

VOIMAHARJOITTELUN JA YHDISTETYN VOIMA-  
KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUS NELIPÄISEN  
REISILIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAAN JA  
VOIMANTUOTTOON 25-45 –VUOTIAILLA MIEHILLÄ

Eevaliisa Kaarakainen

Liikuntalääketieteen Pro gradu -tutkielma  
Kevät 2008  
Terveystieteiden laitos  
Jyväskylän yliopisto

## TIIVISTELMÄ

Voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima-kestävyysarjoittelun vaikutus nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alaan ja voimantuottoon 25-45-vuotiailla miehillä.

Eevaliisa Kaarakainen.

Jyväskylän yliopisto, liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta, terveystieteiden laitos, 2008. 50 sivua.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima-kestävyysarjoittelun vaikutusta nelipäisen reisilihaksen (QF) ja sen osien, vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), vastus intermedius (VI) ja rectus femoris (RF), poikkipinta-alaan ja voimantuottoon 25-45 -vuotiailla miehillä. Koehenkilöt harjoittelivat progressiivisesti 21 viikkoa. Voimaryhmä (V) (n=15, ikä 37,9±5,7) suoritti voimaharjoituksen säännöllisesti 2 kertaa viikossa ja voima-kestävyysryhmä (VK) (n=11, ikä 36,7±4,6) suoritti voimaharjoituksen kaksi kertaa viikossa ja kestävyysarjoituksen kaksi kertaa viikossa. Voimaharjoittelu suoritettiin ohjatusti kuntosalilla. Voimaharjoitteluohjelma sisälsi maksimivoimaharjoitteita ja räjähtävän voiman harjoitteita. Kestävyysarjoittelu suoritettiin ohjatusti kuntopyörällä ja omatoimisesti kävellen, pyöräillen, uiden tai hiihtäen. Ohjattu harjoitus suoritettiin peruskestävyysalueella ja aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välillä. Omatoiminen harjoitus suoritettiin peruskestävyysalueella. Koehenkilöiltä mitattiin QF:n poikkipinta-ala magneettikuvauksella. Poikkipinta-ala laskettiin 5/15-9/15 leikkeistä, jotka olivat määritelty suhteessa femurin pituuteen. Polven ojentajalihasten maksimaalista konsentrista bilateraalista voimantuottoa (1 RM) mitattiin myös.

V:n QF:n poikkipinta-ala kasvoi 5,8 % (p<0.001) ja VK:n 8,9 % (p<0.001) 21 viikon harjoitusjakson aikana. Ryhmien välillä ei tapahtunut merkitsevää muutosta (p=0.058). Myöskään QF:n osien poikkipinta-alassa ei ollut merkitsevää muutosta ryhmien välillä. VL:n poikkipinta-ala lisääntyi V:ssä 7,8 % (p<0.001), VM:n 5,3 % (p<0.001), VI:n 5,0 % (p<0.001) ja RF:n 3,0 % (ns.). Vastaavat arvot VK:ssä olivat 12,9 % (p<0.05), 8,5 % (p<0.05), 6,9 % (p<0.001) ja 4,1 % (ns.). Polven ojentajalihasten konsentrisessa bilateraalisessa voimantuotossa (1 RM) ei ollut merkitsevää muutosta ryhmien välillä. V:n 1 RM parani 25,5 % (p<0.001) ja VK:n 22,0 % (p<0.001).

Tulokset osoittavat, että aikaisemmin säännöllisesti harjoittelemattomien miesten on mahdollista lisätä QF-lihaksen poikkipinta-ala ja kehittää maksimivoimaa kaksi kertaa viikossa tapahtuvalla progressiivisella voimaharjoittelulla ja yhdistetyllä voima-kestävyysarjoittelulla, missä kahden voimaharjoituksen lisäksi tehdään kaksi kestävyysarjoitusta viikossa. Tulosten mukaan samanaikainen kaksi kertaa viikossa tapahtuva kestävyysarjoittelu ei vaikuta QF:n poikkipinta-alan kasvuun ja maksimivoiman kehitykseen. Tämän tutkimuksen perusteella aikaisemmin säännöllistä liikuntaa harrastamattomille keski-ikäisille miehille voidaan suositella voimaharjoittelua ja yhdistettyä voima-kestävyysarjoittelua lihaksen poikkipinta-alan ja voiman kasvattamiseksi.

**Avainsanat:** nelipäinen reisilihas, poikkipinta-ala, voimaharjoittelu, yhdistetty voima-kestävyysarjoittelu

## ABSTRACT

Strength training and concurrent strength and endurance training effects cross-sectional area of the quadriceps femoris muscle and force men aged 25-45 years.

Eevaliisa Kaarakainen.

University of Jyväskylä, Faculty of Sport and Health Science, Department of Health Science, 2008. 50 pages.

The purpose of this study was to investigate strength and concurrent strength and endurance training effects cross-sectional area of the quadriceps femoris muscle (QF) and its parts, vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), vastus intermedius (VI) and rectus femoris (RF) men aged 25-45 years. The subjects trained for 21 weeks with progressive training program. Strength group (S) (n=15, age 37,9±5,7) trained twice a week strength exercise and strength-endurance group (SE) (n=11, age 36,7±4,6) trained twice a week strength exercise and twice a week endurance exercise. All strength sessions were supervised and performed at gym. The resistance training program addressed both maximal and explosive strength components. Supervised endurance training performed by bicycling on an ergometer and self-driven training by walking, bicycling, swimming or cross-country skiing. Supervised training session was made under aerobic threshold level and between aerobic and anaerobic threshold level. Self-driven training session was made under aerobic threshold. Cross-sectional area of the QF was measured by magnetic resonance imaging. Cross-sectional area was calculated average throughout the lengths of 5/15–9/15 of the femur. Maximal concentric bilateral force (1 RM) of knee extensors was measured also.

Cross-sectional area of QF was not significant difference between groups ( $p=0.058$ ). Cross-sectional area of QF increased 5,8 % ( $p<0.001$ ) in S and 8,9 % ( $p<0.001$ ) in SE. Cross-sectional area of QF parts was not significant difference between groups. Cross-sectional area of VL increased in S 7,8 % ( $p<0.001$ ), VM 5,3 % ( $p<0.001$ ), VI 5,0 % ( $p<0.001$ ) and RF 3,0 % (ns.). In SE values were 12,9 % ( $p<0.05$ ), 8,5 % ( $p<0.05$ ), 6,9 % ( $p<0.001$ ) and 4,1 % (ns.). Maximal concentric force of knee extensors (1 RM) was not significant difference between groups. 1 RM increased 25,5 % ( $p<0.001$ ) in S and in SE 22,0 % ( $p<0.001$ ).

The present results indicate that men without training history could increase their cross-sectional area of QF and maximal concentric muscle strength by progressive strength training what was carried twice a week and concurrent strength and endurance training with two strength training and two endurance training session a week. The results indicate that concurrent endurance training with strength training does not effect increasing of cross-sectional area of QF and maximal muscle strength of knee extensors. Basis of this study strength and concurrent strength and endurance training can be recommended for middle-aged men without training history to increase cross-sectional area of muscle and to improve strength.

**Key words:** quadriceps femoris muscle, cross-sectional area, strength training, concurrent strength and endurance training

## SISÄLLYS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 JOHDANTO .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2 LIHAS .....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1 NELIPÄINEN REISILIHAS.....  | 3         |
| 2.2 RAKENNE JA OMINAISUUDET .....   | 3         |
| <b>3 LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAN JA VOIMAN MITTAAMINEN .....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1 LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAN MITTAAMINEN.....  | 7         |
| 3.2 LIHASVOIMAN MITTAAMINEN .....   | 8         |
| <b>4 HARJOITTELUN PERIAATTEET .....</b>   | <b>10</b> |
| 4.1 VOIMAHARJOITTELUN PERIAATTEET .....   | 10        |
| 4.2 KESTÄVYYSHARJOITTELUN PERIAATTEET .....   | 12        |
| 4.3 YHDISTETYN VOIMA-KESTÄVYYSHARJOITTELUN PERIAATTEET.....   | 13        |
| <b>5 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN POIKKIPINTA-<br/>ALAAN JA VOIMANTUOTTOON.....</b>                     | <b>15</b> |
| 5.1 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEEN .....   | 15        |
| 5.2 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAAN .....  | 16        |
| 5.3 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN VOIMANTUOTTOON .....   | 18        |
| <b>6 YHDISTETYN VOIMA-KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET<br/>LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAAN JA VOIMANTUOTTOON.....</b> | <b>21</b> |
| 6.1 YHDISTETYN VOIMA-KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN<br>POIKKIPINTA-ALAAN .....                        | 21        |
| 6.2 YHDISTETYN VOIMA-KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN<br>VOIMANTUOTTOON .....                           | 22        |
| <b>7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>8 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....</b>   | <b>27</b> |
| 8.1 KOEHENKILÖT .....   | 27        |
| 8.2 TUTKIMUSMENETELMÄT .....  | 27        |
| 8.3 HARJOITTELU.....  | 29        |
| 8.4 TILASTOLLISET ANALYYSIMENETELMÄT .....  | 31        |
| <b>9 TULOKSET .....</b>   | <b>32</b> |
| 9.1 ANTROPOMETRIA .....   | 32        |
| 9.2 NELIPÄISEN REISILHAKSEN JA SEN OSIEN POIKKIPINTA-ALAN KASVU .....   | 32        |
| 9.3 DYNAAMINEN BILATETERAALINEN ALARAAJOJEN OJENTAJIEN MAKSIMIVOIMA<br>.....                                      | 33        |
| <b>10 POHDINTA.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>LÄHTEET .....</b>  | <b>40</b> |



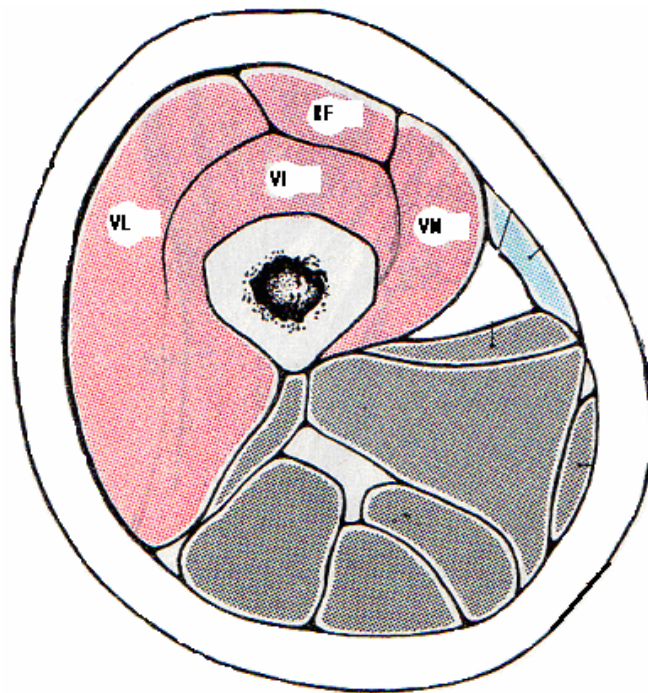
Voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima-kestävyys-harjoittelun vaikutusta lihaksen poikkipinta-alaan ja voimantuottoon on tärkeä tutkia, koska sen avulla voidaan selvittää esimerkiksi kuntoutuksessa ja urheiluvalmennuksessa käytettävät harjoitusmenetelmät. Tutkimusten avulla saadaan selville millä tavalla ja miten nopeasti eri harjoitusmenetelmät vaikuttavat lihaksen poikkipinta-alaan ja voimantuottoon ja tätä kautta suorituskykyyn. Iän myötä lihasatrofia kiihtyy, kun hormonaaliset tekijät vaikuttavat lihassolujen kokoon niitä pienentävästi. (Häkkinen 1990.) Lihastrofia voidaan vähentää lihasvoimaharjoittelulla ja näin ylläpitää toimintakykyä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten 21 viikon hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun vaikutukset eroavat 21 viikon yhdistetyn maksimivoima-kestävyys-harjoittelun vaikutuksista quadriceps femoris -lihaksen (QF) poikkipinta-alaan ja maksimaaliseen dynaamiseen bilateraaliseseen polven ojennusvoimaan 25-45 -vuotiailla aikaisemmin liikuntaa harrastamattomilla miehillä.

## 2 LIHAS

### 2.1 Nelipäinen reisilihas

Nelipäinen reisilihas eli quadriceps femoris –lihas (QF) koostuu neljästä eri osasta, jotka ovat vastus lateralis (VL), vastus intermedius (VI), vastus medialis (VM) ja rectus femoris (RF) (kuva 1). Osat kiinnittyvät yläosastaan suoliluun harjanteeseen tai reisiluuhun. Alaosassa lihaksen osat liittyvät yhdeksi jänneeksi ja kiinnittyvät polvilumpioon. QF:n pääasiallinen tehtävä on polven ojennus. (Kahle ym. 1992.)

