

**VOIMAHARJOITTELUUN YHDISTETYN
RAVITSEMUSOHJAUKSEN VAIKUTUS IKÄÄNTYVIEN NAISTEN
KEHON KOOSTUMUKSEEN JA VOIMANTUOTTOON**

Elina Sillanpää

Liikuntafysiologian
Pro Gradu-tutkielma
Syksy 2004
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Elina Sillanpää. 2004. Voimaharjoitteluun yhdistetyn ravitsemusohjauksen vaikutus ikääntyvien naisten kehon koostumukseen ja voimantuottoon. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 66 s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää voimaharjoitteluun yhdistetyn ravitsemusohjauksen vaikutusta keski-ikäisten ja ikääntyvien naisten lihas- ja rasvamassan määrään sekä ylä- ja alaraajojen maksimaaliseen voimantuottoon ja toimintakykyyn. Koehenkilöt (n=50) satunnaistettiin voimaharjoitteluryhmään (VH, n=25) ja voimaharjoittelu+ravitsemusohjausryhmään (RO+VH, n=25). Koehenkilöt harjoittelivat ohjatusti 21 viikon ajan. RO+VH-ryhmä sai ravitsemusohjausta tutkimuksen alussa ja puolessa välissä. Koehenkilöiden ravinnonsaantia arvioitiin ruokapäiväkirjojen avulla. Kehonkoostumusmittaukset suoritettiin tutkimuksen alussa, puolessa välissä ja lopussa. Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala määritettiin magneettikuvauksella (0 ja 21 vko), rasvaprosentti bioimpedanssilla ja yläraajan ojentajalihaksen lihas- ja rasvapaksuus ultraäänimittauksella. Alaraajoista mitattiin maksimaalinen dynaaminen ojennusvoima ja yläraajoista maksimaalinen isometrinen ojennusvoima. Ryhmien välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin kovarianssianalyysillä ja ryhmän sisäisiä muutoksia toistomittausten varianssianalyysillä.

Harjoittelujakson aikana molempien ryhmien energiansaanti lisääntyi. RO+VH-ryhmän proteiinin saanti lisääntyi 8.2 %:a (p=0.050) ja rasvojen saanti väheni 4.8 %:a (p=0.049). Ryhmät erosivat proteiinin saannin muutoksessa merkitsevästi (p=0.048). 21 viikon harjoittelun jälkeen nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala oli kasvanut RO+VH-ryhmällä keskimäärin 9.5±4.1 %:a (p<0.001) ja VH-ryhmällä 6.8±3.5 %:a (p<0.001). Ryhmien välinen ero lähestyi tilastollista merkitsevyyttä (p=0.052). Kun tarkasteltiin erikseen keski-ikäisten ja ikääntyvien naisten ryhmiä havaittiin, että ravitsemusohjauksen vaikutus poikkipinta-alan kasvuun näkyi suuntaa antavana vain iäkkäiden naisten ryhmässä (p=0.063). Keski-ikäisten reisilihaksen poikkipinta-alan kasvuun ei ravitsemusohjauksella ollut vaikutusta (p=0.559). 21 viikossa RO+VH-ryhmän rasvaprosentti pieneni 4.4±8.0 %:a (p=0.058) ja VH-ryhmän 6.9±7.7 %:a (p=0.001). Ryhmien välillä ei ollut tilastollista eroa rasvaprosentin muutoksessa. Alaraajojen maksimaalinen ojennusvoima kasvoi RO+VH-ryhmällä keskimäärin 26.1±6.9 (p<0.001) ja VH-ryhmällä 16.7±18.1 %:a (p<0.001). Johtopäätöksinä voidaan todeta, että voimaharjoitteluun yhdistetyllä ravitsemusohjauksella voidaan lisätä keski-ikäisten ja ikääntyvien naisten proteiinin saantia. Lisääntynyt proteiinin saanti saattaa tehostaa lihasten poikkipinta-alan kasvua iäkkäimmillä naisilla, sen sijaan keski-ikäisillä naisilla proteiinin saannin lisääntyminen ei vaikuttanut lihasten poikkipinta-alan kasvuun.

Avainsanat: Ravitsemusohjaus, voimaharjoittelu, ikääntyminen, kehonkoostumus, proteiinit

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
1 JOHDANTO	5
2 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENTEeseen JA VOIMANTUOTTOON	7
2.1 Ikääntymisen vaikutus antropometriin ominaisuuksiin	7
2.2 Ikääntymisen vaikutus lihaskudokseen.....	8
2.3 Ikääntymisen vaikutus voimantuottoon.....	11
3 RAVITSEMUS	17
3.1 Suomalaiset ravitsemussuositukset.....	17
3.2 Ikääntyvien ravinnonsaanti.....	18
3.3 Ravitsemustilan vaikutus ikääntyvien terveyteen ja toimintakykyyn	20
4 IKÄÄNTYVIEN VOIMAHARJOITTELU	22
4.1 Voimaharjoittelun vaikutusmekanismit	22
4.1.1 Neuraalinen adaptaatio	22
4.1.2 Hypertrofinen adaptaatio	23
4.2 Voimaharjoittelun peruseräaatteet.....	26
4.3 Ikääntyvien voimaharjoittelun erityispiirteet.....	27
4.4 Voimaharjoittelun vaikutus ikääntyvien hermolihasjärjestelmän rakenteeseen ja voimantuottoon.....	28
5 RAVITSEMUKSEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN ADAPTAATIOON IKÄÄNTYVILLÄ	31
5.1 Energian saannin ja energiaravintoaineiden merkitys ikääntyvien voimaharjoittelussa	31
5.1.1 Kokonaisenergiansaanti	31
5.1.2 Proteiinit	32
5.1.3 Muut energiaravintoaineet.....	33
5.2 Ravitsemusohjauksen yhdistäminen voimaharjoitteluun ikääntyvillä.....	34
6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEsit	36
7 MENETELMÄT	37
7.1 Koehenkilöt.....	37
7.2 Tutkimusasetelma	38
7.3 Mittausmenetelmät	38
7.3.1 Ravintoanalyysi.....	38
7.3.2 Kehonkoostumuksen mittaukset	39
7.3.3 Voimamittaukset	39
7.3.4 Kävelynopeus	40
7.4 Tilastolliset menetelmät	40
8 TULOKSET.....	41
8.1 Ravinnonsaanti	41

8.2 Kehon koostumus	44
8.2.1 Kehon massa	44
8.2.2 Painoindeksi	45
8.2.3 Rasvaprosentti.....	45
8.2.4 Reisilihaksen poikkipinta-ala	46
8.2.5 Kyynärvarren ojentajalihaksen lihas- ja rasvakudoksen paksuus	48
8.3 Maksimaalinen voimantuotto	49
8.3.1 Alaraajat	49
8.3.2 Yläraajat	49
8.4 Kävelynopeus	50
9 POHDINTA	51
LÄHTEET.....	57

1 JOHDANTO

Ikääntyvän väestön määrä kasvaa nopeaan tahtiin kaikissa länsimaissa. On arvioitu, että syntyvyyden pysyessä nykyisellä tasolla yli 65-vuotiaiden prosentiosuus väestöstä kasvaa 15 %:sta noin 25 %:iin vuonna 2030. Vuonna 2000 Suomessa oli 775 000 yli 65-vuotiasta kansalaista. Vuoteen 2030 mennessä heidän määränsä arvioidaan lisääntyvän kuudella sadalla tuhannella. Vanhusväestön kaksinkertaistuminen lisää merkittävästi vanhusten hoitopalvelujen kokonaiskustannuksia samalla kun työväestön määrä supistuu voimakkaasti. Terveystuotomenoihin kulutetaan Suomen kansantuotteesta noin 7 %:a eli hieman alle EU:n keskiarvon. Terveyspalveluihin käytettävä rahamäärä kasvaa koko ajan. Vanhusväestön määrä, väestön tulotason nousu, sairausvakuutuksen kattavuuden laajentuminen ja lääketieteen teknologinen kehitys ovat tärkeimpiä menoja lisääviä tekijöitä. Iäkkäimmät eli yli 65-vuotiaat vanhukset käyttävät keskimäärin 6700 euron arvosta palveluita vuodessa eli kaksi viidesosaa koko terveydenhuollon kokonaismenoista. OECD:n arvion mukaan yli 65-vuotias käyttää keskimäärin neljä kertaa enemmän palveluita kuin alle 65-vuotias. (Sailas 2000).

Väestön ikääntyminen on myös sosiaalinen haaste. Monet eri tekijät vaikuttavat siihen millaiseksi pitenevä elinikä loppuvaiheissaan muodostuu. Ikivihreät projektissa 75 - 86 -vuotiaat ikääntyvät nostivat tärkeimmiksi hyvän elämän kriteereiksi läheiset ihmissuhteet sekä kohtuullisen terveyden ja toimintakyvyn. Terveyden kokeminen on moniulotteinen asia, johon vaikuttaa arkiaskareista suoriutuminen, fyysinen ja psyykinen suorituskyky sekä niiden taustalla olevat sairaudet ja fyysisen aktiivisuuden määrä. Liikuntakyvyn heikkeneminen on eräs tärkeimmistä elämänlaatua heikentävistä ja itsenäistä elämää vaikeuttavista tekijöistä. (Heikkinen 2000).

Ikääntymisen myötä tapahtuvat muutokset elimistön toiminnassa ja ihmisen fyysisessä aktiivisuudessa johtavat lihasmassan ja – voiman vähenemiseen (mm. Frontera ym. 1991). Lihasmassan väheneminen on seurausta lihassolujen koon pienenemisestä ja/tai lihassolujen määrän vähenemisestä (Lexell ym. 1988). Tämä johtuu muun muassa riittävän kuormituksen puutteesta ja elimistön toiminnan muutoksista, kuten kasvutekijöiden ja anabolisten hormonien pitoisuuksien pienenemisestä veressä (mm. Greenlund ja Nair 2003). Lihasmassan ja – voiman väheneminen voi johtaa fyysisen suorituskyvyn ja toimintakyvyn laskuun ja elämänlaadun huononemiseen (mm. Basse ym. 1992). Ikääntymisen myötä tapahtuva lihasmassan ja –voiman lasku on merkittävä

tekijä erityisesti iäkkäiden naisten toimintakyvylle. Naiset elävät kauemmin kuin miehet ja heidän lähtötasonsa lihasvoiman osalta on alhaisempi. Tämän vuoksi lihasmassan ja –voiman väheneminen ikääntymisen myötä johtaa naisilla helpommin vakavaan suorituskyvyn laskuun ja altistaa toiminnanvajavuuksien kehittymiselle.

Progressiivisella voimaharjoittelulla voidaan parantaa iäkkäiden naisten ja miesten voimaominaisuuksia merkittävästi (Fiatarone ym. 1990, Häkkinen ym. 2001a). Voiman kasvaminen on seurausta sekä neuraalisten voimantuotto-ominaisuuksien parantumisesta että lihassolujen koon kasvusta (mm. Larsson 1982, Häkkinen ym. 2001b). Optimaaliset harjoitusvaikutukset edellyttävät pitkäkestoista voimaharjoittelua suurilla kuormilla (Häkkinen ym. 2001b).

Lihasmassan kasvu edellyttää harjoitusärsyksen lisäksi muun muassa riittävää proteiinien saantia ravinnosta (Tipton ja Wolfe 1998). Iäkkäillä naisilla proteiinien saanti saattaa jäädä alle suositellun 1-1,2 grammaa painokiloa kohden vuorokaudessa (Pitkälä ja Mäkelä 2000). Voimaharjoittelun vaikutuksesta proteiinien tarve vielä lisääntyy. Riittävä proteiinien saanti mahdollistaa maksimaalisen lihasmassan kasvun voimaharjoittelun vaikutuksesta. Kun samalla kokonaisenergiansaanti pidetään vakiona, rasvakudoksen suhteellinen osuus laskee (Campbell ym. 1994). Tällä on monia suotuisia vaikutuksia terveydelle. Mm. HDL-kolesterolin määrä lisääntyy ja LDL-kolesterolin sekä triglyseridien pitoisuudet pienenevät (Fahlman 2002). Voimaharjoittelulla voidaan parantaa glykeemistä tasapainoa ja ehkäistä tai viivästyttää II tyypin diabeteksen puhkeamista (Kelley & Goodpaster 2001).

Vaikka ikääntyvien voimaharjoittelua on tutkittu paljon, ravinnonsaannin vaikutuksesta iäkkäiden lihasvoiman ja –massan kehitykseen on vielä varsin vähän tietoa. Tehdyt tutkimukset ovat olleet luonteeltaan lähinnä ravintosupplementtitutkimuksia, joissa on selvitetty erilaisten proteiinilisien tai dieettien vaikutusta voiman ja lihasmassan kehittymiseen. Voimaharjoittelun yhteydessä annettavan ravitsemusneuvonnan vaikutuksia ei ole tutkittu.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten voimaharjoitteluun yhdistetty ravitsemusohjaus vaikuttaa ikääntyvien naisten kehon koostumukseen eli lihas- ja rasvamassan määrään sekä ylä- ja alaraajojen maksimaaliseen voimantuottoon ja toimintakykyyn.

2 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENTEeseen JA VOIMANTUOTTOON

Vanheneminen tarkoittaa sellaisia ajan mukana eteneviä, kaikissa kehittyneemmissä elämänmuodoissa esiintyviä, sisäsyntyisiä muutoksia elimistössä, kudoksessa, solussa tai molekyylissä, joiden vaikutuksesta kuoleman todennäköisyys kasvaa (Spirduso 1995, 5-31). Vanhenemismuutoksille on tyypillistä, että ne ovat universaaleja, sisäsyntyisiä, progressiivisia ja elimistölle vahingollisia. Vanhenemisprosessi vaihtelee suuresti eri kudosten ja elinjärjestelmien välillä ja myös yksilöiden välinen variaatio ikääntymisessä on suurta. Vanhenemismuutosten seurauksena elimistön kyky ylläpitää homeostaasia vähenee ja kyky reagoida stressiin heikkenee. Yksilön haavoittuvuus sairauksille lisääntyy. (Weg 1975, 229-256).

2.1 Ikääntymisen vaikutus antropometrisiin ominaisuuksiin

Ikääntymisen myötä tapahtuu useita ennustettavia ja eteneviä muutoksia kehon koostumuksessa ja ravitsemustilassa. 40 ikävuoden jälkeen pituus alkaa lyhentyä ja yli 60 ikävuoden jälkeen lyheneminen kiihtyy 2 cm:n 10 vuodessa (Shephard 1987, 44-55). Pituuden väheneminen johtuu mm. asennon ja ryhdin muutoksista, luiden kalkkikadosta ja nikamavälilevyjen kokoonpuristumisesta sekä reisiluun kaulaosan kulman muuttumisesta. Kehon paino on usein suurimmillaan 50 vuoden iässä, mutta rasvan suhteellinen osuus lisääntyy vielä tämän jälkeenkin kehon rasvattoman massan ja vesipitoisuuden vähetessä (Spirduso 1995, 5-31). Ikääntyessä rasvamassa lisääntyy erityisesti kehon keskiosassa sisäelinten ympärillä ja vyötäröllä. Vyötärölihavuus on erityisen haitallista terveydelle ja on riskitekijä useille aineenvaihduntasairauksille kuten diabetekselle ja sydän- ja verisuonitaudeille. Lihavuuden haitallinen vaikutus terveydelle ikäännyttäessä on kuitenkin vaikeasti tulkittava asia; keski-iässä lihaviin kuolleisuus on suurempaa, mutta myöhemmin vanhuudessa lihaviin ennuste on jopa parempi kuin laihojen. Vanhuuden laihuus saattaa kudosatrofian ohella johtua kroonisista sairauksista tai ravitsemuksen ongelmista. (Suominen 1997).

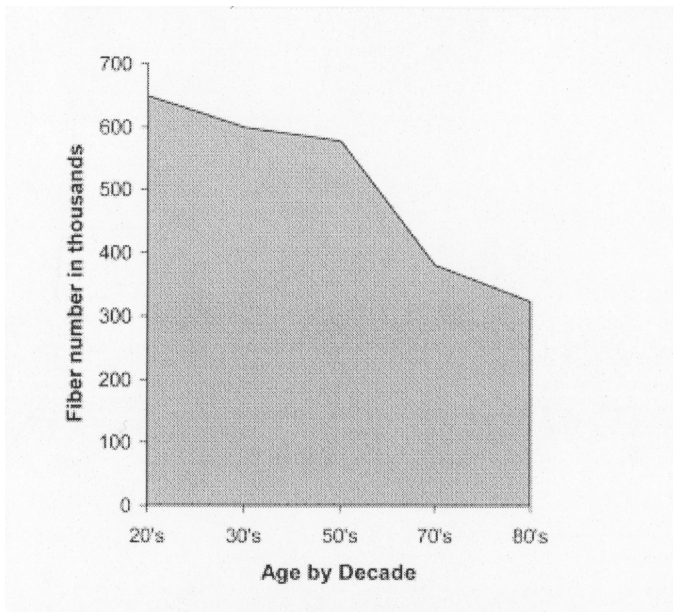
2.2 Ikääntymisen vaikutus lihaskudokseen

Ikääntymisen myötä lihaskudoksessa tapahtuu useita anatomisia muutoksia, joista tärkein on lihasmassan väheneminen ja lihasten poikkipinta-alan pieneneminen (taulukko 1 ja kuva 2).

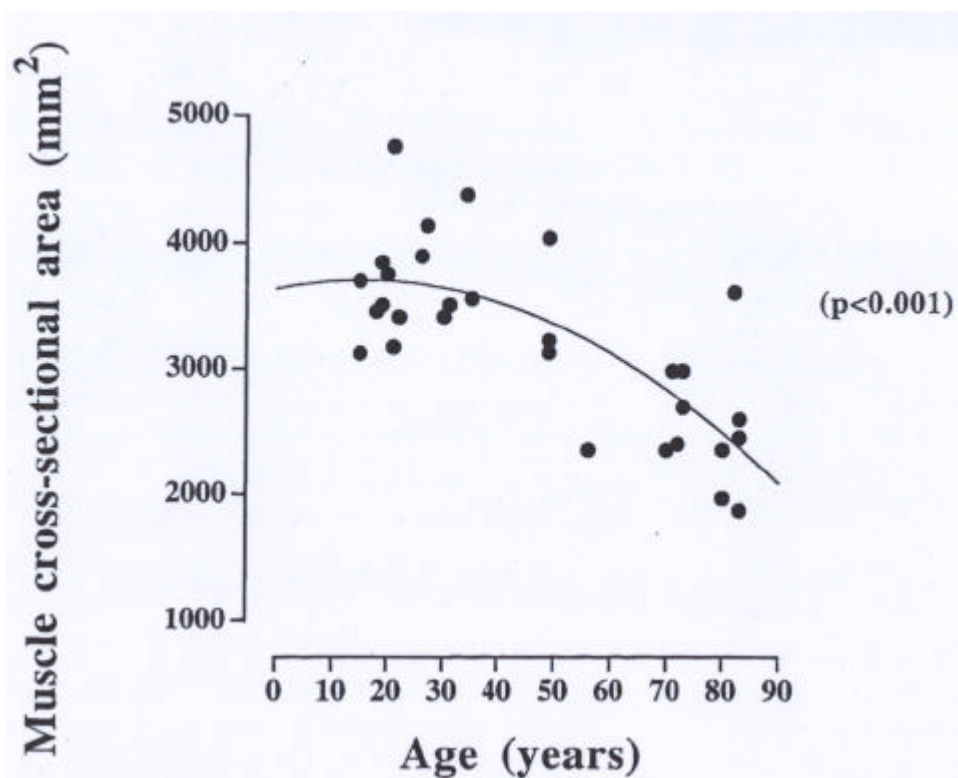
TAULUKKO 1. Tärkeimmät ikääntymisen aiheuttamat anatomiset muutokset lihaskudoksessa. (Mukailtu Kamel 2003).

1. Lihasmassa vähenee ja lihasten poikkipinta-ala pienenee.
2. Rasvan ja sidekudoksen määrä lihaksessa lisääntyy.
3. Tyypin II lihassolujen koko pienenee, tyypin I soluissa ei muutosta.
4. Tyypin II lihassolut vähenevät.
5. Tyypin I lihassolut vähenevät.
6. Motoristen yksikköjen väheneminen.

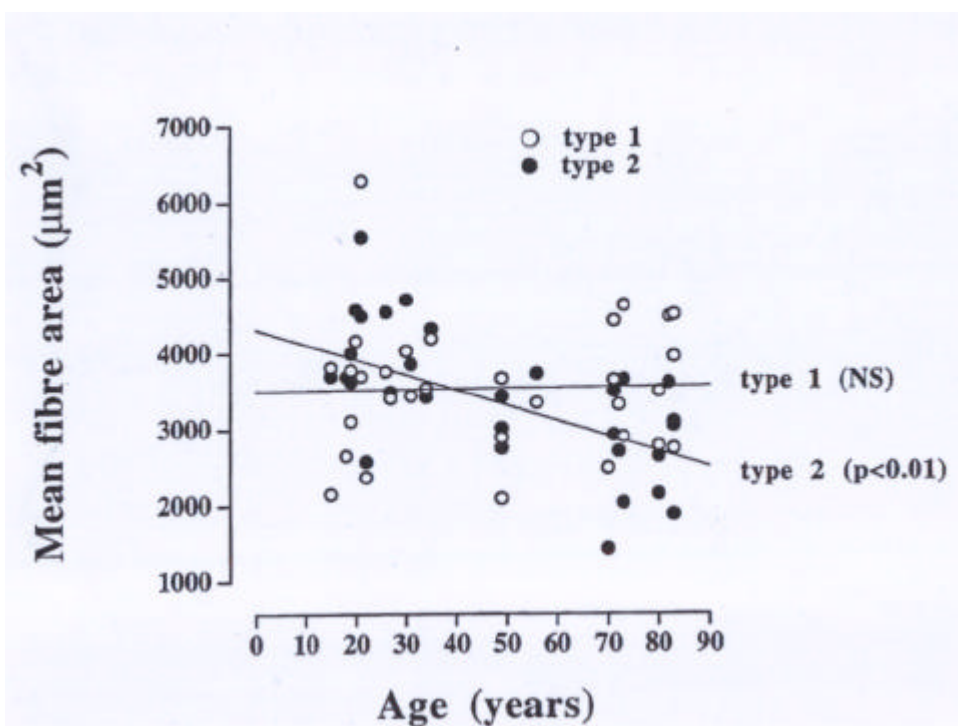
Lihasmassan väheneminen johtuu suurelta osin lihassolujen häviämisestä ja atrofiasta sekä toiminnan heikkenemisestä (kuva 1). Nopeiden II-tyypin solujen ja hitaiden I-tyypin solujen suhde pysyy ikääntyessä ennallaan, mutta lihassolujen atrofia ja supistumistoiminnan heikkeneminen kohdistuu erityisesti tyypin II nopeisiin lihassoluihin, jotka menettävät suuremman osan myosiinistaan verrattuna I-tyypin lihassoluihin (kuva 3) (Fleg ja Lakatta 1988).



KUVA 1. Lihassolujen väheneminen iän myötä vastus lateraliksessa. (Lexell ym. 1988)



KUVA 2. Iän ja lihaksen poikkipinta-alan välinen yhteys. (Porter ym. 1995).



KUVA 3. Riippuvuussuhde iän ja tyyppin I- ja II-lihassolujen välillä. (Porter ym. 1995).

