



## TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ikääntymisen vaikutusta vastus lateraloksen (VL), gastrocnemius medialoksen (GM) ja gastrocnemius lateraloksen (GL) paksuuteen, lihassykimppujen pennaatiokulmaan sekä pituuteen. Koehenkilöinä oli 93 16-85-vuotiasta miespikajuoksijaa, jotka harrastivat kilpailumielessä pikajuoksua veteraanisarjoissa. Pennaatiokulmat ja lihaspaksuudet mitattiin yhdestä kohdasta lihaksen päältä reaaliaikaisella B-mallin ultraäänilaitteella ja lihassykimppun pituus arvioitiin pennaatiokulman ja lihaspaksuuden avulla.

Korrelaatioanalyysi osoitti sekä absoluuttisen että raajan pituuteen suhteutetun lihaksen paksuuden vähenevän merkitsevästi kaikissa mitatuissa lihaksissa iän lisääntyessä. Pennaatiokulman ja raajan pituuteen suhteutetun lihaspaksuuden suhde oli positiivinen ja merkitsevä kaikissa mitatuista lihaksista. Iällä ei sen sijaan ollut vaikutusta VL:n ja GM:n tai VL:n ja GL:n lihaspaksuuksien suhteeseen. Pennaatiokulmalla oli merkitsevä negatiivinen yhteys iän kanssa VL:ssa ja GM:ssa mutta ei GL:ssa. Absoluuttiset ja raajan pituuteen suhteutetut lihassykimppujen pituudet eivät sen sijaan muuttuneet merkitsevästi missään mitatuista lihaksista.

Lihapaksuuksia, pennaatiokulmia sekä absoluuttista ja raajan pituuteen suhteutettuja lihassykimppujen pituuksia vertailtiin myös kahden ikäryhmän välillä (nuoret, n=16, 20-40 -vuotta; vanhat, n=17, 70-75-vuotta). Ryhmien välillä oli merkitsevä ero sekä absoluuttisissa että raajan pituuteen suhteutetuissa lihaspaksuuksissa kaikissa mitatuissa lihaksista. Pennaatiokulmat sen sijaan eivät eronneet merkitsevästi kuin VL:ssa ja lihassykimppujen pituuksissa ei havaittu eroa missään mitatuista lihaksista.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että pikajuoksulle ominainen harjoittelu ei välttämättä ehkäise ainakaan täysin lihaksen paksuuden ja pennaatiokulman pienenemistä, mutta lihassykimppujen lyhenemiseen sillä voi olla ehkäisevä vaikutus.

Avainsanat: ikääntyminen, pennaatiokulma, lihassykimppun pituus, lihaspaksuus, ultraääni, pikajuoksijat.

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	4
2	LUURANKOLIAKSEN RAKENNE .....	5
2.1	Lihaksen supistuvat ja elastiset komponentit.....	5
2.2	Lihassyiden pituus ja suuntautuminen .....	6
2.3	Lihaksen anatominen ja fysiologinen pinta-ala .....	9
3	ARKKITEHTUURIN VAIKUTUS LIAKSEN TOIMINTAAN .....	11
3.1	Lihaksen suhteellisen voimantuoton laskeminen.....	11
3.2	Lihaksen voima - pituus -käyrä.....	13
3.3	Lihaksen voima - nopeus -käyrä .....	15
4	VANHENEMISEN VAIKUTUKSET LIAKSEEN .....	16
4.1	Muutokset lihassoluissa .....	16
4.2	Lihasmassan vähenemiseen vaikuttavat tekijät.....	18
4.3	Lihaksen koon vaikutus pennaatiokulmaan ja lihassykimppujen pituuteen ..	19
5	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	20
6	MENETELMÄT .....	21
6.1	Koehenkilöt ja tutkimusasetelma .....	21
6.2	Menetelmän arviointia .....	22
7	TULOKSET .....	26
8	POHDINTA .....	30
8.1	Iän vaikutus lihasarkkitehtuuriin.....	30
8.2	Tutkimuksen kritiikkiä.....	33
8.3	Yhteenveto .....	35
	LÄHTEET .....	36

# 1 JOHDANTO

Lihasmassan ja -voiman tiedetään vähenevän iän myötä (mm. Häkkinen & Häkkinen 1991). Syynä lihasmassan pienenemiseen on pidetty erityisesti nopeiden lihassolujen määrän ja koon vähenemistä (mm. Lexell ym. 1983). Lihassolujen tyypin, määrän ja koon lisäksi lihaksen toimintaan vaikuttavat myös lihassyiden pennaatiokulma ja pituus eli lihasarkkitehtuuriset muuttujat. Lihasarkkitehtuuriset muuttujat ovat yhteydessä rinnakkaisten ja peräkkäisten sarkomeerien määrän ja siten arkkitehtuurilla on selkeä yhteys myös lihassolujen määrään ja kokoon. Mitä enemmän sarkomeereja (ja siis lihassoluja) on rinnakkain, sitä enemmän lihas pystyy tuottamaan voimaa. Lihassyiden pennaatiokulman suureneminen mahdollistaa puolestaan sen, että suurempi määrä lihassyitä voidaan pakata rinnakkain yhteen lihakseen. Lihassyiden pituus on sen sijaan verrattavissa peräkkäisten sarkomeerien määrään. Mitä enemmän sarkomeereja on peräkkäin (ja mitä pitempi lihassy tai lihas on), sitä suurempi toimintalaajuus lihaksella on ja sitä nopeammin se pystyy tuottamaan voimaa. (Challis 2003.) Lihassyiden pituudella voi olla jopa enemmän vaikutusta lihaksen lyhenemisnopeuteen kuin lihassolujen biokemiallisilla eroavaisuuksilla (Sacks & Roy 1982). Lihasarkkitehtuurin tutkimisella on siis erittäin tärkeä merkitys luustolihasen toiminnan ymmärtämisen takia, koska lihassyiden pituus, orientaatio ja määrä vaikuttavat olennaisesti lihaksen voimantuotto-ominaisuuksiin (voima-nopeus ja voimapituus) (Challis 2003). Tuntemalla lihaksen arkkitehtuuriset muuttujat voidaan paremmin arvioida myös muiden voimantuottoon vaikuttavien tekijöiden osuutta lihaksen toiminnassa. (Narici 1999).