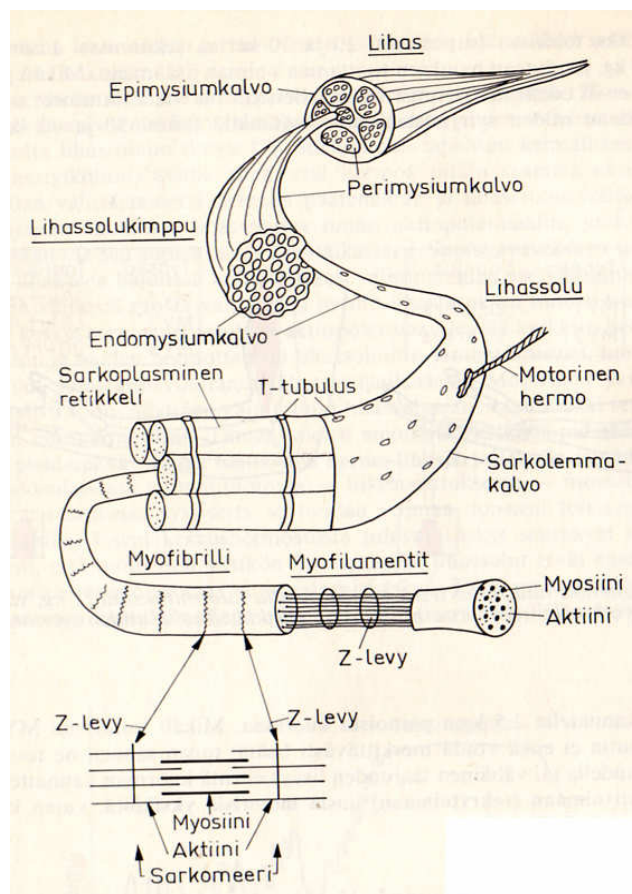


Kuva 1. Quadriceps femoris -lihaksen poikkileikkaus, VL = vastus lateralis, VI = vastus intermedius, VM = vastus medialis, RF = rectus femoris (Kahle ym. 1992, 245).

### 2.2 Rakenne ja ominaisuudet

Lihaskudosta on kolmea eri tyyppiä: sydänlihaskudosta, sileää lihaskudosta ja poikkijuovaista lihaskudosta. Luurankolihakset ovat poikkijuovaista lihaskudosta. Lihas koostuu lihassolukimpuista, jotka muodostuvat yksittäisistä lihassoluista. Lihassolut ovat liittyneet yhteen kollageenisidekudoksella. Tämä rakenne yhdistää lihassolut jänneen

kautta luuhun. Kooltaan lihassolu on 1-400 mm pitkä ja 10-60  $\mu\text{m}$  paksu. Myofilamentteja ympäröivä solukalvo, sarkolemmakalvo, yhdistää lihassoluja. Sarkolemmalla sisällä oleva neste on sarkoplasmaa. Lihassolussa on myös valkuaisainesauvoille supistumiskäskyn tuovia putkistoja, T-putkistoja ja sarkoplasminen retikkeli. Sarkoplasminen retikkeli kulkee pitkin solua ja ympäröi myofibrilleja. (Kuva 2.) (Häkkinen 1990, Guyton 1991, Enoka 1994.)



Kuva 2. Lihaksen rakenne (Viitasalo 1987, 34).

*Lihassolu* koostuu useista vierekkäisistä myofibrillisauvoista, jotka ovat pituussuunnassa jakautuneet lukuisiin peräkkäisiin sarkomeereihin. Jokainen myofibrilli on koostunut kimpusta myofilamentteja ja on halkaisijaltaan noin 1  $\mu\text{m}$ . Sarkomeeri on lihassolun supistuva yksikkö ja sisältää aktiinin ja myosiinin. Levossa sarkomeerin pituus on noin 2,5  $\mu\text{m}$ . Lihaksen lyheneminen tapahtuu, kun sarkomeerin supistuessa aktiini- ja myosiinifilamentit liukuvat toisensa ohi. Näiden välille muodostuu poikittaissilloja, joiden



muodostukseen käytetään energiaa. Lihaksen rentoutuessa poikittaissillat avautuvat ja lihas pitenee. (Kuva 2.) (Viitasalo 1987, Häkkinen 1990, Guyton 1991, Enoka 1994.)

*Motorinen yksikkö* on toiminnallisesti hermo-lihasjärjestelmän pienin osa. Yhteen motoriseen yksikköön kuuluvat hermosolu ja kaikki sen hermottamat lihassolut. Motorisen hermon hermottamien lihassolujen lukumäärä riippuu lihaksen toimintatarkoituksesta. Suurta voimantuottoa ja karkeaa motoriikkaa vaativissa lihaksissa yksi hermo hermottaa useita satoja tai jopa tuhansia lihassoluja. Mitä enemmän lihakselta vaaditaan hienomotoriikkaa, sitä vähemmän hermolla on hermotettavia lihassoluja. (Häkkinen 1990, Enoka 1994.) Ihmisen luurankolihasien lihassolut jaetaan niiden mekaanisen ja kemiallisen toiminnan perusteella hitaisiin (I-tyyppi, tooninen, punainen) ja nopeisiin (II-tyyppi, faasinen, vaalea) lihassoluihin. Nopeat lihassolut jaetaan vielä Ila- ja Ilb- tyyppisiin, joista Ilb-tyyppi on kaikkein nopein. Nopeiden lihassolujen muodostamat motoriset yksiköt tuottavat enemmän ja nopeammin voimaa ja relaksoituvat nopeammin kuin hitaiden lihassolujen muodostamat motoriset yksiköt. Ne myös väsyvät hitaita motorisia yksiköitä nopeammin. Ero erilaisten motoristen yksiköiden välillä johtuu hermotuksesta ja lihassolun supistuvien valkuaisaineiden määrästä. Nopeat motoriset yksiköt sisältävät enemmän valkuaisaineita ja ovat näin suurempia. Lihassolujakauma on erilainen eri lihaksissa. Asentoa ylläpitävät lihakset koostuvat pääasiassa hitaista lihassoluista ja lyhytkestoisissa nopeissa liikkeissä käytettävät lihakset nopeista lihassoluista. Saman lihaksen eri osien lihassolusuhteet voivat vaihdella. Eri henkilöiden välillä voi saman lihaksen solujakaumassa olla suuriakin eroja. Tämä suhde riippuu mm. perimästä ja harjoittelusta. (Viitasalo 1987, Häkkinen 1990, Enoka 1994.)

*Lihaksen tehtävä* on tuottaa voimaa. Voimantuoton seurauksena tapahtuu liikettä luissa, jänteissä ja ligamenteissa. Lihaksen tuottama voima muuttuu sen mukaan, kuinka paljon motorisia yksiköitä aktivoituu ja mikä on niiden syyntymistäajuus. Voima saavuttaa maksiminsa, kun kaikki motoriset yksiköt ovat aktivoituneet eikä aktivoitujen yksiköiden

syttymistiheyttä voida enää nostaa. Lihaksen voiman lisääminen on mahdollista ilman, että lihaksessa tapahtuu muutoksia. Voiman lisääminen ei kuitenkaan ole mahdollista ellei hermostossa tapahdu muutoksia. (Enoka 1994.)

*Lihakselle on ominaista ärtyvyys ja johtuvuus eli lihas reagoi saamaansa ärsykkeeseen ja aktiopotentiali lähtee etenemään solukalvolla. Aktiopotentiali on solukalvon jännitteen muutos, jonka ajaksi kalvopotentiali (lepopotentiali  $-60-90$  mV) pienenee. Tämä aika on hyvin lyhyt, noin sekunnin tuhannesosa. Aktiopotentiali etenee sähköisenä viestinä pitkin motorista hermoa ja siirtyy hermo-lihasliitoksen kautta välittäjäaineen (asetyylikoliini) avulla lihassoluun. (Nienstedt ym. 1987, Häkkinen 1990, Guyton 1991, Enoka 1994.)*

### 3 LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAN JA VOIMAN MITTAAMINEN

#### ***3.1 Lihaksen poikkipinta-alan mittaaminen***

Lihaksen hypertrofisia muutoksia voidaan mitata analysoimalla lihassolujen kokoa neulabiopsiamenetelmällä tai analysoimalla lihaksen poikkipinta-alaa magneettikuvan (magnetic resonance imaging eli MRI), tietokonetomografian (CT) tai ultraäänen (UÄ) avulla (Häkkinen 1994). Magneettikuvauksella lihaksistoa tutkittaessa arvioidaan lihaksen anatomista rakennetta, lihasvammoja ja lihassäikeiden rakennetta sekä jänteitä ja rustoja. Yksi MRI:n eduista verrattuna muihin kuvantamismenetelmiin on sen kehon pehmytkudosten kuvaustarkkuus, jonka vuoksi MRI onkin vakiinnuttamassa asemaansa kliinisten diagnoosien toteamisessa, vaikka on kallis muihin menetelmiin verrattuna. Magneettikuvauksen kontraindikaatioita ovat mm. raskauden alkuvaihe, jolloin magneettisäteily voi vahingoittaa sikiötä, sydämentahdistin ja metallit kehossa. (Adams ym. 1993, Enoka 1994, Welle ym. 1996, Westbrook & Kaut 1998, Magneettitutkimus 2002.)

Tietokonetomografia (CT) on röntgenkuvausmenetelmä, jolla saadaan poikkileikkauskuvia eri elimistä, kuten päästä, keuhkoista, vatsasta, selästä ja lihaksista. Kuvausmenetelmä perustuu röntgensäteisiin ja niitä vastaanottaviin ilmaisimiin, joiden ilmaisemista säteilyn absorptioeroista muodostetaan kuva tietokoneen avulla. (Tietokonetomografia 2002.)

Ultraäänitutkimuksella tutkitaan vatsan alueen elimiä, kuten maksaa, haimaa, munuaisia sekä kaulan aluetta, rintoja, kiveksiä, niveliä, lihaksia ja verisuonia. Ultraäänitutkimuksessa voidaan tarkastella elimien rakennetta, muotoa, kokoa ja liikettä. Ultraääni kulkee hyvin nesteessä, minkä vuoksi nestettä sisältävät elimet sekä niiden vieressä sijaitsevat elimet sopivat ultraäänellä tutkittaviksi. Luuston tutkimiseen ultraääni ei sovellu. (Ultraäänitutkimus 2002.)

Kehon eri osien ympärysmittoja voidaan mitata ihon pinnalta mittanauhalla. Mittanauhamittauksia käytetään arvioitaessa kehon koostumusta ja mittasuhteita. Näiden mittausten etuna on nopeus ja yksinkertaisuus. Mittanauhamittauksia käytetään erityisesti laihdutettaessa. Mittausten heikkoutena on se, että ne eivät anna tietoa kehon rasvattomasta massasta ja rasvan määrästä. Yleisimmin mitattuja paikkoja ovat vyötärö, lantio ja reidet. (Howley & Franks 1997.)

### **3.2 Lihassoiman mittaaminen**

Isometristä maksimaalista lihasvoimaa mitataan pääasiassa voimadynamometreillä. Isometrisillä testeillä voidaan mitata tietyn lihaksen tai lihasryhmän voimantuottoa tietyllä nivelkulmalla. Mittauksen aikana testattava tuottaa voimaa niin paljon kuin mahdollista liikkumatonta kohdetta vastaan. Isometrinen mittaus on varsin luotettava ja toistettava verrattuna dynaamiseen voiman mittaamiseen, koska siinä voidaan vakioida mittausmenetelmät suhteellisen luotettavasti. (Viitasalo 1987, McArdle ym. 1996, Ahtiainen & Häkkinen 2004.)

Isokineettinen voimanmittaus on konsentrinen mittaus, jossa mitattavan liikkeen nopeus on vakioitu. Dynaamisessa maksimivoiman mittauksessa voidaan määrittää kunkin nivelkulman maksimivoima erikseen. Voimamittaustuloksia tulkittaessa on huomioitava käytetty mittaustapa, liikenopeus ja nivelkulma. Isokineettistä mittausta käytetään erityisesti diagnostisena menetelmänä kliinisessä tarkoituksessa ja kuntoutuksessa. (Viitasalo 1987, Ahtiainen & Häkkinen 2004.)

Toinen konsentrinen voimanmittaustapa on isoinertiaalinen voimanmittaus, missä kuorma on vakio koko liikkeen ajan. Nivelkulman ja suoritusnopeuden muutokset liikkeen aikana saavat aikaan muutoksia lihaksen jännitystasossa. Isoinertiaalista voimantuottoa tarvitaan jokapäiväisessä liikkumisessa. Maksimaalista isoinertiaalista voimaa mitataan mm. yhden toiston maksimitestillä (1 RM = repetition maximum).

Tyypillisiä testiliikkeitä ovat mm. jalkaprässi, jalkakyykky ja penkkipunnerrus. (Ahtiainen & Häkkinen 2004.)

## 4 HARJOITTELUN PERIAATTEET

Harjoittelussa halutun ominaisuuden parantamisen edellytyksenä on, että harjoittelussa toteutuu *ylikuormittumisen (superkompensaatio)* periaate. Ylikuormittumisen edellytyksenä on harjoittelun frekvenssin, intensiteetin ja harjoituksen keston muuttaminen. (McArdle ym. 2007.) Voimaharjoittelussa superkompensaatio tarkoittaa sitä, että lihasta on kuormitettava suuremmalla kuormalla kuin aikaisemmin. Sopiva voimaharjoittelun frekvenssi on 2-3 harjoitusta viikossa. Tällöin saadaan aikaan riittävä harjoitusärsyke ja lihas ehtii palautua harjoituskertojen välillä. (Häkkinen 1990.) Lihaksen kehittymisen edellytyksenä on myös harjoittelun *nousujohteisuus*. Tämä tarkoittaa sitä, että harjoitusta muutetaan sitä mukaa kun kehittymistä tapahtuu. Voiman kehittyessä harjoituskuormaa on nostettava. Muutoksia saadaan aikaan myös nostamalla harjoituksen volyymia eli lisäämällä toisto- ja/tai sarjamääriä. (Fleck & Kraemer 1997, McArdle ym. 2007). Harjoittelun *spesifisyys* tarkoittaa sitä, että se ominaisuus kehittyy, mitä harjoitetaan. Harjoittelun *yksilöllisyys* tarkoittaa sitä, että saman harjoituksen vaikutukset ovat erilaiset eri henkilöillä. Harjoitusvasteeseen vaikuttaa harjoittelijan tausta: heikkokuntoisen kunto nousee nopeammin kuin hyväkuntoisen. Optimaalinen harjoitusvaste saavutetaan silloin kun harjoitusohjelma on suunniteltu harjoittelijan tausta, tarpeet ja harjoitusedellytykset huomioiden. *Käänteisyysperiaate* tarkoittaa, että säännöllisen harjoittelun loputtua kunto heikkenee. Kunto, joka on saavutettu useiden kuukausien aikana, heikkenee harjoittelun loputtua 1-2 viikossa. (McArdle ym. 2007.)