Young ym. (1984, 1985) havaitsivat ultraäänellä mitatessaan nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alan olevan iäkkäillä naisilla ja miehillä 25–34 %:a pienempi kuin nuorilla verrokeilla. Samanlaisia ikämuutoksia lihasten poikkipinta-alassa on havaittu tietokonetomografialla nelipäisen reisilihaksen lisäksi myös käsivarren ojentajissa ja koukistajissa (Klitgaard ym. 1990, Overend ym. 1992, Rice ym. 1989). Lihaksen poikkipinta-alan pienenemisen lisäksi lihaksen sisäinen rasva- ja sidekudos lisääntyy iän myötä. Ikääntyneillä koehenkilöillä pehmytkudoksen määrä oli 27 %:a suurempi käsivarren koukistajissa, 45 %:a suurempi käsivarren ojentajissa ja 81 %:a suurempi nilkan ojentajissa verrattuna nuoriin koehenkilöihin (Rice ym. 1989). Myös Overend ym. (1992) osoittivat, että alaraajoissa pehmytkudoksen määrä oli ikääntyneillä 59 %:a suurempi nelipäisessä reisilihaksessa sekä 127 %:a suurempi reiden takaosan lihaksissa kuin nuorilla koehenkilöillä. Pehmytkudoksen eli rasvan ja sidekudoksen kertymisen vuoksi lihasten supistumisominaisuudet saattavat heikentyä ikääntyessä jopa enemmän kuin lihasvolyymi ja lihasten poikkipinta-ala (Porter ym. 1995).

Lexell ym. (1988) mittasivat vastus lateraliksen poikkipinta-alaa terveiltä 15–83-vuotiailta miehiltä ja havaitsivat lihaksen poikkipinta-alan pienenevän 20 ja 80 ikävuoden välillä 40 %:a. (Kuva 1). Poikkipinta-alan pieneneminen alkoi jo 25-vuotiailla ja 50 ikävuoteen mennessä pinta-ala oli vähentynyt 10 %:a. Tämän jälkeen poikkipinta-alan väheneminen kiihtyi entisestään.

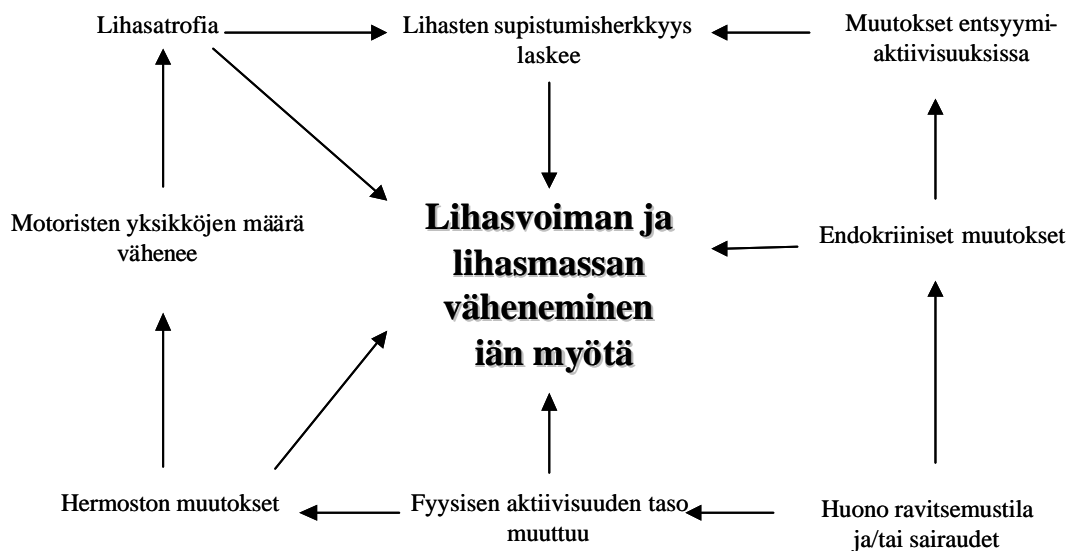
Gallagher ym. (1997) mittasivat ylä- ja alaraajojen lihasmassaa DEXA:lla 20–90-vuotiailla miehillä ja naisilla ja havaitsivat, että miesten raajojen lihasmassa väheni iän myötä enemmän kuin naisten (14.8 vs. 10.8 %:a). Saman havaitsivat Janssen ym. (2000) mitatessaan MRI:llä lihasmassaa 18–88-vuotialta naisilta ja miehiltä. Vaikka lihasmassa vähenee iän myötä enemmän miehillä kuin naisilla, ovat lihasmassan ja – voiman vähenemisen aiheuttama toimintakyvyn menetys erityisesti iäkkäiden naisten ongelma. Naisten lihasvoima ja – massa ovat jo ennen ikääntymistä alhaisempia kuin miehillä, naiset myös elävät kauemmin ja kärsivät miehiä enemmän erilaisista liikuntakykyä rajoittavista sairauksista (Doherty 2003).

Lihasmassan väheneminen iän myötä on seuraus siitä, että proteiinien hajotus on suurempaa kuin proteiinien synteesi. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että lihasten proteiinisynteesi vähenee merkittävästi ikääntymisen myötä (Welle ym. 1993, Welle ym. 1995, Balagobal ym. 1997). Lihasten proteiinien hajotusta on tutkittu vähemmän. Tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että koko kehon proteiinien hajotus on joko samansuuruista iästä riippumatta tai vähenee iän myötä (Balagobal ym. 1997). Epätasapaino proteiinien synteesin ja hajotuksen välillä johtaa lihasmassan

vähentymiseen ja myös lihasten rakenteen muuttumiseen iän myötä. On mahdollista, että proteiinisynteesin hidastuminen ja hajoamisen kiihtyminen iän myötä on spesifistä nimenomaan lihasten proteiineille (Balagobal ym. 1997).

2.3 Ikääntymisen vaikutus voimantuottoon

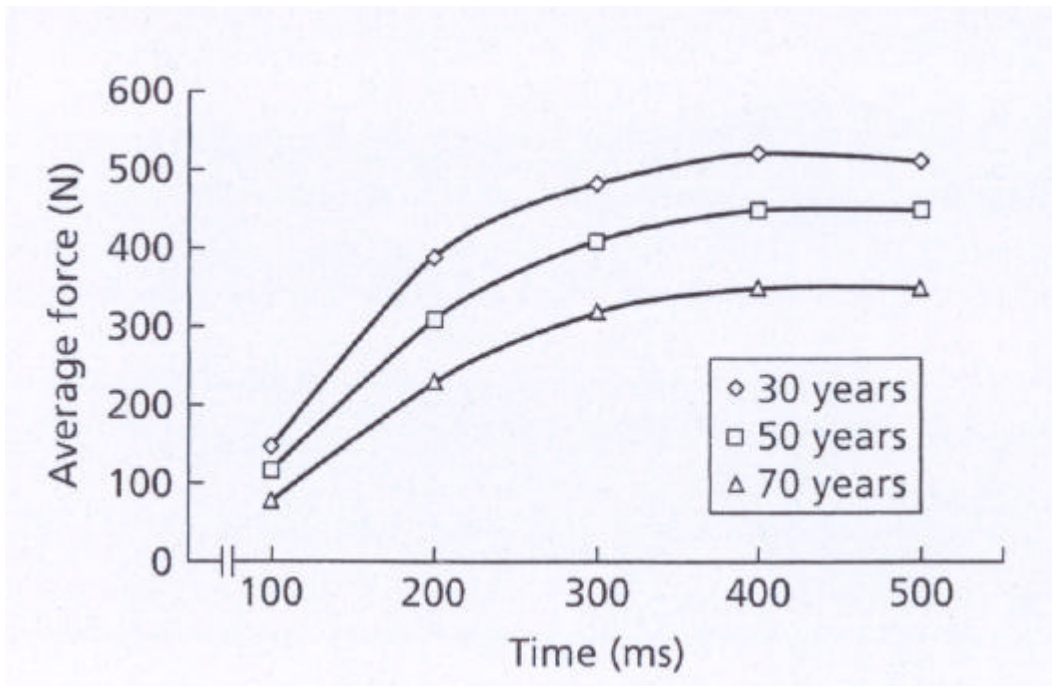
Lihastrofia, fyysisen aktiivisuuden väheneminen ja hormonaaliset sekä hermostolliset ikämuutokset aiheuttavat maksimivoiman heikkenemistä iän myötä. Lihaskoivu on suurimmillaan 20–30 vuoden iässä. Sen jälkeen se pysyy ennallaan tai laskee hieman seuraavan 20 ikävuođen aikana. Merkittävästi lihaskoivu vähenee vasta 50 ikävuođen jälkeen (Frontera ym. 1991). Lihaskoivun vähentymiseen vaikuttavia syitä on kuvattu kuvassa 4.



KUVA 4. Lihaskoivun vähentymiseen vaikuttavat tekijät. (Mukailtu Porter ym. 1995).

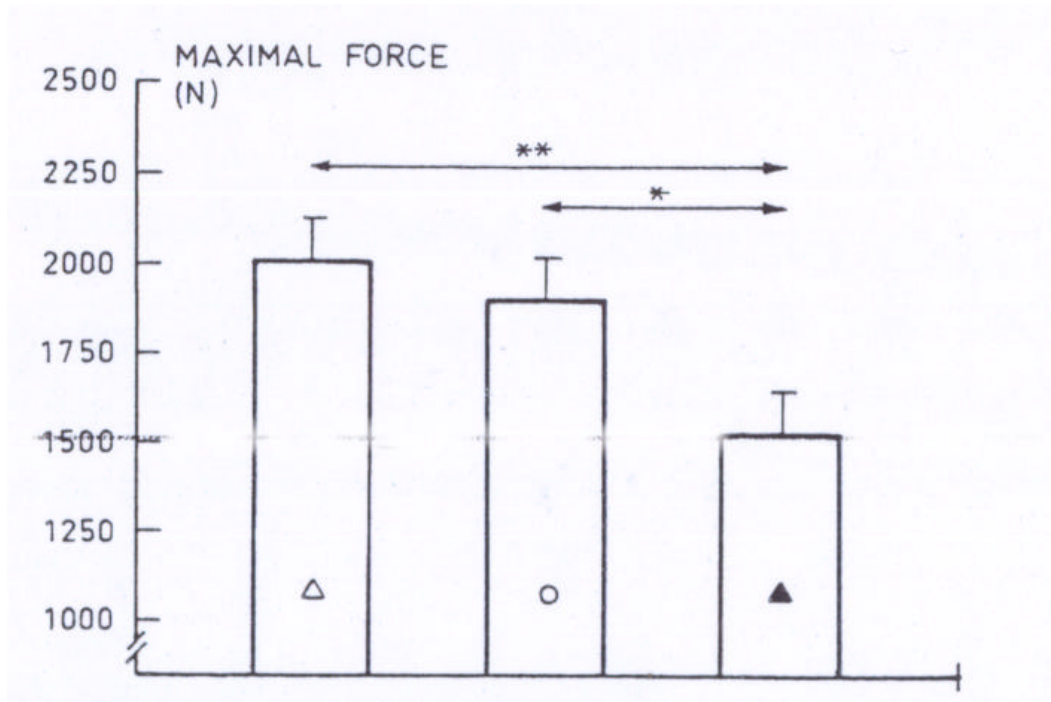
Hermolihasjärjestelmän toiminnalliset muutokset. Hermolihasjärjestelmässä tapahtuvia anatomisia muutoksia on kuvattu edellisessä kappaleessa. Myös toiminnallisista ikämuutoksista on saatavilla runsaasti tietoa. Iän myötä motoristen yksikköjen määrä laskee ja jäljelle jääneiden yksikköjen koko kasvaa (Porter ym. 1995). Yli 60-vuotiaalla motoristen yksikköjen määrä voi olla jopa 50 %:a alhaisempi kuin nuorella aikuisella (Tomlinson & Irving 1977). Keskushermoston kyky agonistilihaksien nopeaan maksimaaliseen aktivointiin vähenee iän myötä (kuva 5). Alaraajojen

ojentajien isometrinen voima-aika-käyrä loivenee iän myötä naisilla ja miehillä. Saman voimatason tuottamiseen kuluu ikääntyneeltä enemmän aikaa kuin nuorelta. (Häkkinen & Häkkinen 1991).



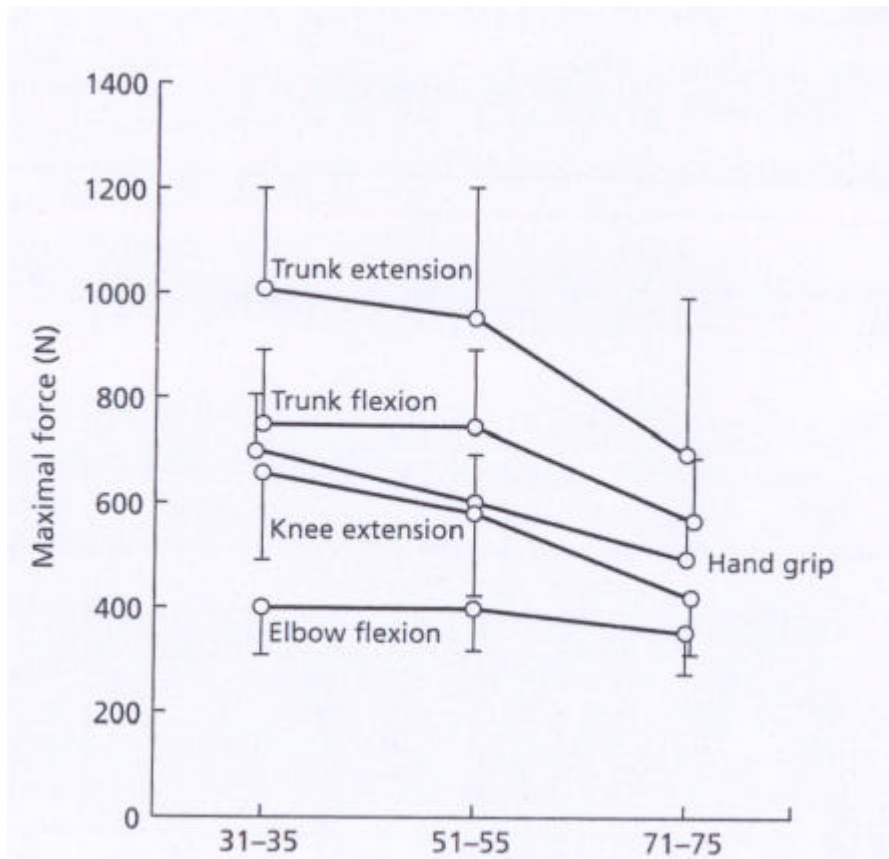
Kuva 5. Keskimääräinen voima-aikakäyrä isometrisessä jalkojen ojennusliikkeessä eri-ikäisillä miehillä (Häkkinen 2003, mukailtu Häkkinen ym. 1995).

Ikääntymisen myötä tapahtuvista lihasvoiman muutoksista tiedetään jo varsin paljon. Eniten on mitattu toimintakyvyn kannalta tärkeää polven ojennusvoimaa. Polven ojentamiseen osallistuvista lihaksista on myös saatavilla runsaasti referenssimateriaalia ja sitä on myös suhteellisen helppo testata iäkkäiltäkin ihmisiltä. On osoitettu, että maksimivoima vähenee 30 ja 70 ikävuoden välillä reilun kolmanneksen (kuva 6) (Häkkinen & Häkkinen 1991). Yli 80-vuotiailla naisilla polven ojennusvoima on yli puolet heikompi kuin nuorilla (Murray ym. 1985).



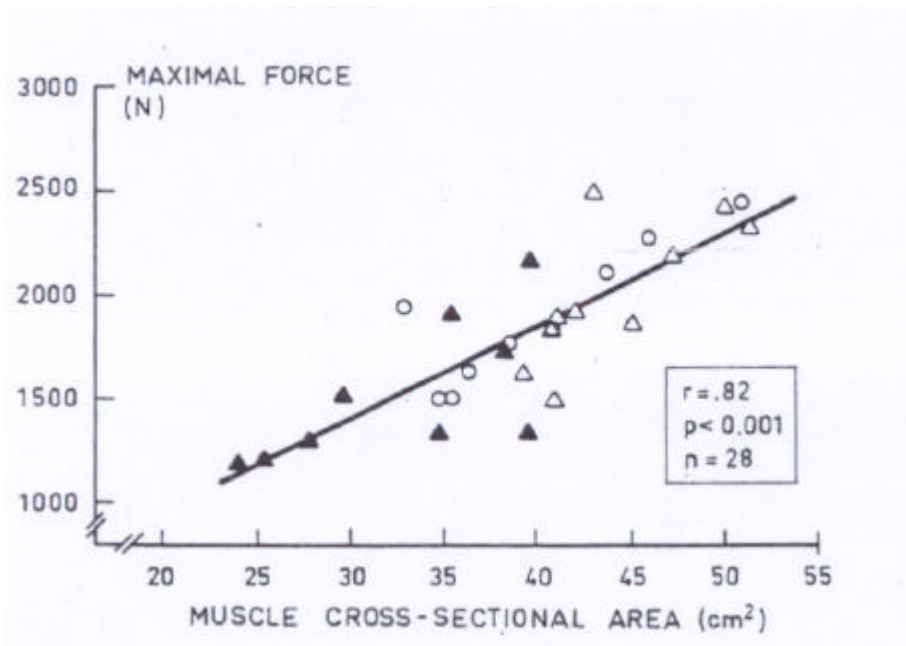
Kuva 6. Maksimaalinen isometrinen jalkojen ojennusvoima eri-ikäisillä naisilla (keskiarvo+, SE* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, Δ = 30 vuotta, O = 50 vuotta ja ? = 70 vuotta). (Häkkinen & Häkkinen 1991).

Ikääntymisen vaikutusta lihasvoiman vähenemiseen on tutkittu eri lihaksissa ja lihasryhmissä. Voiman väheneminen näyttää vaihtelevan hieman eri lihasryhmien välillä siten, että alaraajojen lihasvoima vähenee nopeammin kuin yläraajojen lihasvoima (Frontera ym. 1991) (kuva 7). Tämän on arveltu johtuvan alaraajojen kuormituksen vähenemisestä ikäännyttäessä. Nelipäisen reisilihaksen isometrisen voiman on raportoitu olevan nuorilla miehillä huomattavasti suurempi kuin iäkkäillä (Frontera ym. 1991). Poikkileikkaustutkimuksen mukaan nelipäisen reisilihaksen voiman väheneminen alkaa naisilla aiemmin kuin miehillä, mutta voiman väheneminen tapahtuu hitaammin (Lindle ym. 1997). Prosentuaalisesti voiman väheneminen iän myötä on naisilla hieman vähäisempää kuin miehillä (Stalberg ym. 1989). Sukupuolien välinen ero voiman vähenemisessä voi myös olla erilaista ylä- ja alaraajoissa. Esimerkiksi Hughes ym. (2001) havaitsivat poikkileikkaustutkimuksessaan, että polven ojennus ja - koukistusvoima väheni samaa tahtia naisilla ja miehillä (12–18 % /10v), mutta naisten olkavarren ojennus- ja koukistusvoima väheni huomattavasti hitaammin kuin miesten (2 % vs. 12 % / 10 v).

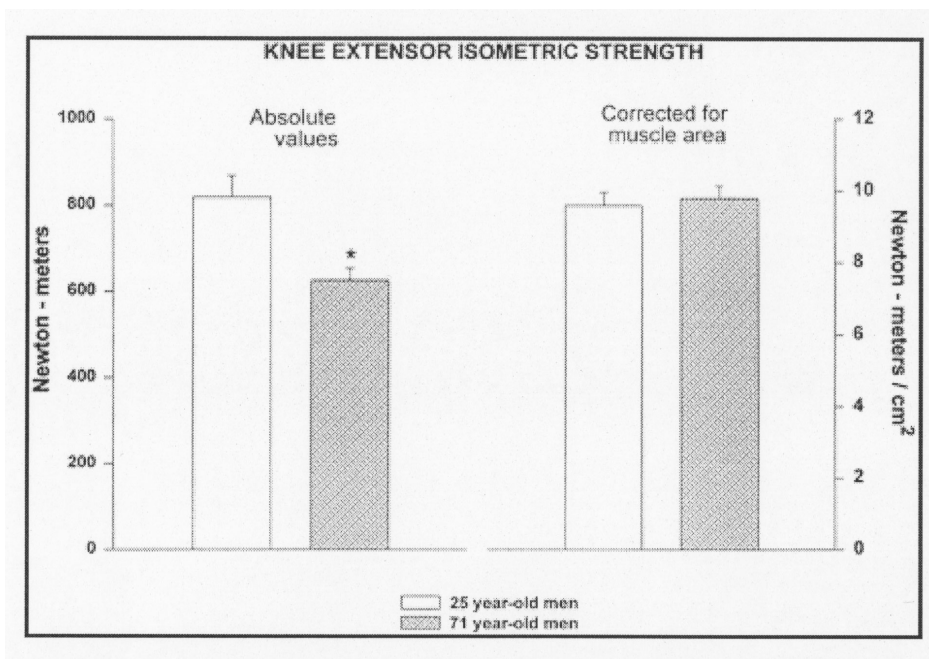


Kuva 7. Maksimaalinen isometrinen voima eri lihasryhmissä eri-ikäisillä miehillä. (Keskiarvo+SE) (Häkkinen 2003, mukailtu Viitasalo ym. 1985)

Suurin syy iän myötä tapahtuvaan lihasvoiman vähenemiseen on lihasten poikkipinta-alan pieneneminen (Frontera ym. 2000) (kuva 9). Overend ym. (1992) seurasi 12 vuoden ajan muutoksia ikääntyvien miesten lihasvoimissa. He havaitsivat, että lihasten poikkipinta-ala ja lähtövoimataso ennustivat 90 %:sti lihasvoimatasoa seurannan päättyessä. Myös Häkkisen & Häkkisen (1991) tutkimuksessa havaittiin alaraajojen ojentajalihasvoiman pinta-alayksikköä kohden olevan keskimäärin sama 30-, 50- ja 70-vuotiailla naisilla (kuva 8). Iäkkäimmillä koehenkilöillä korrelaatio maksimivoiman ja lihaksen poikkipinta-alan välillä oli pienempi ja yksilöllinen variaatio suurempaa kuin nuoremmilla. Ikääntyvän maksimivoimatasoon vaikuttaa lihasatrofian ohella muutkin hermolihasjärjestelmän ikämuutokset. (Häkkinen & Häkkinen 1991).



Kuva 8. Riippuvuussuhde nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alan ja maksimaalisen isometrisen jalkojen ojennuksen välillä eri-ikäisillä naisilla. Δ = 30 vuotta, O = 50 vuotta ja ? = 70 vuotta. (Häkkinen & Häkkinen 1991).



KUVA 9. Polven ojentajien isometrinen voima (vääntömomentti) absoluuttisina arvoina ja suhteutettuna lihasten pinta-alaan nuorilla ja iäkkäillä terveillä miehillä. (Overend ym. 1992).

