kauemmin ensimmäisen kuin toisen rasituskokeen jälkeen. Lihavaurioita tapahtui siis vähemmän, kun lihakset olivat tottuneet kovaan kuormitukseen. Harjoittelun onkin todettu vähentävän lihaskivun ja -vaurioiden määrää ja kestoja (Byrnes & Clarkson 1986; Appell ym. 1992; Vecchiet ym. 1999).

Yhteenvedona voidaan todeta, että 21 viikon voimaharjoittelujakso sai aikaan sekä isometrisen että konsentrisen maksimivoiman huomattavan kehittymisen nuorilla ja vanhoilla naisilla, jotka eivät olleet aikaisemmin tehneet säännöllistä voimaharjoittelua. Voiman kasvu ei näyttäisi olevan ainakaan aloittelijoilla yhteydessä seerumin androgeenitasoon, eivätkä seerumin androgeenihormonien pitoisuuksien perustasot muuttuneet systemaattisesti voimaharjoittelujakson aikana. Akuutin rasituskokeen kuormitusintensiiviteetti ja -määrä olivat riittäviä aiheuttamaan maksimivoiman laskun ja seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousun, mutta testosteronimuutosten aikaansaamiseksi olisi saatettu tarvita pidempi rasitusaika. Vanhat naiset pystyivät voimaharjoittelujakson jälkeen aggressiivisempaan lihasten kuormittamiseen kuin ennen jaksoa, mistä on osoituksena suurempi maksimivoiman lasku sekä seerumin kasvuhormonipitoisuuden ja veren laktaattipitoisuuden systemaattinen nousu jälkimmäisessä rasituskokeessa. Kasvuhormonipitoisuuden suurempi nousu kuvaa elimistön endokriinijärjestelmän mukautumista voimaharjoitusärsykkeeseen. Hormonaalisen säätelyjärjestelmän muutos on siis mahdollinen ikääntyneilläkin ihmisillä.

## LÄHTEET

- Alén, M., Pakarinen, A., Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1988. Responses of serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *International Journal of Sports Medicine* 9, 229 - 233.
- Aniansson, A., Grimby, G., Hedberg, M. & Krotkiewski, M. 1981. Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in elderly men and women. *Clinical Physiology* 1, 73 - 86.
- Aniansson, A., Ljungberg, P., Rundgren, A. & Wetterqvist, H. 1984. Effects of a training programme for pensioners on condition and muscular strength. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 3, 3, 229 - 241.
- Appell, H., Soares, J. & Duarte, J. 1992. Exercise, muscle damage and fatigue. *Sports Medicine* 13, 2, 108 - 115.
- Basmajian, J. & De Luca, C. 1985. *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Bell, G., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I. & Art Quinney, 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.
- Borer, K., Nicoski, D. & Owens, V. 1986. Alteration of pulsatile growth hormone secretion by growth-inducing exercise: involvement of endogenous opiates and somatostatin. *Endocrinology* 118, 844 - 850.
- Brown, C. & Wilmore, J. 1974. The effects of maximal resistance training on strength and body composition of women athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 6, 174 - 177.
- Byrnes, W. & Clarkson, P. 1986. Delayed onset muscle soreness and training. *Clinics in Sports Medicine* 5, 3, 605 - 614.
- Byrnes, W., Clarkson, P. & Katch, F. 1985. Muscle soreness following resistance exercise with and without eccentric contractions. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56, 3, 283 - 285.

- Charette, S., McEvoy, L., Pyka, G., Snow-Harter, C., Guido, D., Wiswell, R. & Marcus, R. 1991. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *Journal of Applied Physiology* 70, 5, 1912 - 1916.
- Clair, P., Claustrat, B., Jordan, D., Dechaud, H. & Sassolas, G. 1985. Daily variations of plasma sex hormone-binding globulin binding capacity, testosterone and luteinizing hormone concentrations in healthy rested adult males. *Hormone Research* 21, 220 - 223.
- Craig, B., Brown, R. & Everhart, J. 1989. Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mechanisms of Ageing and Development* 49, 159 - 169.
- Cumming, D., Wall, S., Galbraith, M. & Belcastro, A. 1987. Reproductive hormone responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19, 3, 234 - 238.
- Cureton, K., Collins, M., Hill, D. & McElhannon, F. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19, 338 - 344.
- Davies, C. & Few, J. 1973. Effects of exercise on adrenocortical function. *Journal of Applied Physiology* 35, 6, 887 - 891.
- Durnin, J. & Rahaman, M. 1967. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition* 21, 3, 681 - 689.
- Ellfolk, M., Heikkilä, R., Huotari, K., Kaskela, J., Pitkänen, E. & Tunninen, R. (toim.) 1993. *Laboratorio Käsikirja '94 - '95. Yhtyneet Laboratoriot Oy. Keuruu: Otava.*
- Essén-Gustavsson, B. & Borges, O. 1986. Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiologica Scandinavica* 126, 107 - 114.
- Fahey, T., Rolph, R., Mounsmee, P., Nagel, J. & Mortara, S. 1976. Serum testosterone, body composition, and strength of young adults. *Medicine and Science in Sports* 8, 1, 31 - 34.
- Fitzgerald, G., Rothstein, J., Mayhew, T. & Lamb, R. 1991. Exercise-induced muscle soreness after concentric and eccentric isokinetic contractions. *Physical Therapy* 71, 7, 505 - 513.