### 4.1 Voimaharjoittelun periaatteet

Voimaharjoittelu jaetaan kesto-, nopeus- ja maksimivoimaharjoitteluun. Kestovoimaharjoittelu jaetaan lihas- ja voimakestävyyteen, maksimivoimaharjoittelu hypertrofiseen- ja hermostollis-hypertrofiseen maksimivoimaan ja nopeusvoimaharjoittelu pikavoimaan- ja räjähtävään voimaan. (Viitasalo 1987, Häkkinen 1990.) Tässä tutkimuksessa

keskitytään pääasiassa hypertrofiseen maksimivoimaharjoitteluun ja jossain määrin myös räjähtävän voiman harjoitteluun.

*Kestovoima* on hermo-lihasjärjestelmän kykyä toistaa voimaa vaativaa suoritusta muutamia minuutteja. Kestovoimaharjoittelun tavoitteena on vaikuttaa lihaksen paikallisiin ja keskeisverenkierrollisiin tapahtumiin. Harjoituskuorma on yleensä 10-50 % maksimikuormasta. Huippu-urheilijoilla, joilla maitohapon sietokyky on hyvin kehittynyt, kuorma voi olla 60-80 % 1 RM:sta. Toistot ja sarjat määräytyvät halutun harjoitusvaikutuksen mukaan. (Viitasalo 1987.)

*Maksimivoimaharjoittelulla* voidaan saada aikaan joko hypertrofisia tai neuraalisia muutoksia. Maksimivoimaharjoittelussa toistojen (1-12) ja sarjojen (2-6) määrällä, palautusten kestolla (30 s – 5 min) sarjojen välissä sekä suoritusnopeudella on erityiset vaikutukset hermo-lihasjärjestelmään ja voimantuotto-ominaisuuksien kehittymiseen. Suuria kuormia käytettäessä liikenopeus on hidas, jotta hermosto ennättää rekrytoida mahdollisimman paljon motorisia yksiköitä, joihin harjoitusvaikutus on tarkoitus kohdistaa. Isometrisessä maksimivoimaharjoittelussa tulee käyttää suurta lihasjännitystä ja supistuksen keston on oltava pitkä, jotta voima kehittyisi. Supistuksen intensiteettiä ei kuitenkaan voi kompensoida supistusten kestolla ja lukumäärällä. Eksentrisen maksimivoimaharjoittelun vaikutukset ilmenevät parhaiten suurilla kuormilla, jotka ovat 100-130% konsentrisesta maksimivoimasta. (Viitasalo 1987, Häkkinen 1990.) Hypertrofisessa maksimivoimaharjoittelussa toistojen määrä on 6-12 ja sarjojen 3-5. Harjoituskuorma on 60-80 % 1 RM:sta. Hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun tavoitteena on lisätä lihassolujen poikkipinta-alaa ja tätä kautta lisätä lihaksen maksimaalista voimantuottoa. (Viitasalo 1987, Häkkinen 1990, Häkkinen 1994.)

*Nopeusvoimaharjoittelulla* kehitetään lihaksen hermostollista säätelyjärjestelmää niin, että hermo-lihasjärjestelmän motoristen yksiköiden maksimaalinen aktiivointi lyhyessä ja nopeassa suorituksessa paranee (Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997).

Nopeusvoimaharjoittelun hypertrofinen vaikutus lihakseen on vähäinen, koska yksittäisessä toistossa lihaksen supistumisaika on lyhyt, vaikkakin lihaksen hermostollinen aktivaatio on hyvin korkea. (Komi ym. 1982, Häkkinen 1989.) Lievää lihasmassan kasvua on havaittu nopeissa lihassoluissa. Tällä on positiivinen vaikutus nopeusvoiman kehittymiselle. (Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997.) Räjähävä voima tarkoittaa mahdollisimman suuren voiman tuottamista yhteen tai muutamaaan toistoon. Harjoituskuorma on 50-90 % maksimista ja toistoja on 1-5. Suoritusnopeus on räjähtävä ja suoritus lopetetaan heti, kun väsymistä ilmenee. Pikavoima tarkoittaa suhteellisen suuren voiman nopeaa tuottamista 5-20 sekunnin aikana, jolloin suoritus on koko ajan nopea ja melko suurta voimantuottoa vaativaa. Yksi edellytys pikavoimaharjoittelulle on suhteellisen suuri perusvoimataso, joka takaa, että nopea liike pystytään suorittamaan mahdollisimman monta kertaa suurella teholla. (Viitasalo 1987.) Kuormat ovat 30-60 % maksimaalisesta voimantuotosta ja supistumisnopeudet suuria, jolloin on kiinnitettävä huomiota liikkeiden maksimaaliseen suoritusnopeuteen (Häkkinen 1994).

Aikaisemmin voimaharjoittelua harrastamattoman tulisi aloittaa voimaharjoittelu kehon kaikkia päälihasryhmiä kuormittavalla kestovoimapainotteisella ohjelmalla. Harjoittelussa on kiinnitettävä huomiota siihen, että agonisti- ja antagonistilihasten välillä säilyy tasapainotila. Lihasten elastisuuden säilyttämiseksi kuormitetuille lihaksille ja nivelille tulee tehdä liikkuvuus- ja venyttelyharjoituksia. (Häkkinen 1990.)

#### ***4.2 Kestävyysharjoittelun periaatteet***

Kestävyysharjoittelun avulla voidaan harjoittaa eri kestävyysominaisuuksia. Kestävyysharjoittelu jaetaan perus-, vauhti-, maksimi- ja nopeuskestävyyteen (Rusko 1989). Tässä tutkimuksessa keskitytään perus- ja vauhtikestävyysharjoitteluun.



*Peruskestävyys*harjoittelun tavoitteena on lihasten oksidatiivisen kapasiteetin kehittäminen ja rasvojen käyttöönoton parantaminen. Se on tärkeä kestävyysharjoitusmuoto, koska se luo pohjan myöhemmälle tehoharjoittelulle. Peruskestävyysharjoittelu tapahtuu aerobisen kynnyksen alapuolella, teholla 40-70 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (maksimaalinen hapenottokyky =  $VO_{2max}$ ). Harjoituksen kesto vaihtelee harjoittelijan taustasta ja halutusta harjoitusvaikutuksesta riippuen 30 minuutista useaan tuntiin. (Rusko 1989, Nummela 1997.)

*Vauhtikestävyys*ä harjoitetaan aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välillä, jolloin tehot ovat 65-90 %  $VO_{2max}$ . Sen tavoitteena on kehittää hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa, lihaksen oksidatiivista ja glykolyyttistä kapasiteettia sekä nostaa maitohappokynnystä. Harjoittelu voi olla tasavauhtista harjoittelua tai intervalliharjoittelua. Intervallien avulla harjoituksen teho saadaan korkeammaksi. Tasavauhtisen harjoituksen kesto on 30-60 min ja syke on kynnysten välillä. Intervalliharjoittelu tapahtuu lähellä anaerobista kynnystä tai se voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että tehot kasvavat jokaisella intervallilla. Intervallien kesto on 5-20 min. (Rusko 1989, Nummela 1997.)

*Maksimikestävyys*harjoittelun tavoitteena on parantaa hengitys- ja verenkiertoelimistön kapasiteettia ja kehittää maksimaalista hapenottokykyä. Harjoitusteho on 80-100 %  $VO_{2max}$  ja vähintään anaerobisella kynnyksellä. Harjoitus voidaan tehdä tasavauhtisena, jolloin harjoituksen kesto on 10-45 minuuttia. Intervalliharjoituksessa intervallien pituus 3-10 minuuttia ja palautus 1-5 minuuttia. (Rusko 1989, Nummela 1997.)

### **4.3 Yhdistetyn voima-kestävyys**harjoittelun periaatteet

Yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun tutkimustulokset ovat olleet vaihtelevia (Dudley & Fleck 1987). Lisäksi aiheesta tehtyjen tutkimusten tulkintaa vaikeuttavat erilaiset tutkimusasetelmat. Harjoitusten kesto,

frekvenssi ja intensiteetti ja ajoittaminen vaihtelevat eri tutkimusten välillä. Myös koehenkilöiden tausta ja tutkimusmuuttujien valinta vaihtelevat. (Dudley & Fleck 1987, Leveritt ym. 1999, Leveritt ym. 2003.)

Voimaharjoittelu kehittää voimantuotto-ominaisuuksia ja kestävyysarjoittelu kestävyysominaisuuksia, kuten maksimaalista hapenottokykyä (Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997). Voimakestävyysarjoittelun vaikutukset riippuvat siitä, miten nämä kaksi harjoitusmuotoa on yhdistetty. Myös harjoittelijan taustalla on merkitystä voima-kestävyysarjoittelun vaikutuksiin. Harjoittelua aloittavalla samanaikainen kestävyysarjoittelu ei vaikuta voimaominaisuuksien kehittymiseen, mutta pidemmällä aikavälillä intensiivinen kestävyysarjoittelu vaikuttaa maksimivoimaominaisuuksien kehittymiseen. (Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997.) Harjoittelun jaksottamisella voidaan vähentää kestävyysarjoittelun negatiivisia vaikutuksia voimaharjoitteluun erityisesti pidempiaikaisessa harjoittelussa (Hickson 1980, Dudley & Djamil 1985, Hunter ym. 1987, Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997). Jaksottaminen tarkoittaa sitä, että voima- ja kestävyysarjoittelua painotetaan eri harjoitusjaksoina kuitenkin niin, että molempia ominaisuuksia ylläpidetään jatkuvasti. Voimaharjoittelu ei puolestaan vaikuta oleellisesti kestävyysominaisuuksien kehittymiseen, koska tutkimusten mukaan yhdistetyllä voima-kestävyysarjoittelulla voidaan parantaa huomattavasti kestävyysominaisuuksia. (Häkkinen 1990, Fleck & Kraemer 1997.)

Voiman ja kestävyuden yhdistäminen on tärkeää sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksien ehkäisyssä ja kuntoutuksessa (McCartney ym. 1991). Voiman ja kestävyuden yhtäaikainen harjoittaminen on myös välttämätöntä urheilulajeissa, missä tarvitaan molempia ominaisuuksia (Bell ym. 1991, Bell ym. 1997).

## 5 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAAAN JA VOIMANTUOTTOON

### *5.1 Voimaharjoittelun vaikutukset lihakseen*

Voimaharjoittelu aiheuttaa toiminnallisia ja rakenteellisia muutoksia hermolihasjärjestelmässä erityisesti aikaisemmin harjoittelemattomilla henkilöillä (Häkkinen 1994). Voimaharjoittelun aikaansaamat muutokset suorituskyvyssä johtuvat hermostollisista ja/tai hypertrofisista tekijöistä (MacDougall ym. 1977, Moritani & DeVries 1979, Häkkinen ym. 1981). Lihastasolla tapahtuvat muutokset voivat kohdistua lihaksen myofibrilleihin, aktiiniin ja myosiiniin, mitokondrioihin, rasvasoluihin, glykogeneeniin, verisuoniin, sidekudokseen sekä entsyymiaktiivisuuteen ja metabolisiin tekijöihin (Marks 1996). Lihastasolla tapahtuvilla muutoksilla on lihaksen poikkipinta-alaa kasvattava vaikutus, joka voi johtua joko hypertrofiasta tai hyperplasiasta tai näistä molemmista (Häkkinen 1994, Marks 1996). Lihaksissa tapahtuvat muutokset ovat yhteydessä voimantuoton kasvuun harjoittelun myöhemmässä vaiheessa (Moritani & DeVries 1979). Staron ym. (1991) ovat kuitenkin todenneet, että myös hypertrofisilla tekijöillä on vaikutusta voiman kehitykseen harjoittelun alkuvaiheessa.

Hypertrofian seurauksena lihassolujen supistuvat proteiinit, aktiini- ja myosiini lisääntyvät, jolloin myofibrillien koko ja lukumäärä kasvavat. Nopeiden lihassolujen hypertrofia on suurempaa kuin hitaiden solujen. Koko lihaksen poikkipinta-alan kasvuun vaikuttaa myös sidekudoksen lisääntyminen, joka on seurausta voimaharjoittelusta. Lihaksen poikkipinta-alan ja maksimivoiman välillä on riippuvuus, koska sarkomeerin lisääntyneet ja suurentuneet valkuaisainesauvat mahdollistavat useampien poikittaissiltojen muodostumisen lihaksen supistuessa. Näin lihas pystyy tuottamaan enemmän voimaa. (MacDougall 1986, Tesch 1988, Häkkinen 1990, Enoka 1994, Häkkinen 1994, Marks 1996, Häkkinen ym. 1998.)