Hormonaaliset muutokset. Normaalin ikääntymisen myötä useiden anabolisten hormonien pitoisuus vähenee. Mm. seerumin testosteroni- ja androgeenipitoisuudet laskevat (Tenover 1997). Elimistön endokriininen järjestelmä säätelee proteiiniaineenvaihduntaa ja sen kautta sillä on suora yhteys lihasmassan ja – voiman muutoksiin. Tärkeimmät anaboliset hormonit, joilla kehon koostumusta säädellään, ovat kasvuhormoni ja testosteroni. Van den Beld ym. (2000) osoitti, että 73–94 ikävuoden välillä biologisesti aktiivisen testosteronin pitoisuus elimistössä vähenee noin 3 %:a vuodessa. Samalla ajanjaksolla ja samassa suhteessa testosteronipitoisuuden kanssa vähenee myös lihasmassa ja – voima. Roy ym. (2002) selvittivät miesten lihasmassaa ja kehonkoostumusta ennustavia tekijöitä ja havaitsivat, että ikä, rasvamassa, raajojen rasvaton massa, testosteroni ja biologisesti aktiivinen testosteroni selittivät koehenkilöiden eksentristä ja konsentrista voimaa. Kun muiden selittävien tekijöiden vaikutus eliminoitiin, havaittiin että testosteronipitoisuudella ei voitu selittää voimatasoja. Vapaan testosteronin pitoisuus sen sijaan oli yhteydessä käsien ja jalkojen voimaan.

Sekä kasvuhormonin että IGF-I:n pitoisuudet veressä vähenevät iän myötä (Rudman ym. 1981, Ho ym. 1987). Kasvuhormonipitoisuuden lasku johtaa lihasmassan vähenemiseen ja rasvamassan lisääntymiseen. Iäkkäillä miehillä kasvuhormonisupplementaatio IGF-I-tuotannon stimuloimiseksi nuoren aikuisen tasolle, voi lisätä lihasmassaa ja vähentää rasvakudosta (Rudman ym. 1990, Welle ym. 1996). Welle ym. (1996) eivät kuitenkaan voineet osoittaa muutosta lihasten proteiinisynteesissä tai lihasvoimassa. Sen sijaan iäkkäillä naisilla on raportoitu kasvuhormoni- tai IGF-I-supplementaation lisäävän lihasten nettoproteiinisynteesiä jopa 50 % (Butterfield ym. 1997). Tämä voi olla se vaikutustapa, jolla kasvuhormoni lisää lihasmassaa (Greenlund ja Nair 2003).

Lihassoima saavuttaa huippunsa 20–30 ikävuoden välillä. 30 ja 70 ikävuoden välillä lihasvoima vähenee jopa 30–40 %:a ja tämän jälkeen voiman väheneminen kiihtyy entisestään. Lihassoiman vähenemisen taustalla on useita anatomisia ja toiminnallisia ikääntymismekanismmeja, joita säätelevät monet hormonaaliset ikämuutokset. Tärkein lihassoimaa ennustava tekijä on lihasten poikkipinta-ala. Lihassoiman väheneminen on lähes yhtä suurta molemmilla sukupuolilla, mutta voiman väheneminen saattaa edetä eri lihasryhmissä eri nopeuksilla. Lihassoiman väheneminen näyttää olevan suurempaa alaraajojen proksimaalisissa lihaksissa johtuen fyysisen kuormituksen vähenemisestä.

3 RAVITSEMUS

3.1 Suomalaiset ravitsemussuositukset

Ravitsemussuosituksien tavoitteena on turvata elimistön tarpeisiin nähden riittävä energian ja ravintoaineiden saanti. Hyvä ravitsemustila on keskeinen edellytys vanhusten toimintakyvyn säilymiselle ja sillä voidaan ehkäistä ja siirtää sairauksien puhkeamista, hidastaa sairauksien pahenemista ja edistää sairauksista toipumista. Iäkkäiden ravinnontarve ei juuri poikkea nuorempien ravinnontarpeesta, ainoastaan arvio energiantarpeesta on ikääntyneillä alhaisempi työikäisiin verrattuna ja vähenee edelleen iän myötä. Suomalaisen ravitsemussuosituksen mukaan kevyttä työtä tekevän, vapaa-ajallaan inaktiivisen 31 - 60 -vuotiaan naisen energiantarpeen viitearvo on 8,0 MJ/vrk, 61 - 75 -vuotiaan 7,3 MJ/vrk ja yli 75-vuotiaan 7,2 MJ. Vastaavasti miehillä viitearvot ovat 31 - 65 -vuotiaalle 10,0 MJ, 65 - 75 -vuotiaalle 8,9 MJ ja yli 75-vuotiaalle 8,2 MJ (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 1998, www.ktl.fi/ravitsemus).

Suomalaiset ravitsemussuositukset uudistuivat viimeksi vuonna 1998. Keskeisiä tavoitteita uusissa suosituksissa on tasapainoinen ravintoaineiden saanti, energian saannin ja kulutuksen tasapainottaminen, hiilihydraattien suhteellisen osuuden lisääminen, kovan rasvan ja natriumin saannin vähentäminen sekä alkoholin kulutuksen pitäminen kohtuullisena. Energiaravintoaineiden suhteellisiksi osuuksiksi kokonaisenergian saannista (E %) suositellaan hiilihydraattien osalta 55–60 E %, proteiinien osalta 10–15 E % ja rasvojen osalta noin 30 E %. Kovan rasvan saanti tulisi olla alle 10 E %, kertatydyttymättömien rasvahappojen saanti 10–15 E %, monitydyttymättömien 5–10 E % ja välttämättömien monitydyttymättömien 3 E %. Alkoholin osuudeksi suositellaan korkeintaan 5 E %. Ruokasuolan saantisuosituksista kiristettiin vuoden 1987 suosituksesta (7-9g/vrk) viiteen grammaan ja ravintokuidun saantisuosituksista nostettiin (1987 25-35g/vrk) 30–35 g/vuorokaudessa. Vitamiini- ja kivennäisaineiden saantisuositukset yli 60-vuotiaalle löytyvät taulukosta 2.

TAULUKKO 2. Vitamiinien ja kivennäisaineiden suositeltava saanti yli 60-vuotiaille. (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 1998).

	Naiset	Miehet
A-vitamiini, RE*	800	900
D-vitamiini, µg	10	10
E-vitamiini, a-TE**	8	10
Tiamiini, mg	1,0	1,2***
Riboflaviini, mg	1,2	1,4****
Niasiini, NE*****	13	16*****
B6-vitamiini, mg	1,1	1,4*****
Foolihappo, µg	300	300
B 12-vitamiini, µg	2,0	2,0
C-vitamiini, mg	60	60
Rauta, mg	10	10
Sinkki, mg	7	9
Jodi, µg	150	150
Seleeni, µg	50	40
Kalsium, mg	800	800
Fosfori, mg	600	600
Kalium, g	3,1	3,5
Magnesium, mg	280	350

*RE (Retinoliekvivalentti) = 1 µg retinolia tai beeta-karoteenia

** TE (Tokoferoliekvivalentti) = 1 mg d-%- tokoferolia

*** Tiamiinin saantisuositus yli 75-vuotiaille miehille, 1,1 mg/päivä

**** Riboflaviinin saantisuositus yli 75-vuotiaille miehille on 1,3 mg/päivä

***** NE (Niasiiniekvivalentti) = 1 mg niasiinia tai 60 mg tryptofaania

***** Niasiinin saantisuositus yli 75-vuotiaille miehille on 15 NE/päivä

***** B6-vitamiinin saantisuositus yli 75-vuotiaille miehille on 1,2 mg/päivä

3.2 Ikääntyvien ravinnonsaanti

Iäkkäiden suomalaisten ravinnonsaantia on selvitetty mm. Kansanterveyslaitoksen toteuttamassa FINRISKI 1997- tutkimuksessa (taulukko 3). 65–75-vuotiaiden kotona asuvien naisten keskimääräinen energiansaanti oli 6,0 MJ/vrk ja miesten 8,2 MJ/vrk. Energiaravintoaineista hiilihydraattien osuus kokonaisenergiasta oli suositusta pienempi, kun taas kokonaisrasvan ja erityisesti kovan rasvan osuus oli suositusta suurempi. Molemmilla sukupuolilla kuidun ja folaatin saanti oli suosituksia niukempaa ja ruokasuolan käyttö suosituksia suurempaa. Keskimäärin ruoan ravintoainetiheys oli kuitenkin melko hyvä molemmilla sukupuolilla ja kaikissa sosiaaliryhmissä.

Heikossa sosiaalisessa asemassa olevat vanhuksat eivät muodostuneet erityiseksi riskiryhmäksi ravitsemuksen osalta. Suomalaisen ikääntyvän väestön ruokavaliossa on syytä kiinnittää huomiota samoihin seikkoihin kuin muunkin väestön osalta eli pehmeiden rasvojen suosimiseen, hiilihydraattien määrän lisäämiseen ja suolan käytön vähentämiseen. Kasvisten, hedelmien, marjojen ja viljavalmisteiden suosiminen ruokavaliossa lisääi kuidun ja folaatin saantia. (Korpela ym. 1999, Lahti-Koski ja Kilkkinen 2001).

TAULUKKO 3. Keskimääräinen energia, kuidun ja suolan saanti sekä energiaravintoaineiden osuus kokonaisenergiasta (E %) 65–75-vuotiailla miehillä ja naisilla. (Korpela ym. 1999).

	<u>Miehet (n = 151)</u>	<u>Naiset (n = 139)</u>	p-arvo	Suositus ¹
	Keskiarvo (keskihajonta)	Keskiarvo (keskihajonta)		
Energia, MJ	8,2(2,8)	6,0(2,0)	0,000	
Energia, kcal	1 971,0(666)	1 448,0(494)	0,000	
Proteiini, E %	15,0(4)	15,0(4)	0,7	10–15
Hiilihydraatti, E %	51,0(10)	53,0(10)	0,06	55–60
Sakkarooosi, E %	9,0(5)	10,0(5)	0,7	
Kuitu, g/MJ	2,7(1,0)	2,7(0,9)	0,2	3,0
Rasva, E %	32,0(8)	31,0(8)	0,1	Noiin 30
Tyydyttyneet rasvahapot, E %	13,0(5)	12,0(5)	0,1	
Transrasvahapot, E %	0,8(0,6)	0,8(0,6)	0,4	
Tyydyttyneet rasvahapot, E %	14,0(6)	13,0(5)	0,1	= 10
Kertatyydyttymättömät rasvahapot, E %	11,0(3)	10,0(4)	0,3	10–15
Monityyydyttymättömät rasvahapot, E %	5,0(2)	5,0(2)	0,5	5-10
Alkoholi, E %	1,4(5,2)	0,7(3,5)	0,2	<5,0
NaCl, g/MJ	1,2(0,3)	1,1(0,3)	0,4	<0.5

¹ Valtion ravitsemusneuvottelukunta 1998

Suurin osa suomalaisesta vanhusväestöstä voi hyvin, vain 5-10 % terveistä 65 vuotta täyttäneistä kärsii aliravitsemuksesta. Määrä kuitenkin kaksinkertaistuu yli 80-vuotiaissa. Laitoshoidossa olevista vanhuksista 28–85 % on aliravittuja. Aliravitsemus johtuu useimmiten vähentyneestä ravinnonsaannista, joka on seurausta useista eri neurologisista ja fysiologisista ongelmista.

Aliravitsemus saattaa johtaa toimintakyvyn heikkenemiseen, altistaa infektiolle ja lisätä kuolemanriskiä (Refai ym. 1999). (Pitkälä ja Mäkelä 2000).

3.3 Ravitsemustilan vaikutus ikääntyvien terveyteen ja toimintakykyyn

Tutkimuksissa on havaittu ruoasta saatavan kokonaisenergian määrän laskevan noin 20 % 70 ja 80 ikävuoden välillä perusaineenvaihdunnan hidastumisen ja liikunnan vähenemisen takia (Pitkälä ja Mäkelä 2000). Kun proteiinien osuus ruokavaliossa pysyy kuitenkin samana, valkuaisaineiden absoluuttinen saanti vähenee. Tämä saattaa aiheuttaa vanhukselle proteiinivajauksen, jolla on monia haitallisia vaikutuksia elimistölle. Proteiinaliravitsemus lisää sairastuvuutta ja kuolleisuutta. Jopa lyhytaikainen proteiinivajaus vaikuttaa epäedullisesti immuunipuolustukseen sekä elimistön lihas- ja solumassaan (Castaneda ym. 1995). Vanhuksilla myös palautuminen vajaaravitsemuksen aiheuttamasta stressistä on hitaampaa kuin nuoremmilla. Viime vuosikymmenien aikana ravitsemussuosituksia ikääntyville onkin tarkastettu ja muutettu. Geriatrian asiantuntijoiden toimesta proteiinien saantisuosituksista on nostettu 0,6 grammasta 1-1,2 grammaan painokiloa kohden vuorokaudessa (Campbell ym. 1994, Evans ja Cyr-Campbell 1997). Akuutisti sairaille vanhuksille saantisuositus on jopa 2,0 g/kg/vrk (Pitkälä ja Mäkelä 2000).

Moniin sairauksiin liittyvän aliravitsemusriskin vuoksi on tutkittu erilaisten ravintolisien vaikutusta potilaisiin. Potter ym. (1998) tarkastelivat meta-analyysissään proteiinisupplementtien vaikutusta yli 800 vanhuksen terveydentilaan ja havaitsivat, että rutiininomainen proteiini-energiälisä parantaa sekä terveiden että sairaiden ihmisten ravitsemustilaa ja kehon koostumusta sekä vähentää kuolleisuutta ja sairaalahoidon pituutta. Tutkijat korostivat kuitenkin, ettei tutkimusten perusteella voi vielä tehdä pitäviä johtopäätöksiä proteiinilisten hyödyistä, sillä tehdyt tutkimukset ovat olleet laadultaan heikkotasoisia.

Riittäväällä proteiinien saannilla ja erityisesti proteiinien laadulla saattaa olla positiivinen vaikutus myös lonkkamurtumien ehkäisyssä. Munger ym. (1999) havaitsivat eläinperäisen proteiinin suojaavan lonkkamurtumilta postmenopausaalisessa iässä olevia naisia. Proteiineilla saattaa olla merkitystä myös lonkkamurtuman jälkeisessä kuntoutuksessa (Espaulella ym. 2000, Schürch ym.1998, Porter ja Johnsson, 1998). Proteiinisupplementti 20 g päivässä lisäsi murtumapotilaiden insuliinin kaltaisen kasvutekijä I määrää, hidasti reisiluun luukatoa ja vähensi sairaalajaksoja

verrattuna plaseboon (Schürch 1998, Porter ja Johnsson 1998), Espauella ym. (2000) eivät havainneet ryhmien välisiä eroja samalla proteiinisuplementilla.

Ikääntymisen myötä energiansaanti vähenee. 20 ja 80 ikävuoden välillä miesten energiansaanti vähenee keskimäärin 1200 kcal ja naisten 800 kcal vuorokaudessa (Wakimoto & Block 2001). Ravinnonsaannin vähenemisen on arveltu johtuvan fyysisen aktiivisuuden vähenemisestä ja pienentyneestä lepoinvaihduksen tasosta ja rasvattoman kudoksen vähenemisestä, joiden seurauksena energiantarve laskee. Syy-seuraussuhteita on kuitenkin vaikea todistaa.

Lihasmassan ja – voiman säilyttäminen edellyttää riittävää energian ja proteiinien saantia ruokavaliosta. Lyhytaikainenkin aliravitsemustila johtaa merkittäviin muutoksiin iäkkään ihmisen kehon koostumuksessa ja yleisessä terveydentilassa. Castaneda ym. (1995) tutkivat iäkkäiden naisten sopeutumista vähäiseen proteiinien saantiin 9 viikon intervention aikana. Tutkimuksen aikana koehenkilöiden energiansaanti ja – kulutus oli tasapainossa, mutta proteiinien saanti oli pienempi kuin WHO:n suositus (0.60g/kg/vrk, 1985) eli 0.45g/kg/vrk. Proteiinialiravitsemuksen seurauksena iäkkäiden naisten lihasmassa ja – voima laskivat. Ensimmäisen 3 viikon aikana koehenkilöiden lihasmassa laski keskimäärin 6 %:a ja lihasmassa väheni viikkojen 3 ja 9 välillä vielä keskimäärin 8 %:a.

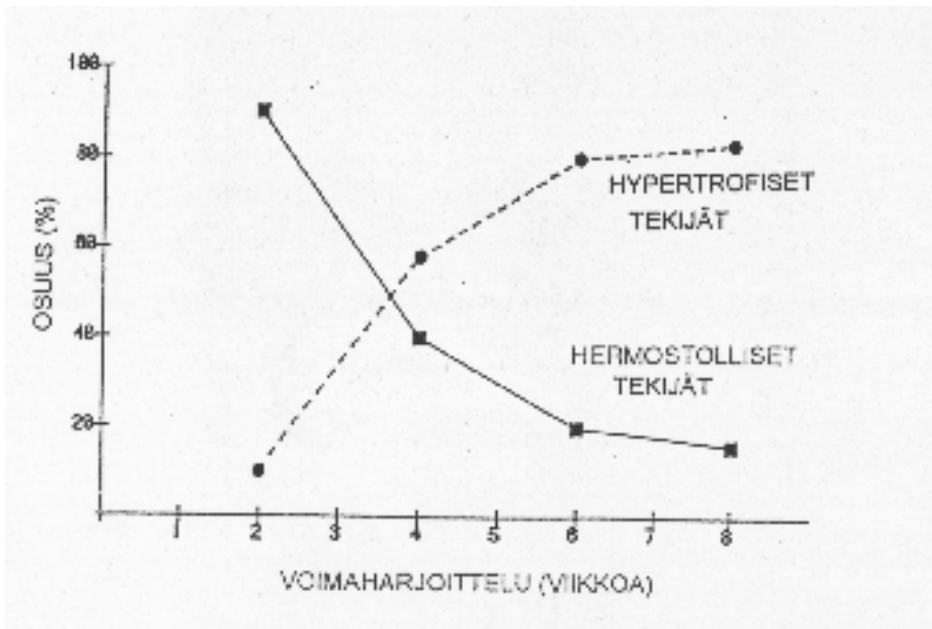
4 IKÄÄNTYVIEN VOIMAHARJOITTELU

4.1 Voimaharjoittelun vaikutusmekanismit

Voimaharjoittelun myötä tapahtuva kehitys lihasvoimassa on seurausta kahden eri tekijän summasta. Lihassupistukseen osallistuvien motoristen yksikköjen määrä lisääntyy tai yksittäiset motoriset yksiköt tuottavat entistä enemmän voimaa. Motoristen yksikköjen lisääntynyt aktiivisuus on seurausta parantuneesta hermotuksesta, kun taas motoristen yksikköjen voimantuoton kasvu johtuu lihasolujen määrän (hyperplasia) tai koon (hypertrofia) kasvusta. (MacDougall 2003, s.252-264).

4.1.1 Neuraalinen adaptaatio

Harjoittelun alkuvaiheessa tapahtuva voimakas kehitys lihasvoimissa johtuu pääasiassa neuraalisten tekijöiden vaikutuksesta eikä välttämättä liity lihaskoon ja poikkipinta-alan kasvuun (Kuva 10).



KUVA 10. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden suhteellinen osuus maksimivoiman kehittymisestä aloittelijoilla (Moritani ja DeVries 1979).

Voimaharjoittelun aiheuttama hermoston kehittyminen johtuu mm. keskushermoston lisääntyneestä aktiivisuudesta ja motoristen yksikköjen synkronisaation paranemisesta. Keskeisin neuraalinen

adaptaatiomekanismi on työtä tekevien pääliharyhmien eli agonistilihasten lisääntynyt aktivaatio (Komi 1986). Muita keskeisiä adaptaatiomekanismeja ovat liikettä tukevien synergistilihasten lisääntyvä koaktivaatio ja liikettä vastustavien antagonistilihasten vähenevä koaktivaatio (Sale 2003, s.281–283). Agonistilihasten aktivaatiokyky lisääntyy voimaharjoittelun vaikutuksesta kolmella eri tavalla. 1) Liikkeeseen osallistuvien motoristen yksikköjen määrä lisääntyy, 2) motoriset yksiköt tuottavat enemmän voimaa kuin ennen tai 3) tarvittava lihasvoima saadaan tuotettua entistä nopeammin (Sale 2003, s. 281–283). Voimaharjoittelun myötä lihastyö myös taloudellistuu eli saman lihastyön tuottamiseen vaaditaan entistä vähemmän hermostollista aktiivisuutta (Komi ym. 1978). Voimaharjoittelun aikaansaama neuraalinen adaptaatio on hyvin yksilöllistä erityisesti iäkkäillä henkilöillä (Häkkinen ym. 1996).

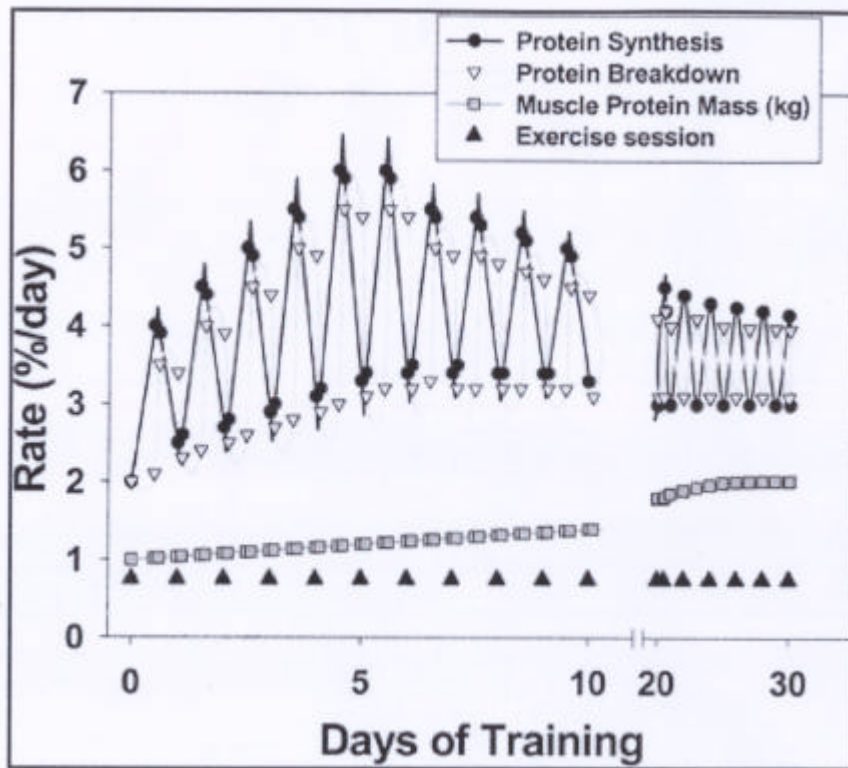
4.1.2 Hypertrofinen adaptaatio

Ikääntymisen myötä tapahtuva lihasmassan lasku on seurausta lihasten proteiinisynteesin nettotasapainon muuttumisesta negatiiviseksi (proteiinien hajotus on suurempaa kuin proteiinien synteesi). Vaikka lihasmassan väheneminen iän myötä on universaali tapahtuma, on siihen mahdollista vaikuttaa mm. ravitsemuksella ja fyysisellä aktiivisuudella. Liikunta kiihdyttää lihasten proteiinisynteesiä sekä akuutisti että pitkäaikaisen harjoittelun vaikutuksesta. Riippumatta iästä supistuvat proteiinit reagoivat voimaharjoitteluun lisäämällä proteiinisynteesiä (Yarasheski ym. 1993). (Tipton 2001).

