

KESKI-ikäisten ja iäkkäiden naisten ja miesten intensiivisen  
voimaharjoittelun aiheuttamat muutokset lihasten  
voimantuotto-ominaisuuksiin, EMG-aktiivisuuteen ja  
poikkipinta-alaan sekä kävelynopeuteen

Kirsi Piitulainen

Fysioterapian  
pro gradu -tutkielma  
Jyväskylän yliopisto  
Terveystieteen laitos  
Kevät 2002

## TIIVISTELMÄ

### KESKI-ikäisten ja iäkkäiden naisten ja miesten intensiivisen voimaharjoittelun aiheuttamat muutokset lihasten voimantuotto-ominaisuuksiin, EMG-aktiivisuuteen ja poikkipinta-alaan sekä kävelynopeuteen

Fysioterapian pro gradu -tutkielma

Kirsi Piitulainen

Terveystieteen laitos

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2002

Avainsanat: lihasvoimaharjoittelu, keski-ikäiset, iäkkäät, lihasvoima, EMG, poikkipinta-ala, kävelynopeus

Ihmisellä maksimivoima ja voimantuottonopeus heikkenevät ikääntyessä johtuen maksimaalisen tahdonalaisen hermotuksen vähenemisestä sekä lihassolujen määrän ja koon pienenemisestä. Kuitenkin jopa hyvin iäkkäät miehet ja naiset pystyvät systemaattisen voimaharjoittelun avulla lisäämään huomattavasti lihasvoimaansa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää 6 kuukauden intensiivisen voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia keski-ikäisten ja iäkkäiden naisten ja miesten quadriceps-lihasten maksimivoimaan, poikkipinta-alaan, EMG-aktiivisuuteen sekä kävelynopeuteen. Tutkimus on osa laajempaa tutkimusprojektia.

Koehenkilöitä oli 42, joista keski-ikäisiä naisia oli 11 (35-44 v.) ja miehiä 10 (39-44 v.), iäkkäitä naisia 10 (62-71 v.) ja miehiä 11 (69-78 v.). Koehenkilöt tekivät kaksi kertaa viikossa ohjattua lihasvoimaharjoittelua pääosin alaraajojen lihaksille. Harjoittelun kokonaiskuormitusta lisättiin kuukauden välein progressiivisesti.

Alaraajojen ojentajien isometrinen bilateraalinen maksimivoima mitattiin jalkadynamometrillä ja konsentrisen (1 RM) David 210 -jalkaprässillä kahdeksan viikon välein. Samanaikaisesti mitattiin vastus medialis- ja vastus lateralis -lihasten sähköinen aktiivisuus (EMG). Quadriceps-lihasten poikkipinta-ala mitattiin ultraäänilaitteella ennen ja jälkeen kuuden kuukauden harjoittelujakson. Alkumittaukset suoritettiin kaksi kertaa neljän viikon aikana ennen voimaharjoittelun aloittamista, jolloin koehenkilöt toimivat itsensä kontrolleina. Kävelynopeus (10 m) mitattiin valokennojen avulla. Muuta fyysistä kuormitusta seurattiin MET-yksiköiden avulla kuukauden välein tehtävällä kyselylomakkeella.

Lihassoimaharjoittelun aikana keski-ikäisten naisten alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima lisääntyi 66% ja konsentrisen 34% ( $p < 0.001$ ), keski-ikäisten miesten vastaavasti 36% ja 22% ( $p < 0.001$ ). Iäkkäiden naisten isometrinen maksimivoima lisääntyi 57% ja konsentrisen 30% ( $p < 0.001$ ) ja iäkkäiden miesten vastaavasti 36% ja 21% ( $p < 0.001$ ). Quadriceps-lihasten EMG-aktiivisuus lisääntyi merkitsevästi ( $p < 0.05-0.001$ ) kaikilla ryhmillä, samoin kuin isometrinen voimantuottonopeus ( $p < 0.05-0.001$ ). Myös lihasten poikkipinta-ala kasvoi kaikilla ryhmillä, paitsi iäkkäillä miehillä. Kävelynopeus lisääntyi iäkkäillä naisilla. Keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla ja miehillä tapahtuu samanlaisia rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä intensiivisen voimaharjoittelun aikana. Myös iäkkäät pystyvät tekemään progressiivista ja pitkäkestoista voimaharjoittelua.

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	1
2. HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSISTA.....	3
2.1 LIHAKSEN MAKSIMIVOIMA JA POIKKIPINTA-ALA .....	3
2.2 LIHAKSEN SÄHKÖINEN AKTIIVISUUS.....	3
3. SUKUPUOLEN JA IÄN YHTEYDET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIIN .....	4
3.1 SUKUPUOLTEN VÄLISET EROT VOIMANTUOTOSSA .....	4
3.2 IÄN YHTEYDET VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIIN .....	4
4. VOIMAHARJOITTELUN NEURAALISET JA HYPERTROFISET MUUTOKSET .....	7
5. VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET IÄKKÄILLÄ NAISILLA JA MIEHILLÄ .....	9
6. TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	14
7. KOEHENKILÖT JA TUTKIMUSMENETELMÄT .....	15
7.1 KOEHENKILÖT.....	15
7.2 VOIMAHARJOITTELU .....	15
7.3 MITTAUSMENETELMÄT .....	17
7.3.1 <i>Antropometria ja nivelliikkuvuus</i> .....	18
7.3.2 <i>Työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus (MET)</i> .....	18
7.3.3 <i>Maksimivoima, voimantuottonopeus ja EMG-aktiivisuus</i> .....	18
7.3.4 <i>Lihaksen poikkipinta-ala (PPA)</i> .....	19
7.3.5 <i>Kävelynopeus</i> .....	20
7.4 TILASTOLLISET MENETELMÄT .....	20
8. TULOKSET .....	21
8.1 ANTROPOMETRIA, NIVELLIKKUVUUS SEKÄ TYÖ-JA VAPAA-AJAN KUORMITTAVUUS .....	21
8.2 ISOMETRINEN JA KONSENTRINEN MAKSIMIVOIMA, VOIMANTUOTTONOPEUS JA IEMG .....	22
8.3 LIHAKSEN POIKKIPINTA-ALA .....	26
8.4 KÄVELYNOPEUS.....	26
9. POHDINTA .....	28

## LÄHTEET

## LIITTEET

## 1. JOHDANTO

Ihmisellä lihasvoima on suurimmillaan 20-30 vuoden iässä, minkä jälkeen se heikkenee hitaasti ja tasaisesti. 60 ikävuoden vaiheilla maksimivoima alkaa kuitenkin heikentyä entistä jyrkemmin johtuen hermolihaskäytännössä tapahtuvista rakenteellisista ja toiminnallisista muutoksista. 30 ja 70 ikävuoden välillä maksimivoiman heikkenemisen on todettu olevan 30-40% (Asmussen 1980). Maksimivoiman heikkeneminen on yhteydessä sekä lihasmassan vähenemiseen että maksimaalisen tahdonalaisen hermotuksen heikkenemiseen. Ikääntymisen myötä myös voimantuottonopeus heikkenee, jopa voimakkaammin kuin maksimivoima. Lihasvoiman väheneminen selittyy myös osaltaan päivittäisen fyysisen aktiivisuuden laskusta ja varsinkin aktiivisuuden intensiteetin laskusta. (Essen-Gustavsson ja Borges 1986, Häkkinen 1994).

Lihasvoiman vähenemisen ohella liikkumiskyvyn on todettu huonontuvan iän myötä ja etenkin iäkkäät naiset kärsivät liikkumisongelmista (Jylhä ym. 1992). 75-vuotiaista naisista melkein joka viides ja miehistä noin joka kymmenes tarvitsee apua ulkona liikkumisessa (Schroll ym. 1993). Lihasvoimalla on todettu olevan selkeä yhteys liikkumis- ja toimintakykyyn, ja siten selviytymiseen päivittäisistä toiminnoista itsenäisesti. Iäkkäiden kaatumistapaturmista ja niiden seurauksena syntyneistä murtumista, etenkin lonkkamurtumista, on tullut kansanterveysongelma. Lonkkamurtumien määrä on lisääntynyt tasaisesti vuodesta 1970 (2239 murtumaa) vuoteen 1993 (6330 murtumaa) keskimäärin 7,9% vuodessa (Hartikainen 1996). Mitä iäkkäämpi henkilö on, sitä todennäköisemmin kaatumisen on todettu johtuvan sisäisistä syistä, kuten huonosta liikuntakyvystä (Luukinen ym. 1996). Voimaharjoittelun ja monipuolisen liikuntaharjoittelun avulla iäkkäiden kaatumisia voitaisiin ennaltaehkäistä, ja näin vähentää inhimillistä kärsimystä ja taloudellisia kuluja. Fysioterapia saa tästä suuren haasteen, johon sen asiantuntijoiden tulisi panostaa tietoaan ja taitoaan.

Voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasvoimaan ja lihaksen morfologiaan iäkkäillä on tutkittu runsaasti. Liikunnalla ja voimaharjoittelulla ei pystytä ehkäisemään vanhenemisen mukanaan tuomia osittain palautumattomia muutoksia elinjärjestelmissä, mutta harjoittelulla voidaan edistää toimintakyvyn säilymistä mahdollisimman hyvänä mahdollisimman pitkään (Brooks ja Faulkner 1994). Useiden tutkimusten mukaan myös iäkkäillä muutamien viikkojen tai kuukausien harjoittelu saa aikaan sekä rakenteellisia että toiminnallisia muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä.

Pitkäkestoisen, intensiivisen ja progressiivisen voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia iäkkäillä, etenkin naisilla, ei ole tutkittu vielä riittävän kattavasti. Lisäksi tarvitaan tutkimuksia, joissa selvitetään maksimivoiman ohella lihasten nopeaa voimantuotto-ominaisuutta sekä lihasvoiman yhteyttä toiminnalliseen suorituskykyyn, kuten esimerkiksi kävelyyn. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pitkäkestoisen progressiivisen voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasten voimantuotto-ominaisuuksiin, poikkipinta-alaan ja EMG-aktiivisuuteen sekä kävelynopeuteen keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla ja miehillä.

## 2. HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSISTA

### 2.1. Lihaksen maksimivoima ja poikkipinta-ala

Hermo-lihasjärjestelmän toiminta voimantuotossa on monitasoinen järjestelmä. Keskushermosto säätelee voimantuottoa ja sen rooli lihasten tahdonalaisessa voimantuotossa on keskeinen, koska mitä nopeammin ja enemmän aivoista pystytään lähettämään supistumiskäskyjä lihaksiin, sitä nopeammin/enemmän ko. lihakset pystyvät tuottamaan voimaa. Ääreishermosto vie toimintakäskyjä keskushermostosta lihaksille motorisia hermoja pitkin ja tuo tietoa keskushermostolle kehosta sensorisia hermoja pitkin. (Häkkinen 1990). Hermo-lihasjärjestelmän rakenteeseen ja toimintaan voimantuotossa voit tutustua tarkemmin esimerkiksi teoksissa: Enoka 1988, Häkkinen 1990.

Lihaksen tuottama tahdonalainen absoluuttinen maksimivoima on yhteydessä lihaksen poikkipinta-alaan; mitä suurempi on lihaksen poikkipinta-ala, sitä suurempi on myös lihaksen tuottama maksimivoima (Ikai ja Fukunaga 1968, Ryushi ym. 1988). Yksittäisen lihassolun koko ja lihaksen kokonaispoikkipinta-ala ovat myös suorassa yhteydessä toisiinsa; mitä suurempi on yksittäisen solun poikkipinta-ala, sitä suurempi on lihaksen kokonaispoikkipinta-ala (Ryushi ym. 1988). Nykyään lihaksen kokonaispoikkipinta-ala pystytään määrittämään ultraäänellä, tietokonetomografialla ja magneettikuvauksella luotettavammin kuin aiemmin (Häkkinen 1998).

### 2.2. Lihaksen sähköinen aktiivisuus

Lihaksen sähköistä aktiivisuutta mitataan elektromyografialla (EMG). Tämä voidaan helpoimmin tehdä ns. pinta-elektrodeilla lihaksen päältä. EMG-signaali on supistuvan tai supistuvien lihasten toiminnasta koko hermo-lihasjärjestelmän aktivoitumisen kautta tuleva signaali. Motoneuronia pitkin etenevä aktiopotentiaali aktivoi hermohaarat, jotka sitten aktivoivat motorisen yksikön kaikki lihassäikeet. Kun lihassolun membraani on polarisoitunut, depolarisaatio etenee lihassäiettä pitkin sen pituussuunnassa molempiin suuntiin. Membraanin depolarisoituminen tuottaa sähkömagneettisen kentän lihassäikeen lähellä. Tämä sama ilmiö tapahtuu motorisen yksikön kaikissa säikeissä ja lopullinen motorisen yksikön aktiopotentiaali on lihassäikeiden aktiopotentiaalien summa. (Basmajian ja DeLuca 1985, Luhtanen 1988).

### 3. SUKUPUOLEN JA IÄN YHTEYDET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUKSIIN

#### 3.1. Sukupuolten väliset erot voimantuotossa

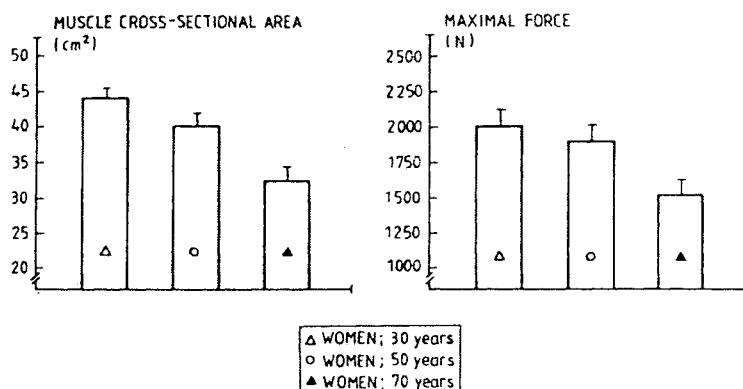
Naisten absoluuttisen maksimivoiman keskimääräinen osuus on noin 63,5% miesten keskimääräisestä maksimivoimasta; naisten isometrinen ylävartalon maksimivoima on keskimäärin 55,8% ja alavartalon maksimivoima on 71,9% miesten maksimivoimasta. Suuri voimaero sukupuolten välillä johtuu osaltaan lihasmassan erilaisesta jakautumisesta kehon eri osissa sekä erilaisista mittausmenetelmistä. (Fleck ja Kraemer 1997). Mälkiän (1993) tutkimuksessa naisten dominoivan käden puristusvoima oli iän mukaan vaihdellen 55-61% samanikäisten miesten puristusvoimasta. Naisten ja miesten välinen ero pienenee tai häviää suhteutettaessa maksimivoima lihaksen poikkipinta-alaan tai rasvattomaan kehon painoon (Fleck ja Kraemer 1997).