Hypertrofian määrään vaikuttavat mm. harjoittelun kesto, harjoitusmenetelmä ja yksilön voimataso ennen harjoittelua (Häkkinen 1990, Enoka 1994, Häkkinen 1994, Häkkinen ym. 1998). Aloittelijalla jo muutaman viikon voimaharjoittelu aiheuttaa hypertrofiaa (Häkkinen 1994). Harjoitelleilla voimaharjoittelun on kestettävä vähintään 9 viikkoa ja harjoituskuorman (50-100%) ja useuden (2-3 krt/vko) on oltava riittävät, jotta lihaksessa tapahtuu hypertrofiaa (Häkkinen ym. 1998, Ivey ym. 2000b, Häkkinen ym. 2001).

Lihaksen poikkipinta-alan kasvu tapahtuu yleensä hypertrofian seurauksena. Lihassoluissa voi tapahtua myös hyperplasiaa eli lihassolujen lukumäärän lisääntymistä. Oletetaan, että lihassolut voivat kasvaa tiettyyn optimaaliseen maksimikokoonsa pitkäkestoisen intensiivisen voimaharjoittelun seurauksena, jonka jälkeen lihassolu ei enää kasva vaan jakautuu kahtia. Jotta näin tapahtuu, lihassolut tarvitsevat venytystä ja harjoitusta, jotka vaikuttavat joko suoraan tai epäsuorasti lihaksen hyperplasiaan. (Häkkinen 1990, Antonio & Gonyea 1993, Enoka 1994, Häkkinen 1994.)

## **5.2 Voimaharjoittelun vaikutukset lihaksen poikkipinta-alaan**

Voimaharjoittelun vaikutuksia QF lihaksen ja sen osien poikkipinta-alaan sekä lihassoluihin on tutkittu eripituisilla harjoitusjaksoilla ja eri lihastyötavoilla. Mayhew ym. (1995) ovat todenneet, että nopeat lihassolut kasvoivat enemmän konsentrisella voimaharjoittelulla kuin eksentrisellä harjoittelulla kahden viikon voimaharjoittelun seurauksena. Hitaissa lihassoluissa ei tapahtunut muutoksia eri lihastyötapojen välillä. Staronin ym. (1991) mukaan kuuden viikon intensiivinen voimaharjoittelu aiheuttaa hypertrofiaa vastus lateraliksessa kaikissa lihassolutyypeissä. Côté ym. (1988) ovat todenneet, että Ila -tyypin lihassoluissa tapahtui kasvua 10 viikon isokineettisen voimaharjoittelun seurauksena. Isokineettisen voimaharjoittelun ei todettu lisäävän muiden lihassolujen kokoa vaikka lihaksen voimantuotto parani. Tämän epäillään johtuvan siitä, että

kasvaakseen hitaat lihassolut tarvitsevat eksentristä voimantuottoa, mitä isokineettisellä harjoittelulla ei saada aikaan.

Ivey ym. (2000 a) ovat todenneet QF:n poikkipinta-alan lisääntyneen 12 % 9 viikon voimaharjoittelun seurauksena. Samaan tulokseen päätyivät Häkkinen ym. (1998) 10 viikon harjoittelulla. Sen seurauksena kaikki QF:n osat kasvoivat 12 %. Kolmen kuukauden tutkimusjakson aikana QF:n poikkipinta-ala lisääntyi 4-9 % 3-4 kertaa viikossa tapahtuneen voimaharjoittelun seurauksena (Narici ym. 1989, Welle ym. 1996, Abe ym. 2000). (Taulukko 1.)

QF:n poikkipinta-ala lisääntyi 19-24 viikon voimaharjoittelulla 4-11 % lihastyötavasta riippuen (Sale ym. 1992, Carey Smith & Rutherford 1995, Roth ym. 2001, Ahtiainen ym. 2003). Carey Smithin ja Rutherfordin (1995) mukaan poikkipinta-alan kasvu oli 20 viikon voimaharjoittelun seurauksena merkitsevää QF:n proksimaalipäässä, mutta ei distaalipäässä. He eivät havainneet eroa lihaksen poikkipinta-alan kasvussa konsentrisen ja eksentrisen lihastyön välillä. (Taulukko 1.) Häkkinen ym. (1985) havaitsivat, että 24 viikkoa kestänyt 70-120 % maksimista suoritettava voimaharjoittelu lisäsi nopeiden lihassolujen pinta-alaa merkitsevästi 12 ensimmäisen harjoitusviikon aikana, mutta jälkimmäisellä puoliskolla kasvua ei tapahtunut. Hitaissa lihassoluissa ei tapahtunut kasvua. Myös Kuno ym. (1990) havaitsivat että QF:n nopeiden lihassolujen pinta-ala lisääntyi 20 viikon maksimivoimaharjoittelulla 19 %. Samassa tutkimuksessa ei havaittu muutoksia hitaiden lihassolujen koossa. Lihassolun hypertrofia on suurempaa nopeissa lihassoluissa kuin hitaissa (Kuno ym. 1990, Charette ym. 1991, Narici ym. 1996, Häkkinen ym. 2001). Eräissä tutkimuksissa on havaittu, että hypertofia on suurempaa Ila-tyyppin soluissa kuin I-tyyppin ja IIb-tyyppin soluissa (Costill ym. 1979, MacDougall ym. 1980, Häkkinen ym. 1981, Staron ym. 1984).

Narici ym. (1996) mukaan QF:n poikkipinta-ala lisääntyi 6 kuukauden maksimivoimaharjoittelun aikana merkitsevästi (19 %) (taulukko 1). Poikkipinta-alan kasvu oli suurinta lihaksen distaalipäässä ja

keskivaiheilla. Lihaksen kasvu ei ollut samanlaista kaikissa lihaksen osissa. VL:ssa hypertrofia oli suurinta distaali- ja proksimaalipäässä ja RF:ssa keskivaiheilla ja proksimaalipäässä. VI:ssa ja VM:ssa lihaksen poikkipinta-alan kasvussa ei ollut merkittäviä eroja lihaksen eri osien välillä. Lihaksen suhteellisen tasaista kasvua selittää mahdollisesti se, että eksentrisen vaiheen aikana, kun venyneessä lihaksessa on jännitystä, lihassolun distaali- ja proksimaaliosien sarkomeerit ovat jännittyneempiä kuin keskiosien. Naricin ym. (1989) kolmen kuukauden voimaharjoittelututkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia OF:n eri osien välille.

Tutkimusten mukaan keskimäärin kolme kertaa viikossa tapahtuvalla maksimivoimaharjoittelulla lihaksen koko kasvoi merkitsevästi 9-24 viikon aikana. QF:n poikkipinta-alan kasvu on ollut tutkimuksesta riippuen 4-19 %. Yleisimmin harjoituskuorma oli 50-80 % maksimivoimasta. (Sale ym. 1992, Carey Smith & Rutherford 1995, Welle ym. 1996, Narici ym. 1996, Abe ym. 2000, Ivey ym. 2000b.) (Taulukko 1.)

### **5.3 Voimaharjoittelun vaikutukset lihaksen voimantuottoon**

Voimaharjoittelun vaikutuksia QF lihaksen voimantuottoon on tutkittu eripituisilla harjoitusjaksoilla ja eri lihastyötavoilla. Harjoitusjakson ollessa 10-12 viikon mittainen isometrisen voimantuoton muutokset olivat keskimäärin 16-38% (Narici ym. 1989, Welle ym. 1996, Häkkinen ym. 1998, Abe ym. 2000). Aben ym. (2000) mukaan 12 viikon voimaharjoittelujakson jälkeen konsentrisen bilateraalin voimantuotto polven ojennuksessa parani 19 %. Ivey ym. (2000b) tutkimuksessa 9 viikon harjoitusjakson jälkeen konsentrisen voimantuotto kasvoi 28 %. (Taulukko 1.)

Myös pidempien, 16-24 viikon, voimaharjoittelujaksojen jälkeen on raportoitu 28-29 %:n parannuksia konsentrisessä bilateraalissa polven ojennuksessa (Cureton ym. 1988, Sale ym. 1992, Häkkinen ym. 2001).

Pidemmällä harjoitusjaksolla (20-24 viikkoa) konsentrisen harjoittelun aiheuttama isometrisen voimantuoton lisäys oli keskimäärin 28-44% (Häkkinen ym. 1985, Carey Smith & Rutherford 1995, Narici ym. 1996, Häkkinen ym. 2001). Roth ym. (2001) ja Ahtiainen ym. (2003) raportoivat 19 ja 21 %:n voimantuoton kasvun maksimaalisessa konsentrisessa polven ojennuksessa 6 kuukauden voimaharjoittelun seurauksena. Sale ym. (1992) eivät puolestaan havainneet merkitseviä muutoksia isometrisessä polven ojennuksessa 19 viikon voimaharjoittelun jälkeen. (Taulukko 1.)

Tutkimusten mukaan QF:n maksimaalinen konsentrisen voimantuoton kasvu polven ojennuksessa oli keskimäärin 19-29 %. Tulokset olivat samansuuntaisia riippumatta harjoitusjakson pituudesta. QF:n maksimaalinen isometrinen voimantuotto polven ojennuksessa parani keskimäärin 16-44 % voimaharjoittelujakson pituudesta, lihastyötavasta ja mittauksessa käytetystä polvikulmasta riippuen. Pääsääntöisesti mitä pidempi voimaharjoittelujakso oli, sitä enemmän isometrinen maksimivoima lisääntyi. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Voimaharjoittelututkimuksia, joissa on mitattu QF:n poikkipinta-alaa ja/tai voimatuottoa .

| Tutkija                  | Vuosi  | n  | Ikä (v) | Kesto  | Krt/vko | Sarjat | Toistot | Kuorma (%) | QF:n poikkipinta-alan kasvu (%)           | Maksimaalisen konsentrisen bilateraalisin voimantuoton kasvu polven ojennuksessa (%) | Maksimaalisen isometrisen bilateraalisin voimantuoton kasvu polven ojennuksessa (%) |
|--------------------------|--------|----|---------|--------|---------|--------|---------|------------|---|--|---|
| Ahtiainen ym.            | 2003   | 8  | 34±4    | 21 vko | 2       | 2-4    | 5-20    | 40-80      | 5,6** (m)                                 | -  | 21**  |
| Häkkinen ym.             | 2001   | 10 | 40-44   | 6 kk   | 2       | 3-4    | 8-12    | 50-80      | -   | 27±7**   | 28±140**  |
| Roth ym.                 | 2001   | 8  |         | 6 kk   | 3       | 2      | 5-15    | 50-100     | 4,2±1,5**(m)                              | 19**   | -   |
| Abe ym.*                 | 2000   | 11 | 25-50   | 12 vko | 3       | 1-3    | 8-12    | 70         | 6,8 (u)                                   | 19**   | 23,4**  |
| Ivey ym.                 | 2000 a | 11 | 22-28   | 9 vko  | 3       | 5      | 5-10    | 50-80      | 12,1** (m)                                | -  | -   |
| Ivey ym.                 | 2000 b | 11 | 22-28   | 9 vko  | 3       | 5      | 5-10    | 50-80      | 12,1** (m)                                | 27,5**   | -   |
| Häkkinen ym.             | 1998   | 8  | 24-34   | 10 vko | 3       | 3-6    | 3-15    | 60-95      | 12,2** (m)                                | -  | 15,6**  |
| Narici ym.               | 1996   | 7  | 25-33   | 6 kk   | 3-4     | 6      | 8       | 80         | 18,8±7,2** (m)                            | -  | 100-160°(ei 110-120°)<br>29,6±7; 9-21; 1±8,6**                                      |
| Welle ym.                | 1996   | 9  | 22-31   | 3 kk   | 3       | 3      | 8       | 80         | 4±1** (m)                                 | -  | 38±6  |
| Carey Smith & Rutherford | 1995   | 10 | 20-21   | 20 vko | 3       | 3      | 10      | 80         | kons. 4,6±5,1**( c)<br>eks. 4,0±4,3**( c) | -  | kons. 43,7±19,6**<br>eks. 22,9±9,8**  |
| Sale ym.*                | 1992   | 8  | 20-23   | 19 vko | 3       | 3-6    | 7-20    | 60-80      | oikea 11,1** (c)<br>vasen 10,8** (c)      | 29,1**   | ei merkitseviä<br>muutoksia   |
| Narici ym.               | 1989   | 4  | 23-33   | 3 kk   | 4       | 6      | 10      | isokineet. | 8,5±1,4** (m)                             | -  | 20,8±5,4**  |
| Cureton ym.*             | 1988   | 7  | 23-27   | 16 vko | 3       | 1-3    |         | 70-90      | < 3 (c)                                   | 28,8**   | -   |
| Häkkinen ym.             | 1985   | 11 | 20-32   | 24 vko | 3       | 3-5    | 1-10    | 70-120     |   |  | 26,8**  |

- ei tutkittu

\* RCT -tutkimuksia

\*\* tilastollisesti merkitsevät tulokset lähtötilanteeseen verrattuna

(u) ultraäänimittaus

(m) MRI-mittaus

(c) CT-mittaus



## 6 YHDISTETYN VOIMA-KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALAAN JA VOIMANTUOTTOON

### *6.1 Yhdistetyn voima-kestävyys­harjoittelun vaikutukset lihaksen poikkipinta-alaan*

Kestävyys­harjoittelun vaikutuksia voimaominaisuuksiin on tutkittu melko vähän. Kestävyys­harjoittelu lisää mitokondrioiden ja myoglobiinin määrää lihaksessa ja parantaa maksimaalista hapenottokykyä ilman, että lihaksessa tapahtuu hypertrofiaa tai voimantuoton kasvua (Holloszy & Booth 1976). Useissa tutkimuksissa ei voimamuuttujissa ole havaittu muutoksia kestävyys­harjoittelun jälkeen (Hickson 1980, Hunter ym. 1987, Nelson ym. 1984, McCarthy ym. 1995). Kuitenkin muutamissa tutkimuksissa on havaittu, että kestävyys­harjoittelu parantaa voimaominaisuuksia (Rosler ym. 1986, Moroz & Houston 1987). Intensiivisen kestävyys­harjoittelun seurauksena hitaiden lihassolujen koon on todettu kasvavan. Nopeiden lihassolujen rakenteen on puolestaan todettu heikkenevän. (Luginbuhl ym. 1984.) Nopat lihassolut tuottavat enemmän voimaa kuin hitaat (Häkkinen 1990), joten voimaominaisuuksien heikkeneminen kestävyys­harjoittelun seurauksena on mahdollista. Toisaalta kestävyys­harjoittelulla voidaan parantaa kykyä ylläpitää tiettyä voimatasoa pitempään ja tuottaa tiettyä voimatasoa lyhyemmällä palautuksilla (Goldberg ym. 1975, Häkkinen 1990).