Lihaksen hypertrofiolla tarkoitetaan lihaksen supistuvan valkuaisen määrän eli lihassolujen myofibrillien koon ja lukumäärän lisääntymistä (MacDougall 1986, s. 501–513). Rasittava voimaharjoitus lisää lihasten proteiinisynteesiä suoritukseen osallistuvissa lihaksissa välittömästi suorituksen jälkeen (Chesley ym. 1992). Proteiinisynteesi on vilkkainta noin 24 tuntia suorituksen jälkeen ja palaa lepotasolle noin 36–48 tunnin päästä suorituksesta (kuva 11) (Biolo ym. 1995). Proteiinisynteesin kiihtymisen lisäksi myös proteiinien hajotus kiihtyy liikuntasuorituksen jälkeen. Proteiinien hajoaminen ei kuitenkaan yhtä lisäännä yhtä merkittävästi kuin niiden synteesi, joten proteiinisynteesin nettotasapaino jää positiiviseksi ja lihasmassa lisääntyy (Biolo ym. 1995).

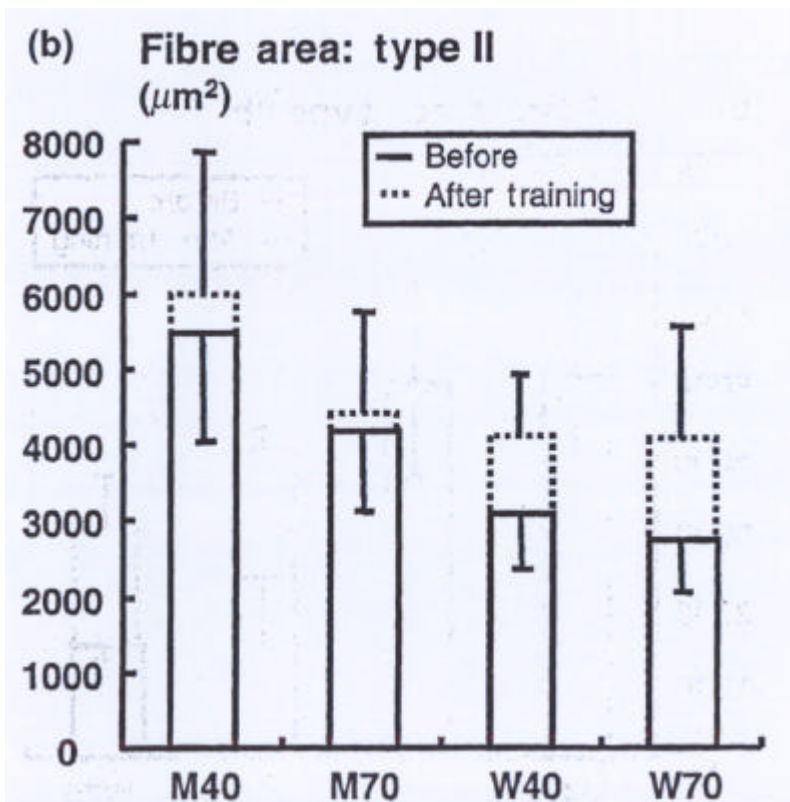
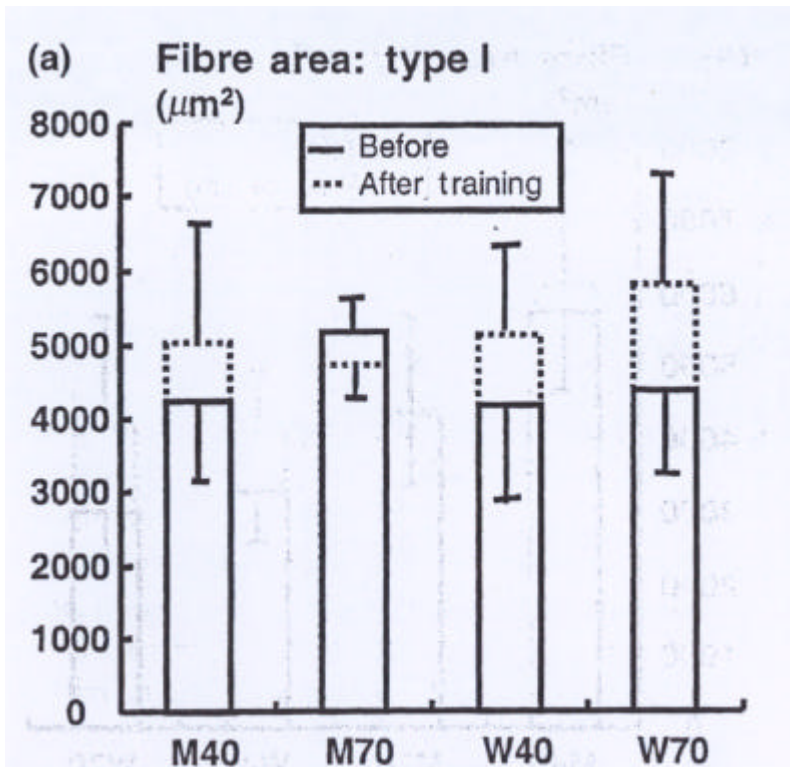
Lihasten proteiinisynteesi kiihtyy voimaharjoittelun myötä myös iäkkäillä. Yarasheski ym. (1993) havaitsivat, että akuutti liikuntasuoritus kiihdytti lihasten proteiinisynteesiä 63–66-vuotiailla miehillä ja naisilla. Myös 3 kuukauden voimaharjoittelun on havaittu lisäävän vastus lateraloksen proteiinisynteesiä iäkkäillä (72–92 v.) miehillä ja naisilla (Yarasheski ym. 1999). 16 viikon

progressiivisen voimaharjoittelun on havaittu lisäävän lihasten proteiinisynteesiä noin 50 % iäkkäillä miehillä (Yarasheski ym. 1995).



KUVA 11. Teoreettinen malli siitä, kuinka akuutti liikuntasuoritus lisää proteiinien synteesiä ja hajotusta ja kuinka toistuva fyysinen kuormitus johtaa lihasten proteiinien akkumuloitumiseen. (Yarasheski 2002.)

Säännöllisen voimaharjoittelun myötä proteiinisynteesin kiihtyminen johtaa lihassolujen poikkipinta-alan kasvuun (kuva 12). Hypertrofia ilmenee sekä nopeissa että hitaissa lihassoluissa riippuen harjoittelutavasta (Häkkinen 1990 s. 59–60, 56–57). Maksimaalinen lihasvoimaharjoittelu kasvattaa suhteellisesti eniten tyypin II lihassolujen kokoa (mm. MacDougall ym. 1979). Lihashypertrofian lisäksi myös valkuaisen laatu muuttuu IIB -tyypin lihassolujen muuttuessa IIA -tyypin lihassoluiksi (Fleck & Kraemer 1997 s.133–134). Myös lihaksen sisäinen sidekudos lisääntyy harjoittelun myötä. Sidekudoksen määrä lisääntyy samassa suhteessa lihasmassan kasvamisen kanssa, joten sen suhteellinen osuus lihaksessa pysyy ennallaan. Lihasten hypertrofinen vaste harjoittelulle on yksilöllinen ja riippuu mm. henkilön lähtötasosta ja harjoittelun intensiteetistä ja kestosta. Hypertrofiaan pyrkivässä lihasvoimaharjoittelussa käytetään yleensä submaksimaalista kuormitusta 60 – 80 %:lla maksimista. Ylikuormitusperiaatteen toteuttamiseksi harjoittelussa käytetään niin suuria kuormia kuin lihasväsymys sallii (mm. Häkkinen 1990).



Kuva 12 a) ja b). I- ja II- tyyppin lihassolujen keskimääräinen (\pm SD) poikkipinta-ala oikeassa vastus lateraliksessa ennen ja jälkeen 6 kuukauden voimaharjoittelujakson keski-ikäisillä ja iäkkäillä naisilla (W40 ja W70) ja miehillä (M40 ja M70). (Häkkinen ym. 2001a).

Lihasten proteiinisynteesissä tärkeää osaa näyttelevät satelliittisolut. Satelliittisolujen aktivaatiota on havaittu tapahtuvan sekä akuutin (Darr & Schultz 1987) että toistuvan fyysisen kuormituksen seurauksena (Tamaki ym. 1997). Satelliittisolujen avulla lihassolut pystyvät säilyttämään kasvulle välttämättömän riittävän tuma- ja solulimamassasuhteen myös solukoon kasvaessa kasvuaiheeseen tai harjoittelun aiheuttaman hypertrofian seurauksena. Satelliittisolujen avulla myös korjataan ja korvataan rasituksen seurauksena vioittuneet lihassyöt. (MacDougall 2003).

4.2 Voimaharjoittelun peruseriaatteen

Voimaharjoittelu on tehokkain keino lisätä lihasvoimaa. American College of Sports Medicine (ACSM 1995) suosittelee lihasvoimaharjoittelua ylläpitämään ja kehittämään terveiden aikuisten lihaskuntoa. Aiemmin inaktiivisille henkilöille suositellaan harjoitusohjelmaa, joka sisältää 8-10 erilaista 8-12 toiston harjoitetta suurimmille lihasryhmille. Useissa tutkimuksissa on havaittu tällaisen harjoittelun parantavan lihaskuntoa ensimmäisten 3-4 harjoituskuukauden ajan (Carpenter ym. 1991). On kuitenkin huomattava, ettei lihasvoiman kehittyminen samalla ohjelmalla jatku muutamaa kuukautta pidempään, vaan voimankehitys saavuttaa tietyn vakiintuneen tason. Jos lihasvoimaa halutaan edelleen kehittää, on harjoittelun kuormittavuutta lisättävä. Ylikuormitusperiaatteen mukaisesti keho pyrkii mukautumaan sille asetettuihin fysiologisiin vaatimuksiin eli kuormittavan lihasvoimaharjoittelun myötä elimistö mukautuu tuottamaan suurempaa voimaa (Fleck & Kraemer 1997, s. 6). Voimaharjoittelun progressiivisuus voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla: 1) lisäämällä kuormaa, 2) lisäämällä toistoja samalla kuormalla, 3) lisäämällä liikenopeutta submaksimaalisella kuormalla, 4) lyhentämällä lepoa (lihaskestävyys), 5) lisäämällä volyymin eli kokonaistyömäärää tai 6) yhdistelmänä edellisistä (Kraemer ym. 2002).

Adaptoituminen voimaharjoittelulle on hyvin spesifistä mm. aktivoituvalle lihakselle, liikenopeudelle ja -laajuudelle, harjoitettaville lihasryhmille, energiantuottomekanismille ja harjoittelun volyymin ja intensiteetille (Kraemer 2002, Tesch & Alkner 2003). Voima kasvaa eniten siinä liikkeessä ja sillä nivelkulmalla, jolla harjoittelu on suoritettu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että on harjoitettava useilla eri nivelkulmilla, jos halutaan kehittää maksimivoimaa koko nivelen liikealueella. Myös harjoitustyypin on tärkeä, dynaaminen voimaharjoittelu kehittää ennen kaikkea dynaamista lihasvoimaa ja voimankehitys isometrisessä lihasvoimassa jää vähäisemmäksi. Riittävän suurilla kuormilla harjoiteltaessa voiman kasvu näkyy myös

isometrisessä voimantuotossa (Häkkinen 1990). Tämä on ongelma monissa tutkimuksissa, joissa dynaamisen voimaharjoittelun vaikutusta on pyritty arvioimaan isometrisillä voimatesteillä. Tärkeää voimaharjoittelussa on myös levon ja rasituksen oikea suhde eli harjoittelun jaksottaminen sekä yksilöllisen harjoitussuunnitelman tekeminen ja noudattaminen. (Kraemer ym. 2002, Häkkinen 1990).

Harjoitusohjelma laaditaan yksilön tavoitteiden, fyysisen suorituskyvyn ja harjoittelustatuksen perusteella. Hyvä harjoitusohjelma sisältää dynaamisia harjoitteita yhden ja useamman nivelen liikkeissä. Aloittelijoille sopiva toistojen määrä yhtä liikettä kohti on 8-12 toistoa ja edistyneemmille tavoitteista riippuen 1-12 toistoa. Suurilla kuormilla harjoiteltaessa (1-6 RM) on tärkeää pitää riittävän pitkä (>3 min) lepotauko sarjojen välillä. Käytettäessä prosenttikuormaa ykkösmaksimista, kuorman määrää nostetaan 2-10 %, kun sarjan viimeiset toistot eivät enää aiheuta lihasväsymystä. Sopiva harjoituskertojen määrä viikossa on aloittelijoille 2-3 ja edistyneemmille 4-5 kertaa viikossa. (Kraemer ym. 2002).

4.3 Ikääntyvien voimaharjoittelun erityispiirteet

Voimaharjoittelu sopii erinomaisesti myös ikääntyvien kuntoutukseen ja toimintakyvyn ylläpitoon, sillä harjoitettavuus säilyy läpi koko elämän (mm. Grimby ym. 1992). Erityisesti jalkojen ja lantion seudun maksimaalinen lihaskuntoharjoittelu on osoittautunut tärkeäksi, kun ylläpidetään ja parannetaan iäkkäiden kykyä selviytyä arkisesta liikkumisesta (mm. Basse ym. 1992). Hyötysuhde on erityisen hyvä iäkkäillä naisilla, joiden lihasvoima on normaalisti heikko (Alén ym. 1997). Parhaimmillaan ikääntyvien kuntouttaminen on voimaharjoittelun peruseräotteita noudattavaa; määrätietoista, suhteellisen rasittavaa, tiheästi toistuvaa ja progressiivista harjoittelua, johon liittyy testaus, harjoitusmenetelmien tarkka valinta ja huolellinen seuranta (Karvinen 2000).

Iäkkäiden voimaharjoittelussa on järkevää keskittyä toimintakyvyn kannalta tärkeisiin lihasryhmiin kuten olkapäihin, käsiin, selkään, lonkkiin ja jalkoihin (Ruuskanen 1997). Oikealla suoritustekniikalla vältetään ikääntyvälle aiheutuvat riskit. Erityisen tärkeää on neuvoa oikea hengitystekniikka suorituksen aikana, jotta minimoidaan sydän- ja verenkiertoelimistölle aiheutuva stressi. Liikkeet on järkevää suorittaa hitaasti, täydellä liikelaajuudella. Harjoittelussa voidaan käyttää apuna valmiita ikääntyneille suunniteltuja ohjelmia, mutta harjoitusohjelman suunnittelussa on otettava huomioon iäkkään yksilölliset ominaisuudet ja harjoittelun tavoitteet.

Koehenkilön terveyden tilan ja fyysisen kunnon mukainen ohjattu voimaharjoittelu ei ole riski ikääntyneelle ihmiselle (Alén ym. 1997). Verenpainetaudista kärsivien terveydentila on arvioitava huolellisesti ennen voimaharjoittelun aloittamista. Voimaharjoittelua suunnittelevien iäkkäiden liikuntaturvallisuuden arvioimiseksi suositellaan voimaharjoittelutestiä juoksumattotestin sijaan ennen harjoittelun aloittamista (Evans 1999). Testissä mitataan EKG ja verenpainemuutokset kolmen 8 toiston sarjan aikana (kuorma on 80 %:a maksimista). Myös monista sairauksista kuten esimerkiksi reumasta ja nivelrikosta kärsivät voivat suorittaa voimaharjoittelua oirerajoitteisena. Voimaharjoittelulla pystytään ylläpitämään toimintakykyä ja usein myös sairauden oireet helpottuvat (Kukkonen-Harjula ym. 1997). (Evans 1999).

4.4 Voimaharjoittelun vaikutus ikääntyvien hermolihasjärjestelmän rakenteeseen ja voimantuottoon

Ikääntyvien lihasvoimaa voidaan lisätä voimaharjoittelulla samaan tapaan kuin nuorempienkin ihmisten (mm. Moritani & DeVries 1980). Harjoitettavuus riippuu useista eri tekijöistä kuten lähtövoimatasosta, iästä, sukupuolesta, terveydentilasta, harjoitettavista lihasryhmistä, ohjauksesta ja harjoittelun progressiivisuudesta. Ikääntyneiden voimaharjoittelututkimuksissa voimankasvu on vaihdellut 28 ja 227 %:n välillä (Fielding 1995). Ensimmäisen 2-4 kuukauden aikana voimakehitys on yleensä erittäin suurta johtuen alhaisesta lähtövoimatasosta. Harjoittelun alussa lihasmassan kasvu on voimankasvu vähäisempää, sillä neuraalinen adaptaatio on merkittävämmässä asemassa sopeuduttaessa kovaintensiteettiseen voimaharjoitteluun. Sekä keski-ikäisillä että iäkkäillä henkilöillä on havaittu EMG:llä (elektromyografia) mitatun lihasaktiivisuuden nousevan merkittävästi maksimisuorituksen aikana harjoittelun myötä erityisesti ensimmäisten harjoitteluviikkojen aikana. (Moritani & DeVries 1980, Häkkinen & Häkkinen 1995, Häkkinen ym. 1998, 2000, 2001b).

Keski-ikäisillä ja ikääntyvillä henkilöillä riittävä harjoitusfrekvenssi lihasvoiman lisäämiseksi on 2 kertaa viikossa, kun harjoitusvolyymi on riittävän suuri tai harjoittelukuormia lisätään progressiivisesti. Ikääntyvien lihasvoiman lisääntyminen jatkuu tehokkaalla harjoittelulla jopa vuoden tai pidempäänkin harjoittelun aloittamisesta (Häkkinen ym. 2000). Voimaharjoitteluintervention jälkeinen lihasvoimataso voidaan säilyttää jatkamalla harjoittelua kevennetysti (Lexell ym. 1995).

Esimerkiksi Häkkinen ym. (2001b) tutkivat 21 viikon progressiivisen voimaharjoittelun vaikutusta ikääntyvien naisten lihasmassaan ja -voimaan. He havaitsivat jalkojen isometrisen ojennusvoiman kasvaneen 37 % ja konsentrisen ojennusvoiman (1 RM) 29 %. Voimankehitys oli yhteydessä myös kehonkoostumuksen muutoksiin, sillä magneettikuvalla tutkittu lihasten poikkipinta-ala nelipäisen reisiluun koko pituudelta kasvoi 5-9 %:a. Poikkipinta-alan kasvu johtui tyyppin I, Iia ja Iib lihassolujen pinta-alan 22–36 % kasvusta. Kun harjoittelukerran volyyymi ja kuormat ovat riittävän suuria ja/tai lisääntyvät progressiivisesti, voi aiemmin harjoittelemattomilla keski-ikäisillä ja ikääntyvillä naisilla ja miehillä harjoittelufrekvenssi olla niinkin alhainen kuin 2 kertaa viikossa (Häkkinen ym. 1998, 2001b).

Charette ym. (1991) tutkivat 12 viikon voimaharjoittelun vaikutuksia iäkkäiden naisten lihasvoimaan ja vastus lateraalisen lihasolujen poikkipinta-alaan. Koehenkilöiden jalkojen ojennusvoima kasvoi harjoittelun myötä merkitsevästi (28 %). Muutos oli ainakin osittain seurausta lihasten hypertrofisista muutoksista, sillä I-tyypin lihassolujen pinta-ala kasvoi 7 %:a ja II-tyypin solujen pinta-ala 20 %:a. Myös muissa tutkimuksissa on havaittu merkittävää lihasten poikkipinta-alan kasvua iäkkäillä miehillä ja naisilla voimaharjoittelun vaikutuksesta (Pyka ym. 1994, Brown ym. 1990, Roman ym. 1993). Edellä mainituissa tutkimuksissa lihasten poikkipinta-alan kasvu on johtunut sekä I-tyypin että II-tyypin lihassolujen pinta-alan kasvusta ja hypertrofisiin muutoksiin on liittynyt merkittävää lihasvoiman kasvua.

Ivey ym. (2000) havaitsivat, ettei iällä ole vaikutusta lihasmassan kasvuun yhdeksän viikon kovatehoisen voimaharjoittelun vaikutuksesta, eikä lihasmassan häviämiseen 31 viikon seurannan aikana. Sen sijaan miesten lihasmassa kasvoi naisia enemmän harjoittelun myötä ja myös väheni enemmän 31 viikon seurannan aikana.

Toimintakyky. Millä tahansa mekanismilla lihasvoima kehittyykään, on se merkittävää ikääntyvän suorituskyvyille. On osoitettu, että lihasvoiman merkitys iäkkäiden liikuntakyvyille ja päivittäisistä toiminnoista suoriutumiselle on suuri. Polven isometrinen ojennusvoimakkuus on yhteydessä mm. portaille nousuun (Rantanen 1996) ja jalkojen dynaaminen ojennusteho kävelynopeuteen (Rantanen ja Avela 1997). Alaraajojen lihasvoiman on havaittu korreloivan iäkkäillä positiivisesti kävelynopeuteen (Brown ym. 1995, Fiatarone ym. 1990) ja negatiivisesti aikaan, joka kului viiteen seisomaan nousuun tuolilta. Myös Basse ym. (1992) raportoivat jalkojen ojennusvoiman korreloivan portaiden nousunopeuteen ja -tehoon sekä kävelynopeuteen iäkkäillä koehenkilöillään. Riittävä polven ojennus- ja koukistusvoima suojaa iäkkäitä myös kaatumisilta (Wolfson ym. 1995).

Edellä mainitut toimintakykymuuttujat ovat usein iäkkäille henkilöille niitä kriittisiä toimintoja, joista selviäminen mahdollistaa itsenäisen elämän (Greenlund ja Nair 2003).

Ikääntyvillä tehdyt voimaharjoittelututkimukset osoittavat kiistatta, että lihasvoimaa ja – massaa voidaan turvallisesti lisätä tehokkaalla harjoittelulla missä tahansa iässä. Voimaharjoittelun hyötysuhde on iäkkäillä erityisen suuri, sillä lihasvoiman lisääntymisen vaikutus toimintakykyyn ja elämänlaatuun on sitä suurempi mitä alhaisempi lihasvoima ennen harjoittelua on. Progressiivista, kovaintensiteettistä voimaharjoittelua voidaan siis suositella tehokkaaksi menetelmäksi ikääntyvien toimintakyvyn ylläpitoon ja kehittämiseen.

5 RAVITSEMUKSEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN ADAPTAATIOON IKÄÄNTYVILLÄ

5.1 Energian saannin ja energiaravintoaineiden merkitys ikääntyvien voimaharjoittelussa

5.1.1 Kokonaisenergiansaanti

Puhuttaessa ikääntyvien, liikkuvien ihmisten ravitsemustilasta on otettava huomioon sekä ikääntymisen että liikunnan vaikutus energian ja ravintoaineiden tarpeeseen. Ikääntymisen myötä energiantarve laskee, mutta ravintoaineiden tarve säilyy entisellään. Monet degeneratiiviset sairaudet vaikeuttavat ikääntyvien ravinnonsaantia ja ravinnon imeytymistä. Tiettyjen, yleisien sairauksien kuten esimerkiksi sydän- ja verisuonitautien hoito saattaa edellyttää muutoksia ruokavaliossa. Liikkuminen missä tahansa iässä edellyttää riittävää energian saantia ruokavalioista. Vaikka energiantarve liikkumisen myötä lisääntyykin, vähentyvä perusaineenvaihdunnan energiankulutus johtaa siihen, että ruoan ravitsemussisällön merkitys kasvaa mitä enemmän ikää kertyy. (Sacheck & Roubenoff 1999).