Naisten ja miesten välillä on eroa myös voimantuottonopeudessa. Miehet pystyvät tuottamaan tietyt absoluuttiset voimatasot lyhyemmässä ajassa kuin naiset (Komi 1981, Häkkinen ja Häkkinen 1991, Ryushi ym. 1988, Fleck ja Kraemer 1997). Naisten ja miesten väliset erot voivat johtua mm. eroista keskushermoston kyvyssä aktivoida lihaksia nopeasti, eroista lihassolujen jakaumassa ja eri solutyypin pinta-aloissa. Lisäksi syynä voi olla naisten selvästi alhaisempi seerumin testosteronipitoisuus. (Ryushi ym. 1988, Häkkinen 1989). Häkkisen ym. (2000) tutkimuksen mukaan erityisesti iäkkäiden naisten alhainen testosteronipitoisuus voi rajoittaa lihasvoiman kehittymistä, sillä testosteroni saattaa välillisesti hermoston kautta vaikuttaa voiman kehitykseen.

#### 3.2. Iän yhteydet voimantuotto-ominaisuuksiin

Ihmisen lihasvoima on suurimmillaan 20-30 -vuotiaana, minkä jälkeen se heikkenee hitaasti ja tasaisesti. Maksimivoima alkaa heikentyä entistä jyrkemmin 60 vuoden vaiheilla sekä naisilla että miehillä. Maksimivoiman heikkenemisen on todettu olevan 30 ja 70 ikävuoden välillä 30-40%. (Asmussen 1980, Dummer ym. 1985, Viitasalo ym. 1985, Gandee ym. 1989, Häkkinen ja Häkkinen 1991). Eri lihasryhmissä maksimivoima heikkenee hieman eri tavalla. Alaraajojen lihaksissa voiman heikkeneminen voi olla suurempaa kuin yläraajoissa ja vartalossa johtuen ilmeisesti siitä, että ikääntyessä alaraajojen päivittäinen kuormittuminen on vähäisempää, koska työn ja liikkumisen painopistettä siirretään yläraajoille (Mälkiä 1983, Frontera ym. 1988).

Maksimivoiman väheneminen liittyy selvästi lihasmassan pienenemiseen, koska ikääntymiseen liittyy myös hormonaalisia, erityisesti androgeenitason, muutoksia (Kuva 1)(Häkkinen ja Pakarinen 1993). Se on yhteydessä myös päivittäisen fyysisen aktiivisuuden sekä sen intensiteetin vähenemiseen (Essen-Gustavsson ja Borges 1986, Vandervoort 1998).



Kuva 1. 30-, 50- ja 70-vuotiaiden naisten quadriceps femoris -lihasten poikkipinta-alan ja maksimaalisen isometrisen alaraajojen ojennuksen keskiarvot ja -hajonnat. (Häkkinen 1994)

Lexell ym. (1988) on tutkimuksissaan osoittanut, että ikääntymiseen liittyvä lihasatrofia, etenkin vastus lateralis -lihaksessa, johtuu ensisijaisesti lihassolujen määrän vähenemisestä ja toissijaisesti niiden koon pienenemisestä. Lihassolujen määrän vähenemisen taustalla voi olla joko solujen korjaantumaton vaurioituminen tai solujen välisen hermotuksen pysyvä häviäminen. Osan lihassoluista on todettu häviävän, vaikka hermon uusiutumiskyky säilyy koko elämän ajan. Lisääntyvä rasva- ja sidekudos korvaavat vähenevää lihasmassaa. Lihassolujen koon pieneneminen liittyy denervaatioprosessiin ja inaktiivisuuteen. (Lexell ym. 1988). Lihasmassan vähenemisen syynä on yksittäisten lihassolujen, erityisesti nopeiden solujen, koon pieneneminen sekä solujen määrän väheneminen (Larsson 1978, Lexell ym. 1988, Porter ym. 1995, Vandervoort 1998). Lisäksi tutkittaessa koko vastus lateralis -lihaksen solujakauma todettiin, että nopeiden solujen keskimääräisen osuuden yksilöllinen vaihtelu oli iäkkäillä paljon suurempi kuin nuorilla. Ikääntymisen vaikutusta lihassolujakaumaan on tutkittu runsaasti, mutta tulokset siitä ovat ristiriitaisia. (Lexell ym. 1988).

Iäkkäillä maksimivoiman vähenemistä selittää lihasmassan pienenemisen lisäksi keskushermoston alentunut kyky aktivoida lihasten motorisia yksiköitä. Tätä osoittaa se, että suhteuttamalla yksilöiden maksimivoima-arvot lihasten poikkipinta-alaan, iäkkäillä voima/poikkipinta-ala -



vaihtelun on todettu olevan suurempaa kuin nuorilla aikuisilla. (Häkkinen ja Häkkinen 1991). Selkäytimen alfa-motoneuronien määrä vähenee, mikä johtaa myös niiden aksoneiden rappeutumiseen. Lisäksi ikääntymiseen liittyy toimivien motoristen yksiköiden määrän väheneminen ja jäljellejääneiden/eloonjääneiden yksiköiden koon kasvaminen. Tämä osoittaa, että ikääntyessä lihassolupopulaatio käy läpi useita denervaatioprosesseja, jotka johtavat hermojen reinnervaatioon. Tästä on seurauksena selkäytimen motoneuronin kuoleminen tai perifeerisen hermoaksonin korjaantumaton vaurio. Luultavasti ikääntymiseen liittyvät perifeeriset neuraaliset muutokset ovat kuitenkin suurempia kuin keskushermostossa tapahtuvat muutokset. (Porter ym. 1995, Vandervoort 1998). Lihasten aktivointikyky saattaa vaihdella aktivoitavan lihaksen ja lihasryhmän mukaan suhteessa niiden päivittäiseen fyysiseen kuormittamiseen (Häkkinen 1994).

Voimantuottonopeuden on todettu heikkenevän ikääntyessä jopa enemmän kuin maksimivoiman. Tämä on voitu osoittaa isometrisen voima-aika ja konsentrisen voima-nopeus -käyrien perusteella, joissa iäkkäillä tietyn voimatason saavuttamiseen menee enemmän aikaa kuin nuorilla ja keski-ikäisillä (Häkkinen ja Häkkinen 1991, Häkkinen 1994, Bassej 1997).

Muutokset voimantuottonopeudessa voivat johtua siitä, että tyyppi II -solujen atrofia ikääntyessä on suurempaa kuin tyyppi I -solujen ja että keskushermoston kyky motoristen yksiköiden nopeaan aktivointiin heikkenee ikääntyessä (Bassej ja Harries 1987, Häkkinen 1990, Lexell 1993, Brooks ja Faulkner 1994). Tyyppi II -solujen osuuden vähenemisen syynä voi olla niiden muuttuminen tyyppi I -soluiksi tai häviäminen kokonaan. Yli 70-vuotiailla tyyppi II -solujen keskimääräinen pinta-ala on pienentynyt 15-20 % ja prosentuaalinen osuus 40 %. Lisäksi iäkkäillä vuodepotilailla on todettu olevan jäljellä enää tyyppi I ja tyyppi IIB -soluja. (Brooks ja Faulkner 1994). Koska monet päivittäiset toiminnot edellyttävät dynaamisia, nopeusvoimaa vaativia liikkeitä, kuten kävely ja porraskävely, toimintavajaudet liittyneinä alhaiseen voimantuottoon voivat rajoittaa iäkkäiden jokapäiväistä elämää. Esimerkiksi plantaarifleksoreiden heikentynyt työntövoima muuttaa kävelyä, mikä johtaa kävelyn hidastumiseen, huomattavaan lihasväsymiseen ja muiden alaraajojen lihasten kuormittumiseen. (Vandervoort 1998). Ikääntyessä myös kyky käyttää venymis-lyhenemissyklusta tehokkaasti erilaisissa liikuntasuorituksissa heikkenee huomattavasti (Bosco ja Komi 1980).

Terveillä 70-80 -vuotiailla isometrisellä ja konsentrisella lihastyöllä tuotetun voiman on todettu olevan 20-40% pienempi kuin nuorilla aikuisilla ja tätä vanhemmilla jopa yli 50% pienempi. Viime vuosien tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että eksentrisissä maksimitesteissä erot nuorten ja iäkkäiden naisten ja miesten voimatasoissa olivat johdonmukaisesti pienempiä kuin isometrisessä ja

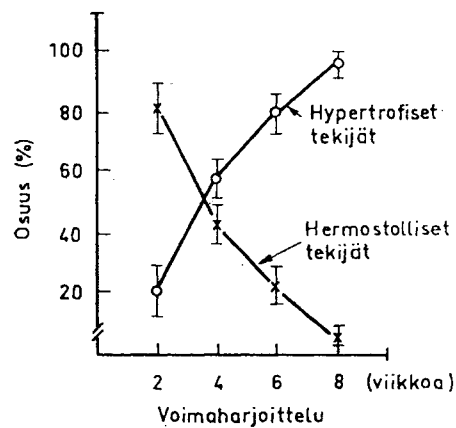
konsentrisessa lihastyössä. Toiminnallisuuden kannalta tärkeää on se, että tietylle absoluuttiselle kuormalle tarvitaan vähemmän lihasvoimaa eksentrisessä kuin konsentrisessä lihastyössä, joten iäkkäät hyötyvät tästä suhteellisesti. (Porter ym. 1995, Porter ja Vandervoort 1997).

#### 4. VOIMAHARJOITTELUN NEURAALISET JA HYPERTROFISET MUUTOKSET

Voimaharjoittelu aiheuttaa yleisesti muutoksia koko hermo-lihasjärjestelmän rakenteessa ja toiminnassa, jolloin spesifistä adaptoitumista tapahtuu sekä hermoston ohjausmekanismeissa että lihaksessa. Adaptoituminen voi ilmetä muutoksina tahdonalaisen sekä reflektorisen hermoston säätelyssä. (Häkkinen 1990).

Nykyään on jo runsaasti tutkimustietoa siitä, että jo ensimmäisten viikkojen aikana havaittava maksimivoiman kasvu johtuu suurelta osin voimaharjoittelun aiheuttamasta harjoitettujen lihasten tahdonalaisen aktiivisuuden lisääntymisestä (Moritani ja DeVries 1979, Häkkinen ja Komi 1983, Häkkinen 1994, Komi 1986, Enoka 1988); jopa ensimmäisellä harjoituskerralla on voitu todeta voiman lisääntymistä (Whitley ja Elliot 1968). Lisäksi voimaharjoittelu saa aikaan muutoksia fasilitoivassa ja inhibitorisessa hermojärjestelmässä siten, että agonistien aktiivisuus kasvaa, synergistien ko-aktivaatio paranee ja antagonistien ko-aktivaatio laskee (Carolan ja Cafarelli 1992, Häkkinen 1998).

Voimaharjoittelun alussa tapahtuvan lihasvoiman kasvun on osoitettu johtuvan, etenkin aiemmin harjoittelemattomilla, maksimaalisen tahdonalaisen hermotuksen paranemisesta, mikä johtuu toisaalta oppimisesta l. motoristen yksiköitten synkronisaation lisääntymisestä, ja toisaalta keskushermoston parantuneesta kyvystä aktivoida harjoitettuja lihaksia aiempaa enemmän. Harjoittelun jatkuessa voiman kasvun syynä ovat yhä enemmän hypertrofiset tekijät (Kuva 2) (Moritani ja DeVries 1979).



Kuva 2. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden suhteellinen osuus maksimivoiman kehityksessä aloittelijoilla. (Häkkinen 1990)

Voimaharjoittelun aikaansaama harjoitettujen lihasten poikkipinta-alan kasvu johtuu ensisijaisesti yksittäisten lihassolujen koon lisääntymisestä ja jossain määrin lihassolujen välisen sidekudoksen määrän lisääntymisestä (Häkkinen 1994). Harjoittelu aiheuttaa sekä tyyppi I että tyyppi II -lihassolujen poikkipinta-alan kasvua. Kuitenkin useimmat tutkimustulokset osoittavat, että hypertrofia on selvästi suurempaa tyyppi II -soluissa. (MacDougall 1991, Fleck ja Kraemer 1997).

Voimaharjoittelun vaikutukset voidaan kohdistaa spesifisti harjoittelumenetelmän mukaan. Hermostollisella voimaharjoittelulla voidaan harjoittelun vaikutus kohdistaa maksimaalisen tahdonalaisen hermotuksen paranemiseen, jolloin lihasmassan kasvu jää melko vähäiseksi (Maughan 1984), mutta lihaksen poikkipinta-alaan suhteutettu voima on suuri. Hermostollisessa maksimivoimaharjoittelussa käytetään suuria kuormia; 80-100% 1 RM:sta (RM = repetition maximum, toistomaksimi) ja vain muutamia toistoja sarjaa kohden. Hypertrofisessa voimaharjoittelussa puolestaan pyritään lihasmassan maksimaaliseen kasvuun ja siinä käytetään submaksimaalista kuormaa; noin 60-80% 1 RM:sta, mutta toistojen määrässä pyritään ylikuormitukseen (overload) asti. Siten sarjat voidaan suorittaa maksimitoistoperiaatteella, jolloin suoritetaan tietyllä kuormalla niin monta toistoa kuin pystytään tai niin, että viimeiset suoritukset tehdään avustettuna. (Häkkinen 1990).