Yhdistetty voima-kestävyys­harjoittelu aiheuttaa hypertrofiaa eri lihassoluissa kuin erillinen voima- tai kestävyys­harjoittelu (Nelson ym. 1984, Kraemer ym. 1995). Kuitenkin yhdistetyn voima-kestävyys­harjoittelun vaikutukset lihassolujen hypertrofiaan ovat epäselvät. Tutkimustulosten ja –asetelmien välillä on havaittavissa suuria eroja. (Leveritt ym. 1999, Leveritt ym. 2003.) QF:n poikkipinta-ala kasvoi merkittävästi sekä voimaryhmässä (12 %) että voimakestävyysryhmässä (14 %) 10 viikon harjoittelun seurauksena. Salen ym. (1990a) mukaan yhdistetty voima-kestävyys­harjoittelu samana päivänä ja voima- ja

kestävyysharjoittelu eri päivinä lisäsivät lihaksen poikkipinta-alaa saman verran (31-34 %) 20 viikon harjoittelun aikana. (Taulukko 2.) Kraemerin ym. (1995) mukaan voimaharjoittelu aiheuttaa hypertrofiaa tyypin I-, Ila- ja IIb –lihassoluissa ja kestävyysharjoittelu lisäsi tyypin I –lihassolujen kokoa. Yhdistetty voima-kestävyysharjoittelu puolestaan aiheutti hypertrofiaa ainoastaan Ila- tyypin lihassoluissa. Bell ym. (2000) raportoivat, että yhdistetty voima-kestävyysharjoittelu (3 krt/vko voimaharjoittelu, 3 krt/vko kestävyysharjoittelu) lisäsi ainoastaan tyypin II –lihassolujen poikkipinta-alaa.

## **6.2 Yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun vaikutukset lihaksen voimantuottoon**

Tutkimuksissa on saatu ristiriitaista tietoa yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun vaikutuksista voimaominaisuuksiin. Dudleyn ja Djamilin (1985) mukaan voimaryhmän voimantuotto maksimaalisessa bilateraalisessa polven ojennuksessa kasvoi 12 % ja voima-kestävyysryhmän 1 % 7 viikon harjoitusjakson aikana. Leveritt ym. (2003) puolestaan raportoivat, että 6 viikon harjoittelun jälkeen konsentrisen voimantuotto parani merkitsevästi molemmissa ryhmissä, voimaryhmässä 33 % ja voimakestävyysryhmässä 26 %. (Taulukko 2.) Hickson ym. (1980) havaitsivat, että voima- ja voimakestävyysryhmän voimantuotto parani samalla tavalla 7 viikon ajan, mutta sen jälkeen voimaryhmän kehitys jatkui ja voima-kestävyysryhmän kehitys pysähtyi tai voimantuotto laski.

Aikaisemmin harjoittelemattomille koehenkilöille tehdyissä 10-12 viikon tutkimuksissa havaittiin, että voima- ja voima-kestävyysryhmän voimantuotto parani merkitsevästi maksimaalisessa konsentrisessa bilateraalisessa polven ojennuksessa (McCarthy ym. 1995, Bell ym. 1997). Maksimaalinen konsentrisen voimantuotto parani voimaryhmässä 23-51 % ja voima-kestävyysryhmässä 22-37 % 10-12 viikon tutkimusjakson aikana (McCartney ym. 1991, McCarthy ym. 1995, Bell ym. 1997). McCarthy ym. (1995) ja McCarthy ym. (2002) ovat mitanneet voimaryhmällä 12 %:n ja

voima-kestävyysryhmällä 7 %:n parannuksen voimantuotossa maksimaalisessa isometrisessä bilateraaliossa polven ojennuksessa 10 viikon harjoittelun jälkeen. Salen ym. (1990a) mukaan yhdistetty voima-kestävyys harjoittelu eri päivinä (25 %) lisäsi maksimaalista konsentrista voimantuottoa merkittävästi enemmän kuin voiman ja kestävyys harjoittelu samana päivänä (13 %). (Taulukko 2.)

Yhdistetyn voima-kestävyys harjoittelun vaikutuksista lihaksen voimantuottoon on vaikea vetää johtopäätöksiä. Toisissa tutkimuksissa on keskitytty tutkimaan harjoittelun jaksoittamista ja harjoitusten suoritusjärjestystä (Bell ym. 1988, Sale ym. 1990a, Collins & Snow 1993) ja toisissa on vertailtu yhdistetyn voima-kestävyys harjoittelun vaikutuksia erilliseen voima- tai kestävyys harjoitteluun (Hickson 1980, Nelson ym. 1984, Dudley & Djamil 1985, Hickson ym. 1988, McCarthy ym. 1995, Bell ym. 2000). Osa tutkimuksista tukee sitä, että yhdistetty voima-kestävyys harjoittelu heikentää voiman kehitystä. Osa puolestaan toteaa, että voima-kestävyys harjoittelulla ei ole merkitystä voimantuoton kehittymisen kannalta. Tähän on yhtenä mahdollisena selityksenä esitetty, että yhdistetty voima-kestävyys harjoittelu aiheuttaa lihassolujakaumassa sellaisia muutoksia, mikä pienentää lihaksen poikkipinta-alaa. (Kraemer ym. 1995, Bell ym. 2000.) Sale ym. (1990b) ehdottavat, että yhtäaikainen voima- ja kestävyys harjoittelu saattaa enemmän edistää kuin estää voiman ja kestävyys kehitystä. Toisaalta on mahdollista, että lihaksisto ei voi adaptoitua optimaalisesti kahteen erilaiseen harjoitusärsykkeeseen, kun niitä harjoitetaan yhtä aikaa. Gollnick ja Hermansen (1973) ovat esittäneet, että harjoittelun aiheuttama yliharjoittelutila heikentäisi voimantuottoa. Yliharjoittelutila johtuu kroonisesta glykogeenin puutteesta.



Taulukko 2. Voima-kestävyysharjoittelututkimuksia, joissa on mitattu QF:n poikki-pinta-alaa ja/tai voimatuottoa.

| Tutkija         | Vuosi       | n                        | Ikä (v) | Kesto  | VH      | VH     | VH      | VH                          | KH      | KH        | KH       | QF:n                       | Maksimaalisen konsentrisen                               |   |                               |
|-----------------|-------------|--------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|-----------------------------|---------|-----------|----------|----------------------------|--|---|-------------------------------|
|                 |             |                          |         |        |         |        |         |                             |         |           |          |                            | bilateraalisen voimantuoton kasvu polven ojennuksessa(%) | Maksimaalisen isometrisen voimantuoton kasvu polven ojennuksessa(%) |                               |
|                 |             |                          |         |        | Krt/vko | Sarjat | Toistot | Kuorma (%)                  | Krt/vko | Kesto     | Teho (%) | poikki-pinta-alan kasvu(%) |  |   |                               |
| Leveritt ym.    | 2003        | 9 voima                  | 18-19   | 6 vko  | 3       | 4      | 4-8     | 4-8 RM                      |         |           |          |                            |  | 33** ja ***   | -                             |
|                 |             | 9 yhdist.                | 18-19   | 6 vko  | 3       | 4      | 4-8     | 4-8 RM                      | 3       | 5x5 min   | 40-100   |                            |  | 26** ja ***   | -                             |
|                 |             | 8 kest.                  | 18-19   | 6 vko  |         |        |         |                             | 3       | 5x5 min   | 40-100   |                            |  | 2   | -                             |
| McCarthy ym. *  | 2002        | 10 voima                 | 27-29   | 10 vko | 3       | 3      | 5-7     | 80-90                       |         |           |          |                            | 12** ja *** (c)  | -   | 12** ja ***                   |
|                 |             | 10 yhdist.               | 26-29   | 10 vko | 3       | 3      | 5-7     | 80-90                       | 3       | 50 min    | 70       |                            | 14** ja *** (c)  | -   | 7** ja ***                    |
|                 |             | 10 kest.                 | 25-28   | 10 vko |         |        |         |                             | 3       | 50 min    | 70       |                            | 3 (c)  | -   | -2                            |
| Bell ym.*       | 1997        | 8 voima                  | opisk.  | 12 vko | 3       | 2-6    | 4-12    | 72-84                       |         |           |          |                            | -  | 51**  | -                             |
|                 |             | 7 yhdist.                | opisk.  | 12 vko | 3       | 2-6    | 4-12    | 72-84                       | 3       | 30-42 min | 50-90    |                            |  | -   | 37**                          |
| McCarthy ym. *  | 1995        | 10 voima                 | 28±1    | 10 vko | 3       | 3      | 5-7     | 80-90                       |         |           |          |                            | -  | 23**  | 12**                          |
|                 |             | 10 yhdist.               | 27±2    | 10 vko | 3       | 3      | 5-7     | 80-90                       | 3       | 50 min    | 70       |                            |  | 22**  | 7**                           |
|                 |             | 10 kest.                 | 27±2    | 10 vko |         |        |         |                             | 3       | 50 min    | 70       |                            |  | -1  | -2                            |
| McCartney ym.   | 1991        | 10 yhdist.               | 50-54   | 10 vko | 1       | 2-3    | 15      | 40-80                       | 1       | 45 min    | 60-85    |                            |  | 25**  | -                             |
|                 |             | 8 kest.                  | 50-54   | 10 vko |         |        |         |                             | 2       | 45 min    | 60-85    |                            |  | 5   | -                             |
| Sale ym.        | 1990<br>(a) | 7 yhdist. samana päivänä | 21-22   | 20 vko | 2       | 6      | 15-20   | 50-90                       | 2       | 6-8x3min  | 60-100   |                            | 31** (c)   | 13**  | -                             |
|                 |             | 8 yhdist. eri päivänä    | 20-22   | 20 vko | 2       | 6      | 15-20   | 50-90                       | 2       | 6-8x3min  | 60-100   |                            | 34** (c)   | 25** ja ****  | -                             |
| Dudley & Djamil | 1985        | 6 voima                  | 23-28   | 7 vko  | 3       | 2      | 30 sek  | 1) 4.19 rad·s <sup>-1</sup> |         |           |          |                            | -  | 12**(4.19 rad·s <sup>-1</sup> )                                     | -                             |
|                 |             | 6 yhdist.                | 21-24   | 7 vko  | 3       | 2      | 30 sek  | 1) 4.19 rad·s <sup>-1</sup> | 3       | 5x5min    | 180 2)   |                            |  | -   | 1 (4.19 rad·s <sup>-1</sup> ) |

VH = voimaharjoittelu

KH = kestävyysharjoittelu

- ei tutkittu

\* RCT -tutkimus

\*\* tilastollisesti merkitsevä tulos lähtötilanteeseen verrattuna

\*\*\* tilastollisesti merkitsevä tulos kestävyysharjoitteluryhmään verrattuna

\*\*\*\* tilastollisesti merkitsevä tulos samana päivänä harjoittelevaan voima-kestävyysharjoitteluryhmään verrattuna

(m) MRI-mittaus

(c) CT-mittaus

1) isokineettinen

2) syke intervallin 5. minuutilla

## 7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun vaikutusta quadriceps femoris –lihaksen (QF) poikkipinta-alaan ja voimantuottoon aikaisemmin liikuntaa harrastamattomilla 25-45 –vuotiailla miehillä.

Tutkimusongelmat

1) Miten voimaharjoittelu ja yhdistetty voima-kestävyysharjoittelu vaikuttavat

QF lihaksen kokonaispoikkipinta-alaan

QF lihaksen osien poikkipinta-alaan (vastus lateralis VL, vastus medialis VM, vastus intermedius VI, rectus femoris RF)

QF lihaksen maksimaaliseen konsentriseen bilateraaliseen voimantuottoon?

2) Miten voimaharjoittelun ja voima-kestävyysharjoittelun vaikutukset em. asioihin eroavat toisistaan?

## 8 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella kahdessa osassa vuosina 2000 ja 2001. Vuonna 2000 tehtiin voimaharjoittelututkimus ja vuonna 2001 voima-kestävyysarjoittelututkimus. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoi myönteisen lausunnon tutkimukselle.