Voimaharjoittelulla voidaan lisätä ikääntyvien energiankulutusta merkittävästi. Harjoittelu vaatii lisäenergiaa lihastyöhön ja kehon koostumusten muutosten eli rasvattoman massan lisääntymisen myötä myös perusaineenvaihdunta vie entistä enemmän energiaa. Ikääntyvillä miehillä ja naisilla 12 viikon voimaharjoittelu lisäsi kokonaisenergiantarvetta keskimäärin 15 %:a (Campbell 1994). Myös Pratley ym. (1994) osoittivat, että voimaharjoittelun myötä ikääntyvien lepoenergiankulutus kasvaa merkittävästi. Riittävän energiansaannin varmistaminen voimaharjoittelun aikana edesauttaa positiivisten kehon koostumusten muutoksien tapahtumista ikääntyvillä (Fiatarone Singh 1998).

Negatiivinen energiabalanssi johtaa yleensä sekä rasvakudoksen että rasvattoman kudoksen vähenemiseen. Ballor ym. (1988) osoittivat kuitenkin, että ylipainoisilla nuorilla ja iäkkäillä naisilla voimaharjoittelun yhteydessä toteutettu kokonaisenergiansaannin vähentäminen johti rasvakudoksen vähenemiseen, mutta rasvattoman kudoksen säilymiseen tai jopa lisääntymiseen. Ikääntymiseen liittyvä lihasmassan väheneminen on vakava ongelma, joka yleistyy koko ajan väestön ikääntymisen kiihtyessä. Jotta lihasmassan vähenemistä voidaan tehokkaasti ennalta

ehkäistä ja hoitaa, tarvitaan tutkittua tietoa interventiosta, joissa yhdistetään ravitsemukselliset näkökohdat sekä progressiivinen kovaintensiteettinen voimaharjoittelu (Fiatarone Singh 1998).

5.1.2 Proteiinit

Voimaharjoittelun vaikutuksesta lihasten proteiinisynteesi kiihtyy ja lihasmassa lisääntyy. Proteiinisynteesiä kiihdyttää lihasjännityksen lisääntyminen (Hurley ym. 1995) sekä lihajännityksen aiheuttamat lihassolujen mikrovauriot (Antonio & Gonyea 1993). Voimaharjoituksen jälkeen sekä proteiinien synteesi että hajoaminen kiihtyvät (Biolo ym. 1997). Keskeisimmät proteiinisynteesiä säätelevät hormonit ovat testosteroni ja insuliini, jotka estävät proteiinien hajoamista. Lisävalkuainen kertyy jo olemassa oleviin ja uusiin myofibrilleihin, samassa suhteessa lisääntyy myös lihassolujen tumien ja DNA:n määrä (Adams & Haddad 1996). Lihasmassan kertyminen edellyttää anabolista tilaa, jossa proteiinisynteesiä tapahtuu enemmän kuin hajoamista (Phillips 1997). Koska voimaharjoittelu tai lihasten vähäinenkin kuormittaminen lisää automaattisesti lihasten proteiinisynteesiä on arveltu aminohappojen saannin olevan keskeinen proteiinisynteesiä rajoittava tekijä (Biolo ym. 1995). Paastotilanteessa voimaharjoitus ei pysty kiihdyttämään proteiinien synteesiä suuremmaksi kuin hajotusta, sillä matala aminohappopitoisuus veressä kiihdyttää proteiinien hajoamista. Lihasmassan lisääminen voimaharjoittelulla edellyttää siis riittävää proteiinien, erityisesti välttämättömien aminohappojen saantia ravinnosta. Proteiinisynteesi ei eroa miesten ja naisten välillä, mutta iäkkäillä ihmisillä proteiinisynteesi on hidastunut verrattuna nuorempiin. Voimaharjoittelu tehostaa kuitenkin myös iäkkäiden lihasten proteiinisynteesiä. (Yarasheski 1993, 1999).

Grammamääräistä saantisuositusta ikääntyvien proteiinien tarpeesta voimaharjoittelun aikana ei ole. Campbell ym. (1994) vertasivat 0,8 ja 1,6 g/kg/vrk proteiinien saantia 56–80-vuotiailla miehillä ja naisilla voimaharjoittelun yhteydessä. Koehenkilöt voimaharjoittelivat 12 viikkoa ja energiansaantia säädeltiin niin, että kehon paino pysyi vakiona. Proteiinien saannilla ei ollut merkitystä kehon rasvattomaan massaan eikä perusaineenvaihdunnan energiankulutuksen lisääntymiseen, jotka lisääntyivät samalla tavalla kaikilla koehenkilöillä riippumatta proteiinien saannista. On kuitenkin mahdollista, että proteiinien vaikutus ei tullut esiin sen vuoksi, että koehenkilöiden energianbalanssi oli negatiivinen tutkimuksen aikana. Koehenkilöiden kehon massa laski hieman intervention aikana (~0,4 kg), vaikka tavoitteena oli pitää energiansaanti ja – kulutus tasapainossa.

Proteiinien lähteellä ei ole merkitystä ikääntyneiden voimanhelytykseen voimaharjoittelun vaikutuksesta (mm. Haub ym. 2002, Campbell ym. 1999), sen sijaan sillä saattaa olla vaikutusta rasvattoman kudoksen ja lihasmassan määrään. Campbell ym. (1999) havaitsivat ikääntyvillä miehillä lihasmassan ja rasvattoman kudoksen lisääntyvän enemmän harjoittelun vaikutuksesta, kun ruokavalio sisälsi myös eläinkunnan tuotteita. Lihasmassan kasvu näkyi tyyppin II lihassolujen poikkipinta-alan kasvuna, tyyppin I soluissa ei havaittu muutoksia harjoittelun vaikutuksesta. Sen sijaan Haub ym. (2002) eivät havainneet proteiinien lähteellä olevan vaikutusta lihaspaksuuden kasvuun voimaharjoittelun vaikutuksesta.

Esmarck ym. (2001) tutkivat proteiinisupplementin vaikutusta iäkkäiden miesten 12 viikon voimaharjoittelussa ja havaitsivat, että välittömästi voimaharjoituksen jälkeen nautittu proteiinilisiä (10g proteiinia, 7g hiilihydraattia ja 3g rasvaa) johti parempaan voimakehitykseen ja suurempaan lihashypertrofiaan kuin 2 tuntia harjoituksen jälkeen nautittu sama proteiinilisiä. Sen sijaan Welle ja Thornton (1998) eivät havainneet eroja mitatessaan lihasolujen proteiinisynteesiä voimaharjoittelun jälkeen iäkkäillä miehillä, jotka olivat nauttineen erilaisia (7 %, 14 % tai 28 %) proteiinilisiä.

5.1.3 Muut energiaravintoaineet

Pääasiallinen energianlähde liikuntasuorituksen aikana ovat hiilihydraatit, jotka on varastoitu lihaksiin glykokeenina. Iäkkäillä henkilöillä lihasten glykokeenivarastot ovat pienemmät ja glykokeenien käyttö submaksimaalisen suorituksen aikana suurempaa kuin nuoremmilla henkilöillä (Meredith ym. 1989). Aktiivisesti liikkuvan henkilön hiilihydraattien saantisuositus ei poikkea normaalista ravitsemussuosituksesta. Myös iäkkään liikkujan hiilihydraattien saantisuositus on sama kuin muullakin väestöllä eli 50–60 % kokonaisenergiansaannista. (Sacheck & Roubenoff 1999).

Rasva on tärkeä energianlähde pitkäkestoisissa liikuntasuorituksissa, joissa liikutaan 60–70 %:n teholla maksimista. Harjoittelun myötä rasvahappojen käyttö energiaksi tehostuu (Hurley ym. 1986). Pääasiallinen energianlähde kaikissa liikuntasuorituksissa ovat kuitenkin hiilihydraatit. Ikääntyvän liikkujan rasvansaantisuositus ei poikkea muun väestön suosituksista. Rasvan saanti tulisi pyrkiä pitämään alle 30 %:ssa kokonaisenergiansaannista. Rasvan vähentäminen alle 25 %:n ei kuitenkaan ole terveydelle edullista, sillä rasva on tärkeä rasvaliukoisten vitamiinien, välttämättömien rasvahappojen ja energian lähde. Ruokavalion rasvan määrän lisäksi huomiota tulee kiinnittää myös rasvan laatuun. Tyydyttyneen rasvan osuus tulisi olla alle 10 %

kokonaisenergiansaannista, samoin kuin monitydyttymättömien rasvahappojen osuus. Kertydyttymättömien rasvahappojen osuus tulisi olla 10–15 %:a. (Sacheck & Roubenoff 1999).

5.2 Ravitsemusohjauksen yhdistäminen voimaharjoitteluun ikääntyvillä

Fyysinen aktiivisuus edistää terveellisiä elämäntapoja muillakin osa-alueilla. Liikunnallisesti aktiiviset kiinnittävät usein enemmän huomiota monipuoliseen ravinnon saantiin ja omaksuvat nopeammin uusia käsityksiä ruoanvalmistuksesta ja terveellisestä ravitsemuksesta. Ikääntyvät ovat usein kiinnostuneita omasta terveydestään ja noudattavat yleensä hyvin saamia ohjeita. Nuorempiin verrattuna ikääntyvät tarvitsevat kuitenkin usein enemmän neuvontaa ja ohjausta. (Heikkinen 1988, 55–62).

Ikääntyvien harjoittelun aikaista ravinnonsaantia on tutkittu vähän. Ikääntyvien ravinnonsaantia voimaharjoittelun yhteydessä on tutkittu pääasiassa erilaisten proteiinisupplementtien yhteydessä sekä vertaamalla lihasmassan ja –voiman kehitystä erilaisilla proteiinimäärillä ja eri proteiini-laaduilla (ks. edellinen kappale). Näissä tutkimuksissa proteiinien saannit ryhmien välillä ovat vaihdelleet suuresti, eikä niiden perusteella voida tehdä esimerkiksi johtopäätöksiä siitä, riittääkö ravitsemussuosituksen mukainen proteiinien saanti turvaamaan riittävän proteiinien saannin iäkkäillä ihmisillä voimaharjoittelun yhteydessä.

Ravintosuplementeilla voidaan vaikuttaa kehon koostumuksen muutoksiin voimaharjoittelun yhteydessä. Meredith ym. (1992) tutkivat 11 iäkkäällä miehellä ravintosuplementin (43 % hiilihydraattia, 17 % proteiinia, 40 % rasvaa) vaikutusta kehon koostumukseen 12 viikon voimaharjoittelun yhteydessä. He satunnaistivat koehenkilöt kahteen ryhmään, joista toiselle annettiin ravintolisää. Kaikkien koehenkilöiden lihasvoima lisääntyi harjoittelujakson aikana riippumatta ravinnonsaannista. Myös lihasmassa lisääntyi molemmilla ryhmillä. Supplementtia saaneiden lihasmassa kasvoi enemmän kuin pelkästään voimaharjoitteluiden koehenkilöiden.

Ikääntymiseen liittyvä lihasmassan lasku on väestötason ongelma. Vaikka liikunnan on havaittu säilyttävän ja myös lisäävän iäkkäiden lihasmassaa ja –voimaa tarvitaan vielä runsaasti lisätutkimuksia, joilla erilaisten liikuntainterventioiden tehoa arvioidaan. Koska ikääntyessä myös ravitsemusongelmien todennäköisyys kasvaa, on mahdollista että puutteellisen ravinnonsaannin vuoksi esimerkiksi voimaharjoittelusta ei saada maksimaalista harjoitusvaikutusta. Tämän vuoksi

on tärkeää selvittää miten ikääntyvien harjoittelun aikaiseen ravinnon saantiin voidaan vaikuttaa esimerkiksi ravitsemusneuvonnalla. Tutkimuksia, joissa voimaharjoittelun yhteydessä olisi annettu ravitsemusneuvontaa, ei ole. Myöskään sellaisia tutkimuksia, joissa olisi pyritty muulla tavoin kontrolloimaan ravitsemussuositusten toteutumista iäkkäillä voimaharjoittelevilla ihmisillä, ei ole tehty.

6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää 21 viikon voimaharjoittelun ja ravitsemusohjauksen vaikutusta *keski-ikäisten* (49–57- vuotiaiden) ja *ikäntyvien* (61–77- vuotiaiden) naisten kehon koostumukseen eli lihas- ja rasvamassan määrään sekä ylä- ja alaraajojen maksimaaliseen voimantuottoon ja toimintakykyyn. Koehenkilöt jaettiin neljään ryhmään siten, että molemmista ikäryhmistä satunnaistettiin kaksi ryhmää, joista toinen ryhmä sai ruokavalio-ohjausta. Kaikki koehenkilöt harjoittelivat ohjatusti kuntosalilla 2 kertaa viikossa 21 viikon ajan. Harjoittelu toteutettiin 50–80 %:n teholla (1RM). Voimaharjoittelun lisäksi ravitsemusohjausryhmät saivat yksilöllistä ruokavalioneuvontaa tutkimuksen alussa ja puolivälissä. Ravitsemusneuvonnan tavoitteena oli ravinnonsaannin muuttaminen ravitsemussuosituksia vastaavaksi. Ohjauksessa painotettiin erityisesti riittävää proteiinien saantia ja rasvojen laadun parantamista. Kaikki ryhmät saivat lisäksi alussa ohjausta terveellisen ruokavalion noudattamiseen. Ruokavalion toteutumista arvioitiin ruokapäiväkirjoista tehdyn analyysin avulla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten voimaharjoitteluun yhdistetty ruokavalioneuvonta vaikuttaa ikäntyvien ja iäkkäiden naisten lihas- ja rasvamassan määrään?
2. Miten mahdolliset kehon koostumuksen muutokset ovat yhteydessä koehenkilön voimantuottoon ja toimintakykyyn?

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli 50 49–77-vuotiasta tervettä naista, jotka osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti. Koehenkilöitä etsittiin lähiyrityksistä ja yliopistolta sähköpostin välityksellä sekä jakamalla ilmoittautumistietoa lähialueen liikuntapaikoilla. Koehenkilöille suoritettiin lääkärintarkastus, jossa suljettiin pois henkilöt, joilla oli hormonaalisen tai neuromuskulaarisen järjestelmän häiriötiloja. Tutkimukseen ei otettu säännöllistä hormonilääkitystä (testosteroni, tyroksiini, estrogeeni, insuliini, kortisoni) eikä beeta-salpaajalääkitystä käyttäviä henkilöitä. Myös ravitsemustilaan tai perusaineenvaihduntaan vaikuttava sairaus sekä runsas ravintolisien käyttö katsottiin hylkäyskriteereiksi. Tutkimukseen ei myöskään valittu henkilöitä, joilla oli liikunnan vasta-aiheita (ACSM 1995). Koehenkilöt täyttivät fyysisen aktiivisuuden kyselylomakkeen ja tutkimukseen otettiin mukaan henkilöitä, jotka eivät olleet harrastaneet voimaharjoittelua viimeisen vuoden aikana. Lähes kaikki koehenkilöt suorittivat voimaharjoittelun täysimääräisenä. Yksi koehenkilö keskeytti tutkimuksen vapaa-ajalla tapahtuneen tapaturman vuoksi.

Koehenkilöt jaettiin iän perustella kahteen ikäryhmään; *keski-ikäisiin* (49–57 vuotta) ja *ikäntyviin* (61–77 vuotta) (taulukko 4). Kumpikin ikäryhmä satunnaistettiin ikä ja painoindeksi huomioiden kahteen ryhmään, ravitsemusohjaus+voimaharjoittelu- (RO+VH) ja voimaharjoitteluryhmiin (VH). Jos ryhmien välille ei ole muodostunut tilastollisia merkitsevyyksiä, on ryhmät yhdistetty tuloksissa kahdeksi ryhmäksi ravitsemusohjauksen perusteella.

TAULUKKO 4. Ryhmäjako (n=50).

Ryhmä	Kaikki		Keski-ikäiset		Ikääntyvät	
	RO+VH n=25	VH n=25	RO+VH n=13	VH n=14	RO+VH n=12	VH n=11
Ikä	58.8±7.0	57.3±6.1	53.1±2.4	52.6±2.3	65.0±4.6	63.3±3.5
Pituus	1.65±0.1	1.63±0.1	1.66±0.5	1.64±0.8	1.63±0.0	1.60±0.0
Paino	69.4±10.2	66.4±8.8	68.7±9.2	66.9±9.7	70.1±11.6	65.7±7.9
BMI	25.6±3.5	25.2±3.1	24.8±3.2	24.8±3.4	26.5±3.7	25.6±2.8

7.2 Tutkimusasetelma

Ennen harjoittelua oli 2 viikon kontrollijakso, jonka aikana ei harjoiteltu, mutta jonka aikana suoritettiin alkumittaukset kahdesti (0 vko ja 2 vko). Tutkimuksen alussa molemmat ryhmät saivat ohjeita terveellisen ruokavalion noudattamiseen. Lisäksi ruokavaliointerventioryhmät saivat tutkimuksen alussa ja puolessa välissä (10,5 vko) yksilöllistä ravitsemusohjausta. Kaikki koehenkilöt voimaharjoittelivat ohjatusti 21 viikkoa, jonka jälkeen suoritettiin loppumittaukset.

Alkumittausten jälkeen koehenkilöt harjoittelivat ohjattuna 2 kertaa viikossa 21 viikon ajan. Samaa harjoitusohjelmaa on toteutettu iäkkäillä naisilla aiemminkin menestyksekkäästi (mm. Häkkinen ym. 2001). Ensimmäisen 7 viikon ajan koehenkilöt harjoittelivat hieman kevyemmin eli 40–60 %:lla 1 RM. Totutteluvaiheen jälkeen harjoittelu toteutettiin 60–80 %:n teholla 1 RM siten, että jokaiseen harjoituskertaan sisältyi 8 eri liikettä ja 2-5 sarjaa. Toistojen määrä vaihteli 5:stä 20:neen. Harjoittelu toteutettiin progressiivisesti siten, että painoja lisättiin harjoittelun kuluessa. 21 viikon harjoittelujakson ajan koehenkilöt saivat harrastaa vapaasti muuta matalatehoista vapaa-ajan- ja arkiliikuntaa. Koehenkilöitä ohjeistettiin jatkamaan arki- ja vapaa-ajan liikkumista tutkimuksen aikana samaan tapaan kuin ennen tutkimusta. Interventioryhmät saivat yksilöllistä ruokavalioneuvontaa alussa (0 vko) ja puolessa välissä (10,5 vko) kerättyjen ruokapäiväkirjojen pohjalta. Ruokavalio-ohjauksen tavoitteena oli ruokavalion muuttaminen suomalaisten ravitsemussuosituksen mukaiseksi, riittävän proteiinien saannin varmistaminen ja rasvojen laadun parantaminen.

7.3 Mittausmenetelmät

7.3.1 Ravintoanalyysi

Ruokapäiväkirjat analysoitiin Nutrica-ravinnonlaskentaohjelmalla (Nutrica®, versio 3.11, Kansanterveyslaitos, Suomi). Tuloksista laskettiin kokonaisenergian saanti, eri energiaravintoaineiden suhteelliset osuudet kokonaisenergian saannista (%:a kokonaisenergiensaannista, E %) sekä energiaravintoaineiden saanti kehon painokiloa kohden (g/kg). Ruokapäiväkirjat kerättiin viikoilla 0, 10,5 ja 21. Interventioryhmällä kerättiin lisäksi ylimääräinen ruokapäiväkirja ruokavalio-ohjauksen jälkeen 2 viikolta.

Koehenkilöiden ravinnonsaantia arvioitiin niin, että viikon 0 lähtötasoa verrattiin harjoittelujakson aikaiseen keskimääräiseen ravinnonsaantiin. Harjoittelun aikaisena keskimääräisenä ravinnonsaantina käytettiin RO+VH-ryhmällä keskiarvoa viikkojen 2, 10,5 ja 21 ruokapäiväkirjojen avulla arvioidusta ravinnonsaannista ja VH-ryhmällä keskiarvoa viikkojen 10,5 ja 21 ravinnonsaannista.

7.3.2 Kehonkoostumuksen mittaukset

Koehenkilöiden lihas- ja rasvamassa sekä rasvaprosentti mitattiin yön yli kestäneen paaston jälkeen bioimpedanssilla (BIA) (Biospace Co., Inbody 3.0., Soul, Korea). Koehenkilöt eivät olleet harrastaneet edellisenä päivänä rasittavaa liikuntaa. Laite kalibroitiin päivittäin. Käden ojentajalihaksen (triceps brachii) rasva- ja lihaskudoksen paksuus (60 %: acromion – epicondyle, mittauspaiikka linjasta 2 cm posteoriseen suuntaan) mitattiin ultraäänimittauksella (Aloka, Echo Camera LS, SSD-280, Japani). Mittaukset suoritettiin ennen harjoittelua kahdesti (-2 ja 0-viikoilla) sekä tutkimuksen puolivälissä ja lopussa.

Nelipäisen reisilihaksen (rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis, vastus intermedialis) poikkipinta-ala mitattiin magneettikuvauksella (MRI) (Philips Cyroscan ACS-NT Scanner, 1.5 T) Keski-Suomen magneettikuvassa (Häkkinen ym. 2001b). 50 koehenkilöstä satunnaistettiin 39 henkilöä osallistumaan lihaspoikkipinta-alan mittaukseen, joka suoritettiin ennen interventiota (viikko 0) ja intervention jälkeen (viikko 21). Tuloksista analysoitiin sekä lihaksen paksuin leike (leike 9/15) että keskiarvo saaduista leikkeistä koko lihaksen poikkipinta-alalta (leikkeet 6-12/15, n=38).

7.3.3 Voimamittaukset

Alaraajojen maksimaalista konsentrista ojennusvoimaa (lonkan, polven ja nilkan ojentajat) mitattiin jalkaprässillä (David 210, David Fitness and Medical) polvikulman ollessa suorituksen alussa noin 70° ja suorituksen lopussa 180°. Mittauksella määritettiin yhden toiston maksimi (1RM) 2,5 kg:n tarkkuudella. Tavoitteena oli saavuttaa maksimikuorma lämmittelyn jälkeen 3-5 yrityksellä. (Häkkinen ym. 1998).

Yläraajojen ojentajien maksimaalista isometristä voimaa mitattiin istuvassa asennossa penkkipunnerrustyypisellä liikkeellä, jossa kyynärvarren kulma oli 90°. Koehenkilöitä ohjattiin tuottamaan maksimaalinen voima mahdollisimman nopeasti ja ylläpitämään sitä 2.5–4.0 s. Jokaiselta koehenkilöltä mitattiin vähintään 3 suoritusta. Suoritukset nauhoitettiin tietokoneelle ja parhaasta suorituksesta analysoitiin isometrinen maksimivoima (N) Codas-ohjelmalla (Data instruments, Inc. Akron, OH, USA).

7.3.4 Kävelynopeus

Maksimaalinen kävelynopeus mitattiin 10 metrin matkalla. Aikaa mitattiin valokennojen avulla. Koehenkilöitä ohjeistettiin kävelemään niin nopeasti kuin he pystyvät pitkin laboratorion käytävää. Kahden parhaan ja teknisesti oikein tehdyn suorituksen aika analysoitiin. Toistettujen mittausten ero oli yleensä alle 5 %.