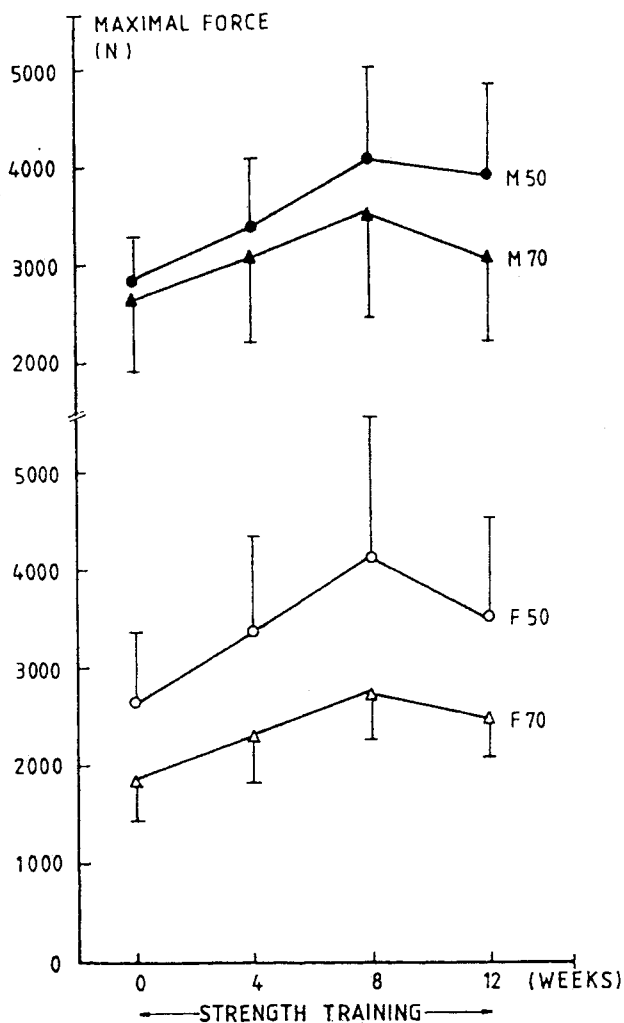
Nopeusvoimaharjoittelu kehittää neuraalista säätelyjärjestelmää niin, että hermo-lihasjärjestelmän motoristen yksiköitten maksimaalinen rekrytointi lyhytaikaiseen ja nopeaan suoritukseen lisääntyy. Siinä käytettävät kuormat ovat noin 30-60% maksimivoimasta. Yksittäisessä toistossa lihaksiston

supistumisnopeus on maksimaalinen, jolloin supistumisaika on lyhyt. Tästä syystä nopeusvoimaharjoittelun hypertrofinen vaikutus lihaksiin on vähäinen, vaikka yksittäisissä harjoitteissa lihasten hermostollinen aktivaatiotaso on hyvin korkea. Lievä lihasmassan kasvu ilmenee pääosin vain nopeissa lihassoluissa, millä on edullinen vaikutus nopeusvoimaominaisuuksien kehittymiseen. (Häkkinen 1990, Fleck ja Kraemer 1997).

Maksimivoima, lihasten maksimaalinen tahdonalainen hermotus ja hypertrofia kehittyvät lyhyellä aikavälillä, muutamien viikkojen/kuukausien aikana, lähes samalla tavalla naisilla ja miehillä. Kuitenkin pitkällä aikavälillä, useiden kuukausien/vuosien voimaharjoittelusta johtuva lihashypertrofian ja voiman kehitys sekä lihasten maksimaalinen tahdonalainen aktiivisuus ovat naisilla pienemmät johtuen naisten ja miesten hormonaalisista eroista. (Häkkinen 1994, Fleck ja Kraemer 1997). Lisäksi naisilla yksilölliset erot ovat suuremmat kuin miehillä (Häkkinen 1990).

## 5. VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET IÄKKÄILLÄ NAISILLA JA MIEHILLÄ

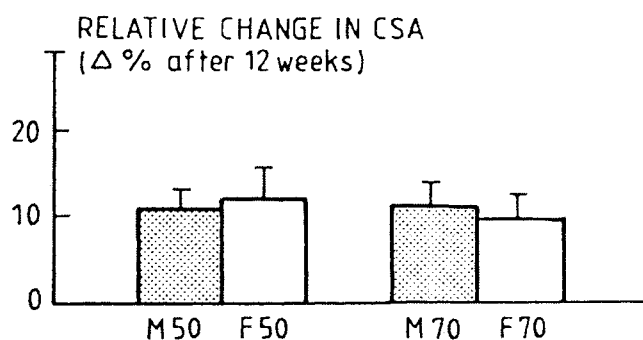
**Maksimivoima ja lihaksen poikkipinta-ala.** Voimaharjoittelun seurauksena maksimivoiman kasvulla on todettu olevan selvä yhteys lihaksen poikkipinta-alan kasvuun. Maksimivoiman kasvu iäkkäillä on useiden tutkimusten mukaan ollut voimakkainta ensimmäisten viikkojen ja kuukausien aikana (Kuva 3) (Lexell ym. 1995, Häkkinen ja Häkkinen 1995, Porter ym. 1995, Ivey ym. 2000). Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa maksimivoima lisääntyi voimakkaimmin ensimmäisten kahdeksan viikon aikana, minkä jälkeen voiman kasvu hidastui.



Kuva 3. Keski-ikäisten miesten (M50) ja naisten (F50) sekä iäkkäiden miesten (M70) ja naisten (F70) maksimaalisen isometrisen bilateraalisien alaraajojen ojennusvoiman keskiarvot ja -hajonnat 12 viikon voimaharjoittelun jälkeen. (Häkkinen ja Häkkinen 1995)

Yleisesti ajatellaan, että iäkkäillä henkilöillä lihasvoiman kasvun taustalla on lisääntynyt hermoston aktivointikyky, ei niinkään lihasten hypertrofia. Tämä on voitu osoittaa maksimaalisen IEMG:n (integroitu EMG) lisääntymisellä keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla sekä miehillä etenkin harjoittelun ensimmäisinä viikkoina (Moritani ja DeVries 1980, Piitulainen ym. 1998). Toisaalta lihashypertrofiaa kuvantavien menetelmien kehittymisen myötä on voitu todeta, että myös iäkkäillä naisilla ja miehillä tapahtuu lihashypertrofiaa harjoittelun vaikutuksesta. Pitkäkestoisen voimaharjoittelun on osoitettu johtavan sekä tyyppi I että tyyppi II solujen pinta-alan lisääntymiseen, joten on selvästi osoitettu, että vanhetessakin kyky saada aikaan lihasten hypertrofiaa säilyy, kunhan harjoittelun intensiteetti ja kesto ovat riittävän kuormittavia. (Kuva 4) (Fiatarone ym. 1990, Charette ym. 1991, Lexell ym. 1995, Häkkinen 1998). Kolme kuukautta kestäneen voimaharjoittelun aikana keskimääräinen reisilihaksen kokonaispinta-alan lisääntyminen oli 10-12% keski-ikäisillä sekä iäkkäillä naisilla ja miehillä (Frontera ym. 1988, Häkkinen ja

Häkkinen 1992). Häkkisen ym. (1998) tutkimuksessa 10 viikon voimaharjoittelun jälkeen nuorilla miehillä quadriceps femoris –poikkipinta-ala kasvoi 12,2% ja iäkkäillä miehillä 8,5%.



Kuva 4. Keski-ikäisten miesten (M50) ja naisten (F50) sekä iäkkäiden miesten (M70) ja naisten (F70) quadriceps femoris –lihasten poikkipinta-alan suhteellisten muutosten keskiarvot ja –hajonnat 12 viikon voimaharjoittelun jälkeen. (Häkkinen 1994)

On myös tutkimuksia, joiden mukaan ainoastaan tyyppi II -solujen poikkipinta-ala on lisääntynyt. Kolmen kuukauden harjoittelun tuloksena iäkkäillä naisilla tyyppi II -solujen poikkipinta-ala kasvoi 20,1%, kun taas tyyppi I -soluissa ei havaittu muutoksia. Lihassoima kasvoi kaikissa alaraajojen lihasryhmissä 28-115% (Charette ym. 1991). Toisenlaisiakin tuloksia on saatu; esimerkiksi Pykan ym. (1995) kontrolloidussa tutkimuksessa 12 kk:n voimaharjoittelun tuloksena 15 harjoitusviikon jälkeen tyyppi I -solujen PPA oli lisääntynyt 29,4%, kun taas tyyppi II -solujen PPA:ssa havaittiin kasvua (66,6%) vasta 30 harjoitusviikon jälkeen. Tyyppi I -solujen PPA oli 30 viikon jälkeen lisääntynyt 58,5% alkutilanteeseen verrattuna.

Useat tutkimukset on tehty vähän liikuntaa harrastaneilla iäkkäillä. Morgan ym. (1995) tutkivat aerobisesti aktiivisia naisia kahdeksan viikon voimaharjoittelun jälkeen. Säännöllisesti aerobista liikuntaa harrastavat naiset pystyivät lisäämään maksimivoimaa huomattavasti lyhyellä voimaharjoittelujaksolla.

Viime vuosina on tutkittu myös pitkäkestoisen voimaharjoittelun vaikutuksia. Morgantin ym. (1995) tutkimuksessa 12 kuukauden voimaharjoittelun jälkeen 60-vuotiailla naisilla alaraajojen maksimivoima lisääntyi 35-73% kontrolliryhmään verrattuna. Suurin voimanlisäys tapahtui ensimmäisten kolmen kuukauden aikana. Cress ym. (1996) totesi tutkimuksessaan, että lihassoluissa tapahtuneet muutokset vastasivat 48% lihasvoiman lisääntymisestä 12 kuukauden aerobisen ja voimaharjoittelun yhteydessä.

**Voimantuottonopeus.** Pelkkä maksimivoimaharjoittelu ei välttämättä lisää voimantuottonopeutta iäkkäillä (Frontera ym. 1988). Voimaharjoittelun on todettu myös iäkkäillä lisäävän voimantuottonopeutta, kun se sisältää myös nopeusvoimaharjoittelua, kuten käy esille Häkkisen ja Häkkisen (1995) tutkimuksesta, jossa voimantuottonopeus lisääntyi 12 viikon voimaharjoittelujaksolla ensimmäisten kahdeksan viikon aikana, mutta väheni sen jälkeen. Tämä osoittaa, että voimaharjoitteluun liitetty nopeusvoimaharjoittelu kehittää myös iäkkäillä voimantuottonopeutta sekä isometrisessä että dynaamisessa suorituksessa (Fleck ja Kraemer 1997, Häkkinen 1998). Voimantuottonopeuden kasvuun on todettu liittyvän myös agonistilihasten EMG-aktiivisuuden merkittävää lisääntymistä isometrisen suorituksen tai hypyn alkuvaiheessa, mikä osoittaa, että voimaharjoittelu saa motorisissa yksiköissä aikaan huomattavaa nopean hermostollisen aktivaation lisääntymistä ja/tai selektiivistä nopeiden lihassolujen hypertrofiaa keski-ikäisillä ja iäkkäillä sekä naisilla että miehillä (Häkkinen 1998).

**Lihaksen EMG-aktiivisuus.** Voimaharjoittelun vaikutuksesta lihasten sähköisessä aktiivisuudessa on voitu havaita iäkkäillä naisilla ja miehillä samanlaisia muutoksia kuin nuoremmillakin. Muutokset osoittavat, että harjoittelun vaikutuksesta maksimaalisen tahdonalaisen hermotuksen määrä lisääntyy ja/tai tyyppi II -solut hypertrofioituvat. (Häkkinen ym. 1985). Tahdonalaisen hermotuksen kasvun taustalla on aktiivisten motoristen yksiköiden määrän lisääntyminen ja/tai niiden syttymistäajuuden lisääntyminen myös iäkkäillä. EMG-aktiivisuuden kasvun on todettu olevan suurinta voimaharjoittelun ensimmäisten viikkojen/kuukausien aikana sekä keski-ikäisillä että iäkkäillä naisilla ja miehillä. (Häkkinen 1998).

**Kävelynopeus.** Kävelynopeuden on todettu olevan yhteydessä lihasvoimaan, erityisesti iäkkäillä naisilla (Basseyn ym. 1992, Rantanen 1994). Basseyn ym. (1992) tutkimuksessa iäkkäillä naisilla reisilihasten voima oli merkitsevästi pienempi kuin iäkkäillä miehillä, mutta naisilla voiman osuus selitti paremmin toimintakyvyssä ilmenneen vaihtelun kuin miehillä, esimerkiksi kävelynopeuden vaihtelusta voiman osuus selitti 86%. Rantasen (1994) tutkimuksessa ylä- ja alaraajojen sekä vartalon isometrinen maksimivoima korreloi 75-vuotiailla naisilla voimakkaasti maksimaalisen kävelynopeuden kanssa. Samanikäisillä miehillä maksimivoiman ja kävelynopeuden yhteys oli merkitsevä, mutta yhteys oli voimakkaampi ryhmällä, jolla oli vaikeuksia porraskävelyssä, kuin ryhmällä, jolla ei ollut vaikeuksia porraskävelyssä.

Voimaharjoittelun on todettu parantavan itsenäisesti asuvien sekä heikkokuntoisten iäkkäiden tasapainoa ja toimintakykyä, mm. kävelyä, tuolilta ylösnousua, porraskävelyä sekä lisäävän fyysisistä

aktiivisuutta (Porter ym. 1995, Cress ym. 1999, Ryushi ym. 2000). Hansford ym. (1998) tutkivat 12 viikkoa kestävän voimaharjoitusjakson ja tätä seuraavan 12 viikon nopeusvoimaharjoitusjakson vaikutuksia maksimivoiman ohella kävelynopeuteen 60-70 -vuotiailla naisilla ja miehillä. Voimaharjoitusjakson aikana kävelynopeus lisääntyi miehillä merkitsevästi, mutta ei naisilla. Sen sijaan myöhemmän nopeusvoimaharjoitusjakson aikana kävelynopeus lisääntyi naisilla merkitsevästi, mutta ei miehillä. Häkkisen ym. (2000) tutkimuksessa kävelynopeus kasvoi iäkkäillä vuoden kestävän voimaharjoittelun aikana ensimmäisten kuuden kuukauden aikana, ja tasaantui sen jälkeen. Kuitenkin jälkimmäisen kuuden kuukauden jaksolla iäkkäillä kävelynopeuden muutos ja maksimivoiman (1RM) muutos korreloivat voimakkaasti.

**Työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus.** Mälkiän ym. (1994) tutkimuksen mukaan fyysinen aktiivisuus kokonaisuudessaan ja vapaa-ajan fyysinen aktiivisuus vähenee ikääntyessä. Työhön liittyvä fyysinen aktiivisuus oli suurimmillaan 45-54 -vuotiailla. Miehet olivat fyysisesti aktiivisempia kuin naiset sekä työssä että vapaa-aikana.

Muuta työn ja toiminnan kuormittavuutta voidaan mitata menetelmällä, jossa kyselylomakkeella selvitetään tutkittavan fyysinen aktiivisuus työssä, vapaa-aikana ja työmatkoilla. Kyselylomakkeen vastaukset muutetaan MET-arvoiksi (metabolic unit, O<sub>2</sub> consumption of a seated individual at rest). Menetelmän reliabiliteetti ja validiteetti on tutkittu Mini-Suomi -terveystutkimuksen yhteydessä, jossa reliabiliteetti osoittautui tyydyttäväksi tai hyväksi. Lisäksi menetelmällä oli yhteyttä käden puristusvoimaan ja muutamiin lihasten suorituskykytesteihin. (Mälkiä 1996).

**Nivelliikkuvuus.** Goniometri on edelleen käytetyin, tutkituin ja taloudellisin nivelliikkuvuuden mittaussväline. Goniometrin luotettavuutta rajoittaa se, että lähtöasento on määriteltävä visuaalisesti ja goniometriä on pideltävä mitattaessa kaksin käsin, jolloin nivelen proksimaaliosan stabilisointi kädellä on mahdotonta. Voimaharjoittelun oletetaan vähentävän nivelliikkuvuutta. Nivelliikkuvuuden mittaaminen luotettavasti ja tarkasti edellyttää anatomisten maamerkkien täsmällistä tunnistamista, vartalon ja mitattavan nivelen proksimaaliosan asianmukaista stabilisointia, mittausvälineen oikein asettamista ja stabilisointia sekä mittaustekniikoiden yhdenmukaista käyttöä. (Lea ym. 1995).



## 6. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kuuden kuukauden progressiivisen voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasten voimantuottoon keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla ja miehillä.

1. Tutkia voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasten maksimivoimaan, voimantuottonopeuteen ja EMG-aktiivisuuteen.
2. Tutkia voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasten poikkipinta-alaan.
3. Tutkia voimaharjoittelun aiheuttamia muutoksia kävelynopeuteen.

## 7. KOEHENKILÖT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

### 7.1. Koehenkilöt

Yhteensä 42 koehenkilöä osallistui tutkimukseen ilmoitusten perusteella. He jakaantuivat neljään ryhmään iän ja sukupuolen mukaan. Keski-ikäisten ryhmiin osallistui yksitoista keski-ikältään 39-vuotiasta naista (N40) sekä kymmenen keski-ikältään 42-vuotiasta miestä (M40). Iäkkäiden naisten ryhmään (N70) osallistui kymmenen keski-ikältään 67-vuotiasta naista. Iäkkäiden miesten ryhmään (M70) osallistui yksitoista miestä, joiden keski-ikä oli 72 vuotta. Koehenkilöt olivat terveitä, itsenäisesti asuvia jyvaskyläläisiä. Kaikki harrastivat säännöllisesti liikuntaa, kuten kävelyä, hiihtoa, pyöräilyä, kuntoliikuntaa, mutta eivät olleet koskaan tehneet minkäänlaista systemaattista lihasvoimaharjoittelua.

Koehenkilöille selvitettiin tutkimuksen kulku ja siihen liittyvät riskit, ja he allekirjoittivat osallistumisestaan kirjallisen suostumuksen. Iäkkäille koehenkilöille tehtiin lääkärintarkastus, jonka perusteella varmistettiin, että he terveydentilansa puolesta pystyivät osallistumaan maksimivoimamittauksiin ja voimaharjoitteluun. Keski-ikäisten koehenkilöiden terveydentila kartoitettiin lääkärin tekemän kyselylomakkeen perusteella. Koehenkilöt eivät käyttäneet mitään fyysiseen suorituskyykyyn vaikuttavaa lääkitystä.

### 7.2. Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelu toteutettiin kuuden kuukauden ajan uimahallin kuntosalilla Jyväskylässä valvotusti 5-6 hengen pienryhmissä. Harjoittelun frekvenssi oli kaksi kertaa viikossa niin, että välipäiviä oli vähintään yksi. Harjoittelu tapahtui progressiivisesti, ja harjoitusohjelma vaihtui kuukausittain. Harjoittelu oli yhdistelmä sekä hermostollista että hypertrofista voimaharjoittelua, ja menetelmänä käytettiin pääosin konsentrista voimaharjoittelua. Myös nopeusvoimaosiot suoritettiin konsentrisesti.

Ensimmäisen kuukauden (0-1 kk) aikana koehenkilöt harjoittelivat 50-60%:n kuormilla maksimista (% 1 RM:sta). Toisen ja kolmannen harjoittelukuukauden kuorma nostettiin 60%-70%:iin. Neljännessä kuukaudesta lähtien jakson loppuun asti kuorma vaihteli 60%-80%:n välillä tehokkuuden ja harjoitusvaikutusten pysymisen vuoksi (Kuva 5). Lisäksi harjoitteita, niiden määrää,

sarjojen määrää ja toistoja muunneltiin niin, että harjoittelun kokonaisintensiteetti pysyi sovitun kehyksen piirissä.

	0-----0-----0-----0-----0-----0-----0-----0							
	-1	0	1	2	3	4	5	6 kk
<b>mittaus (M)</b>	M	M		M		M		M
<b>Max. voima:</b>								
Kuorma		50-60%	60-70%	60-70%	60-70%	60-70%	60-70%	60-70%
sarjat		3	4	2-4	2-4	3-5	3-4	
toistot:		50%=12-15	60%=10-12		70%=8-10		80%=5-6 toistoa	
<b>Nopeusvoima:</b>								
Kuorma				50-60%	50-60%	50-60%	50-60%	
sarjat				2	3-4	3	4	
toistot:				50%=8-10		60%=6-8 toistoa		

*Kuva 5. Progressiivisen voimaharjoittelun kokonaiskuormittavuuden vaihtelu, mittausajankohdat sekä maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun kuorma 1 RM:sta.*

Ohjelma sisälsi monipuolisesti harjoitteita kaikille suurille lihasryhmille. Quadriceps-lihasharjoitteiden (mitattavat lihakset) osuus kaikista alaraajaharjoitteista vaihteli harjoitusjakson aikana, samoin kuin maksimi- ja nopeusvoimaharjoitteiden osuus. Quadriceps-harjoitteina käytettiin pääasiassa jalkaprässi- ja reisipenkkiharjoitteita. Maksimivoimaharjoittelun kuorma vaihteli 50%:sta 80%:iin ja nopeusvoimaharjoittelun 50%:sta 60%:iin. Maksimivoimaharjoittelua tehtiin koko jakson ajan. Nopeusvoimaharjoittelu alkoi kolmannen harjoituskuukauden alussa ja sen osuus

kaikista quadriceps-harjoitteista vaihteli 1/4:sta 1/3:aan. Keskimäärin maksimivoimaharjoittelua oli 81% ja nopeusvoimaharjoittelua 19% quadriceps-harjoittelusta. Nopeusvoimaharjoittelussa käytetyt kuormat ja toistomäärät olivat pienempiä, mutta liikenopeudet suurempia kuin maksimivoimaharjoittelussa.

Yksittäinen harjoituskerta koostui 6-8 harjoitteesta. Yhden-kahden quadriceps-harjoitteen lisäksi oli esimerkiksi hamstring- ja pohjelihasharjoite, vatsa-/selkälihasharjoite, penkki-punnerrus ja hartia-/yläraajaharjoite. Sarjoja oli 3-6. Toistojen määrä oli harjoituskuorman ja voimaharjoituslajin mukainen. Toistojen määrä perustui harjoituskuorman suuruuteen (Kuva 5). Harjoitteiden välillä oli 2-3 minuutin tauko liiallisen väsymisen estämiseksi. Quadriceps-harjoitteet tehtiin aina ensimmäiseksi, ettei ko. lihaksia harjoitettaisi väsyneenä.

Kuukausittain harjoitusohjelman vaihduttua kyselylomakkeella selvitettiin koehenkilöiden subjektiivinen kokemus harjoittelun rasittavuudesta Borgin asteikolla sekä mahdollisten rasituskipujen esiintyvyys. Koehenkilöt suorittivat kuukausittain vaihtuvaa lihasten venyttelyohjelmaa. He myös pitivät tarkkaa päiväkirjaa voimaharjoittelusta ja venyttelystä. Tutkimuksen ajan koehenkilöt saivat jatkaa muita liikuntaharrastuksiaan kuten ennenkin, mutta ”ainoastaan” 2-3 kertaa viikossa siten, ettei kestävyystyyppisen harjoittelun määrä lisääntynyt.

### 7.3. Mittausmenetelmät

Tutkimukseen liittyvät mittaukset tehtiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella. Voimamittaukset tehtiin alussa, kahden, neljän ja kuuden kuukauden (0,2,4,6 -mittaukset) harjoittelun jälkeen. Lisäksi suoritettiin ns. -1-mittaus kahden viikon kuluessa ennen ensimmäistä voimamittausta. Tämä jakso palveli kontrollijaksona, jona aikana koehenkilöt jatkoivat normaalia liikuntaansa, mutta eivät vielä tehneet voimaharjoittelua. Tällä voitiin mm. kontrolloida mahdollista oppimisen vaikutusta suorituksiin -1 ja 0 -mittausten välillä. Koehenkilöt tutustuivat huolellisesti voimamittausmenetelmiin ja -laitteisiin ennen mittausta suorittamalla läpi kaikki tutkimuksen vaatimat mittaussuoritukset. Ennen varsinaista mittausta he suorittivat 10 min:n lämmittelyn, johon kuului 100 m reipasta kävelyä, jalkaprässiharjoituksia sekä ylä- ja alaraajojen lihasvenyttelyjä.

### 7.3.1 Antropometria ja nivelliikkuvuus

Koehenkilöiden pituus mitattiin tutkimuksen alussa ja lopussa. Paino mitattiin kahden kuukauden välein voimamittausten yhteydessä, samoin kehon rasvaprosentti. Kehon rasvaprosentti mitattiin ihopoimiumittauksin neljästä pisteestä kehon oikealta puolelta (Durnin ja Womersley 1967). Olka-, lonkka- ja polvinivelten aktiivinen ja passiivinen nivelliikkuvuus sekä hamstring-lihasten kireys mitattiin manuaalisesti goniometrillä alku- ja lopputilanteessa (Lea ym. 1995). Olkanivelten liikkuvuus tutkittiin mittaamalla maksimaalinen olkanivelten fleksio selinmakuulla. Lonkkanivelten liikkuvuus määritettiin mittaamalla lonkkanivelten maksimaalinen fleksio selinmakuulla ja extensio päinmakuulla. Polvinivelten liikkuvuus tutkittiin mittaamalla polvinivelten maksimaalinen fleksio päinmakuulla. Hamstring-lihasten kireys mitattiin selinmakuulla; koehenkilöä pyydettiin ensin suorittamaan liike aktiivisesti, minkä jälkeen välittömästi mitattiin passiivinen liike.

### 7.3.2 Työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus (MET)

Kyselylomakkeella selvitettiin säännöllisen ja epäsäännöllisen liikunnan harrastuksen (muun kuin voimaharjoittelun) intensiteetti ja frekvenssi sekä työn fyysinen kuormittavuus (Liitteet 1a ja 1b). Kysely tehtiin kuukausittain harjoitusohjelman vaihduttua. Työn fyysinen kuormittavuus mitattiin 7-kohtaisella työn rasittavuutta kuvaavalla luokituksella (1=En ole tehnyt työtä - 7=Erittäin raskas ruumiillinen työ), josta saatiin intensiteettiä kuvaava MET-luku (metabolic equivalent unit,  $O_2$  consumption of a seated individual at rest =  $3,5 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ ). Tämä kerrottiin työtuntien määrällä viikossa, jolloin saatiin työn MET x 60, joka kuvaa MET-minuutteja viikkoa (METmin/vk) ja kuukautta kohden (työMET/kk = 4 x METmin/vk). Säännöllisen ja epäsäännöllisen liikunnan MET määritettiin eri liikuntalajeille hengästymisen ja hikoilun intensiteetti-alueen perusteella. Liikunnan frekvenssin ja keston perusteella saatiin liikunnan energiankulutusta kuvaava MET-keskiarvo. (Mälkiä ym. 1994).

### 7.3.3 Maksimivoima, voimantuottonopeus ja EMG-aktiivisuus

Jalkadynamometrillä (Komi 1973) mitattiin alaraajojen bilateraalin maksimaalinen isometrinen ojennusvoima ja voimantuottonopeus. Koehenkilöt istuivat laitteessa polvien ollessa  $107^\circ$ :n ja lonkkien  $110^\circ$ :n kulmissa. Heitä ohjattiin tuottamaan komennon jälkeen maksimaalinen voima mahdollisimman nopeasti ja pitämään se 3-5 sekunnin ajan. Samoin heitä ohjattiin lopettamaan suoritus komennon jälkeen mahdollisimman nopeasti. Maksimaalisen voiman saavuttamiseen

koehenkilöt käyttivät yleensä 3-4 suoritusta tai niin monta, ettei maksimivoima enää parantunut. Suoritusten välinen tauko oli 1,5 minuuttia. Voima tallennettiin ja analysoitiin Codas TM tietokoneohjelmalla (Data Instruments, Inc.). Isometrinen maksimivoima (N) määriteltiin suurimmasta voima-arvosta. Absoluuttisen voiman lisäksi tulostettiin suhteellinen (prosentuaalinen) voima ajan funktiona laskemalla 30%:n, 60% ja 90% tuottamiseen kuluva aika. Voimantuottonopeuden määrittämiseksi voima-aika -käyrä analysoitiin myös absoluuttisella tavalla suorituksen alusta 100 ms:n välein, josta saatiin myös voiman keskiarvo (N) 0-500 ms:n ajalle sekä analysoitiin maksimaalinen voimantuottonopeus (N/S).