- Follenius, M. & Brandenberger, G. 1986. Plasma free cortisol during secretory episodes. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 62, 609.
- Frontera, W. & Meredith, C. 1989. Strength training in the elderly. Teoksessa R. & S. Harris (toim.) *Physical activity, aging and sports. Volume I: Scientific and medical research.* Albany, New York, 319 - 331.
- Frontera, W., Meredith, C., O'Reilly, K., Knuttgen, H. & Evans, W. 1988. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology* 64, 3, 1038 - 1044.
- Fry, A., Kraemer, W., Stone, M., Warren, B., Fleck, S., Kearney, J. & Gordon, S. 1994. Endocrine responses to overreaching before and after 1 year of weightlifting. *Canadian Journal of Applied Physiology* 19, 400 - 410.
- Geisler, P., Hackney, A., McMurray, R. & Ainsworth, B. 1996. Changes in tissue degradation markers and subjective reports of pain resulting from eccentric muscle contractions. *Biology of Sport* 13, 1, 13 - 20.
- Gleeson, M., Almey, J., Brooks, S., Cave, R., Lewis, A. & Griffiths, H. 1995. Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 71, 2/3, 137 - 142.
- Gordon, S., Kraemer, W., Vos, N., Lynch, J. & Knuttgen, H. 1994. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 76, 821 - 829.
- Gotshalk, L., Loebel, C., Nindl, B., Putukian, M., Sebastianelli, W., Newton, R., Häkkinen, K. & Kraemer, W. 1997. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology* 22, 3, 244 - 255.
- Gray, A., Feldman, H., McKinlay, J. & Longcope, C. 1991. Age, disease, and changing sex hormone levels in middle-aged men: results of the Massachusetts male aging study. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 73, 1016 - 1025.
- Griggs, R., Kingston, W., Jozefowicz, R., Herr, B., Forbes, G. & Halliday, D. 1989. Effects of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *Journal of Applied Physiology* 66, 498 - 503.

- Grimby, G. 1988. Physical activity and effects of muscle training in the elderly. *Annals of Clinical Research* 20, 12, 62 - 66.
- Guezennec, Y., Leger, L., Lhoste, F., Aymonod, M. & Pesquies, P. 1986. Hormonal and metabolic response to weightlifting training sessions. *International Journal of Sports Medicine* 7, 100 - 105.
- Guyton, A.C. 1991. *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Heikkinen, E. 1989. *Medical and biological research - a global approach*. Teoksessa R. & S. Harris (toim.) *Physical activity, aging and sports*. Volume I: Scientific and medical research. Albany, New York, 145 - 150.
- Hickson, R. & Marone, J. 1993. Exercise and inhibition of glucocorticoid-induced muscle atrophy. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 21, 135 - 167.
- Houston, M., Froese, E., Valeriote, S., Green, H. & Ranney, D. 1983. Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 51, 25 - 35.
- Hurley, B., Redmond, R., Pratley, R., Treuth, M., Rogers, M. & Goldberg, A. 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. 1989. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 29, 9 - 26.
- Häkkinen, K. 1990. *Voimaharjoittelun perusteet: Vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Häkkinen, K. 1990b. Neuromuscular responses in male and female athletes to one strength training session. Abstract. XXIV FIMS World Congress of Sports Medicine, Amsterdam.
- Häkkinen, K. 1993. Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine* 14, 2, 53 - 59.
- Häkkinen, K. 1994. Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 34, 4, 205 - 214.