### 8.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöt olivat terveitä 25-45 –vuotiaita miehiä, jotka eivät olleet harrastaneet säännöllistä voima- tai kestävyysarjoittelua. Koehenkilöt valittiin Jyväskylän alueelta. Koehenkilöille tehtiin lääkärintarkastus ja sen perusteella mukaan valittiin vain terveitä miehiä. Lääkärintarkastuksen jälkeen voimaharjoitteluryhmässä oli 18 miestä ja voima-kestävyysarjoitteluryhmässä 12 miestä. Voimaharjoitteluryhmästä lopetti kaksi koehenkilöä henkilökohtaisista syistä ja yhden koehenkilön magneettikuvissa kuva-asettelu ei ollut tutkimuksen mukainen. Näin ollen voimaharjoitteluryhmästä on analysoitu 15 koehenkilön tulokset (n=15). Myöskään voima-kestävyysarjoitteluryhmässä yhden koehenkilön magneettikuvien kuva-asettelu ei ollut tutkimuksen mukainen, joten analysoitavia koehenkilöitä oli 11 (n=11).

### 8.2 Tutkimusmenetelmät

*Tutkimuksen kulku.* Tutkimus kesti 22 viikkoa. Tutkimuksen voimantuoton mittaukset suoritettiin 5 kertaa: esimittaukset 1 viikko ennen harjoittelujakson alkua, juuri ennen harjoittelujaksoa (0 viikko), 7. viikolla, 14. viikolla ja harjoittelujakson lopussa harjoittelujakson 21. viikolla. QF:n magneettikuvakset tehtiin 2 kertaa: ennen harjoittelujakson aloittamista (0 viikko) ja harjoittelujakson 21 viikolla.

*Lihaksen poikkipinta-alan mittaaminen.* Polven ojentajalihaksiston poikkipinta-ala määritettiin oikeasta alaraajasta koko lihaksiston sekä yksittäisten lihasten osalta erikseen (rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis ja vastus intermedius) magneettikuvauksella. Magneettikuvaukset suoritti Keski-Suomen Magneettikuvaus Oy, Jyväskylä. Poikkipinta-ala määritettiin 15 eri kohdasta suhteellisesti reisiluun pituuteen nähden. Distaalipään referenssipiste oli reisiluun lateraalisen ja mediaalisen condylin välisen uurteen pohja. Proksimaalipään referenssipiste oli reisiluun caputin kulma. Magneettikuvat analysoitiin Osiris 3.1-tietokoneohjelmalla. Leikkeistä analysoitiin koko QF:n poikkipinta-ala sekä kaikki osat erikseen. Analysointi tehtiin manuaalisesti piirtämällä.

*Voiman testaaminen.* Koehenkilöt tutustuivat testimenetelmiin ja testin kulkuun kontrollimittauskerralla. Ennen voimamittausta koehenkilöt polkivat noin 5 minuuttia kuntopyörällä alkulämmittelyksi. Alaraajojen maksimaalisen konsentrisen bilateraalisena ojennusvoiman mittaus suoritettiin David 210 dynamometrillä (David Fitness and Medical Ltd., Outokumpu, Suomi). Koehenkilö istui laitteessa selkä selkänojaa vasten, jalat lantion leveydellä levyä vasten, kädet vartalon vierellä alaspäin käsikahvoista kiinni pitäen. Alkuasennossa polvikulma oli 70° ja lonkkakulma 110°. Koehenkilöä pyydettiin ojentamaan jalat suoraksi mahdollisimman nopeasti. Ennen mittausta koehenkilöt tekivät kolme harjoitussuoritusta, minkä perusteella testaaja arvioi ensimmäisen mitattavan suorituksen kuorman. Kuormaa lisättiin jokaisen suorituksen jälkeen ja suorituksia jatkettiin niin kauan, että koehenkilö ei enää saanut ojennettua jalkoja suoriksi. Suoritusten välissä pidettiin minuutin palautustauko. Viimeinen hyväksytty suoritus oli koehenkilön maksimikuorma (1 RM), minkä hän jaksoi työntää suorille jaloille.



### **8.3 Harjoittelu**

Molemmat tutkimusryhmät harjoittelivat ennalta laaditun harjoitusohjelman mukaan 21 viikkoa. Voimaharjoitteluryhmä suoritti voimaharjoituksen kaksi kertaa viikossa (alku- ja loppuviikko) valvotusti pienryhmissä. Voimakestävyysharjoitteluryhmä suoritti kaksi kertaa viikossa ohjatun voimaharjoituksen pienryhmissä ja kaksi kertaa viikossa kestävyysharjoituksen, joista toinen tehtiin ohjatusti ja toinen omatoimisesti ennalta annettujen ohjeiden mukaisesti. Voimaharjoitteluohjelma oli molemmilla ryhmillä samanlainen. Lisäksi koehenkilöt saivat venyttelyohjelman, joka heidän tuli tehdä omatoimisesti kaksi kertaa viikossa. Venyttelyt kirjattiin venyttelypäiväkirjaan.

*Voimaharjoittelu.* Ohjattu 21 viikon voimaharjoittelujakso sisälsi liikkeitä kehon suurille lihasryhmille. Jokaisella harjoituskerralla tehtiin kaksi harjoitusta polven ojentajille: bilateraalin jalkaprässi ja unilateraalinen polven ojennus. Jokainen voimaharjoituskerta sisälsi kolme harjoitusliikettä alaraajoille: bilateraalin polven koukistus ja/tai bilateraalin pohjeprässi ja/tai lonkkanivelen loitonnuks ja/tai lähennys. Lisäksi jokaisella harjoituskerralla tehtiin kolme tai neljä harjoitusliikettä muille lihasryhmille (vartalon ojentaja- ja koukistajalihaksille, vartalon kiertäjähaksille, rintalihaksille, yläselän lihaksille, hartialihaksille sekä kyynärnivelen ojentaja- ja koukistajalihaksille). Voimaharjoittelujen väliin suositeltiin jätettäväksi vähintään kaksi lepopäivää.

Ensimmäiset seitsemän viikkoa koehenkilöt harjoittelivat 50-70%:n kuormalla yhden toiston maksimista. Harjoitusliikkeissä tehtiin toistoja 10-15 ja sarjoja 3-4. Toisella seitsemän viikon jaksolla harjoituskuormat olivat 50-60 % ja 60-80 % maksimista. Polven ojentajille tehdyissä harjoitteissa kevyemmällä kuormalla tehtiin 8-12 toistoa ja raskaammalla kuormalla 5-6 toistoa. Sarjoja tehtiin 3-5/harjoitusliike. Muissa neljässä harjoitteessa toistoja tehtiin 10-12 ja sarjoja 3-5. Viimeisellä seitsemän viikon jaksolla polven ojennusliikkeissä käytettiin kahta eri harjoituskuormaa. Kuormalla 70-80 % tehtiin 3-6 toistoa ja kuormalla 50-60 % 8-12 toistoa. Sarjoja oli 4-

6. Muissa neljässä harjoitteessa toistoja oli 10-12 ja sarjoja 3-5. Suurin osa polven ojentaja –harjoitteista tehtiin maksimivoimaperiaatteella, mutta 20 % harjoitteista suoritettiin 50-60 %:n kuormalla räjähtävän voiman harjoituksena. Jokainen toisto suoritettiin niin räjähtävästi kuin mahdollista. Harjoituskuormat määritettiin yksilöllisesti maksimitoistosta harjoituskertojen aikana koko 21 viikon harjoitusjakson ajan. Kuormaa lisättiin progressiivisesti 18 harjoitusviikkoon asti ja sen jälkeen sitä hieman vähennettiin viimeisen kolmen viikon ajaksi. Koehenkilöt määrittivät maksimivoimaharjoitteissa liikkeen nopeuden itse ja jokainen liike suoritettiin täydellä liikeradalla.

*Kestävyysharjoittelu.* Voima-kestävyysharjoitteluryhmä teki voimaharjoittelun lisäksi kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Kestävyysharjoittelu toteutettiin monipuolisella kestävyysliikunnalla. Lajeina olivat kävely, juoksu, pyöräily ja hiihto. Ensimmäisen seitsemän viikon aikana koehenkilöt harjoittelivat kahdesti viikossa 30 minuuttia kerrallaan. Harjoitukset suoritettiin joko polkupyöräergometrillä tai kävellen, juosten tai hiihtäen peruskestävyysalueella aerobisen kynnyksen alapuolella. Harjoitusviikoilla 8-14 viikon ensimmäinen kestävyysharjoitus oli 45 minuuttia: 15 minuuttia aerobisen kynnyksen alapuolella, 10 minuuttia aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä, 5 minuuttia anaerobisen kynnyksen yläpuolella ja 15 minuuttia aerobisen kynnyksen alapuolella. Viikon toinen kestävyysharjoitus oli kestoaltaan 60 minuuttia ja tehot olivat alle aerobisen kynnyksen. Viikoilla 15-21 keskityttiin parantamaan pyöräilynopeutta ja maksimaalista kestävyyttä. Harjoitus kesti 60 minuuttia: 15 minuuttia aerobisen kynnyksen alapuolella, 2x10 minuuttia aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä, 2x5 minuuttia anaerobisen kynnyksen yläpuolella ja 15 minuuttia alle aerobisen kynnyksen. Viikon toinen kestävyysharjoitus oli 60-90 minuutin peruskestävyysharjoitus.

Kestävyysharjoittelupäivät olivat tiistai tai keskiviikko ja perjantai, lauantai tai sunnuntai. Maanantaina ja torstaina toteutettiin voimaharjoittelu. Intervalliharjoitus suoritettiin joka toinen viikko ohjatusti

polkupyöraergometrillä. Kestävyysharjoitteluohjelma suunniteltiin kullekin koehenkilölle henkilökohtaista kuntotaso vastavaksi. Harjoitusryhmät määriteltiin esimittausten perusteella HR<sub>max</sub>:sta vastaamaan kunkin koehenkilön omaa perus- ja vauhtikestävyystasoa. Harjoitusohjelmaa muutettiin progressiivisesti neljän viikon välein. Koehenkilöt käyttivät sykemittaria harjoitusten aikana ja pitivät harjoituspäiväkirjaa tekemistään harjoituksista.

#### ***8.4 Tilastolliset analyysimenetelmät***

Tulokset analysoitiin SPSS for Windows 11.5 –ohjelmalla. Tuloksista analysoitiin keskiarvot ja keskihajonnat. Lisäksi verrattiin muutosprosentteja alku- ja loppumittausten välillä. Ryhmien sisällä tapahtuvia muutoksia verrattiin parillisen T-testin avulla. Ryhmien välisten muutosten tarkasteluun käytettiin toistomittausmenetelmää (ANOVA). Analysoitavat leikkeet valittiin siten, että kaikilla koehenkilöillä oli tulokset kaikista QF:n osista. Tuloksiin otettiin mukaan leikkeet 5-9. QF:n osien tulokset laskettiin siten, että ensin jokaiselle koehenkilölle laskettiin leikkeiden 5-9 keskiarvot. Lopulliseen tulokseen laskettiin keskiarvot jokaisen koehenkilön tuloksista. Koko QF:n pinta-alaan laskettiin yhteen VL:n, VM:n, VI:n ja RF:n leikkeiden 5-9 keskiarvot.

## 9 TULOKSET

### 9.1 Antropometria

Taulukossa 3 on esitetty muutokset antropometriassa voima- ja voimakestävyysryhmässä. Voimakestävyysryhmän rasvaprosentti pieneni merkitsevästi (10,2 %;  $p < 0.001$ ).

Taulukko 3. Antropometrian tulokset V- ja VK-ryhmässä (muutokset ryhmien välillä \*\*\* $p < 0.001$ ).

| viikot       | Voima       |             | Voimakestävyys |             |
|--------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
|              | 0           | 21          | 0              | 21          |
| Ikä (v)      | 37,9 ± 5,7  | 37,9 ± 5,7  | 36,7 ± 4,6     | 36,7 ± 4,6  |
| Pituus (cm)  | 178 ± 4,8   | 178 ± 4,9   | 181 ± 8,2      | 181 ± 8,2   |
| Paino (kg)   | 82,8 ± 13,6 | 82,5 ± 13,5 | 87,3 ± 11,5    | 88,6 ± 12,9 |
| BMI          | 25,9 ± 3,4  | 26,0 ± 3,4  | 27,0 ± 3,0     | 26,7 ± 2,5  |
| Rasva (%)*** | 20,3 ± 5,2  | 20,4 ± 5,3  | 22,5 ± 4,5     | 20,2 ± 4,4  |

### 9.2 Nelipäisen reisilihaksen ja sen osien poikkipinta-alan kasvu

Voimaryhmässä QF:n poikkipinta-ala kasvoi 5,8 % ja voimakestävyysryhmässä 8,9 %. Molemmissa ryhmissä kasvu oli merkitsevä ( $p < 0.001$ ). Ryhmien välinen muutos ei ollut merkitsevä ( $p = 0.058$ ). VL kasvoi voimaryhmässä 7,8 % ja voimakestävyysryhmässä 12,9 %. Tilastollisesti muutokset olivat merkitseviä molemmissa ryhmissä ( $p < 0.001$  ja  $p < 0.05$ ). Voimaryhmän VM:ssa muutos oli 5,3 % ( $p < 0.001$ ) ja voima-kestävyysryhmässä 8,5 % ( $p < 0.05$ ). Voimaryhmän VI kasvoi 5,0 % ( $p < 0.001$ ) ja voima-kestävyysryhmässä 6,9 % ( $p < 0.001$ ). Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa VL:ssa ( $p = 0.123$ ), VM:ssa ( $p = 0.510$ ), VI:ssa ( $p = 0.059$ ) ja RF:ssa ( $p = 0.686$ ). (Taulukko 4.)