7.4 Tilastolliset menetelmät

Data analysoitiin käyttäen SPSS-ohjelmaa. Kaikki tekstissä olevat arvot on raportoitu keskiarvoina ja keskihajontoina (SD, standard deviation). Kuvissa on käytetty keskiarvoa ja keskivirhettä (standard error, SE). Ryhmien välisiä eroja testattiin kovariaattianalyysillä, siten että kovariaatiksi otettiin lähtötaso viikon 0 alkumittauksessa. Tämä poistaa mahdolliset erot ryhmien välillä lähtötilanteessa. Mittapisteiden väliset vertailut ryhmien sisällä suoritettiin toistomittausten varianssianalyysillä (Post hoc, Bonferroni). Kontrollimittauksen (-2 viikko) ja 0-mittauksen välisen eron merkitsevyyttä on arvioitu parillisella T-testillä, samoin lihaksen poikkipinta-alan muutosta. Muuttujien välisiä korrelaatioita mitattiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Tilastollinen merkitsevyys asetettiin tasolle $p < 0.05$.

8 TULOKSET

8.1 Ravinnonsaanti

Molempien ryhmien energiansaanti lisääntyi tutkimuksen aikana, kun tutkimuksen alussa arvioitua ravinnon saantia verrattiin harjoittelujakson aikaiseen ravinnonsaantiin. RO+VH-ryhmän energiansaanti kasvoi keskimäärin 6.0 %:a ($p=0.157$) ja VH-ryhmän lähes saman verran eli 5.6 %:a ($p=0.157$) (taulukko 5). RO+VH-ryhmällä proteiinien saanti kokonaisenergiensaannista (Prot E %) lisääntyi 8.2 %:a ($p=0.050$). Myös hiilihydraattien osuus kokonaisenergiensaannista (HH E %) lisääntyi hieman 2.8 %:a ($p=0.390$), rasvojen saanti (rasva E %) sen sijaan väheni merkittävästi -4.8 %:a ($p=0.049$). VH-ryhmällä energiaravintoaineiden jakaumat pysyivät lähes ennallaan (HH E % $+0.5$, Prot E % -0.7 ja rasva E % $+1.1$).

Harjoittelujakson aikana kaikkien energiaravintoaineiden saantia painokiloa kohden laskettuna lisääntyi molemmilla ryhmillä. RO+VH-ryhmällä proteiinien saanti (g/kg) lisääntyi merkitsevästi eli noin 15.0 %:a ($p=0.011$). Myös VH-ryhmä lisäsi proteiinien saantia harjoittelujakson aikana keskimäärin 5.6 %:a, mutta muutos ei ollut merkitsevä ($p=0.096$). Rasvan saanti (g/kg) harjoittelujakson aikana lisääntyi RO+VH-ryhmällä keskimäärin 1,5 %:a ($p=0.659$) ja VH-ryhmällä 10.0 %:a ($p=0.267$).

RO+VH-ryhmän proteiinien saanti (E %) lisääntyi viikkojen 0 ja 2 välillä merkitsevästi ($p=0.035$). Viikkojen 2 ja 10,5 välillä RO+VH-ryhmän proteiinien saanti sen sijaan väheni merkitsevästi ($p=0.007$), mutta lisääntyi jälleen viikkojen 10 ja 21-viikon välillä ($p=0.055$). Ohjausryhmän rasvan saanti (E %) väheni 0 ja 21 viikon välillä merkitsevästi ($p=0.017$), myös rasvan saannin muutos 10 ja 21 viikkojen välillä oli merkitsevä ($p=0.045$). Painokiloa kohti laskettuna ravinnon saannissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kummallakaan ryhmällä, kun verrataan ravinnon saantia viikoilla 2, 10,5 ja 21 tutkimuksen alussa viikolla 0 arvioituun ravinnon saantiin.

TAULUKKO 5. Koehenkilöiden ravinnonsaanti (n=25+25).

Muuttuja	Ryhmä	Lähtötilanne 0-viikko	Keskimääräinen muutos ^a (LV 95 %)	p-arvo ^b
Energia, MJ	RO+VH	7.0±1.3	0.4(-0.02 – 0.7)	0.651
	VH	6.7±1.3	0.2(-0.1 – 0.6)	
Hiilihydraatti (E %)	RO+VH	47±4	0.1(-1.7 – 1.8)	0.551
	VH	50±6	0.8(-0.9 – 2.5)	
Hiilihydraatti (g/kg)	RO+VH	2.84±0.74	0.1(-0.1 – 0.3)	0.677
	VH	3.02±0.74	0.2(0.0 – 0.4)	
Proteiini (E%)	RO+VH	17.6±3.2	0.8(0.2 – 1.5)⊠	0.048*
	VH	18.3±2.2	-0.1(-0.8 – 0.5)	
Proteiini (g/kg)	RO+VH	1.07±0.28	0.1(0.0 – 0.2)*	0.263
	VH	1.11±0.27	0.1(0.0 – 0.1)	
Rasva (E%)	RO+VH	33.9±5.7	-1.5(-3.0 – 0.0)*	0.822
	VH	31.6±6.4	-1.3(-2.8 – 0.2)	
Rasva (g/kg)	RO+VH	0.92±0.27	0.0(-0.1 – 0.1)	0.358
	VH	0.87±0.27	0.0(0.0 – 0.1)	

^a kovariaattina käytetty lähtötasoa viikolla 0, keskimääräinen muutos alkumittauksen (viikko 0) ja harjoittelujakson aikaisen ravinnon saannin välillä, ^b ryhmien välinen ero muutoksessa. * p<0.05 merkitsevä ero muutoksessa ryhmien välillä tai ryhmien sisällä. ⊠ p=0.050 tilastollinen ero ryhmän sisällä.

Kun koehenkilöt jaettiin neljään ryhmään sekä ravitsemusohjauksen että iän perusteella havaittiin, että keski-ikäisten RO+VH ja VH-ryhmät erosivat merkitsevästi hiilihydraattien (E %) saannin muutoksessa (p=0.032) (taulukko 6). VH-ryhmän hiilihydraattien saanti lisääntyi ja RO+VH ryhmän hiilihydraattien saanti väheni. Proteiinien saannin (E %) muutoksessa ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa (p=0.077). RO+VH-ryhmällä proteiinien saanti lisääntyi 0 ja 2 viikon välillä (p=0.323), laski 2 ja 10,5 viikon välillä (p=0.071) ja lisääntyi taas 10,5 ja 21 viikon välillä (p=0.008). VH-ryhmän proteiinien saanti oli samansuuruista koko tutkimuksen ajan.

Ikääntyvien RO+VH- ja VH-ryhmät erosivat merkitsevästi (p=0.030) rasvojen saannin muutoksessa, kun rasvojen saanti laskettiin painokiloa kohden (taulukko 7). RO+VH-ryhmän rasvan saanti laski viikkojen 0 ja 21 välillä merkitsevästi (p=0.004), mutta VH-ryhmän rasvan saanti pysyi ennallaan. Painokiloa kohden laskettu energiaravintoaineiden saanti ei muuttunut merkitsevästi kummallakaan ryhmällä.

TAULUKKO 6. Kokonaisenergiansaanti ja energiaravintoaineiden osuus kokonaisenergiansaannista sekä energian ravintoaineiden saanti painokiloa kohden. Keski-ikäiset (n=12+14).

Muuttuja	Ryhmä	0 vko	2 vko	10,5 vko	21 vko	Keskimääräinen muutos ^a (LV 95 %)	p-arvo ^b
E, MJ	RO+VH	7.1±1.4	7.4±1.5	7.2±1.3	7.6±1.6	0.4(-0.2 – 1.0)	0.638
	VH	6.2±1.6		6.9±1.4	6.4±1.4	0.2(-0.3 – 0.8)	
HH (E%)	RO+H	48±5	45±5	47±4	47±7	-2.2(-4.5 – 0.1)	0.032*
	H	50±7		51±7	52±5	1.3(-0.8 – 3.4)	
HH (g/kg)	RO+VH	3.0±0.8	2.9±0.8	3.0±0.5	3.1±0.6	0.0(-0.3 – 0.3)	0.326
	VH	2.8±0.6		3.2±0.9	3.0±0.7	0.2(0.0 – 0.5)	
PROT (E%)	RO+H	18.6±3.5	20.0±2.6	17.6±2.2	20.2±2.7 ^{xxx}	0.8(-0.2 – 1.9)	0.077
	H	18.0±2.5		17.4±2.6	18.3±1.9	-0.4(-1.4 – 0.5)	
PROT (g/kg)	RO+VH	1.2±0.3	1.3±0.3	1.1±0.3	1.4±0.5	0.1(0.0 – 0.2)	0.550
	VH	1.0±0.2		1.1±0.4	1.1±0.3	0.1(-0.1 – 0.2)	
Rasva (E%)	RO+VH	30.3±5.3	32.6±6.2	32.0±5.6	28.4±3.3	0.1(-1.9 – 2.2)	0.229
	VH	32.1±7.6		31.3±5.8	28.8±5.1	-1.6(-3.5 – 0.3)	
Rasva (g/kg)	RO+VH	0.9±0.3	1.0±0.4	0.9±0.3	0.9±0.3	0.1(0.0 – 0.1)	0.373
	VH	0.8±0.3		0.9±0.4	0.8±0.2	0.0(-0.1 – 0.1)	

^a kovariaattina käytetty lähtötasoa viikolla 0, keskimääräinen muutos alkumittauksen ja harjoittelujakson aikaisen ravinnon saannin välillä, ^b ryhmien välinen ero muutoksessa. * p<0.05 merkitsevä ero ryhmien välillä muutoksessa. ^{xxx} p<0.01 merkitsevä ero muutoksessa ryhmän sisällä välillä 10,5 ja 21 viikkoa.

TAULUKKO 7. Kokonaisenergiansaanti ja energiaravintoaineiden osuus kokonaisenergiansaannista sekä energiaravintoaineiden saanti painokiloa kohden. Ikääntyvät (n=12+10).

Muuttuja	Ryhmä	0 vko	2 vko	10,5 vko	21 vko	Keskimääräinen muutos ^a (LV 95 %)	p-arvo ^b
E, MJ	RO+VH	6.9±1.1	7.0±0.9	7.5±1.0	7.2±1.4	0.3(-0.3 – 0.8)	0.987
	VH	7.3±1.2		7.6±1.1	7.4±1.6	0.3(-0.4 – 0.9)	
HH (E%)	RO+VH	45±4	49±5	48±4	50±6	2.3(-0.2 – 4.8)	0.260
	VH	49±3		48±5	48±1.8	0.1(-2.7 – 2.9)	
HH g/kg	RO+VH	2.68±0.69	2.93±0.77	3.11±0.78	3.04±0.83	0.3(-0.1 – 0.6)	0.571
	VH	3.33±0.82		3.35±0.59	3.30±0.68	0.1(-0.2 – 0.5)	
PROT (E%)	RO+VH	16.7±2.6	18.7±2.1	17.3±2.6	18.4±3.2	0.8(-0.1 – 1.8)	0.461
	VH	18.7±1.8		17.8±1.8	18.6±2.2	0.3(-0.8 – 1.4)	
PROT (g/kg)	RO+VH	0.97±0.23	1.11±0.23	1.12±0.31	1.13±0.31	0.1(0.1 – 0.3)	0.314
	VH	1.26±0.26		1.26±0.26	1.32±0.44	0.0(-0.1 – 0.2)	
Rasva (E%)	RO+VH	37.4±3.4	32.3±5.8	33.4±4.5	30.8±3.9 ^{xxx}	-2.8(-5.4 – -0.2)	0.480
	VH	31.0±4.4		33.2±5.3	32.0±3.9	-1.3(-4.2 – 1.6)	
Rasva (g/kg)	RO+VH	0.99±0.22	0.85±0.20	0.96±0.22	0.84±0.21	-0.1(-0.2 – 0.1)	0.030*
	VH	0.95±0.27		1.08±0.33	1.03±0.38	0.1(0 – 0.2)	

^a kovariaattina käytetty lähtötasoa viikolla 0, keskimääräinen muutos alkumittauksen ja harjoittelujakson aikaisen ravinnon saannin välillä, ^b ryhmien välinen ero muutoksessa. ^{xxx} Merkitsevä ero ryhmän sisällä välillä 0 ja 21 viikkoa. * p<0.05 merkitsevä ero muutoksessa ryhmien välillä.

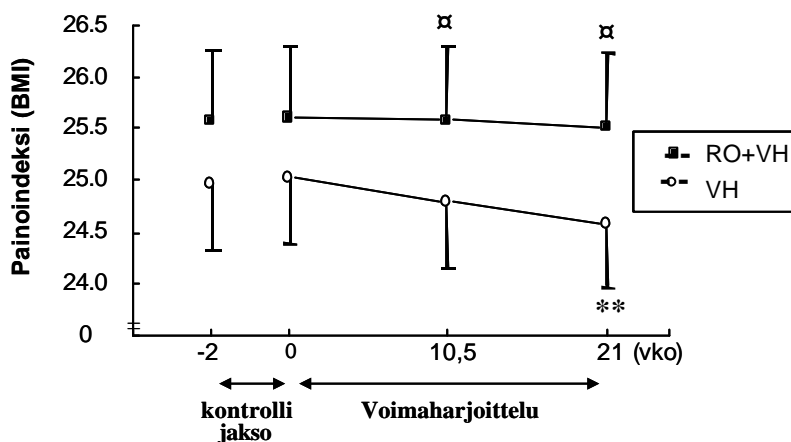
8.2 Kehon koostumus

8.2.1 Kehon massa

VH-ryhmän keskimääräinen kehon massa väheni tutkimuksen kuluessa. Tutkimuksen alussa VH-ryhmän kehon massa oli 66.4 kg ja 10,5 viikon harjoittelun jälkeen se oli vähentynyt 1.1±2.2 %:a (p=0.072). 21 viikon harjoittelujakson päätyttyä VH-ryhmän kehon massa oli vähentynyt keskimäärin -2.0±2.4 %:a (p=0.002). RO+VH-ryhmän kehon massassa (69.4 kg) ei sen sijaan tapahtunut merkitseviä muutoksia harjoittelujakson aikana. Tutkimuksen puolella välissä RO+VH-ryhmän kehon massa oli vähentynyt -0.1±1.3 %:a (p=1.000) ja tutkimuksen lopussa -0.4±2.1 %:a (p=1.000). 21 viikon harjoittelun jälkeen ryhmien välinen ero kehon massan muutoksessa oli merkitsevä (p=0.009).

8.2.2 Painoindeksi

VH-ryhmän painoindeksi 25.2 ± 3.1 laski 10,5 viikossa 1.0 ± 2.2 %:a ($p=0.074$) ja 21 viikossa 2.0 ± 2.4 %:a ($p=0.002$) (kuva 13). RO+VH-ryhmän painoindeksissä (25.6 ± 3.5) ei sen sijaan tapahtunut merkitseviä muutoksia 21 viikon harjoittelujakson aikana (-0.3 ± 2.1 %, $p=1.000$). Ryhmien välinen ero painoindeksin muutoksessa oli tilastollisesti merkitsevä sekä 10,5 ($p=0.043$) että 21 viikon kohdalla ($p=0.017$).

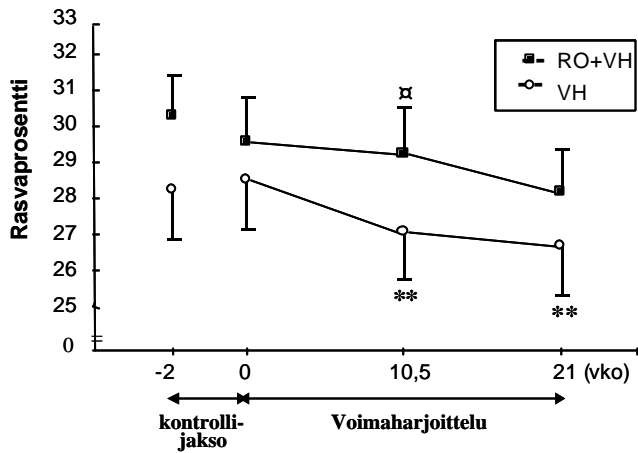


KUVA 13. Painoindeksin muutos harjoittelujakson aikana (keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt ($n=25+25$).

** $p < 0.01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä viikon 0 lähtötasoon. \square $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä muutoksessa.

8.2.3 Rasvaprosentti

RO+VH-ryhmän rasvaprosentti laski tutkimuksen puoliväliin mennessä keskimäärin 1.6 %:a ($p=0.600$) ja VH-ryhmän rasvaprosentti laski keskimäärin 5.8 %:a ($p=0.006$) (kuva 14). Puolen vuoden intervention jälkeen rasvaprosentit olivat laskeneet RO+VH-ryhmällä keskimäärin 4.4 %:a (0.058) ja VH-ryhmällä 6.9 %:a ($p=0.001$). Ryhmien välinen ero rasvaprosentin muutoksessa oli tilastollisesti merkitsevä tutkimuksen puolessa välissä ($p=0.043$), mutta tutkimuksen lopussa ryhmien välillä ei ollut eroa muutoksessa ($p=0.405$).



KUVA 14. Rasvaprosentti muutokset harjoittelujakson aikana (Keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt (n=24+21). ** p<0.01 tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä viikon 0 lähtötasoon. αp<0.05 tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä muutoksessa.

8.2.4 Reisilihaksen poikkipinta-ala

Reisilihaksen poikkipinta-ala paksuimman leikkeen mukaan laskettuna kasvoi harjoittelujakson aikana RO+VH-ryhmällä 9.5 %:a (p<0.001) ja VH-ryhmällä 6.8 %:a (p<0.001) (taulukko 8). Ryhmien välinen ero poikkipinta-alan muutoksessa ei yltänyt tilastolliseen merkitsevyyteen (p=0.052). Kaikkien leikkeiden keskiarvon mukaan laskettu lihaksen poikkipinta-ala kasvoi RO+VH-ryhmällä keskimäärin 8.5 %:a (p<0.001) ja VH-ryhmällä 6.4 %:a (p<0.001). Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa poikkipinta-alan muutoksessa (p=0.061).

TAULUKKO 8. Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala. Kaikki koehenkilöt (n=20+19).

Muuttuja	Ryhmä	0 viikko	21 viikko	Keskimääräinen muutos ^a (LV 95 %)	p-arvo ^b
Poikkipinta-ala (9/15), paksuin leike, cm ²	RO+VH	52.0±6.7	56.9±7.4***	5.0(4.0–5.9)	0.052
	VH	54.1±6.6	57.8±7.4***		
Poikkipinta-ala (6-12/15), kaikki leikkeet, cm ²	RO+VH	47.5±6.0	51.5±6.5***	4.1(3.4 – 4.8)	0.061
	VH(n=18)	49.2±6.0	52.3±6.5***		

^a lähtötasoa käytetty kovariaattina, ^b ryhmien välinen ero muutoksessa, LV = luottamusväli.

*** p<0.001 tilastollisesti merkitsevä ero viikon 0 lähtötasoon.

Kun tarkasteltiin ikäryhmiä erikseen (keski-ikäiset vs. ikääntyvät) havaittiin että ravitsemusohjauksen vaikutus näkyi suuntaa antavana vain iäkkäämmässä ikäryhmässä (p=0.063). Keski-ikäisten reisilihaksen poikkipinta-alaan ei ravitsemusohjauksella ollut vaikutusta (p=0.559).

(taulukko 9). Ikääntyvillä ohjausta saaneilla koehenkilöillä reisilihaksen poikkipinta-alan muutos oli keskimäärin 10.6 %:a ($p < 0.001$) ja pelkästään voimaharjoitelleilla koehenkilöillä 7.2 %:a ($p = 0.001$). Keski-ikäisillä ravitsemusohjausta saavilla reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi 8.5 %:a ($p < 0.001$) ja ohjausta saamattomilla 7.2 %:a ($p < 0.001$).

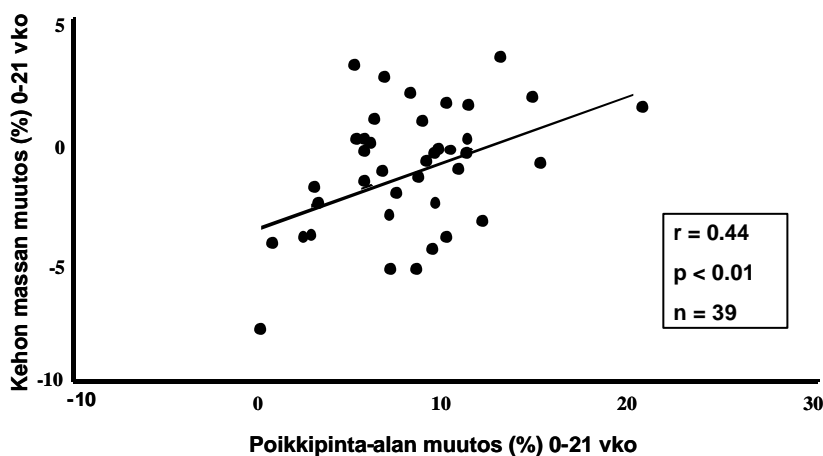
TAULUKKO 9. Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala. Keski-ikäiset (n=10+10) ja ikääntyvät (n=10+9).

Muuttuja	Ryhmä	0 viikko	21 viikko	Keskimääräinen muutos ^a (LV 95%)	p-arvo ^b
Keski-ikäiset Poikkipinta-ala (9/15 paksuin leike), cm ²	RO+VH	53.1±5.7	57.6±6.0***	4.5(3.2 – 5.8)	0.559
	VH	56.5±7.4	60.5±8.0***	4.0(2.7 – 5.3)	
Ikääntyvät Poikkipinta-ala (9/15 paksuin leike), cm ²	RO+VH	50.9±7.8	56.2±8.8***	5.4(3.8 – 7.0)	0.063
	VH	51.5±4.8	54.8±5.5**	3.2(1.6 – 4.9)	
Keski-ikäiset Poikkipinta-ala (6-12/15 leikkeiden keskiarvo), cm ²	RO+VH	48.6±4.8	52.3±4.9***	3.8(2.8 – 4.8)	0.573
	VH	51.2±6.6	54.7±7.0***	3.4(2.4 – 4.4)	
Ikääntyvät Poikkipinta-ala (6-12/15 leikkeiden keskiarvo), cm ²	RO+VH	46.4±7.0	50.7±8.0***	4.3(3.1 – 5.5)	0.079
	VH (n=8)	46.6±4.4	49.4±4.9***	2.8(1.5 – 4.1)	

^a lähtötasoa käytetty kovariaattina, ^b ryhmien välinen ero muutoksessa, LV = luottamusväli.

** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä ero viikon 0 lähtötasoon.

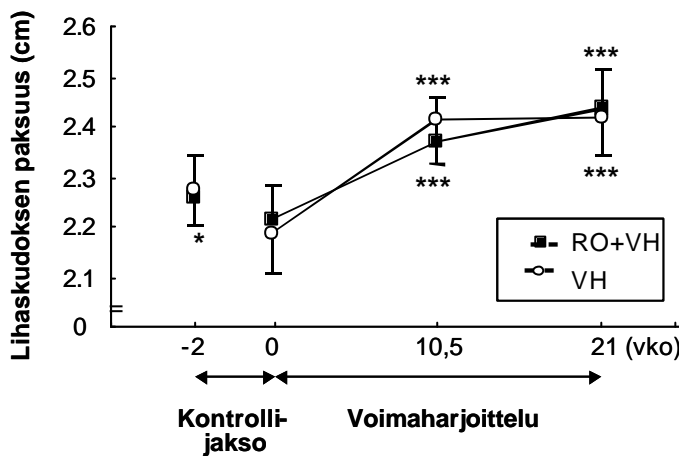
Kehon massan muutoksen ja reisilihaksen poikkipinta-alan muutoksen (0-21 vko) välillä oli lineaarinen suhde ($p < 0.01$) (kuva 15).