Alaraajojen maksimaalinen bilateraali konsentrisen (1 RM) ojennusvoima mitattiin David 210 – dynamometrillä (David Fitness and Medical). Koehenkilö istui laitteessa remmeillä tuettuna lonkkien ja polvien alkukulman ollessa 70°, ja komennon kuultuaan suoritti täyden (180°) polvien ojennuksen vastusta vastaan. Vastusta lisättiin (pienimmän lisäyksen ollessa 1,25 kg), kunnes koehenkilö ei enää pystynyt hyväksyttävään suoritukseen. Suurimmalla kuormalla tehty hyväksyttävä suoritus määriteltiin 1 RM:ksi. Maksimivoiman saavuttamiseen koehenkilöt käyttivät 4-5 suoritusta. Suoritukset analysoitiin Codas-tietokoneohjelmalla.

Lihaksen EMS-aktiivisuus mitattiin molempien alaraajojen vastus medialis (VM) ja vastus lateralis (VL) -lihaksista bipolaarisilla pintaelektrodeilla, joissa elektrodien väli oli 20 mm. Ennen elektrodien asettamista ihokarvat ajettiin ja hiekkapaperilla poistettiin kuollut iho ja muut epäpuhtaudet, ja iho puhdistettiin desinfiointiaineella. Elektrodit asetettiin lihaksen motoriseen pisteeseen lihasrunkoon nähden pitkittäin. Motoriset pisteet määritettiin Disa-sähköstimulaattorilla ja merkittiin tatuoinnilla (Häkkinen ja Komi 1983), jotta mittaus tapahtuisi joka kerta samasta kohdasta. EMG-signaalit tallennettiin telemetrisesti Glonner Biomes 2000 -laitteella. EMG integroitiin (IEMG) ja analysoitiin tietokoneohjelmalla (Codas) jokaiselle lihakselle erikseen. Aikaväli 0-500 ms (millisekuntia) analysoitiin 100 ms:n välein, josta saatiin myös 500 ms:n keskiarvo. Aikaväleille 500-1500 ms ja 1500-2500 ms analysoitiin keskiarvo. EMG ilmoitettiin yksikkönä mikrovoltia x sekunti .

#### 7.3.4 Lihaksen poikkipinta-ala (PPA)

Quadriceps-lihaksen PPA mitattiin oikeasta reidestä ultraäänilaitteella (Aloka FANSONIC, SSD-190) ja 5 MHz:n muuntimella. Mittaus tehtiin ennen harjoittelun alkua ja 6 kk:n kuluttua harjoittelun jälkeen. Mittauskohdaksi määriteltiin trochanter majorin ja polvinivelen lateraalilinjan

alakolmennes. Reisilihaksen PPA laskettiin ultraäänikuvasta (Ryushi ym. 1988). Kuvia otettiin peräkkäin kaksi, joiden keskiarvo otettiin huomioon.

### 7.3.5 Kävelynopeus

Kävelynopeus mitattiin alussa, kahden, neljän ja kuuden kuukauden harjoittelun jälkeen. Lisäksi suoritettiin -1- mittaus kahden viikon kuluessa ennen varsinaista alkumittausta. Mittaus suoritettiin uimahallin käytävällä. Koehenkilöä pyydettiin kävelemään 10 m:n matka mahdollisimman nopeasti ”lentävällä lähdöllä” ts. radan alkukohtaa edelsi 3 m:n kiihdytysmatka. Aika mitattiin valokennoilla. Koehenkilöt suorittivat yhden lämmittelykierroksen ja sen jälkeen kaksi suoritusta. Nopeampi suoritus otettiin huomioon. 10 metrin kävelytesti on osoitettu validiksi, reliabeliksi, sensitiiviseksi ja kliinisesti käyttökelpoiseksi (Wade 1992).

### 7.4. Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit toteutettiin SPSS for Windows -ohjelmalla. Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin keskiarvoja ja keskihajontoja sekä Pearsonin tulomomenttikerrointa. Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin parittaista t-testiä, riippuvien otosten t-testiä sekä MANOVA:a. Tilastollinen merkitsevyystaso on 0.05.

## 8. TULOKSET

### 8.1. Antropometria, nivelliikkuvuus sekä työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus

Koehenkilöiden antropometrisissa (pituus, paino, rasvaprosentti) tuloksissa ei tapahtunut merkitsevää muutosta 6 kk:n voimaharjoittelujakson aikana (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden pituus, paino ja rasvaprosentti keskiarvoina ja -hajontoina iän ja sukupuolen mukaan alkutilanteessa (0-mittaus) ja kuuden kuukauden (6 kk) harjoittelujakson jälkeen.

		N 40 (n=11)	M 40 (n=10)	N 70 (n=10)	M 70 (n=11)
Pituus (cm)	0 kk	162,9 (5,5)	178,3 (7,2)	158,7 (6,2)	172,4 (6,9)
Paino (kg)	0 kk	61,9 (8,1)	83,3 (14,7)	66,4 (7,1)	79,8 (9,8)
	6 kk	62,4 (7,4)	83,6 (15,5)	66,3 (6,8)	79,9 (10,5)
Rasva (%)	0 kk	26,3 (5,8)	19,3 (3,9)	34,4 (3,9)	23,8 (4,2)
	6 kk	25,8 (5,8)	19,1 (5,2)	34,0 (4,7)	23,3 (4,8)

(N 40 = keski-ikäiset naiset, M 40 = keski-ikäiset miehet, N 70 = iäkkäät naiset,  
M 70 = iäkkäät miehet)

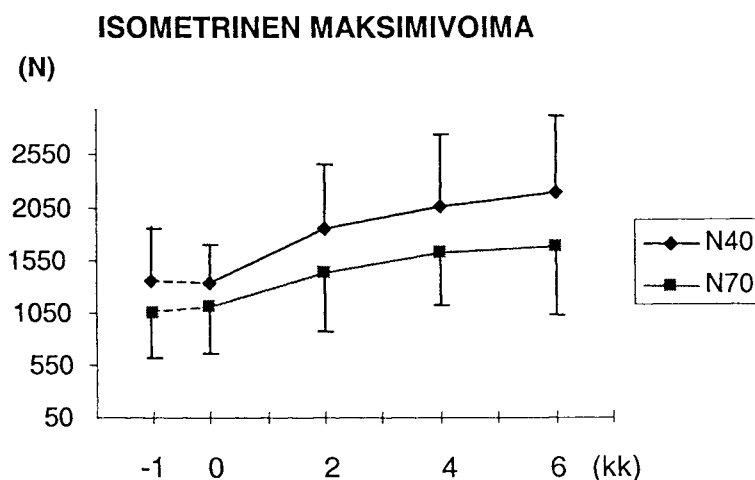
Aktiivinen olkanivelen ja polven fleksio lisääntyi merkitsevästi molemmissa tai ainakin toisessa raajassa kaikissa ryhmissä. Lonkan aktiivinen extensio väheni merkitsevästi iäkkäillä naisilla ja miehillä sekä keski-ikäisillä naisilla. Lonkan aktiivisessa fleksiossa ja suoran alaraajan nostossa ei tapahtunut merkitsevää muutosta missään ryhmässä (Liite 2).



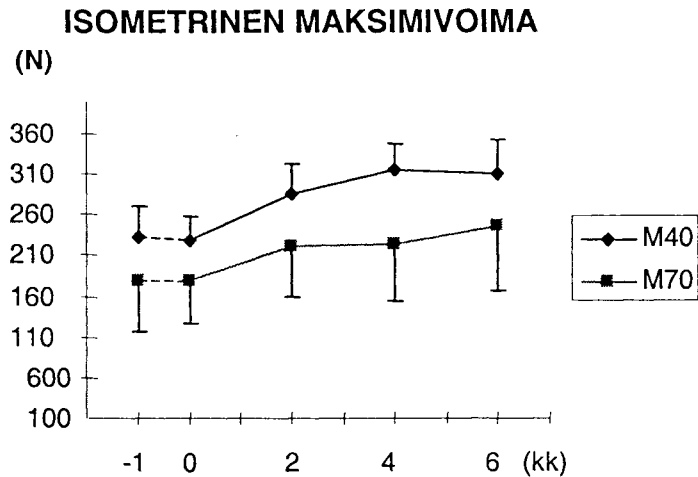
Keski-ikäisten työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus voimaharjoittelun ulkopuolella oli suurempi kuin iäkkäillä koko kuuden kuukauden ajan ( $p < 0.001$ ). Millään ryhmällä ei tapahtunut merkitseviä muutoksia kuormittavuudessa voimaharjoittelun aikana (Liite 3).

## 8.2. Isometrinen ja konsentrisen maksimivoima, voimantuottonopeus ja EMG-aktiivisuus

Kontrollijakson (-1-0) aikana alaraajojen isometrinen bilateraalin maksimaalinen ojennusvoima pysyi muuttumattomana kaikissa ryhmissä, paitsi iäkkäiden naisten ryhmässä, jossa voima kasvoi jakson aikana merkitsevästi ( $p < 0.01$ ). Isometrinen maksimi voima lisääntyi erittäin merkitsevästi kaikilla ryhmillä kuuden kuukauden voimaharjoittelun aikana. Keski-ikäisillä naisilla voima kasvoi kuuden kuukauden aikana 66% ( $p < 0.001$ ) ja miehillä 36% ( $p < 0.001$ ) neljän kuukauden aikana, minkä jälkeen kasvu tasaantui. Iäkkäillä naisilla voima lisääntyi 57% ( $p < 0.001$ ) ja miehillä 36% ( $p < 0.001$ ) (Kuvat 6 ja 7). Molemmilla naisten ryhmillä voiman kasvu oli suurempaa ( $p < 0.05$ ) kuin samanikäisillä miehillä.



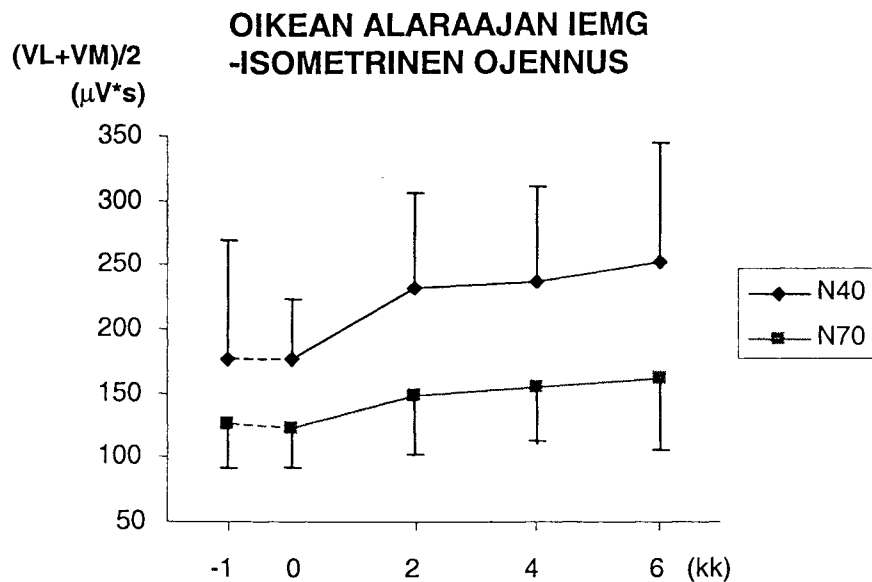
Kuva 6. Ryhmien N 40 ja N 70 isometrisen bilateraalin maksimivoiman (N) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijaksolla (-1-0) sekä 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.



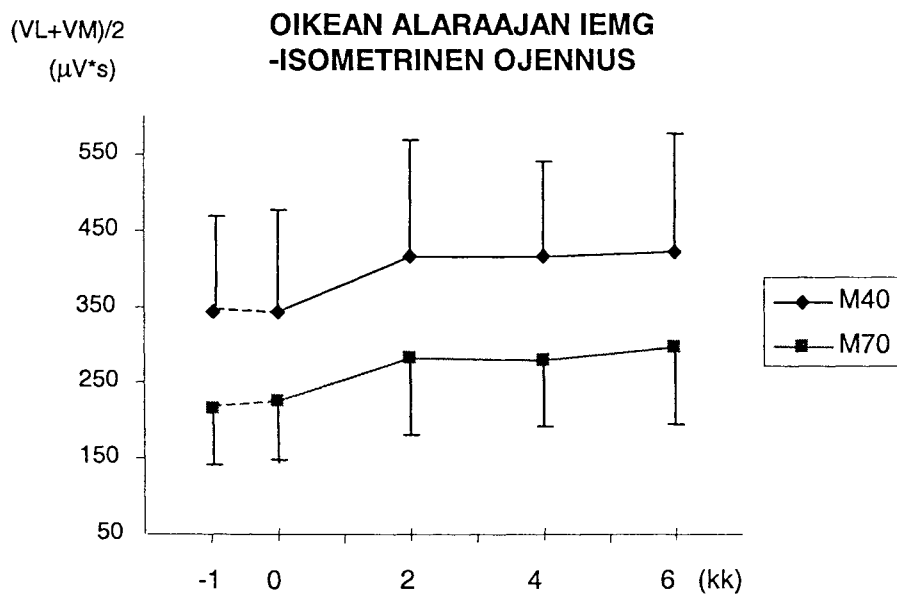
*Kuva 7. Ryhmien M40 ja M70 isometrisen bilateraalisien maksimivoiman (N) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijaksolla (-1-0) sekä 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.*

Myös alaraajojen isometrinen voimantuottonopeus säilyi kontrollijakson (-1-0) aikana muuttumattomana kaikilla ryhmillä. Voimantuottonopeus lisääntyi merkitsevästi kaikilla ryhmillä. Keski-ikäisillä naisilla lisäys oli 31% ( $p < 0.05$ ) neljän kuukauden aikana, minkä jälkeen kasvu tasaantui. Keski-ikäisillä miehillä voimantuottonopeus lisääntyi 41% ( $p < 0.01$ ) koko harjoituskauden aikana. Iäkkäillä naisilla voimantuottonopeus lisääntyi vastaavasti 28% ( $p < 0.05$ ) ja miehillä 40% ( $p < 0.05$ ).