Taulukko 4. QF:n ja sen osien tulokset (leikkeiden 5-9 keskiarvot) V- ja VK- ryhmässä (muutokset ryhmien sisällä \*p<0.05, \*\*\*p<0.001).

| viikot                | Voima      |               | Voimakestävyys |               |
|-----------------------|------------|---------------|----------------|---------------|
|                       | 0          | 21            | 0              | 21            |
| QF (mm <sup>2</sup> ) | 7146 ± 987 | 7563 ± 928*** | 7823 ± 564     | 8519 ± 679*** |
| VL (mm <sup>2</sup> ) | 2455 ± 364 | 2647 ± 320*** | 2626 ± 422     | 2965 ± 435*   |
| VM (mm <sup>2</sup> ) | 1786 ± 267 | 1881 ± 287*** | 1595 ± 169     | 1731 ± 228*   |
| VI (mm <sup>2</sup> ) | 2115 ± 402 | 2221 ± 400*** | 2640 ± 316     | 2822 ± 379*** |
| RF (mm <sup>2</sup> ) | 790 ± 160  | 814 ± 148     | 962 ± 214      | 1001 ± 187    |

### **9.3 Dynaaminen bilateteraalinen alaraajojen ojentajien maksimivoima**

Voimaryhmällä 1 RM parani 25,5 % (184,0±29,2 vs. 231,0 ± 28,4; p<0.001) ja voima-kestävyysryhmällä 22,0 % (171,4 ± 16,6 vs. 209,1 ± 23,5; p<0.001). Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää muutosta.

## 10 POHDINTA

*Päätulokset.* Tutkimus osoitti, että niin progressiivisella voimaharjoittelulla kuin yhdistetyllä voima-kestävyys harjoittelulla saadaan lisättyä QF:n poikkipinta-alaa ja voimantuottoa 21 viikon harjoittelujakson aikana. Molemmissa ryhmissä QF:n poikkipinta-alan kasvu oli merkitsevää, mutta ryhmien välillä ei ollut eroa. Myös VL-, VM- ja VI-lihasten poikkipinta-ala kasvoi kummassakin ryhmässä ja ryhmien välillä ei ollut eroa. RF:ssa ei tapahtunut muutosta ryhmien sisällä eikä ryhmien välillä. Maksimaalisessa konsentrisessa bilateraalissa polven ojennuksessa molemmissa ryhmissä voiman kasvu oli merkitsevää ja ryhmien välillä ei havaittu eroa.

*QF –lihaksen poikkipinta-ala.* Sekä voima- että voima-kestävyysryhmän QF:n kokonaispoikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi 21 viikon harjoitusjakson aikana. Aiemmat tutkimukset tukevat tätä tulosta, sillä samansuuntaisia tuloksia QF:n poikkipinta-alan kasvussa on raportoitu myös 2-3 kertaa viikossa tapahtuvan maksimivoimaharjoittelun seurauksena 19 viikon - 6 kuukauden harjoitusjakson jälkeen (Sale ym. 1992, Carey Smith & Rutherford 1995, Narici ym. 1996, Roth ym. 2001, Ahtiainen ym. 2003). Myös lyhyemmän, 9-12 viikon, 3-4 kertaa viikossa tapahtuvan maksimivoimaharjoittelun seurauksena on saatu merkitsevää QF:n poikkipinta-alan kasvua (Narici ym. 1989, Welle ym. 1996, Häkkinen ym. 1998, Ivey ym. 2000a, Ivey ym. 2000b, McCarthy ym. 2002). Cureton ym. (1988) ja Abe ym. (2000) puolestaan eivät ole saaneet merkitseviä muutoksia 12-16 viikon harjoitusjakson jälkeen. Tämä saattaa johtua tutkimusasetelmien erilaisuudesta, sillä Curetonin ym. (1988) ja Aben ym. (2000) tutkimuksissa esim. sarjoja oli 1-3 kun muissa tutkimuksissa niitä oli vähintään kaksi. QF:n poikkipinta-alassa ei havaittu merkitsevää eroa voimaryhmän ja voima-kestävyysryhmän välillä. Aiemmissa tutkimuksissa on saatu merkitseviä eroja voima-kestävyysryhmän ja kestävyysryhmän sekä voimaryhmän ja kestävyysryhmän välillä (McCarthy ym. 2002, Leveritt ym. 2003). Erot tutkimusten välillä saattavat johtua eroista tutkimusasetelmien välillä.

Nuoremmilla tehtyjen tutkimusten tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös vanhempien voimaharjoittelun suunnittelussa, sillä Klitgaardin ym. (1990) mukaan vanhemmat (noin 69 -vuotiaat) voivat ylläpitää heidän lihaksen toimintaa samalla tavalla kuin nuoretkin. Iäkkäiden elimistö adaptoituu yhtä hyvin harjoitukseen kuin nuoremmilla ja lihaksen hypertrofia on samansuuruista, kun harjoitusvastus on suhteellisesti yhtä suuri (Ivey ym. 2000b). Ivey ym. (2000b) eivät havainneet eroa lihaksen poikkipinta-alan kasvussa nuoremman ja vanhemman ryhmän välillä. Noin kuukauden harjoittelemattomuuden jälkeen nuoremmilla miehillä havaittiin kuitenkin enemmän atrofiaa. Koska nuorempien miesten absoluuttinen lihaksen hypertrofia on suurempaa kuin vanhemmilla, on atrofiakin suurempaa ja nopeampaa.

*QF:n osien poikkipinta-ala.* Poikkipinta-alan kasvu oli tilastollisesti merkitsevää molemmissa ryhmissä VL:ssa, VM:ssa ja VI:ssa. RF:ssa puolestaan ei havaittu merkitsevää muutosta. Narici ym. (1996) ja Häkkinen ym. (1998) puolestaan ovat saaneet päinvastaisia tuloksia. Heidän mukaansa QF:n kaikissa osissa hypertrofia on lähes samansuuruista, mutta RF:n kasvu on hieman suurempaa kuin muiden osien. Heidän mukaansa tämä saattaa johtua siitä, että RF:ssa on enemmän nopeita lihassoluja, joiden hypertrofia on suurempaa kuin hitaiden. Tässä tutkimuksissa QF:n eri osien poikkipinta-alan kasvussa ei ollut eroa ryhmien välillä. Erot eri tutkimustulosten välillä saattavat johtua mm. analyysitapojen eroista. Tämän tutkimuksen tulosten luotettavuuteen QF:n osien poikkipinta-alassa saattaa vaikuttaa se, että voimaryhmän ja voima-kestävyysryhmän magneettikuvat piirsi eri henkilöt. Näkemykset siitä, missä lihaksen osien väliset rajat kulkevat saattavat olla erilaiset.

*Voimantuotto.* Sekä voima- että voima-kestävyysryhmässä maksimaalinen konsentriinen bilateraallinen voimantuotto kasvoi merkitsevästi. Aiemmat tutkimukset tukevat tätä tulosta voimaryhmän osalta. Useissa tutkimuksissa on todettu, että maksimivoimaharjoittelu 2-3 kertaa viikossa lisää merkitsevästi voimantuottoa. Tutkimustulokset ovat olleet samansuuntaisia riippumatta harjoitusjakson pituudesta. (Dudley & Djamil

1985, Cureton ym. 1988, Sale ym. 1992, McCarthy ym. 1995, Bell ym. 1997, Ivey ym. 2000, Ivey ym. 2000b, Häkkinen ym. 2001, Roth ym. 2001, Leveritt ym. 2003.) Tätä havaintoa tukee väite, että voimaharjoittelulla voidaan saada maksimivoima kehittymään nopeasti ja melko helposti pääasiassa hermostollisen adaptaation kautta (Narici ym. 1989, Narici ym. 1996, Häkkinen ym. 1998). Naricin ym. (1989) tutkimuksen mukaan kolmen kuukauden maksimivoimaharjoittelun aikana lihaksen poikkipinta-alan kasvu on vähemmän kuin puolet maksimaalisen isometrisen voiman kasvusta.

Tässä tutkimuksessa samanaikainen kestävyysharjoittelu ei vaikuttanut voiman kehitykseen epäedullisesti. Myös useat muut tutkimukset tukevat tätä havaintoa, sillä yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun tulokset ovat olleet pääsääntöisesti tämän tutkimuksen tulosten mukaisia (Sale ym. 1990a, McCartney ym. 1991, McCarthy ym. 1995, Bell ym. 1997, Häkkinen ym. 2003, Leveritt ym. 2003). Hickson (1980) on saanut päinvastaisia tuloksia. Hänen mukaansa samanaikainen kestävyysharjoittelu estää voiman kehittymistä harjoitusjakson alussa, mutta ei myöhemmin. Häkkinen ym. (2003) mukaan tämä saattaa pitää paikkansa, kun harjoitusmäärä ja/tai tiheys on korkea pitkän harjoitusjakson ajan.

Maksimaalisen konsentrisen bilateraalisin voimantuoton kasvussa ei ollut eroa ryhmien välillä. Tämä saattaisi johtua siitä, että kestävyysharjoittelu kasvattaa hitaita lihassoluja, jotka pystyvät tuottamaan tiettyä voimatasoa lyhyemmällä palautuksella (Goldberg ym. 1975, Häkkinen 1990, 41) ja nopeat lihassolut tarvitsevat pidemmän palautumisajan kuin hitaat (Häkkinen 1990). Mittaustilanteessa koehenkilöt joutuivat tekemään useita toistoja minuutin palautuksella ja tämän lisäksi he tekivät kolme harjoitussuoritusta ennen varsinaisen mittauksen alkua. Tosin Häkkinen ym. (2003) toteavat, että nopeiden ja hitaiden lihassolujen kasvu on samanlaista ryhmässä, joka tekee kaksi voimaharjoitusta viikossa ja ryhmässä, joka tekee kaksi voima- ja kaksi kestävyysharjoitusta viikossa.



Tämä tutkimus tukee Salen ym. (1990a) ja Häkkisen ym. (2001) tutkimusten tulosta, jonka mukaan aikaisemmin treenaamattomilla henkilöillä voimaharjoitustiheydeksi riittää kaksi kertaa viikossa, jos harjoitusteho on riittävä ja harjoittelu on progressiivista koko harjoitusjakson ajan. Tällainen harjoitusohjelma on suunniteltava hyvin ja kehittymistä on seurattava, jotta ylikuormitusperiaate toteutuisi. Lyhyempiaikaisella voimaharjoittelujaksolla ei lihaksessa olisi välttämättä ehtinyt tapahtua muutoksia harjoittelemalla kaksi kertaa viikossa. McCartney ym. (1991) saivat aikaan merkitsevän konsentrisen maksimivoiman parannuksen ryhmällä, joka teki 1x/vko voimaharjoittelun ja 1x/vko kestävyysharjoituksen 10 viikon tutkimusjakson ajan. Erot em. tuloksissa saattaa johtua erilaisista tutkimusasetelmista. Jotta voimaharjoittelusta on pysyvää hyötyä, sen on jatkuttava läpi elämän, jolloin jatkuvana harjoitteluna kaksi kertaa viikossa on riittävä määrä.

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös ikääntyvien harjoittelun suunnittelussa, sillä Fronteran ym. (1988) mukaan vanhempien miesten prosentuaalinen lisäys 1 RM:ssa 12 viikon harjoitusjakson aikana on yhtä suuri kuin nuorten miesten. Myöskin Ivey ym. (2000b) ovat sitä mieltä, että ikä ei heikennä voimaharjoittelun vaikutusta. Heidän tutkimuksensa kesti 9 viikkoa. Kuitenkin Welle ym. (1996) ovat todenneet, että vanhempien lihasvoima ei lisäännä yhtä paljon kuin nuorilla suhteellisesti samanlaisella voimaharjoittelulla kolmen kuukauden aikana. Tutkimusten tulkintaa vaikeuttaa se, että vaikka kuorma ja harjoitustiheys ovat samansuuntaisia kaikissa tutkimuksissa, saattaa harjoitusintensiteetissä olla eroja. Toiminnallisuuden kannalta tärkeämpää on lihaksen tuottaman voiman paraneminen kuin poikkipinta-alan kasvu. Esimerkiksi itsenäisen selviytymisen kannalta voima on tärkeämpää kuin lihasmassan kasvu.

Miesten lihassolujen koko ja lukumäärä on suurempi kuin naisilla, jolloin lihaksen absoluuttinen kasvukin on suurempaa voimaharjoittelun seurauksena. Tutkimusten mukaan kuitenkin lihaksen suhteellinen kasvu on yhtä suurta molemmilla sukupuolilla (Cureton ym. 1988), jolloin tämän



ja toimintakyvyn kannalta sekä kestävyden että voiman harjoittaminen on tärkeää. Voima- ja voima-kestävyys harjoittelututkimusten tuloksia voidaan käyttää hyväksi mm. kuntoutuksessa, urheiluvalmennuksessa ja ikääntyvien toimintakyvyn ylläpitämisessä. Tutkimustulosten avulla voidaan määrittää voima- ja voimakestävyys harjoittelun annos-vaste – suhdetta suunniteltaessa esim. kuntoutus- tai harjoitusohjelmaa potilaiden ja urheilijoiden lihasmassan ja voiman palauttamiseksi ja parantamiseksi.