KUVA 15. Korrelaatio kehon massan muutoksen ja reisilihaksen poikkipinta-alan muutoksen välillä.

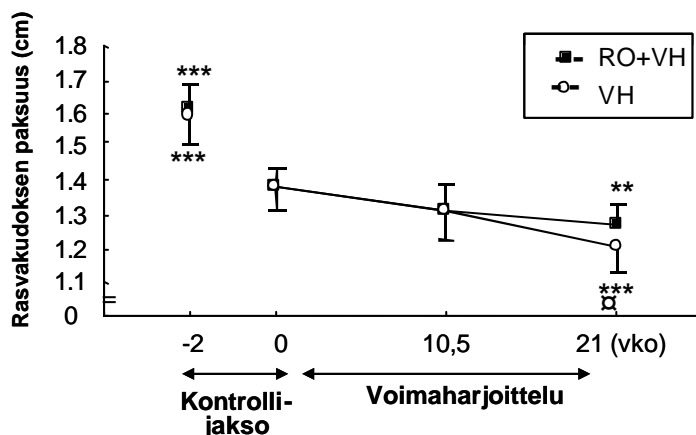
8.2.5 Kyynärvarren ojentajalihaksen lihas- ja rasvakudoksen paksuus

Kyynärvarren ojentajalihaksen paksuus lisääntyi RO+VH-ryhmällä keskimäärin 9.6 %:a ($p < 0.001$) ja VH-ryhmällä 8.9 %:a ($p < 0.001$) 21 viikon harjoittelujakson aikana (kuva 16). Ihonalaisen rasvakudoksen paksuus ojentajalihaksen kohdalta sen sijaan väheni RO+VH-ryhmällä keskimäärin 15.5 %:a ($p = 0.003$) ja VH-ryhmällä 19.4 %:a ($p < 0.001$) (kuva 17). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja lihas- tai rasvakudoksen muutoksissa.



KUVA 16. Kyynärvarren ojentajalihaksen paksuus (Keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt ($n=24+24$).

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä viikon 0 mittaukseen.



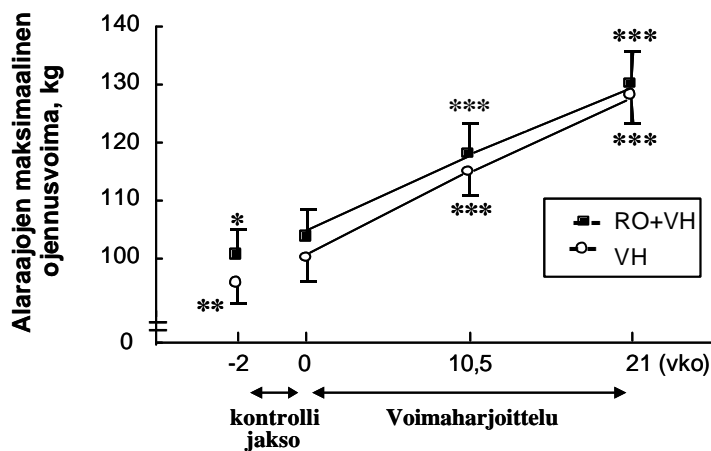
KUVA 17. Kyynärvarren ojentajalihaksen päällä olevan ihonalaisen rasvakudoksen paksuus

(Keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt ($n=24+24$). * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä viikon 0 mittaukseen. \square $p < 0.05$ merkitsevä ero ryhmän sisällä välillä 10,5 ja 21 viikkoa.

8.3 Maksimaalinen voimantuotto

8.3.1 Alaraajat

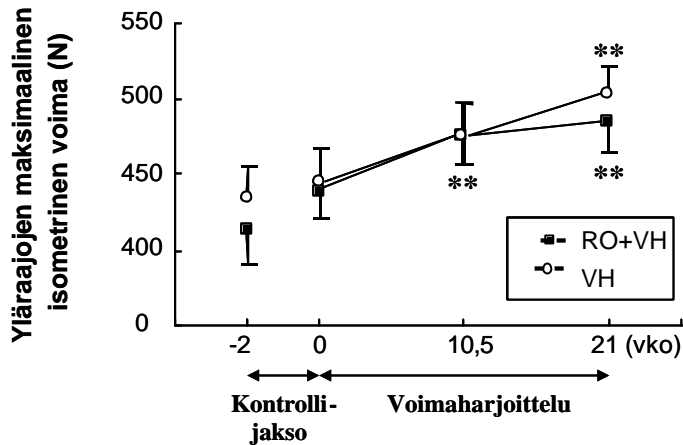
Alaraajojen maksimaalinen dynaaminen ojennusvoima lisääntyi 10,5 viikon harjoittelun aikana RO+VH-ryhmällä keskimäärin 13,5 %:a ($p < 0.001$) ja VH-ryhmällä voiman lisäys oli keskimäärin 14,7 %:a ($p < 0.001$) (kuva 18). 21 viikon harjoittelun jälkeen maksimivoima oli lisääntynyt ryhmillä 26,1 ($p < 0.001$) ja 28,2 %a ($p < 0.001$). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja maksimaalisen voimantuoton kasvussa.



KUVA 18. Alaraajojen maksimaalisen dynaamisen ojennusvoiman kehittyminen harjoittelujakson aikana (keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt ($n=24+24$). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä muutos viikon 0 lähtötasoon.

8.3.2 Yläraajat

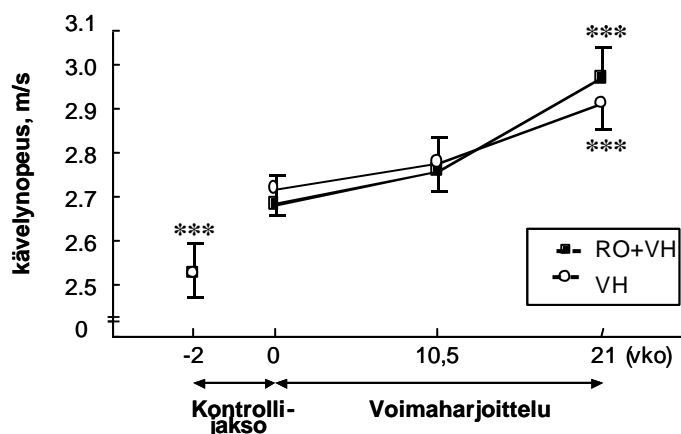
Yläraajojen maksimaalinen ojennusvoima lisääntyi harjoittelujakson aikana hieman vähemmän kuin alaraajojen ojennusvoima (kuva 19). 10,5 viikossa RO+VH-ryhmän yläraajojen voima lisääntyi keskimäärin 8,3 %:a ($p=0.007$) ja VH-ryhmän voima lisääntyi 7,1 %:a ($p=0.111$). 21 viikon harjoittelun jälkeen voiman lisäys oli RO+VH-ryhmällä keskimäärin 11,1 %:a ($p=0.003$) ja VH-ryhmällä 16,9 %:a ($p=0.001$). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisia eroja maksimivoiman muutoksessa.



KUVA 19. Yläraajojen maksimaalisen isometrisen ojennusvoiman kehittyminen harjoittelujakson aikana (Keskiarvo+SE). Kaikki koehenkilöt (n=25+23). ** p<0.01 tilastollisesti merkitsevä muutos viikon 0 lähtötasoon.

8.4 Kävelynopeus

Molempien ryhmien kävelynopeus parani 21 viikon harjoittelujakson aikana (kuva 20). Tutkimuksen puolella välissä kävelynopeuden muutos ei ollut kummallakaan ryhmällä tilastollisesti merkitsevä, mutta 21 viikon harjoittelun jälkeen RO+VH-ryhmän kävelynopeus oli kasvanut keskimäärin 10.7 %:a (p<0.001) ja VH-ryhmän kävelynopeus oli kasvanut keskimäärin 7.4 %:a (p<0.001). Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa kävelynopeuden muutoksessa.



KUVA 20. Maksimaalinen kävelynopeus 10 metrin matkalla (n=24+24). (Keskiarvo+SE). *** p<0.001 tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä viikon 0 lähtötasoon.

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätulokset osoittivat, että voimaharjoittelulla ja ravitsemusohjauksella voidaan lisätä ikääntyvien naisten maksimaalista voimantuottoa merkittävästi. Myös koehenkilöiden kehon koostumus muuttui terveydelle edullisemmaksi lihasmassan lisääntyessä ja rasvamassan vähentyessä. Lihasvoiman kasvu oli ainakin osittain seurausta lihasten hypertrofiasta, sillä reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi harjoittelujakson aikana kaikissa ryhmissä. Voimaharjoitteluun yhdistetyllä ravitsemusneuvonnalla saattaa olla positiivisia vaikutuksia lihasten poikkipinta-alan kasvuun iäkkäämmillä naisilla. Sen sijaan keski-ikäisten naisten lihasten poikkipinta-alan kasvuun ei ravitsemusneuvonnalla näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan vaikutusta.

Ravinnonsaanti

Koehenkilöiden ravinnonsaanti noudatti jo lähtötilanteessa hyvin suomalaisia ravitsemussuosituksia. Ruokapäiväkirjojen mukainen energiansaanti tutkimuksen alussa oli koehenkilöillä keskimäärin 6.9 MJ/vrk:ssa, joka on hieman alhaisempi kuin suositusten mukaiset viitearvot. 31–65-vuotiaan naisen energiantarpeen viitearvo on 8.0 MJ/vrk ja 61–75-vuotiaan 7.2 MJ/vrk. Hiilihydraattien saanti kokonaisenergiasta oli koehenkilöillä keskimäärin 48 E %. Tämä on hieman alhaisempi kuin suomalaiset ravitsemussuositukset ohjeistavat (55–60 E %). Koehenkilöiden proteiinien saanti (~18 E %) oli sen sijaan suurempaa kuin ravitsemussuosituksissa määriteltä 10–15 E %. Myös rasvojen osalta saanti oli hieman suurempaa (~33 E %) kuin suositeltu noin 30 E %.

Ravitsemusneuvonnan päätavoitteet tässä tutkimuksessa olivat proteiinien saannin lisääminen ja rasvojen laadun parantaminen. Koska koehenkilöiden ravinnonsaanti jo tutkimuksen lähtötilanteessa oli hyvällä tasolla, ei ravitsemusneuvonnalla ollut suurta vaikutusta koehenkilöiden ravinnonsaantiin. On kuitenkin muistettava, että suomalaiset ravitsemussuositukset on suunniteltu ryhmiä, ei yksilöitä varten. Rasittava voimaharjoittelu on perusteltu syy lisätä proteiinien saantia yli suositellun 10–15 E %. Kun tarkastellaan proteiinien saanti painokiloa kohden, havaitaan että keskimääräinen proteiinien saanti 0 viikolla oli koko ryhmällä keskimäärin 1.1 ± 0.3 g/kg. Mm. Campbell ym. (1994) on suositellut ikääntyville 1.0–1.25 g proteiinien saantia painokiloa kohden vuorokaudessa. Tämäkään suositus ei kuitenkaan ottanut huomioon ikääntyvän fyysistä aktiivisuutta.

Sekä keski-ikäisillä että ikääntyvillä ruokavalio-ohjausryhmillä proteiinien saanti lisääntyi 0 ja 2 viikon välillä eli ensimmäisen ravitsemusohjauksen jälkeen. 2 ja 10,5 viikon välillä proteiinien saanti laski molemmilla ryhmillä, mutta lisääntyi taas 10,5 viikon ravitsemusohjauksen jälkeen. Nämä muutokset näkyivät sekä proteiinien saannin suhteellisessa osuudessa energiaravintoaineista että absoluuttisessa saannissa painokiloa kohden. Rasvan saannissa tällaista vaikutusta ei havaittu. Keski-ikäisten rasvan saanti ei muuttunut ravitsemusohjauksen vaikutuksesta ja iäkkäillä rasvan saanti laski koko ajan tutkimuksen edetessä.

Reisilihaksen poikkipinta-ala

Lihakset säilyttävät kykynsä adaptoitua voimaharjoittelulle läpi elämän. On osoitettu, että kun voimaharjoittelun volyymi, intensiteetti ja kesto ovat optimaaliset johtaa harjoittelu lihasten hypertrofiaan myös iäkkäillä miehillä ja naisilla (Frontera ym. 1988, Fiatarone ym. 1990, Charette ym. 1991, Häkkinen ym. 1998, Häkkinen ym. 2001a). Myös tässä tutkimuksessa kahdesti viikossa toteutettu tehokas voimaharjoittelu johti merkittävään lihasten poikkipinta-alan kasvuun iäkkäillä naisilla. Lihasten poikkipinta-alan kasvu oli suurempaa naisilla, jotka voimaharjoittelun lisäksi saivat ravitsemusohjausta kuin pelkästään voimaharjoittelevilla naisilla. Kun tarkastellaan ohjauksen vaikutusta koehenkilöiden ravinnonsaantiin, havaitaan että ryhmät eroavat toisistaan proteiinien saannin suhteen. Ravitsemusneuvontaa saavat koehenkilöt lisäsivät proteiinien osuutta kokonaisenergiansaannistaan samalla kun pelkästään voimaharjoittelevan ryhmän proteiinien saanti pysyi ennallaan. Lihasmassan lisääntyminen edellyttää riittävää proteiinien saantia ravinnosta (Tipton & Wolfe 1998). Voidaankin olettaa, että ravitsemusneuvonnan myötä lisääntynyt proteiinien saanti on yhteydessä suurempaan lihasten poikkipinta-alan kasvuun ohjausta saavalla ryhmällä.

Ravitsemusohjauksen vaikutus lihasten poikkipinta-alan kasvuun näkyi suuntaa antavana vain iäkkäämmillä naisilla, sen sijaan keski-ikäisten lihasten poikkipinta-alan kasvuun ravitsemusohjauksella ei ollut vaikutusta. Iäkkäämmässä ikäryhmässä ravinnon saannin muutos ohjauksen vaikutuksesta oli merkitsevä vain rasvojen saannin osalta. Ravitsemusohjausta saavan ryhmän rasvojen saanti laski, kun pelkästään voimaharjoitteluiden naisten rasvojen saanti pysyi lähes ennallaan. Iäkkäillä koehenkilöillä ohjausta saamaton ryhmä sai painokiloa kohden laskettuna koko tutkimuksen ajan enemmän proteiineja kuin ohjausryhmä. Tämä ero johtui ohjausta saamattoman ryhmän vähäisemmästä kehon massassa. Ryhmien ero kehon massassa tutkimuksen alussa oli ryhmien välillä 3 kg ja tutkimuksen kuluessa lisääntyi entisestään ollen 21 viikon harjoittelun jälkeen 4.1 kg. Proteiinien saanti grammoina lisääntyi ohjausryhmällä tutkimuksen

kuluessa ($73\pm 18 \rightarrow 80\pm 15$ g), kun ohjausta saamattomalla ryhmällä absoluuttinen proteiinien saanti pysyi lähes ennallaan ($72\pm 14 \rightarrow 74\pm 15$ g). Tämä viittaa siihen, että myös iäkkäämmässä ikäryhmässä proteiinien saannin lisääntyminen ravitsemusohjauksen vaikutuksesta saattaa olla se tekijä, minkä vuoksi ryhmät erosivat suuntaa antavasti lihasten poikkipinta-alan kasvun suhteen.

Magneettikuvaus on tarkka ja luotettava menetelmä lihasten poikkipinta-alan mittaamiseen. Sen etuna muihin lihasmassan mittaamenetelmiin on se, että lihaksen poikkipinta-alan kasvua voidaan tarkastella useista eri lihaksista ja myös koko lihaksen pituudelta. Tracy ym. (1999) havaitsivat, että ikääntyvillä naisilla nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala kasvaa voimaharjoittelun myötä eniten lihaksen paksuimmassa osassa eli lihaksen keskellä ja että poikkipinta-alan kasvu on pienempää lihaksen proksimaalisissa ja distaalisissa osissa. Tutkijoiden mukaan lihasten poikkipinta-alan arvioiminen vain paksuimman leikkeen mukaan saattaa yliarvioida poikkipinta-alan kasvua. Tracy ym. (1999) tekivät johtopäätöksensä koko nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alan mittaamisen perusteella eivätkä raportoineet yksittäisiä lihaksia erikseen kuten Häkkinen ym. (2001b). He havaitsivat, että progressiivisen voimaharjoittelun myötä iäkkäiden naisten reisilihaksen poikkipinta-ala kasvaa koko reiden pituudelta, mutta yksittäisten lihasten poikkipinta-alan kasvu on erisuuruista eri osassa lihasta. Edellä mainittujen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että reisilihaksen poikkipinta-alan kasvun tarkka mittaaminen edellyttää useiden leikkeiden analysointia. Tässä tutkimuksessa nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala määritettiin koko lihaksen paksuudelta sekä paksuimman leikkeen (9/15) että kaikkien saatavissa olevien leikkeiden keskiarvona (6-12/15). Paksuimman leikkeen mukainen poikkipinta-alan kasvu oli jonkin verran suurempaa kuin kaikkien käytettävissä olevien leikkeiden mukaan laskettu poikkipinta-alan kasvu.

Ojentajalihaksen lihas- ja rasvapaksuus

Magneettikuvauksella määritetty lihasten poikkipinta-alan kasvu oli samansuuruista kuin ultraäänellä mitatun kyynärvarren ojentajalihaksen paksuuden kasvu. On kuitenkin huomioitava, että kyseiset tulokset on saatu eri mittaamenetelmillä. Magneettikuvaus on luotettavuudeltaan huomattavasti parempi kuin ultraäänimittaus. Myös voimaharjoittelun määrä oli erisuuruista ylä- ja alaraajoissa. Harjoittelu kohdistui ensisijaisesti toimintakyvyn kannalta tärkeämpien alaraajojen lihasvoiman lisäämiseen, yläraajoja harjoitettiin määrällisesti paljon vähemmän. Erityisesti ikääntyneillä naisilla yläraajojen lihasvoima on tyypillisesti alhainen ja rasvakudoksen määrä suuri, johtuen vähäisestä kuormituksesta. Tämän vuoksi on mahdollista, että pienilläkin harjoittelumäärillä saadaan aikaan merkittäviä tuloksia yläraajojen lihasmassan ja – voiman määrässä. Ravitsemusohjauksella ei ollut vaikutusta lihaksen kasvuun eikä myöskään

ojentajalihaksen alla olevan ihonalaisen rasvakudoksen vähenemiseen. Kyynärvarren rasvakudoksen väheneminen oli niin suurta, että voidaan olettaa mittausteknisillä tekijöillä olla merkitystä tuloksiin. Tätä päätelmää tukee myös se, että kontrolli- ja alkumittausten (-1 ja 0- viikko) välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero.

Painoindeksi ja rasvaprosentti

21 viikon voimaharjoittelun vaikutuksesta ikääntyvien naisten painoindeksi laski ja myös rasvaprosentti pieneni. Erityisesti niiden koehenkilöiden, jotka eivät saaneet ravitsemusohjausta, kehon rasvamäärä laski. 10.5 viikon harjoittelun jälkeen ryhmät erosivat painoindeksin ja rasvaprosentin muutoksien suhteen merkitsevästi. 21 viikon kohdalla ryhmien välillä ei enää ollut eroa rasvaprosentin suhteen, sillä myös ohjausryhmä laihtui. Painoindeksin muutoksen suhteen ryhmien välillä oli merkitsevä ero myös tutkimuksen lopussa. Kehon massan väheneminen tutkimuksen kuluessa oli todennäköisesti seurausta harjoittelun myötä lisääntyneeseen energiankulutukseen nähden liian vähäisestä energiansaannista. Myös ruokapäiväkirjojen perusteella arvioitu energiansaanti oli ravitsemussuosituksiin nähden hieman alhainen. Ravitsemusohjausta saaneet henkilöt säilyttivät kehonpainonsa paremmin kuin pelkästään voimaharjoitelleet naiset. Kehon massan muutoksen ja lihasmassan välillä oli positiivinen korrelaatio. Yksikään koehenkilö ei menettänyt lihasmassaa tutkimuksen kuluessa huolimatta yksilötasolla varsin merkittävästä painon vähenemisestä (jopa 8 % kehon massasta). Voimaharjoittelu näyttääkin olevan varsin tehokas keino säilyttää ja jopa lisätä kehon lihasmassaa myös laihdutuksen aikana ikääntyvillä naisilla. Myös mm. Ballor ym. (1988) ovat havainneet voimaharjoittelun säilyttävän ja/tai lisäävän lihasmassaa nuorilla ja iäkkäillä naisilla myös negatiivisen energiatasapainon aikana. Väestön lihavuuden lisääntyessä aktiivisen lihaskudoksen säilyttämiseen tähtäävien laihdutusmenetelmien kehittäminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä lihasmassan säilyminen edesauttaa painonhallintaa laihdutusjakson jälkeen.

Lihasvoima

Voimaharjoittelun on todettu olevan tehokas keino ylläpitää ja parantaa iäkkäiden henkilöiden lihasvoimaa (mm. Fiatarone ym. 1990, Frontera ym. 1988). Iäkkäiden naisten voimaharjoittelua on tutkittu vähemmän kuin miesten, mutta voimaharjoittelututkimuksia on raportoitu myös naisilla (mm. Häkkinen ym. 2001b, Charette 1991). Tässä tutkimuksessa 21 viikon voimaharjoittelulla pystyttiin lisäämään merkittävästi iäkkäiden naisten alaraajojen maksimaalista dynaamista ojennusvoimaa sekä yläraajojen maksimaalisista isometristä ojennusvoimaa. Samalla harjoitusohjelmalla toteutetussa ikääntyvien naisten voimaharjoittelututkimuksessa alaraajojen

voimankehitys oli yhtä suurta (Häkkinen ym. 2001b). Kuten aiemmissa tutkimuksissa on osoitettu, voimaharjoittelulla voidaan ennaltaehkäistä ja hoitaa ikääntymiseen liittyvää lihasmassan ja –voiman vähenemistä. Tässä tutkimuksessa 2 kertaa viikossa toteutettu 6 kuukauden voimaharjoittelu lisäsi iäkkäiden naisten alaraajojen lihasvoimaa 26–28 %:a. Lihasvoiman on todettu vähenevän 30 ja 70 ikävuoden välillä noin 30–40 %:a. Puolen vuoden voimaharjoittelulla voidaan siis kompensoida tehokkaasti ikääntymisen aiheuttamaa lihasvoiman laskua.