Isometrisen alaraajojen ojennuksen IEMG-aktiivisuus säilyi muuttumattomana molemmissa raajoissa kontrollijakson (-1-0) aikana kaikilla ryhmillä. Kuuden kuukauden aikana vastus lateralis ja vastus medialis -lihasten IEMG-aktiivisuus lisääntyi merkitsevästi molemmissa alaraajoissa keski-ikäisillä naisilla ( $p < 0.05 - 0.01$ ), keski-ikäisillä miehillä ( $p < 0.05$ ) sekä iäkkäillä naisilla ( $p < 0.05 - 0.001$ ) ja iäkkäillä miehillä ( $p < 0.05 - 0.001$ ) (Kuvat 8 ja 9).

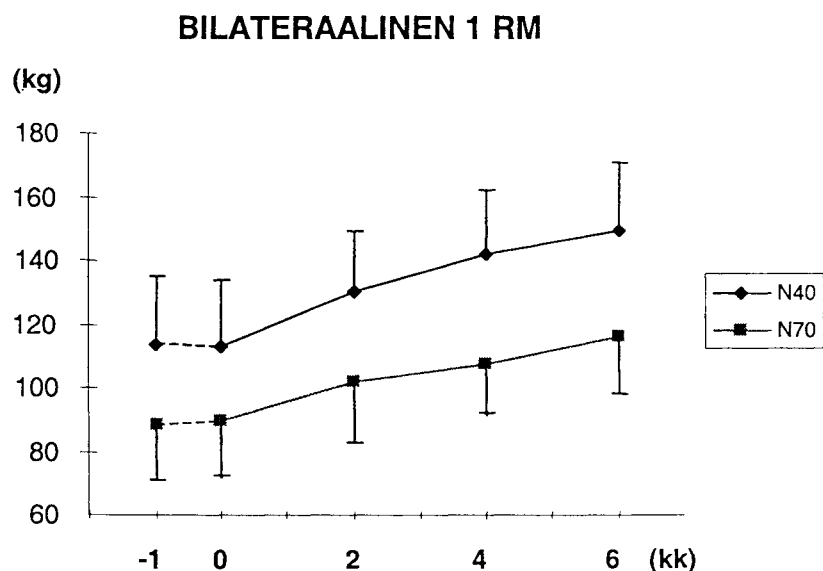


Kuva 8. Ryhmien N40 ja N70 vastus lateralis- ja medialis -lihasten IEMG-aktiivisuuden keskiarvot ja -hajonnat alaraajojen maksimaalisessa bilateraalisessa isometrisessä ojennuksessa kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.

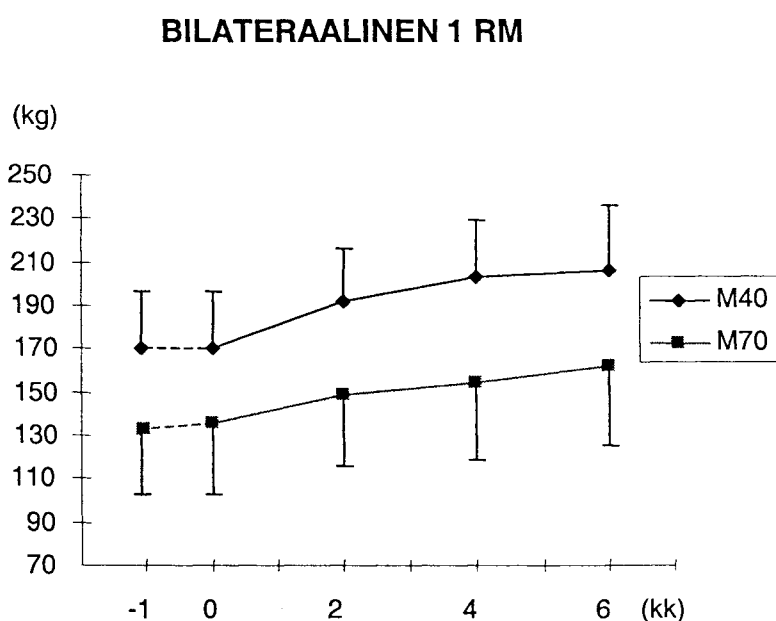


Kuva 9. Ryhmien M40 ja M70 vastus lateralis- ja medialis -lihasten IEMG-aktiivisuuden keskiarvot ja -hajonnat alaraajojen maksimaalisessa bilateraalisessa isometrisessä ojennuksessa kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.

Alaraajojen konsentrisen bilateraalin maksimivoima (1 RM) pysyi muuttumattomana kontrollijakson (-1-0) aikana. Maksimivoima lisääntyi erittäin merkitsevästi kaikilla ryhmillä harjoitusjakson aikana. Keski-ikäisillä naisilla voiman lisäys oli 34% ( $p < 0.001$ ) ja miehillä 22% ( $p < 0.001$ ), vastaavasti iäkkäillä naisilla 30% ( $p < 0.001$ ) ja miehillä 21% ( $p < 0.001$ ). Molemmilla naisten ryhmillä voiman kasvu oli suurempaa ( $p < 0.05$ ) kuin saman ikäisillä miehillä (Kuvat 10 ja 11).



Kuva 10. Ryhmien N40 ja N70 alaraajojen bilateraalisesta konsentrisesta maksimivoimasta (1 RM) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.

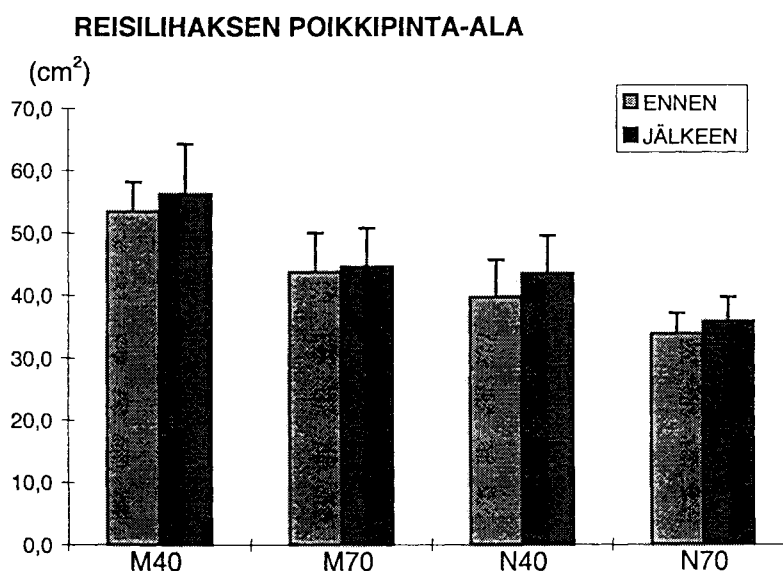


Kuva 11. Ryhmien M40 ja M70 alaraajojen bilateraalisesta konsentrisesta maksimivoimasta (1 RM) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.

Konsentrisessa alaraajojen ojennuksessa molempien alaraajojen vastus-lihasten IEMG-aktiivisuus lisääntyi kuuden kuukauden aikana keski-ikäisillä naisilla ( $p < 0.05$ ) ja miehillä ( $p < 0.05$ ) sekä iäkkäillä naisilla ( $p < 0.05 - 0.001$ ) ja miehillä ( $p < 0.05 - 0.01$ ).

### 8.3. Lihaksen poikkipinta-ala

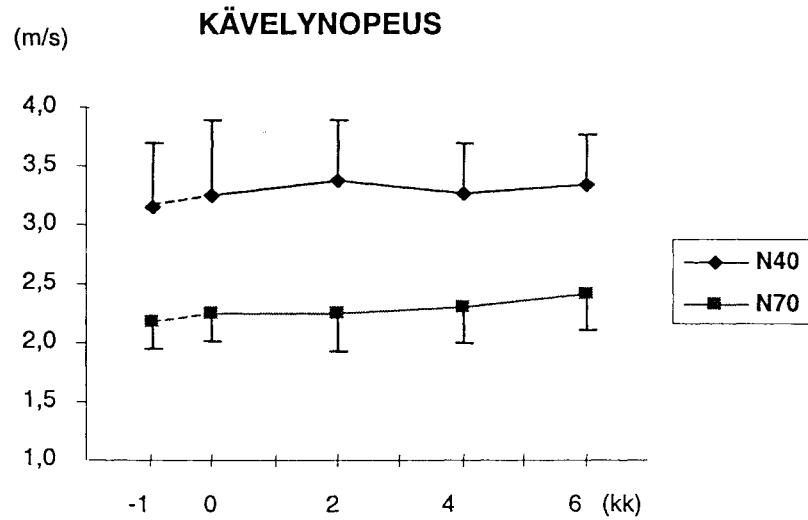
Quadriceps-lihasten poikkipinta-ala kasvoi kaikilla ryhmillä kuuden harjoituskuukauden aikana. Keski-ikäisillä naisilla kasvu oli 10% ( $p < 0.01$ ) ja miehillä 5% ( $p < 0.05$ ). Iäkkäillä naisilla poikkipinta-ala kasvoi 6% ( $p < 0.05$ ) ja miehillä 2% (NS)(Kuva 12).



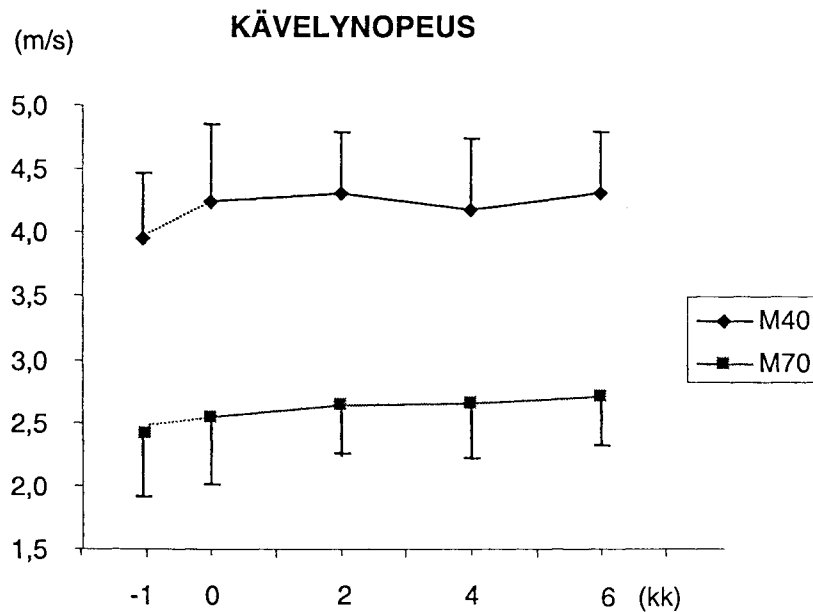
*Kuva 12. Reisilihaksen poikkipinta-alan keskiarvot ja -hajonnat ryhmittäin ennen 6 kk:n voimaharjoittelua ja sen jälkeen.*

### 8.4. Kävelynopeus

Kävelynopeus lisääntyi kontrollijakson (-1-0) aikana kaikilla ryhmillä merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) lukuun ottamatta iäkkäitä naisia. Kuuden kuukauden harjoittelujakson aikana kävelynopeus lisääntyi keski-ikäisillä naisilla 5% (NS) ja miehillä 6% (NS). Näissä molemmissa ryhmissä toisen ja neljännen harjoittelukuukauden välillä kävelynopeus väheni, naisilla merkitsevästi ( $p < 0.01$ ). Iäkkäillä naisilla kävelynopeus kasvoi merkitsevästi koko jakson aikana 10% ( $p < 0.01$ ) ja miehillä 8% (NS)(Kuvat 13 ja 14).



*Kuva 13. Ryhmien N40 ja N70 kävelynopeuden (m/s) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.*



*Kuva 14. Ryhmien M40 ja M70 kävelynopeuden (m/s) keskiarvot ja -hajonnat kontrollijakson (-1-0) ja 6 kk:n voimaharjoittelun aikana.*

## 9. POHDINTA

Ihmisellä lihasvoima vähenee ikääntyessä, ja erityisesti 60 ikävuoden jälkeen maksimivoima heikkenee entistä selvemmin naisilla sekä miehillä. Useiden aiempien tutkimusten mukaan myös iäkkäillä muutamien viikkojen tai kuukausien voimaharjoittelu saa aikaan maksimivoiman lisääntymistä. Myös tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että kuusi kuukautta kestävä, progressiivinen, kaksi kertaa viikossa tapahtuva voimaharjoittelu voi johtaa samanlaisiin huomattaviin muutoksiin hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksissa iäkkäillä ja keski-ikäisillä naisilla ja miehillä.

Alkutilanteessa sukupuolten välinen ero isometrisessä maksimivoimassa oli 58-61% ja konsentrisessa 66-78%, mikä on aiemmin julkaistun kirjallisuuden mukainen tulos (Komi 1981, Ryushi ym. 1988, Mälkiä 1993, Fleck ja Kraemer 1997). Alaraajojen isometrinen ja konsentrisen maksimivoima lisääntyi erittäin merkitsevästi kaikilla ryhmillä. Molemmissa maksimivoimissa keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla voiman kasvu oli suurempi kuin vastaavan ikäryhmän miehillä. Ainoastaan näissä maksimivoimien muutoksissa voimaharjoitusjakson aikana ilmeni eroa sukupuolen tai iän suhteen.