## LÄHTEET

Abe T, DeHoyos D, Pollock M, Garzarella L. Time course for strength and muscle thickness changes following upper lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology* 2000; 81: 174-180.

Adams G, Harris R, Woodard D, Dudley G. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *Journal of Applied Physiology* 1993; 74: 532-537.

Ahtiainen J, Pakarinen A, Alen M, Kraemer W, Häkkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology* 2003; 89: 555–563.

Ahtiainen J, Häkkinen K. Hermo-lihas –järjestelmän toiminnan mittaaminen. Teoksessa: Keskinen K, Häkkinen K, Kallinen M, toim. *Kuntotestauksen käsikirja*. Tampere: Tammer-Paino Oy, 2004

Antonio J, Gonyea J. Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25: 1333-1345.

Bell G, Petersen S, Wenger H, Quinney H. Sequencing of endurance and high-velocity strength training. *Canadian Journal of Sports Sciences* 1988; 13: 4: 214-219.

Bell G, Petersen S, Wessel J, Bagnall K, Quinney H. Adaptations to endurance and low velocity resistance training performed in a sequence. *Canadian Journal of Sports Sciences* 1991; 16: 3: 186-192.

Bell G, Wenger H. Physiological adaptations to velocity controlled resistance training. *Sports Medicine* 1992; 13: 234-244.

Bell G, Syrotuik D, Socha T, MacLean I, Quinney H. Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1997; 11: 1: 57-64.

Bell G, Attwood K, Syrotuik D, Quinney H. Physiological adaptations to high and low stroke training in rowers. *Journal of Sports Medicine and Rehabilitation Training* 1998; 7: 345-353.

Bell G, Syrotuik D, Martin T, Burnham R, Quinney H. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology* 2000; 81: 418-427.

Carey Smith R, Rutherford O. The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *European Journal of Applied Physiology* 1995; 71: 332-336.

Charette S, McEvoy L, Pyka G, Snow-Harter C, Guido D, Wiswell A, Marcus R. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *Journal of Applied Physiology* 1991; 70: 1912-1916.

Collins M, Snow T. Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of Sports Sciences* 1993; 11: 6: 485-491.

Costill D, Coyle E, Fink W, Lesmes G, Witzmann F. Adaptions in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology* 1979; 46: 96-99.

Côté C, Simoneau J, Lagassé P, Boulay M, Thibault M, Marcotte M, Bouchard C. Isokinetic strength training protocols: Do they induce skeletal muscle fiber hypertrophy? *Archives of physical medicine & rehabilitation* 1988; 69: 281-285.

Cureton K, Collins M, Hill D, McElhannon F. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1988; 20: 338-343.

Dudley G, Djamil R. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* 1985; 59:5: 1446-1451.

Dudley G, Fleck S. Strength and endurance training. Are they mutually exclusive? *Sports Medicine* 1987; 4: 79-85.

Enoka R. *Neuromechanical basis of kinesiology*. 2<sup>nd</sup> edition. USA: Braun-Brumfield, 1994, 319-321.

Fleck S, Kraemer W. *Designing resistance training programs*. 2. painos. Human Kinetics. USA. 1997.

Fogelholm M, Oja P, Rinne M, Suni J, Vuori I. Riittääkö puoli tuntia kävelyä päivässä? *Suomen Lääkärilehti* 2004; 59:19: 2040-2042.

Goldberg A, Etlinger J, Goldspink D, Jablecki C. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports* 1975; 7: 185-198.

Gollnick P, Hermansen L. Biochemical adaptations to exercise: anaerobic metabolism. Teoksessa: *Exercise and Sports Sciences Reviews*, toim. J H Wilmore. New York: Academic, 1973, s. 1-43.

Guyton A. *Textbook of medical physiology*. 8<sup>th</sup> edition. Philadelphia, USA: W B Saunders Company, 1991.

Hennessey L, Watson A. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1994; 8: 12-19.

Hickson R. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology* 1980; 45: 255-263.

Hickson R, Rosenkoetter M, Brown M. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1980; 12:5: 336-339.

Hickson R, Dvorak B, Gorostiaga E, Kurowski T, Foster C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology* 1988; 65:5: 2285-2290.

Holloszy J, Booth F. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annual Review of Physiology* 1976; 38: 273-295.

Hortobagyi T, Katch F, Lachance P. Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1991; 31: 20-30.

Howley E, Franks D. *Health fitness instructor's handbook*. 3<sup>rd</sup> edition. USA: Braun-Brumfield, 1997.

Hunter G, Demment R, Miller D. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1987; 27:3: 269-275.

Häkkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training: A review. *Journal of Sports Medicine* 1989; 29:9.

Häkkinen K. *Voimaharjoittelun perusteet*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1990.

Häkkinen K. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine* 1994; 6:3: 161-198.

Häkkinen K, Komi P, Tesch P. Effect of combined concentric and eccentric training and detraining on force time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scandinavian Journal of Sport Sciences* 1981; 3: 50-58.

Häkkinen K, Komi P. Changes in neuromuscular performance in voluntary and reflex contraction during strength training in man. *International Journal of Sports Medicine* 1983; 4: 282-288.

Häkkinen K, Alen M, Komi P. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* 1985 a; 125: 573-585.

Häkkinen K, Komi P, Alen M. Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiology of Skandinavica* 1985 b; 125: 587-600.

Häkkinen K, Newton U, Gordon S, McCormick M, Volek J, Nindl B, Gotshalk L, Campbell W, Evans W, Häkkinen A, Humphries B, Kraemer W. Changes in muscle morphology, electromyographic activity and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *Journal of Gerontology* 1998; 6: B415-B423.

Häkkinen K, Kraemer W, Newton R, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and muscle force production characteristics during heavy resistance / power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* 2001; 171: 51-62.



Häkkinen K, Alen M, Kraemer W, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Häkkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 2003; 89: 42-52.

Ivey F, Roth S, Ferrell R, Tracy B, Lemmer J, Hurlbut D, Martel G, Siegel E, Fozard J, Metter E, Fleg J, Hurley B. Effects of age, gender and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 2000 a; 11: M641-M648.

Ivey F, Tracy B, Lemmer J, NessAiver M, Metter E, Fozard J, Hurley B. Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *Journal of Gerontology: Biological Sciences* 2000 b; 3: B152-B157.

Kahle W, Leonhardt H, Platzer W. *Locomotor system*. 4th edition. New York: Thieme Medical Publishers, 1992.

Klitgaard H, Mantoni S, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-Winter C, Schnohr C, Saltin B. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica* 1990; 140: 41-45.

Komi P, Karlsson J, Tesch P, Suominen H, Heikkinen E. Effects of heavy resistance and explosive type strength training methods on mechanical, functional and metabolic aspects of performance. *Teoksessa: P Komi, toim. Exercise and Sport Biology*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1982.

Kraemer W, Patton J, Gordon S, Harman E, Deschenes M, Reynolds K, Newton R, Triplett N, Dziados J. Compatibility of high intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 1995; 78:3: 976-989.

Kuno S, Katsuta S, Akisada M, Anno I, Matsumoto K. Effect of strength training on the relationship between magnetic resonance relaxation time and muscle fibre composition. *European Journal of Applied Physiology* 1990; 61: 33-36.

Leveritt M, Abernethy P, Barry B , Logan P. Concurrent strength and endurance training. *Sports Medicine* 1999; 28:6: 413-427.

Leveritt M, Abernethy P, Barry B, Logan P. Concurrent strength and endurance training: the influence of dependent variable selection. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2003; 17:3: 503–508.

Luginbuhl A, Dudley G, Staron R. Fiber type changes in rat skeletal muscle after intense interval training. *Histochemistry* 1984; 81: 55-58.

MacDougall J. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. Teoksessa: Jones N, toim. *Human Kinetics Publishers*, 1986, s. 269-288.

MacDougall J, Elder G, Sale D, Moroz J, Sutton J. Skeletal muscle hypertrophy and atrophy with respect to fibre type in humans (abstract). *Canadian Journal of Applied Science* 1977; 2:4: 229.

MacDougall J, Elder G, Sale D, Moroz J, Sutton J. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *European Journal of Applied Physiology* 1980; 43: 25-34.

Magneettitutkimus. Esittely. Radiologian klinikka. 2002. [online]. Oulu: Radiologian klinikka. Oulun yliopistollinen sairaala. [viitattu 24.6.2002]. Saatavilla [www-muodossa:URL:http://www oulu.fi/radiologia/esitte4.htm](http://www.muodossa:URL:http://www oulu.fi/radiologia/esitte4.htm) >.

Marks R. Effects of strength training on the structural and functional properties of human muscle: a review. *Sports Medicine and Training Rehabilitation* 1996; 7: 49-60.

Mayhew T, Rothstein J, Finucane S, Lamb R. Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27: 868-873.

McArdle W, Katch F, Katch V. *Exercise physiology, energy, nutrition and human performance*. 4<sup>th</sup> edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 1996.

McArdle W, Katch F, Katch V. *Exercise physiology, energy, nutrition and human performance*. 6<sup>th</sup> edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

McCarthy J, Agre J, Graf B, Pozniak M, Vailas A. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27:3: 429-436.

McCarthy J, Pozniak M, Agre J. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002; 34:3: 511-519.

McCartney N, McKelvie R, Haslan D, Jones N. Usefulness of weight training in improving strength and maximum power output in coronary artery disease. *American Journal of Cardiology* 1991; 67: 939-945.

Moritani T, DeVries H. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 1979; 58: 115-130.

Moroz D, Houston M. The effects of replacing endurance running training with cycling in female runners. *Canadian Journal of Sport Science* 1987; 12: 131-135.

Narici M, Roi G, Landoni L, Minetti A, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology* 1989; 59: 310-319.

Narici M, Hoppeler H, Kayser B, Landoni L, Claassen H, Gavardi C, Conti M, Cerretelli P. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica* 1996; 157: 175-186.

Nelson A G, Conlee R K, Arnall D A, Loy S F, Silvester L J. Adaptations to simultaneous training for strength and endurance (abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1984; 16: 184.

Nienstedt W, Hänninen O, Arstila A, Björkqvist S-E. *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. 5. painos. Porvoo: WSOY, 1987.

Nummela A. *Kestävyys*. Teoksessa: Mero A, Nummela A, Keskinen K (toim.). *Nykyaikainen urheiluvalmennus*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1997.

Rosler K, Conley K E, Howald H, Gerber C, Hoppeler H. Specificity of leg power changes to velocities used in bicycle endurance training. *Journal of Applied Physiology* 1986; 61: 30-36.

Roth S M, Ivey F M, Martel G F, Lemmer J T, Hurlbut D E, Siegel E L, Metter E J, Fleg J L, Fozard J L, Kostek M C, Wernick D M, Hurley B F. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *JAGS* 2001; 49: 1428-1433.

Rusko, H. Harjoittelu. Teoksessa: Suomen Olympiakomitea (toim.). Suomalainen Valmennusoppi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1989.

Sale D G. Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1988; 20:5: 135-145.

Sale D G, Jacobs I, MacDougall J D, Garner S. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1990 a; 2:3: 348-356.

Sale D G, MacDougall J D, Jacobs I, Garner S. Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 1990 b; 68:1: 260-270.

Sale D, Martin J, Moroz D. Hypertrophy without increased isometric strength after weight training. *European Journal of Applied Physiology* 1992; 64: 51-55.

Staron R S, Hikida R S, Hagerman F C. Human skeletal muscle adaptability to various workloads. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 1984; 32: 146-154.

Staron R S, Johansson P. Tutkimuksessa: Staron ym. 1994. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 1994; 76:3: 1247-1255.

Staron R S, Karapondo D L, Kraemer W J, Fry A C, Gordon S E, Falkel J E, Hagerman F C, Hikida R S. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 1994; 76:3: 1247-1255.

Staron R S, Leonardi M J, Karapondo D, Malicky E S, Falkel J E, Hagerman F C, Hikida R S. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology* 1991; 70: 631-640.

Tesch P A. Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Medicine in Science and Sports Exercise* 1988; 20: 132-134.

Tietokonetomografia. Esittely. Radiologian klinikka. 2002. [online]. Oulu: Radiologian klinikka. Oulun yliopistollinen sairaala. [viitattu 8.6.2002]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://www.oulu.fi/radiologia/esitte8.htm>](http://www.muodossa:URL:http://www.oulu.fi/radiologia/esitte8.htm)

Ultraäänitutkimus. Esittely. Radiologian klinikka. 2002. [online]. Oulu: Radiologian klinikka. Oulun yliopistollinen sairaala. [viitattu 24.6.2002]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://www.oulu.fi/radiologia/esitte9.htm>](http://www.muodossa:URL:http://www.oulu.fi/radiologia/esitte9.htm)

Viitasalo J. Lihassoiman harjoittamisen ja mittaamisen biomekaniikka ja fysiologia. Teoksessa: Viitasalo J, Raninen J, Liitsola S, toim. Voimaharjoittelu – perusteet ja käytännön toteutus. Jyväskylä: Gummerus Oy, 1987.

Welle S, Totterman S, Thornton C. Effect of age on muscle hypertrophy induced by resistance training. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 1996; 6: M270-M275.

Westbrook C, Kaut C. MRI in practise. 2<sup>nd</sup> edition. Oxford: Osney Mead, 1998.