- Häkkinen, K., Alén, M. & Komi, P.V. 1985. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* 125, 573 - 585.
- Häkkinen & Häkkinen 1991. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different age. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 62, 6, 410 - 414.
- Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1985. Changes in electrical and mechanical behaviour of leg extensor muscles during heavy resistance strength training. *Scandinavian Journal of Sports Sciences* 7, 2, 55 - 64.
- Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1986. Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force- and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 55, 588 - 596.
- Häkkinen, K., Komi, P.V. & Alén, M. 1985b. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica* 125, 587 - 600.
- Häkkinen, K., Komi, P.V., Alén, M. & Kauhanen, H. 1987. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 56, 419 - 427.
- Häkkinen, K., Kraemer, W., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U. & Newton, R. 1996. Bilateral and unilateral neuromuscular function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women. *The Journals of Gerontology. A. Biological Sciences and Medical Sciences* 51, B21 - B29.
- 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. 1993b. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *Journal of Applied Physiology* 74, 2, 882 - 887.

- 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.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1995. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *International Journal of Sports Medicine* 16, 8, 507 - 513.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988. Daily hormonal and neuromuscular responses to intensive strength training in 1 week. *International Journal of Sports Medicine* 9, 422 - 428.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988b. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 57, 133 - 139.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988c. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology* 65, 6, 2406 - 2412.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M. & Komi, P.V. 1985c. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 53, 287 - 293.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A. & Kallinen, M. 1992. Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64, 106 - 111.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Komi, P.V., Ryushi, T. & Kauhanen, H. 1989. Neuromuscular adaptations and hormone balance in strength athletes, physically active males and females during intensive strength training. Teoksessa J. Gregor, R. Zernicke & W. Whiting (toim.) *The Proceedings of the XII International Congress of Biomechanics*. University of California, Los Angeles, 8 - 9.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W., Newton, R. & Alén, M. 2000. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *The Journals of Gerontology. A. Biological Sciences and Medical Sciences* 55, 2, B95 - 105.

- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kyröläinen, H., Cheng, S., Kim, D.H. & Komi P.V. 1990. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *International Journal of Sports Medicine* 11, 2, 91 - 98.
- Jensen, J., Oftebro, H., Breigan, B., Johnsson, A., Öhlin, K., Meen, H., Stromme, S. & Dahl, H. 1991. Comparison of changes in testosterone concentrations after strength and endurance exercise in well trained men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 63, 467 - 471.
- Johnson, C., Stone, M., Byrd, R. & Lopez, A. 1983. The response of serum lipids and plasma androgens to weight training exercise in sedentary males. *Journal of Sports Medicine* 23, 39 - 44.
- Karagiorgos, A., Garcia, J. & Brooks, G. 1979. Growth hormone response to continuous and intermittent exercise. *Medicine and Science in Sports* 11, 3, 302 - 307.
- Komi, P.V. & Viitasalo, J. 1977. Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions. *Acta Physiologica Scandinavica* 100, 246 - 254.
- Komi, P.V., Viitasalo, R., Rauramaa, R. & Vihko, V. 1978. Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 40, 45 - 55.
- Kraemer, R., Kilgore, J., Kraemer, G. & Castracane, V. 1992. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, 12, 1346 - 1352.
- Kraemer, W. 1992. Endocrine responses and adaptations to strength training. Teoksessa P.V. Komi (toim.) *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 291 - 304.
- Kraemer, W., Fleck, S., Dziados, J., Harman, E., Marchitelli, L., Gordon, S., Mello, R., Frykman, P. Koziriz, L. & Triplett, T. 1993. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *Journal of Applied Physiology* 75, 2, 594 - 604.
- Kraemer, W., Gordon, S., Fleck, S., Marchitelli, L., Mello, R., Dziados, J., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A. 1991. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine* 12, 2, 228 - 235.