Toimintakyky

Alaraajojen ojentajien voimantuotto on merkittävää erityisesti ikääntyvien toimintakyvylle ja päivittäisistä toiminnoista, kuten kadun ylityksestä ja portaiden noususta suoriutumiseksi (Bassey ym.1992). Riittävä lihasvoima suojaa ikääntyvää myös onnettomuuksilta ja kaatumisilta (Wolfson ym. 1995). Tutkimuksissa on havaittu alaraajojen maksimaalisen ojennusvoiman korreloivan iäkkäillä positiivisesti kävelynopeuteen (Brown ym. 1995, Fiatarone ym. 1990, Bassey 1992). Myös tässä tutkimuksessa koehenkilöiden maksimaalinen kävelynopeus parani voimaharjoittelun myötä. Kävelynopeuden paraneminen antaa viitettä siitä, että myös keski-ikäisillä ja nuorilla iäkkäillä lihasvoima saattaa olla kävelynopeutta rajoittava tekijä. On kuitenkin mahdollista, että oppimisvaikutus selittää ainakin osan kävelynopeuden paranemisesta, sillä aiemmissa tutkimuksissa ei ole raportoitu lihasvoiman olevan kävelynopeutta rajoittava tekijä näin nuorilla henkilöillä.

Johtopäätökset

Tiivistetysti voidaan todeta, että 21 viikon voimaharjoittelu paransi keski-ikäisten ja iäkkäiden naisten ala- ja yläraajojen lihasvoimaa merkittävästi. Lihasvoiman lisäys oli ainakin osittain seurausta lihasten hypertrofiasta, sillä magneettikuvauksella mitattu lihaksen poikkipinta-ala kasvoi. Neuraalisten tekijöiden vaikutusta voiman kehittymiseen ei voida tämän tutkimuksen puitteissa arvioida, sillä koeasetelmaan ei kuulunut EMG-mittausta. Voimaharjoittelun vaikutuksesta myös koehenkilöiden kehon koostumus muuttui terveydelle edullisemmaksi, kun lihasmassa kasvoi ja rasvan määrä kehossa väheni. Ravitsemusneuvonnan vaikutus lihasvoiman lisäykseen ja kehon koostumuksen muutokseen oli pieni tutkimuksen koehenkilöillä, joiden ravinnonsaanti noudatti hyvin ravitsemussuosituksia jo tutkimuksen lähtötilanteessa. Tutkimus antoi kuitenkin viitteitä siitä, että ravitsemusohjauksella voidaan tehostaa keski-ikäisten ja ikääntyvien naisten proteiinien saantia voimaharjoittelun yhteydessä ja että lisääntyneellä proteiinien saannilla voidaan mahdollisesti lisätä lihasten poikkipinta-alan kasvua voimaharjoittelun yhteydessä ikääntyvillä naisilla. Voimaharjoittelun on tehokas keino ikääntyvien kuntouttamiseen ja toimintakyvyn ylläpitämiseen. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että jatkossa on syytä kiinnittää huomiota myös

ikäntyvien ravinnonsaantiin harjoittelun aikana. Ravitsemuksen merkitys lihasmassan ja -voiman lisäykseen näyttää olevan sitä suurempi mitä iäkkäämmästä ja huonokuntoisemmasta ihmisestä on kysymys.

LÄHTEET

- ACSM. 1995. Guidelines for exercise testing and prescription. 5. painos. American College of Sports Medicine. Baltimore, Williams & Wilkins.
- Adams G, Haddad F. 1996. The relationships among IGF-1, DNA content, and protein Accumulation during skeletal muscle hypertrophy. *Journal of Applied Physiology*. 81(6):2509-2516.
- Alén M, Kukkonen-Harjula K, Kallinen M. 1997. Ikääntyvien terveyden ja toimintakyvyn arviointi sekä liikuntaneuvonnan periaatteet. Teoksessa Era P (toim.) Ikääntyminen ja liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108. Likes.
- Antonio J, Gonyea W. 1993. Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 25:1333-1345.
- Balagopal P, Rooyackers O, Adey D, Ades P, Nair K. 1997. Effects of aging on in vivo synthesis of Skeletal muscle myosin heavy-chain and sarcoplasmic protein in humans. *American Journal of Physiology*. 273, E790-E800.
- Ballor D, Katch V, Becque M, Marks C. 1988. Resistance weight training during caloric restriction Enhances lean body weight maintenance. *American Journal of Clinical Nutrition*. 47:19-25.
- 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. *Clinical Science*. 82(3): 321-7.
- Biolo G, Maggi S, Williams B, Tipton K, Wolfe R. 1995. Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*. 268; E514-E520.
- Biolo G, Tipton K, Klein S, Wolfe R. 1997. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effects of exercise on muscle protein. *Am J Physiol*. 273:E122-E129.
- Brown A, McCartney N, Sale D. 1990. Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *Journal of Applied Physiology*. 69:1725-1733.
- Brown A, Sinacore D, Host H. The relationship of strength to function in the older adult. 1995. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 50:55-59.
- Butterfield G, Thompson J, Rennie M, Marcus R, Hittz R, Hoffman A. 1997. Effect of rhGH and rhIGF-I treatment on protein utilization in elderly women. *American Journal of*

- Physiology. 272, E94-E99.
- Campbell W, Barton M, Cyr-Campbell D, Davey S, Beard J, Parise G, Evans W. 1999. Effects of an omnivorous diet compared with a lacto-ovo-vegetarian diet on resistance-training-induced changes in body composition and skeletal muscle in older men. *American Journal of Clinical Nutrition*. 70:1032-1039.
- Campbell W, Crim MC, Dallal GE. 1994. Increased protein requirements and body composition changes with resistance training in older adults. *American Journal of Clinical Nutrition*. 60:501-509.
- Campbell W, Crim M, Dallal G, Young V, Evans W. 1994. Increased protein requirements in elderly people: new data and retrospective reassessments. *American Journal of Clinical Nutrition*. 60:501-509.
- Carpenter D, Graves J, Pollock M, Leggett S, Foster D, Holmes B, Fulton M. 1991. Effect of 12 and 20 weeks of resistance training on lumbar extension torque production. *Phys Ther*. 71(8):580-8.
- Castaneda C, Charnley J, Evans W, Crim MC. 1995. Elderly women accommodate to a low-protein diet with losses of body cell mass, muscle function, and immune response. *American Journal of Clinical Nutrition*. 62: 30-39.
- Charette S, McEvoy L, Pyka G, Snow-Harter C, Guido D, Wiswell R, Marcus R. 1991. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *Journal of Applied Physiology*. 70(5):1912-1916.
- Chesley A, MacDougall J, Tarnopolsky M, Atkinson S, Smith K. 1992. Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 73, 1383-1388.
- Darr K, Schultz E. 1987. Exercise-induced satellite cell activation in growing and mature skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 63:1816-1821.
- Doherty T. 2003. Invited Review: Aging and Sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*. 95:1717-1727.
- Esmarck B, Andersen J, Olsen S, Richter E, Mizuno M, Kjaer M. 2001. Timing of post exercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *Journal of Physiology*. 535:301-311.
- Espauella J, Guyer H, Diaz-Escriu F, Mellado-Navas JA, Castells M, Pladevall M. 2000. Nutritional supplementation of elderly hip fracture patients. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Age Ageing*. 2000 Sep; 29(5):425-31.
- Evans W. 1997. Functional and Metabolic Consequences of Sarcopenia. *Journal of Nutrition*.

127:998S-1003S.

- Evans W. 1999. Exercise training guidelines for the elderly. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 31:12-17.
- Fahlman M, Boardley D, Lambert C, Flynn M. 2002. Effects of Endurance Training and Resistance Training on Plasma Lipoprotein Profiles in Elderly Women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 57:B54-B60.
- Fiatarone M, Marks E, Ryan N, Meredith C, Lipsitz L, Evans W. 1990. High-intensity strength-training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA*. 263:3029-3034.
- Fiatarone Singh M. 1998. Combined Exercise and Dietary Intervention to Optimize Body Composition in Aging. *Ann NY Acad Sci*. 854: 378-392.
- Fielding R. 1995. The role of progressive resistance training and nutrition in the preservation of lean body mass in the elderly. *Journal of the American College of Nutrition*. 14(6):587-594.
- Fleck S, Kraemer W. 1997. *Designing Resistance Training Programs*, 2 ed., Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Fleg J, Lakatta E. 1988. Role of muscle loss in the age-associated reductions in VO_{2max} . *Journal of Applied Physiology*. 65: 1147-1151.
- Frontera W, Hughes V, Fielding R, Fiatarone M, Evans W, Roubenoff R. 2000. Aging of skeletal muscle: A 12-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology*. 88:1321-1326.
- Frontera W, Hughes V, Lutz K, Evans W. 1991. A cross-sectional study of muscle mass in 45- to 78-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology*. 71:644-650.
- Frontera W, Meredith C, O'Reilly K, Knuttgen H, Evans W. 1988. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology*. 64:1038-1044.
- Gallagher D, Visser M, De Meersman R, Sepulveda D, Baumgartner R, Pierson R, Harris T, Heymsfield S. 1997. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender and ethnicity. *Journal of Applied Physiology*. 83:229-239.
- Greenlund L, Nair K. 2003. Sarcopenia – consequences, mechanisms, and potential therapies. *Mechanisms of Aging and Development*. 124(3): 287-299.
- Grimby G, Aniansson A, Hedberg M, Henning G, Grangard U, Kvist H. 1992. Training can improve muscle strength and endurance in 78- to 84-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology*. 73(6):2517-2523.
- Haub M, Wells A, Tarnopolsky M, Campbell W. 2002. Effect of protein source on resistive-training-induced changes in body composition and muscle size in older men.

- American Journal of Clinical Nutrition. 76:511–517.
- Heikkinen E. 1988. Iäkkäiden liikunta. Teoksessa Liikunta ja terveys. Toim. Heikkinen E ja Vuori I. Lääketehdas Leiraksen julkaisuja 44. Jyväskylä Gummerus kirjapaino Oy.
- Heikkinen E. 2000. Elinajan piteneminen – onni vai onnettomuus? Gerontologia. 1:27-33.
- Ho K, Evans W, Blizzard R, Veldhuis J, Merriam G, Samojlik E, Furlanetto R, Rogol A, Kaisre D, Thorner M. 1987. Effects of sex and age on the 24-hour profile of growth hormone secretion in man: importance of endogenous estradiol concentrations. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. 64, 51-58.
- Hughes V, Frontera W, Wood M, Evans W, Dallal G, Roubenoff R, Fiatarone Singh M. 2001. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity and health. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 56:B209-B217.
- Hurley B, Nemeth P, Martin W. 1986. Muscle triglyceride utilization during exercise: Effect of training. Journal of Applied Physiology. 60:582–587.
- Hurley B, Redmond R, Pratley R, Treuth M, Rogers M, Goldberg A. 1995. Effects of strength training on muscle hypertrophy and muscle cell disruption in older men. Int J Sports Med. 16(6):378-84.
- Häkkinen K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet: Vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi, sivut 101–149. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy.
- Häkkinen K. 2003. Ageing and Neuromuscular Adaptation to Strength Training. Sivut 409-425 teoksessa Strength and Power in Sport. The Encyclopedia of Sports Medicine. Toim. P. Komi. Oxford, UK:Blackwell.
- Häkkinen K, Alén M, Kallinen M, Newton R, Kraemer W. 2000. Neuromuscular adaptations during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. European Journal of Applied Physiology. 83:51–62.
- Häkkinen K ja Häkkinen A. 1991. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different age. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 62(6):410-414.
- Häkkinen K ja Häkkinen A. 1995. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. Electromyography and Clinical Neurophysiology. 35:137–147.
- Häkkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Mälkiä E, Kraemer W, Newton

- R.U, Alén M. 1998. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology*. 84(4):1341-1349.
- Häkkinen K, Kraemer W, Newton R, Alén M. 2001a. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*. 171(1):51–62.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer W, Häkkinen A, Valkeinen H, Alén M. 2001b. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology*. 91(2):569-580.
- Häkkinen K. 1994. Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*. 34(4):205-214.
- Häkkinen K, Kallinen M, Linnamo V, Pastinen U, Newton R, Kraemer W. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand*. 158 (1):77-88.
- Ivey F, Roth S, Ferrell R, Tracy B, Lemmer J, Hurlbut D, Martel G, Siegel E, Fozard J, Metter J, Fleg J, Hurley B. 2000. Effects of Age, Gender, and Myostatin Genotype on the Hypertrophic Response to Heavy Resistance Strength Training. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 55:M641-M648.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. 2000. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *Journal of Applied Physiology*. 89:81-88.
- Kamel H. 2003. Sarcopenia and Aging. *Nutrition Reviews*. 61(5):157–167.
- Karvinen E. 2000. Elämänlaatua arki- ja täsmäliikunnalla. *Liikunta & Tiede*. 1:25-29.
- Kelley D, Goodpaster B. 2001. Effects of exercise on glucose homeostasis in Type 2 diabetes mellitus. *Med Sci Sports Exerc*. 33(6 Suppl):S495-50 ja S528-9.
- Klitgaard H, Mannoni M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-Winter C, Schnohr P, Saltin B. 1990. Function, morphology and protein expression of aging skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica*. 140:41-54.
- Korpela K, Valsta L, Pietinen P. 1999. Iäkkäiden suomalaisten ravinto. *Suomen lääkärilehti* 33:4075–4082.
- Kraemer W, Adams K, Cafarelli E, Dudley G, Dooly C, Feigenbaum M, Fleck S, Franklin B, Fry A, Hoffman J, Newton R, Potteiger J, Stone M, Ratamess N, Triplett-McBride T. 2002. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine &*

- Science in Sports & Exercise. 34(2):364–380.
- Komi P. 1986. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*. Suppl. 7, 10-15.
- Komi P, Viitasalo R, Rauramaa R, Vihko V. 1978. Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 40:45–55.
- Kukkonen-Harjula K, Kallinen M, Alén M. 1997. Liikunta osana kansantautien hoitoa ja kuntoutusta. Teoksessa *Ikääntyminen ja liikunta*. Toim. Era P. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108.
- Lahti-Koski M, Kilkinen A. 2001: Ravitsemuskertomus 2000. *Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B1/2001*.
- Larsson L. 1982. Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 14:203-206.
- Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M. 1988. What is the cause of aging atrophy? *Journal of Neurological Sciences*. 84:275-294.
- Lexell J, Downham D, 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. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 5(6):329-341.
- Lindle R, Metter E, Lynch N. 1997. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 years. *Journal of Applied Physiology*. 83:1581-1587.
- MacDougall J, Sale D, Moroz J, Elder G, Sutton J, Howald H. 1979. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 11:164-166.
- MacDougall J. 1986. Adaptability of muscle to strength training – a cellular approach. Teoksessa *Biochemistry of Exercise VI*, Vol 16, toim. B. Saltin. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- MacDougall J. 2003. Hypertrophy and Hyperplasia, sivut 252–264. Teoksessa *Strength and Power in Sports*. The Encyclopedia of Sports Medicine. Toim. P. Komi. Oxford, UK:Blackwell.
- Meredith C, Frontera W, Fisher E. 1989. Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *Journal of Applied Physiology*. 66:2844-2849.
- Meredith C, Frontera W, O'Reilly K, Evans W. 1992. Body Composition in Elderly Men: Effect of Dietary Modification during Strength Training. *Journal of American Geriatric Society* 40:155-162.

- Moritani T, Devries H. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*. 58:115-130.
- Moritani T, Devries H. 1980. Potential for muscle hypertrophy in older men. *Journal of Gerontology*. 35, 5:672-682.
- Munger R, Cerhan J, Chiu B. 1999. Prospective study of dietary protein intake and risk of hip fracture in postmenopausal women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 69:147-152.
- Murray M, Duthie E, Gambert S, Sepic S, Mollinger L. 1985. Age-related differences in knee muscle strength in normal women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 40:275-280.
- Overend T, Cunningham D, Paterson D, Lefcoe M. 1992. Thigh composition in young and elderly men determined by computerized tomography. *Clinical Physiology*. 12:629-640.
- Phillips S, Tipton K, Aarsland A, Wolf S, Wolfe R. 1997. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 273:E99-E107.
- Pitkälä K, Mäkelä M. 2000. Vanhusten proteiiniaravitsemus ja lihaskato. *Suomen lääkirilehti*. 12:1345-1349.
- Porter M, Vandervoort A, Lexell J. 1995. Aging of human muscle; structure, function and adaptability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 5:129-142.
- Potter J, Langhorne P, Roberts M. 1998. Routine protein energy supplementation in adults: systematic review. *BMJ*. 317:495-501.
- Pratley R, Nicklas B, Rubin M. 1994. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old-men. *Journal of Applied Physiology*. 77:1122-1127.
- Pyka G, Lindenberger E, Charette S, Marcus R. 1994. Muscle strength and fiber adaptations to a one year-long resistance training program in elderly men and women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 45(1):M22-M27.
- Rantanen T, Era P, Heikkinen E. 1996. Maximal isometric knee extension strength and stair-mounting ability in 75- and 80-year-old men and women. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 28 (2): 89-93.
- Rantanen T, Avela J. 1997. Leg extension power and walking speed in very old people living independently. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 52(4):M225-31.
- Refai W, Seidner D. 1999. Nutrition in the elderly. *Clin Geriatr Med*. 15(3):607-625.

- Rice C, Cunningham D, Paterson D, Lefcoe M. 1989. Arm and leg composition determined by computered tomography in young and elderly men. *Clin Physiol*. 9:207-220.
- Roman W, Fleckenstein J, Stray-Gundersen J, Always S, Peshock R, Gonyea W. 1993. Adaptation in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 74:750–754.
- Roy T, Blackman M, Harman M, Tobin J, Schragger M, Metter J. 2002. Interrelationships of serum testosterone index with FFM and strength in aging men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 283:E284-E294.
- Rudman D, Kutner M, Rogers C, Lubin M, Fleming G, Bain R. 1981. Impaired growth hormone secretion in adult population: relation to age and adiposity. *Journal of Clinical Investigation*. 67, 1361-1369.
- Rudman D, Feller A, Nagraj H, Gergans G, Lalitha P, Goldberg A, Schlenker R, Cohn L, Rudman I, Mattson D. 1990. Effects of human growth hormone in men over 60 years old. *New England Journal of Medicine*. 323, 1-6.
- Ruuskanen J. 1997. Omaehtoisen sekä ohjatun liikunnan suunnittelu, toteutus ja arviointi. Teoksessa *Ikääntyminen ja liikunta, toim. Era P. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108*. Likes.
- Sacheck J, Roubenoff R. 1999. Nutrition in the exercising elderly. *Clinics in Sports Medicine*. 18(3):565-584.
- Sailas R. 2000. Miten terveys- ja sosiaalimenot rahoitetaan ikääntyvässä Suomessa? *Kuntoutus*. 1:13–18.
- Sale D. 2003. Neural Adaptation to Strength Training. Teoksessa *Strength and Power in Sport*. Toim. Komi P. 2sd.
- Schürch M-A, Rizzoli R, Slosman D, Vadas L, Vergnaud P, Bonjour J-P. 1998. Protein supplements increase serum insulin-like growth factor-I levels and attenuate proximal femur bone loss in patients with recent hip fracture. *Ann Intern Med*. 128:801-809.
- Shephard R. 1987. *Physical activity and aging*. Croom Helm, London.
- Spirduso W. 1995. *Physical dimensions of aging*. Human kinetics, Champaign, IL.
- Stalberg E, Borges O, Ericsson M. 1989. The quadriceps femoris muscle in 20-70 year old subjects: relationship between knee extension torque electrophysiological parameters and muscle fiber characteristics. *Muscle Nerve*. 12:382-389.
- Suominen H. 1997. Kehon rakenteen ja fyysisen suorituskyvyn muutokset vanhetessa ja liikunta, s.17–48. Teoksessa *Ikääntyminen ja liikunta, toim. Era P. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108*. Likes.

- Tamaki T, Akatsuka A, Tokunaga M, Ishige K, Uchiyama S, Shiraishi T. 1997. Morphological and biochemical evidence on muscle hyperplasia following weight-lifting exercise in rats. *American Journal of Physiology*. 273:C246-C256.
- Tenover JL. 1997. Testosterone and the aging male. *J Androl*. 18:103-106.
- Tesch P, Alkner B. 2003. Acute and Chronic Muscle Metabolic Adaptations to Strength Training. *Sivut 265-28 teoksessa Strength and Power in Sport*. Toim. Komi P. 2sd.
- Tipton K. 2001. Muscle Protein Metabolism in the Elderly: Influence of Exercise and Nutrition. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 26(6):588-606.
- Tipton K, Wolfe R. 1998. Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiol Scand*. 1998 Mar; 162(3):377-87.
- Tracy B, Ivey F, Hurlbut D, Martel G, Lemmer J, Siegel E, Metter E, Fozard J, Fleg J, Hurley B. 1999. Muscle quality. II. Effects of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology*. 86(1):195-201.
- Tomlinson B, ja Irving D. 1977. The number of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life. *Journal of Neurological Sciences*. 34:213-219.
- Van den Beld A, de Jong F, Grobbee D, Pols H, Lamberts S. 2000. Measures of bioavailable serum testosterone and estradiol and their relationships with muscle strength, bone density, and body composition in elderly men. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 85, 3276-3282.
- Wakimoto P, Block G. 2001. Dietary intake, dietary patterns, and changes with age: an epidemiological perspective. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 56:65-80.
- Weg R. 1975. Changing physiology of aging: normal and pathological. *Teoksessa Aging*. Toim. Woodruff D, Birren J. Scientific perspectives and social issues. VanNostrand Company, New York.
- Welle S, Thornton C, Jozefowicz R, Statt M. 1993. Myofibrillar protein synthesis in young and old men. *American Journal of Physiology*. 264, E693-E698.
- Welle S, Thornton C, Statt M. 1995. Myofibrillar protein synthesis in young and old human subjects after three months of resistance training. *American Journal of Physiology*. 268:E422-E427.
- Welle S, Thornton C, Statt M, McHenry B. 1996. Growth hormone increases muscle mass and strength but does not rejuvenate myofibrillar protein synthesis in healthy subjects over 60 years old. *J Clin Endocrinol Metab*. 81, 3239-3243.
- Welle S, Thornton C. 1998. High-protein meals do not enhance myofibrillar synthesis after

- resistance exercise in 62- to 75-yr-old men and women. *American Journal of Physiology* 274. (Endocrinol. Metab. 37): E677-E683.
- Viitasalo J, Era P, Leskinen A, Heikkinen E. 1985. Muscular Strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31-35, 51-55 and 71-75 years. *Ergonomics* 28, 1503.
- WHO. 1985. Energy and protein metabolism. Geneva: World Health Organization.
- Wolfson L, Judge J, Whipple R, King M. 1995. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 50:64-70.
- www.ktl.fi/ravitsemus 17.11.2003.
- Yarasheski K, Zachwieja J, Bier D. 1993. Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis in young and elderly men and women. *American Journal of Physiol. Endocrinol. Metab.* 265:E210-E214.
- Yarasheski K. 2002. Managing sarcopenia with progressive resistance exercise training. *J Nutr Health Aging*. 6:349-356.
- Yarasheski K. 2003. Exercise, Aging, and Muscle Protein Metabolism. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 58:M918-M922.
- Yarasheski K, Pak-Loduca J, Hasten D, Obert K, Brown M, Sinacore D. 1999. Resistance exercise training increases mixed protein synthesis rate in frail women and men >76 yr old. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 277: E118-E125.
- Yarasheski K, Zachwieja J, Campbell J, Bier D. 1995. Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth and strength in older men. *American Journal of Physiology*. 268, E268-E276.
- Young A, Stokes M, Crowe M. 1984. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur J Clin Invest*. 14:282-287.
- Young A, Stokes M, Crowe M. 1985. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clinical Physiology*. 5:145-154.