Kaikilla ryhmillä isometrinen ja konsentrisen maksimivoima lisääntyi eniten kahden ensimmäisen harjoituskuukauden aikana, mikä on aiempien tutkimusten suuntainen tulos. Aiemmin harjoittelemattomilla nuorilla naisilla ja miehillä suurin voiman kasvu tapahtui muutamien ensimmäisten harjoitusviikkojen aikana. Tämän katsotaan johtuvan harjoittelun alussa lisääntyneestä motoristen yksiköiden aktivaatiosta, kun taas myöhemmässä harjoitusvaiheessa vähitellen lisääntyvä lihashypertrofia edistää lihasvoiman kasvua (Moritani ja DeVries 1980, Häkkinen 1994). Aiemmin on esitetty, että iäkkäillä voiman lisääntyminen johtuisi ensisijaisesti hermostossa tapahtuvasta harjoitusvaikutuksesta (lihasten hermotuksen paranemisesta) ja vähemmän hypertrofiasta (Moritani ja DeVries 1980). Myöhemmissä tutkimuksissa on kuitenkin voitu esittää entistä herkemmillä kuvantamismenetelmillä (ultraääni, tietokonetomografia, magneettikuvaus), että voimaharjoittelun vaikutuksesta lihashypertrofiaa tapahtuu jossain määrin myös iäkkäillä naisilla ja miehillä (Fiatarone ym. 1990, Charette ym. 1991, Lexell ym. 1995, Häkkinen 1998, Ivey ym. 2000).

Lihaksen poikkipinta-alalla on voimakas yhteys lihaksen maksimivoimaan. Ikääntyessä lihaksen poikkipinta-ala vähenee samassa suhteessa kuin maksimivoima. Tässä tutkimuksessa quadriceps-lihasten poikkipinta-alan kasvu kaikissa ryhmissä (paitsi iäkkäillä miehillä kasvu ei ollut

tilastollisesti merkitsevä) osoittaa, että myös iäkkäät pystyvät voimaharjoittelun avulla lisäämään lihasmassaa ts. ikääntyessäkin lihasten kyky hypertrofioitua säilyy, kun harjoittelun intensiteetti, volyyymi ja kesto ovat riittävän kuormittavia (Fiatarone ym. 1990, Charette ym. 1991, Lexell ym. 1995, Häkkinen 1998, Ivey ym. 2000).

Tosin tässä tutkimuksessa lihasvoiman kasvun taustalla näyttäisi olevan enemmän hermostollinen adaptaatio kuin lihashypertrofia. Tähän osaltaan voi olla syynä se, että harjoitusohjelma koostui sekä maksimivoimaharjoitteiden (80%) lisäksi nopeusvoimaharjoitteista (20%), joissa lihassupistuksen kesto on lyhyempi ja käytetty kuorma pienempi kuin maksimiharjoitteissa. Maksimivoimaharjoitteissa harjoituskuorma oli lähellä maksimia (60-80%) ja sarjojen väliset palautukset olivat melko pitkiä (2-3 min). Quadriceps-lihasten poikkipinta-alaa koskevien tulosten tulkintaan on syytä suhtautua varautuneesti, sillä poikkipinta-alan mittaaminen on suoritettu vain yhdestä lihaksen kohdasta, ja tiedetään, että harjoituksen aikaansaama hypertrofia voi muodostua quadriceps-lihasten eri osiin tai lihasrungolla epätasaisesti (Narici ym. 1996). Lihاسبiopsialla saatava yksittäisten lihassolujen poikkipinta-alamittaus olisi selventänyt lihashypertrofian määrää.

Lihasten maksimaalinen aktivaatio (IEMG) parani sekä isometrisessä että dynaamisessa suorituksessa kaikilla ryhmillä kuuden harjoittelukuukauden aikana, ja kuten maksimivoiman kohdalla, lisääntyminen oli suurinta kahden ensimmäisen kuukauden aikana. Tulos on yhtäpitävä aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan harjoittelemattomilla henkilöillä ikään ja sukupuoleen katsomatta voimaharjoittelun ensimmäisten viikkojen aikana suuren voimankasvun nähdään johtuvan lihasten motoristen yksiköiden lisääntyneestä aktivaatiosta (Moritani ja DeVries 1980, Sale 1991, Häkkinen ja Häkkinen 1995). Tässä tutkimuksessa kuitenkin kasvu jatkui kuuden kuukauden harjoitusjakson loppuun saakka molempien ikäryhmien naisilla ja miehillä. Tämä johtuneee siitä, että koko harjoitusjakson ajan koehenkilöt lisäsivät harjoituskuormiaan progressiivisesti ja harjoitusohjelma sisälsi myös suurella aktivaatiolla ja suurella nopeudella tehtäviä nopeusvoimaharjoitteita.

Kävelynopeus parani tilastollisesti merkitsevästi kontrollijakson (-1-0) aikana kaikilla ryhmillä lukuun ottamatta iäkkäitä naisia. Toiminnallisena maksimitestinä 10 metrin kävelynopeuden mittaaminen on reliaabeli ja validi mittari, mutta tässä tapauksessa kävelytekniikan oppiminen -1-mittauksen jälkeen vaikutti siihen, että 0-mittauksen tulos oli parempi. Näin ollen ennen varsinaisia kävelynopeuden mittauksia nopean kävelyn harjoittelua olisi pitänyt olla enemmän. Kävelynopeus parani kaikilla ryhmillä kuuden harjoituskuukauden aikana, mutta ainoastaan iäkkäillä naisilla



merkitsevästi. Heillä kävelynopeus lisääntyi eniten jakson loppuvaiheessa, mikä on poikkeavaa verrattuna voimaominaisuuksien kehittymiseen. Muilla ryhmillä muutos oli suurin kahden ensimmäisen harjoituskuukauden aikana, kuten lihasvoiman ja IEMG:n kasvussa. Keski-ikäisten naisten ja miesten ryhmillä kahden harjoituskuukauden jälkeen kävelynopeus laski neljanteen kuukauteen saakka, naisilla jopa merkitsevästi ( $p < 0.01$ ), ja kasvoi uudelleen neljästä kuuteen kuukauteen saakka. Tämä vaihteleva kehitys saattaa johtua siitä, että keski-ikäisillä voimaharjoittelu ei riitä lisäämään kävelynopeutta, vaan lisäksi olisi tarvittu kävelyharjoittelua. Iäkkäillä voimaharjoittelu jo sinällään saa aikaan muutoksia kävelynopeudessa. Heillä kävelynopeuden kasvu oli tasaista ja jatkui koko kuuden kuukauden jakson ajan, joten yleensäkin iäkkäille testi soveltuu hyvin yhtenä toimintakykyisyyden mittarina. Aiemmissä tutkimuksissa kävelynopeutta on käytetty yhtenä heikkokuntoisten iäkkäiden, kuten vanhainkodeissa asuvien vanhusten, toimintakyvyn mittarina. Näissä tutkimuksissa kävelynopeus on osoittautunut päteväksi toimintakykyisyyden mittariksi (Basse ym. 1992, Rantanen 1994). Jatkotutkimuksissa olisi mielenkiintoista selvittää, missä vaiheessa voimaharjoittelua iäkkäillä henkilöillä kävelynopeus olisi tasaantunut tai jopa alkanut laskea. Reliaabeleita ja valideja toimintakykymittareita on nykyään käytettävissä runsaasti, joita olisi syytä hyödyntää fysioterapiassa aktiivisesti voiman mittauksen rinnalla.

Aktiivinen ja passiivinen nivelliikkuvuus lisääntyi tilastollisesti merkitsevästi olka- ja polvinivelen fleksiassa, mikä johtune lihasharjoittelun lisäksi monipuolisista ylä- ja alaraajojen venytysohjelmista. Aktiivisen lonkan extension liikkuvuuden vähenemisen syynä voi olla ”puhtaiden” lonkan extensioharjoitteiden ja -venytysten vähäisyys. Tulokset osoittavat kuitenkin, ettei intensiivinen ja pitkäkestoinen voimaharjoittelu aiheuta selkeästi rajoituksia nivelliikkuvuuteen, kun harjoitteet ja venyttelyt ovat monipuolisia, ja ne tehdään säännöllisesti ja oikein. Lihashuollossa on tärkeää korostaa tehokkaimmin harjoitettavia lihasryhmiä, kuten tässä tutkimuksessa alaraajojen lihaksia.

Tässä tutkimuksessa ei käytetty koeryhmien lisäksi kontrolliryhmää tai -ryhmiä, vaan koehenkilöille tehtiin -1-mittaukset kaksi viikkoa ennen alkumittauksia (0-mittaus). Tällaista tutkimusasetelmaa on käytetty aiemmissä vastaavatyypisissä harjoittelututkimuksissa (Häkkinen ym. 1996). Kuitenkin kontrolliryhmän käyttö olisi lisännyt tutkimuksen tieteellisyyttä. Isometrinen maksimivoiman mittaus on todettu luotettavaksi yhden ja useamman nivelen testeissä (Wilson ja Murphy 1996). Tässä tutkimuksessa haluttiin käyttää isometristä mittausta, koska näin yhdestä suorituksesta saatiin useita muuttujia: maksimivoima, voima-aika- ja EMG-käyrä. Dynaamista voimamittausta käytettiin, koska isometrisen voiman kehittyminen saattaa olla spesifinen

lihastyötapaan ts. isometrinen testi ei mittaa yhtä sensitiivisesti dynaamisen harjoittelun aiheuttamia muutoksia kuin dynaaminen (Häkkinen ym. 1985, Wilson ja Murphy 1996).

Tutkimuksen tulokset osoittavat selkeästi, että iäkkäillä naisilla ja miehillä tapahtuu samanlaisia rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia hermolihajärjestelmässä pitkäkestoisen intensiivisen voimaharjoittelun aikana kuin keski-ikäisillä naisilla ja miehillä. Lisäksi myös iäkkäät pystyvät harjoittelemaan intensiivisesti ja progressiivisesti pitkänkin aikajakson. Mielestäni fysioterapeuttien tulisi hyödyntää voimaharjoittelua preventiivisesti sekä entistä tehokkaammin ja johdonmukaisemmin muiden iäkkäiden toimintakykyä ja elämänlaatua parantavien menetelmien ohella.

## LÄHTEET

- Asmussen E (1980) Aging and exercise. Teoksessa: Horvath S, Yousef M (toim.): Environmental physiology: aging, heat and altitude. Elsevier, Amsterdam.
- Basmajian JV, DeLuca CJ (1985) Teoksessa: Muscles alive. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Bassey E, Harries V (1987) Force-velocity characteristics of knee extensor muscles in young and elderly females.
- Bassey E, Fiatarone M, O'Neill E, Kelly M, Evans W, Lipsitz L (1992) Leg extensor power and functional performance in very old men and women. Clin Sci 82:321-327.
- Bassey E (1997) Measurement of muscle strength and power. Muscle & Nerve. Suppl 5:S44-S46.
- Bosco C, Komi P (1980) Influence of aging on the mechanical behaviour of the leg extensor muscles. Eur J Appl Physiol 45:209-219.
- Brooks S, Faulkner J (1994) Skeletal muscle weakness in old age: underlying mechanisms. Med Sci Sports Exerc 26:432-439.
- Carolan C, Cafarelli E (1992) Adaptations in coactivation after isometric resistance training. J Appl Physiol 73(3):911-917.
- Charette SL, McEvoy L, Pyka G, Snow-Harter C, Guido D, Wiswell RA, Marcus R (1991) Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. J Appl Physiol 70(5):1912-1916.
- Cress ME, Conley KE, Balding SL, Hansen-Smith F, Konczak J (1996) Functional training: muscle structure, function, and performance in older women. J Orthop Sports Phys Ther Jul; 24 (1):4-10.

- Cress ME, Buchner DM, Questad KA, Esselman PC, deLateur BJ, Schwartz RS (1999) Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, May;54(5):M242-8.
- Dummer G, Clarke D, Vacarro P, ym. (1985) Age-related differences in muscular strength and muscular endurance among female master swimmers. *Res Quart Exerc Sport* 56, 97-110.
- Durnin J, Womersley Y (1967) Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32:77-97.
- Essen-Gustavsson B, Borges O (1986) Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol Scand* 126:107-114.
- Enoka R (1988) Muscle strength and its development: New perspectives. *Sports med* 6:146.
- Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ (1990) High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA* June 13, Vol 263, No 22:3029-3034.
- Fleck SJ, Kraemer WJ (1997) Resistance training and special populations. *Teoksessa: Designing resistance training programs. Human Kinetics. USA.*
- Frontera W, Meredith C, O'Reilly K, Knuttgen H, Evans W (1988) Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 64:1038.
- Gandee R, Hollering B, Kikukawa N, Rogers S, Narraway A, Newman I, Haude R (1989) The influence of age upon isokinetic leg strength of adult males. *Teoksessa: Physical activity, aging and sports, Vol. 1 (toim. Harris R) 369-373. Albany, New York.*
- Hansford P, Bronks R, Newton RU, Tripplet-McBride T, McBride J, Kraemer W, Häkkinen A, Häkkinen K (1998) Effects of 24 weeks of heavy resistance and explosive resistance training on functional capacity of 60-70 year old men and women. *International Conference on Weightlifting and Strength Training, November 10-12, 1998, Lahti, Finland.*

- Hartikainen S (1996) Iäkkäiden kaatumistapaturmat ja reisiluun yläosan murtumat. Teoksessa: Tuki- ja liikuntaelinsairaudet Suomessa. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen työryhmämuistio 18:60-62.
- Häkkinen K (1989) Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training: A review. *J Sports Med* 29:9.
- Häkkinen K (1990) Teoksessa: Voimaharjoittelun perusteet. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
- Häkkinen K (1994) Neuromuscular adaptations during strength training, aging, detraining, and immobilization. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 6(3):161-198.
- Häkkinen K (1998) Neuromuscular adaptation to strength training in middle-aged and elderly men and women. International Conference on Weightlifting and Strength Training, November 10-12, 1998, Lahti, Finland.
- Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ (2000) Neuromuscular adaptations during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol*, Sep;83(1)51-62.
- Häkkinen K, Häkkinen A (1991) Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in females at different ages. *Eur J Appl Physiol* 62:410-414.
- Häkkinen K, Häkkinen A (1995) Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 35:137-147.
- Häkkinen K, Kallinen M, Linnamo V, Pastinen U-M, Newton RU, Kraemer WJ (1996) Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 158:77-88.