- Kraemer, W., Häkkinen, K., Newton, R., Nindl, B., Volek, J., McCormick, M., Gotshalk, L., Gordon, S., Fleck, S., Campbell, W., Putukian, M. & Evans, W. 1999. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *Journal of Applied Physiology* 87, 3, 982 - 992.
- Kraemer, W., Staron, R., Hagerman, F., Hikida, R., Fry, A., Gordon, S., Nindl, B., Gotshalk, L., Volek, J., Marx, J., Newton, R. & Häkkinen, K. 1998. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 78, 1, 69 - 76.
- Krahenbuhl, G., Archer, P. & Pettit, L. 1978. Serum testosterone and adult female trainability. *Journal of Sports Medicine* 18, 359 - 364.
- Kroll, W., Clarkson, P., Kamen, G. & Lambert, J. 1980. Muscle fiber type composition and knee extension isometric strength fatigue patterns in power- and endurance-trained males. *Research Quarterly for Exercise and Sports* 51, 2, 323 - 333.
- Larsson, L. 1978. Morphological and functional characteristics of the aging skeletal muscle in man. *Acta Physiologica Scandinavica (suppl.)* 457, 1 - 36.
- Lexell, J., Henriksson-Larsén, K., Winblad, B. & Sjöström, M. 1983. Distribution of different fiber types in human skeletal muscles. Effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle and Nerve* 6, 588 - 595.
- Lu, S., Pang, C., Tung, Y., Huang, S., Chen, Y., Shih, H., Tsai, S., Lu, C., Wang, S., Chen, J., Chien, E., Chien, C. & Wang, P. 1997. Lactate and the effects of exercise on testosterone secretion: evidence for the involvement of a cAMP mediated mechanism. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 1048 - 1054.
- MacDougall, J., Sale, D., Elder, G. & Sutton, J. 1976. Ultrastructural properties of human skeletal muscle following heavy resistance training and immobilization. *Medicine and Science in Sports (abstract)* 8, 1, 72.
- McCall, G., Byrnes, W., Fleck, S., Dickinson, A. & Kraemer, W. 1999. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24, 1, 96 - 107.
- Miles, M. & Clarkson, P. 1994. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 34, 3, 203 - 216.
- Mooradian, A., Morley, J. & Korenman, S. 1987. Biological actions of androgens. *Endocrine Reviews* 8, 1, 1 - 19.

- Moritani, T. & DeVries, H. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58, 3, 115 - 130.
- Moritani, T. & DeVries, H. 1980. Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *Journal of Gerontology* 35, 5, 672 - 682.
- Mulligan, S., Fleck, S., Gordon, S., Koziris, L., Triplett-McBride, N. & Kraemer, W. 1996. Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10, 4, 256 - 262.
- Nankin, H. & Calkins, J. 1986. Decreased bioavailable testosterone in aging normal and impotent men. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 63, 1418 - 1420.
- Neary, J., Wheeler, G., MacLean, I., Cumming, D. & Quinney, H. 1994. Urinary free cortisol as an indicator of exercise training stress. *Clinical Journal of Sports Medicine* 4, 3, 160 - 165.
- Newham, D. 1988. The consequences of eccentric contractions and their relationship to delayed onset muscle pain. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 57, 3, 353 - 359.
- Nicklas, B., Ryan, A., Treuth, M., Harman, S., Blackman, M., Hurley, B. & Rogers, M. 1995. Testosterone, growth hormone and IGF-I responses to acute and chronic resistive exercise in men aged 55 - 70 years. *International Journal of Sports Medicine* 16, 7, 445 - 450.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 1991. *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. Porvoo: WSOY.
- Novak, L. 1972. Aging, total body potassium, fat-free mass, and cell mass in males and females between ages 18 and 85 years. *Journals of Gerontology* 27, 4, 438 - 443.
- Ostrowski, K., Wilson, G., Weatherby, R., Murphy, P. & Lyttle, A. 1997. The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11, 1, 148 - 154.
- Pyka, G., Taaffe, D. & Marcus, R. 1994. Effect of a sustained program of resistance training on the acute growth hormone response to resistance exercise in older adults. *Hormone and Metabolic Research* 26, 330 - 333.

- Pyka, G., Wiswell, R. & Marcus, R. 1992. Age-dependent effect of resistance exercise on growth hormone secretion in people. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 75, 404 - 407.
- Roy, M., Lagassé, P., Maléza, G. & Bouchard, C. 1984. Changes in alphanotoneuron excitability following isokinetic training in sedentary females and males. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences* 9, 4, 20P.
- Rudman, D., Kutner, M. & Rogers, M. 1981. Impaired growth hormone secretion in the adult population. *Journal of Clinical Investigation* 67, 1361 - 1369.
- Ryushi, T., Häkkinen, K., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988. Muscle fiber characteristics, muscle cross-sectional area and force production in strength athletes, physically active males and females. *Scandinavian Journal of Sports Sciences* 10, 1, 7 - 15.
- Sale, D. 1986. Neural adaptation in strength and power training. Teoksessa N. Jones, N. McCartney & A. McComas (toim.) *Human muscle power*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers Inc, 289 - 307.
- Saure, A. 1991. *Nainen ja hormonit*. Keuruu: Otava.
- Shangold, M. 1984. Exercise and the adult female: Hormonal and endocrine effects. Teoksessa R. Terjung (toim.) *Exercise and sport sciences reviews*, volume 12. USA: The Collamore Press, 53 - 79.
- Shephard, R. 1978. *Physical activity and aging*. London: Croom Helm.
- Shephard, R. 1986. Physiological aspects of sport and physical activity in the middle and later years of life. Teoksessa B. McPherson (toim.) *Sport and aging*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 221 - 232.
- Shephard, R. 1989. The impact of aging on physical and sports performance. Teoksessa R. & S. Harris (toim.) *Physical activity, aging and sports*. Volume I: Scientific and medical research. Albany, New York, 189 - 200.
- Sidney, K. & Shephard, R. 1977. Maximum and submaximum exercise tests in men and women in the seventh, eight, and ninth decades of life. *Journal of Applied Physiology* 43, 2, 280 - 287.
- Staron, R., Malicky, E., Leonardi, M., Falkel, J., Hagerman, F. & Dudley, G. 1990. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 60, 1, 71 - 79.



- Stones, M. & Kozma, A. 1982. Sex differences in changes with age in record running performances. *Canadian Journal of Aging* 1, 12 – 16.
- Stull, G. & Clarke, D. 1971. Patterns of recovery following isometric and isotonic strength decrement. *Medicine and Science in Sports* 3, 3, 135 - 139.
- Sukop, J. & Nelson, R. 1974. Effects of isometrical training on the force-time characteristics of muscle contractions. Teoksessa R. Nelson & C. Morehouse (toim.) *Biomechanics IV*. Baltimore: University Park Press, 440 - 447.
- Sutton, J. & Lazarus, L. 1976. Growth hormone in exercise: comparison of physiological and pharmacological stimuli. *Journal of Applied Physiology* 41, 523 - 527.
- Tesch, P., Colliander, E. & Kaiser, P. 1986. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 55, 362 - 366.
- Tesch, P. & Larsson, L. 1982. Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 49, 301 - 306.
- Thorstensson, A. & Karlsson, J. 1976. Fatiguability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica* 98, 318 - 322.
- Tiidus, P. & Ianuzzo, C. 1983. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15, 6, 461 - 465.
- Van Helder, W., Radomski, M. & Goode, R. 1984. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 53, 31 - 34.
- Vecchiet, L., Vecchiet, J., Bellomo, R. & Giamberardino, M. 1999. Muscle pain from physical exercise. *Journal of Musculoskeletal Pain* 7, 1/2, 43 - 53.
- Viitasalo, J., Era, P., Leskinen, A-L. & Heikkinen, E. 1985. Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31 - 35, 51 - 55 and 71 - 75 years. *Ergonomics* 28, 11, 1563 - 1574.
- Viitasalo, J. & Komi, P.V. 1978. Force-time characteristics and fibre composition in human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 40, 7 - 15.
- Viitasalo, J. & Komi, P.V. 1981. Effects of fatigue on isometric force- and relaxation-time characteristics in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica* 111, 87 - 95.

- Walsh, L. & Rutherford, O. 1996. Effects of isometric strength training on quadriceps muscle properties in over 55 year olds. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, 3, 219 - 223.
- Weg, R. 1975. Changing physiology of aging: Normal and pathological. Teoksessa D. Woodruff & J. Birren (toim.) *Aging: Scientific perspectives and social Issues*. New York: D. Van Nostrand Company, 229 – 256.
- Weiss, L., Cureton, K. & Thompson, F. 1983. Comparison of serum testosterone and androstenedione responses to weight lifting in men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50, 413 - 419.
- Wells, C. 1985. *Women, sport & performance: A physiological perspective*. Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc.
- Westerlind, K., Byrnes, W., Freedson, P. & Katch, F. 1987. Exercise and serum androgens in women. *The Physician and Sportsmedicine* 15, 5, 87 - 94.
- Wilmore, J. 1974. Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10 week training program. *Medicine and Science in Sports* 6, 133 – 138.
- Wisniewska, A., Zacharczuk-Kakietek, M. & Lukaszewska, J. 1984. Limited hormonal response to the strength training regardless the level of adaptation to weight-lifting. *Biology of Sport* 1, 1, 19 - 26.