- Häkkinen K, Komi PV (1983) Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 15 (6) 455-460.
- Häkkinen K, Komi P, Alen M (1985) Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125:587.
- Häkkinen K, Newton RU, Gordon SE, McCormick M, Volek JS, Nindl BC, Gotshalk LA, Campbell WW, Evans WJ, Häkkinen A, Humphries BJ, Kraemer WJ (1998) Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Nov ;53(6)B415-23.
- Häkkinen K, Pakarinen A (1993) Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 148:199-207.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Newton RU, Alen 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. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Feb ; 55(2)B95-105.
- Ikai M, Fukunaga T (1968) Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurements. *Eur J Appl Physiol* 26:26-32.
- Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT, NessAiver M, Metter EJ, Fozard JL, Hurley BF (2000) Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, Mar 55(3):B152-7;discussion B158-9.
- Jylhä M, Jokela J, Tolvanen E ym (1992) The Tampere longitudinal study on ageing. Description of the study. Basic results on health and functional ability. *Scand J Soc Med Suppl* 47: 1-58.

- Komi P (1973) A new electromechanical ergometer. Teoksessa: Hauser G, Mellerowicz H (toim.) Third Internationales Seminar für Ergometrie. Ergon, Berlin, ss.173-176.
- Komi P (1981) Fundamental performance characteristics in females and males. Teoksessa: Medicine and Sport (toim. Jokl E) 14:102-108. Karger, Basel.
- Komi P (1986) Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. Int J Sports Med (Suppl) 7:10.
- Larsson L (1978) Morphological and functional characteristics of the aging skeletal muscle in man. A cross-sectional study. Acta Physiol Scand (Suppl); 457.
- Lea RD, Rouge B, Gerhardt JJ (1995) Current Concepts review range-of-motion measurements. J Bone and Joint Surgery Vol 77-A, No 5, May, 784-798.
- Lexell J, Taylor CC, Sjöström M (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. J Neurol Sci 84:275-294.
- Lexell J (1993) Ageing and human muscle: Observations from Sweden. Can J Appl Phys 18:1, 2-18.
- Lexell J, Downham DY, Larsson Y, Bruhn E, Morsing B (1995) Heavy-resistance training in older Scandinavian men and women: short-and long-term effects on arm and leg muscles. Scand J Med Sci Sports 5:329-341.
- Luhtanen P (1988) Teoksessa: Biomekaniikan tutkimusmenetelmien perusteet. Jyväskylän yliopiston monistuskeskus.
- Luukinen H, Koski K, Kivelä S-L (1996) Kaatuminen ja osteoporoottiset murtumat. Duodecim Vol 112, No 22:2157-2162.

- MacDougall JD (1991) Hypertrophy or hyperplasia. Teoksessa: Strength and power in sports. The Encyclopedia of Sports Medicine, toim. PV Komi. Oxford, UK: Blackwell, 230-238.
- Maughan R (1984) Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area; implications of training. Sports Med 1:263-269.
- Morgan AL, Ellison JD, Chandler MP, Chodzko-Zajko WJ (1995) The supplemental benefits of strength training for aerobically active postmenopausal women. J Aging and Physical Activity 3:332-339.
- Morganti C, Nelson M, Fiatarone M, Dallal G, Economos C, Crawford B, Evans W (1995) Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training in older women. Med Sci Sports Exerc 27 (6) 906-912.
- Moritani T, DeVries H (1979) Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. Am J Phys Med 58:115-130.
- Moritani T, DeVries H (1980) Potential for gross muscle hypertrophy in older men. J Geront 35:672-682.
- Mälkiä E (1983) Eräät lihasten suorituskykymittaukset fyysisen toimintakykyisyyden kuvaajana suomalaisessa aikuisväestössä. Kansaneläkelaitoksen julkaisuja AL:23. Turku. Vammalan Kirjapaino Oy. Vammala.
- Mälkiä E (1993) Strength and aging: patterns of change and implications for training. Teoksessa: Harms-Ringdahl K (toim.) Muscle strength. Churchill Livingstone, Edinburgh.
- Mälkiä E, Impivaara O, Heliövaara M, Maatela J (1994) The physical activity of healthy and chronically ill adults in Finland at work, at leisure and during commuting. Scand J Med Sci Sports 4:82-87.
- Mälkiä E (1996) MET based questionnaire for the study of physical activity. Teoksessa: Assessment of function and movement. Third Nordic Symposium of Physiotherapy 29.9.-1.10.1994, 93-103. Jyväskylä, Finland.



- Narici M, Hoppeler H, Kayser B, Landoni L, Claasen H, Gavardi C, Conti M, Cerretelli P (1996) Human quadriceps cross-sectional area, torque, and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* 157:175-186.
- Piitulainen K, Kallinen M, Alen M, Lassila H, Kraemer WJ, Newton RU, Izquierdo M, Häkkinen K (1998) Neuromuscular adaptations during prolonged strength training in middle-aged and elderly people. *International Conference on Weightlifting and Strength Training*, November 10-12, 1998, Lahti, Finland.
- Porter MM, Vandervoort AA (1997) Standing strength training of the ankle plantar and dorsiflexors in older women, using concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76(1):62-8.
- Porter MM, Vandervoort AA, Lexell J (1995) Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand J Med Sci Sports* 5:129-142.
- Pyka G, Lindenberger E, Charette S, Marcus R (1995) Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J Gerontol: Medical Sciences* Vol 49, No 1:M22-M27.
- Rantanen T (1994) Maximal isometric strength in older adults - Cross-national comparisons, background factors and association with mobility. *Jyväskylä: University of Jyväskylä.*
- Ryushi T, Häkkinen K, Kauhanen H, Komi P (1988) Muscle fiber characteristics, muscle cross-sectional area and force production in strength athletes, physically active males and females. *Scand J Sports Sci* 10(1)7-15.
- Ryushi T, Kumagai K, Hayase H, Abe T, Shibuya K, Ono A (2000) Effect of resistive knee extension training on postural control measures in middle aged and elderly Persons. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, May;19(3)143-9.

Sale DG (1991) Neural adaptation to strength training. Teoksessa: Strength and power in sports. The Encyclopedia of Sports Medicine, toim. PV Komi. Oxford, UK: Blackwell, 249-265.

Schroll M, Steen B, Berg S ym. (1993) NORA - Nordic research on aging. Dan Med Bull 40:618-624.

Vandervoort AA (1998) Aging and muscle strength & power. International Conference on Weightlifting and Strength Training, November 10-12, 1998, Lahti, Finland.

Viitasalo JT, Era P, Leskinen AL, Heikkinen E (1985) Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31 to 35, 51 to 55 and 71 to 75 years. Ergonomics 28:1503-1574.

Wade D (1992) Personal physical disability. Teoksessa: Measurement in neurological rehabilitation. Oxford: Oxford University Press.

Whitley J, Elliot G (1968): Learning component of repetitive maximal static contractions. Perceptual motor skills 27:1195.

Wilson GJ, Murphy JA (1996) The use of isometric tests of muscular function in athletic Assessment. Sports Med, Jul;22(1):19-37.

## KUORMITUSKYSELY

Vastaisitko ystävällisesti tässä lomakkeessa esitettyihin kysymyksiin.

Nimi: \_\_\_\_\_ Pvm: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 1996

A) MITÄ LIIKUNTALAJEJA OLET HARRASTANUT SÄÄNNÖLLISESTI OLEN HARRASTANUT NÄITÄ LIIKUNTAMUOTOJA NIIN, ETTÄ VIIMEISEN KUUKAUDEN AIKANA KUNTOSALIHARJOITTELUN

LISÄKSI? (vähintään 1x / viikko)

	Krt / vko	Aika	A) En hengästy	Hengästyn	B) En hikoile	Hikoilen jnkv	Hikoilen runsaasti
1. _____	_____	_____ min.	_____	_____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____ min.	_____	_____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____ min.	_____	_____	_____	_____	_____
4. _____	_____	_____ min.	_____	_____	_____	_____	_____
5. _____	_____	_____ min.	_____	_____	_____	_____	_____

B) MITÄ LIIKUNTALAJEJA OLET HARRASTANUT EPÄSÄÄNNÖLLESTI

VIIMEISEN KUUKAUDEN AIKANA? (harvemmin kuin 1x / viikko)

	Krt / vko	Aika
6. _____	_____	_____ min.
7. _____	_____	_____ min.
8. _____	_____	_____ min.
9. _____	_____	_____ min.

## TYÖN TAI VASTAAVIEN TOIMINTOJEN KUVAUS

- A. Seuraavassa pyrimme saamaan kuvan siitä, kuinka paljon liikutte työssänne tai vastaavana aikana ja kuinka ruumiillisesti rasittavaa työnne tai vastaavat toimenne ovat. Verratkaa omaa tavanomaista päätyötänne tai toimintojanne alla esitettyihin kuvauksiin ja merkitkää rasti ruutuun sen ryhmän kohdalle, mikä parhaiten vastaa Teidän viimeisen 6 kuukauden aikana tekemäänne työtä. Lukekaa koko kuvaus ennen vastaamista! Ympyröikää vain yksi kohta.

Kotona työskentelevät tai muuten kotona olevat arvioivat työnsä/toimensa kuormittavuuden jäljempänä olevien kuvausten perusteella.

- 1 En ole tehnyt työtä, koska olen ollut eläkkeellä tai muusta syystä tekemättä työtä ja päiväsaikaan en tee mitään aktiivista tai rasittavaa.
- 2 Kevyt istumatyö tai toiminnot. Työ ja toimet ovat pääasiassa istumista pöydän, koneen, ohjauslaitteiden tms. ääressä, missä tehdään vain kevyttä työtä käsillä (esim. ns. henkinen työ, opiskelu, istuen tehtävä toimistotyö, keveiden esineiden käsittely).
- 3 Muu istumatyö tai rasittavampia toimintoja istuallaan. Työ tai toimet on pääasiassa istumista, mutta tässä joudutaan käsittelemään kohtalaisen raskaita esineitä (esim. teollisuustyö liukuhihnan ääressä).
- 4 Ruumiillisesti kevyt seisomatyö tai kevyet liikkuvat toimet. Työ ja toimet on pääasiassa seisomista ilman raskaita työliikkeitä tai työn liikkumista paikasta toiseen ilman raskaita kantamuksia (esim. kauppa-apulaisen työ, nosturinkuljettajan työ, laboratoriotyö, liikkuva toimistotyö, liikkumista edellyttävä opetustyö).
- 5 Ruumiillisesti kevyehkö tai keskiraskas liikkuva työ. Työ on pääasiassa liikkuvaa työtä, missä joudutaan kumartelemaan ja kantamaan suhteellisen paljon, mutta ei raskaita esineitä. Tähän ryhmään kuuluu myös työ, missä joudutaan kävelemään paljon portaita tai liikkumaan kohtalaisen nopeasti melko pitkiä matkoja (esim. kevyehkö teollisuustyö, metsän mittaus, lähetin työ).
- 6 Raskas ruumiillinen työ. Työ on pääasiassa seisomatyötä, mihin kuuluu jatkuvaa keveiden esineiden nostamista, kampien tms. kääntämistä tai työssä nostetaan ja kannatetaan raskaita esineitä, kairataan, kaivetaan, moukaroidaan tms., mutta välillä myös istutaan tai seisotaan (esim. raskaat metalliteollisuuden työt, rakennustyöt, raskaitten työkalujen, tavaroiden tai osien käsittely tai kokoaminen, konein tehtävä maataloustyö).
- 7 Erittäin raskas ruumiillinen työ. Työ on pääasiassa jatkuvaa tai melko jatkuvaa raskaiden työliikkeiden suorittamista, mit tehdään usein pitkään yhteen menoon (esim. huonekalujen kantaminen, metsänhakkuu, raskas maataloustyö ilman koneita, kalastus raskain välinein, raskas rakennustyö, kaivamistyö ilman koneita).

- B. Kuinka pitkä on työpäivänne tai edellä kuvaamanne ajanjakso yleensä? \_\_\_\_\_ t / viikko

Keski-ikäisten ja iäkkäiden naisten ja miesten aktiiviset ja passiiviset nivelliikkuvuudet ennen (0 kk) ja jälkeen (6 kk) lihasvoimaharjoittelun (\* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001)

	N 40				M 40				N 70				M 70			
	(n = 11)		(n = 10)		(n = 10)		(n = 10)		(n = 10)		(n = 11)		(n = 11)			
	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen	Oikea	Vasen		
Olkanivelen koukistus	189 / 192*	189 / 191	186 / 189	184 / 187*	181 / 186**	183 / 184	187 / 194***	189 / 193*	177 / 181**	178 / 181*	199 / 202	199 / 199	196 / 198	194 / 195	182 / 188***	184 / 188***
Lonkan koukistus	136 / 136	139 / 138	135 / 133	138 / 137	132 / 132	133 / 136	142 / 146	144 / 147	129 / 126	129 / 128	151 / 149	152 / 149	148 / 147	150 / 149	141 / 139	140 / 140
Lonkan ojennus	1 / -6***	2 / -4**	-2 / -4	1 / -3*	0 / -3**	3 / -3***	10 / 12	7 / 10*	-3 / -9***	-2 / -7***	9 / 10	11 / 11	4 / 7	6 / 8	2 / 5*	3 / 1
Polven koukistus	131 / 132	131 / 136*	130 / 133	127 / 132***	124 / 129**	126 / 132**	134 / 140**	135 / 144***	121 / 129***	119 / 130***	144 / 146	143 / 149**	140 / 140	139 / 142*	129 / 137***	127 / 141***
Alaraajan nosto	95 / 95	97 / 97	91 / 91	95 / 91	96 / 95	97 / 97	96 / 95	97 / 97	84 / 82	84 / 85						

Työ- ja vapaa-ajan kuormittavuus keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla ja miehillä kuuden kuukauden voimaharjoittelujakson aikana.

(\*  $p < 0.05$ )