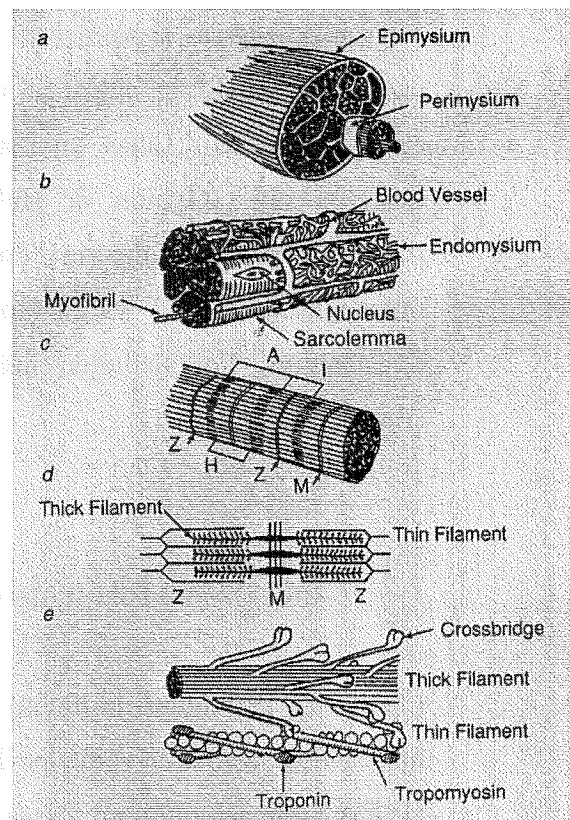
Vaikka ikääntymisen vaikutuksia lihasmassaan on tutkittu jo pitkään, lihasarkkitehtuuriin muuttumisesta ikääntymien myötä ei tiedetä vielä kovinkaan paljoa. Yksi syy tähän on se, että lihasarkkitehtuuria tutkittiin pitkään vain kuolleiden ihmisten lihaksia avaamalla ja vasta ei-invasiivisten tekniikoiden, kuten ultraääni ja MRI, kehittyminen on mahdollistanut arkkitehtuurin tutkimisen myös elävillä ihmisillä. (Narici 1999.) Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ultraäänen avulla ikääntymisen vaikutusta vastus lateraliksien, gastrocnemius medialiksien ja gastrocnemius lateraliksien paksuuteen, lihassykimppujen pennaatiokulmaan sekä pituuteen.

## 2 LUURANKOLIAKSEN RAKENNE

### 2.1 Lihaksen supistuvat ja elastiset komponentit

Aikuisen ihmisen massasta noin 40 % on luustolihasta eli poikkijuovaista lihasta. Luustolihas koostuu Hill-mallin mukaan supistuvista ja elastisista komponenteista (Enoka, 2001 s.259). Supistuvan osan muodostavat 10-60  $\mu\text{m}$  paksut ja 1-400 mm pitkät lihassolut eli lihassyyt (Enoka 2001 s.219), jotka ovat järjestäytyneet 10-100 syyn lihassykimpuiksi (fascicle) (Challis, 2003). Lihaksen elastinen komponentti sisältää lihaksessa olevan sidekudoksen (jänne, aponeuroosi, sidekudoskalvot), jonka tehtävänä on toimia lihaksen tukirakenteena, voiman välittäjänä, iskunvaimentimena ja elastisen energian varastoijana. Elastisen ja supistuvan komponentin yhteistoiminta on erittäin tärkeää ihmisen liikkumisessa. Elastinen komponentti venyy passiivisesti ulkoisen voiman ansiosta ja vaikuttaa supistuvan komponentin kanssa voimantuottoon. Lihaksen sidekudoksista jänteiset osat (jänne ja aponeuroosi) toimivat ensisijaisesti elastisena komponenttina. (Muramatsu 2001.)

Sidekudoksista peitinkalvoista päälimmäisenä ovat koko lihasta ympäröivä pinnallinen faskia (fascia) ja sen alla oleva epimyyysi (epimysium). Myös lihassykimppuja ja yksittäisiä lihassyitä ympäröivät omat sidekudoskalvot. Lihassykimppun peitinkalvoa sanotaan perimyysiksi (perimysium) ja lihassyitä peittävää kalvoa endomyysiksi (endomysium). Endomyysin alla on lisäksi lihassolun



KUVA 1. Luustolihasrakenteen rakenteet: a) koko lihas, b) lihassykimppu, c) myofibrilli, d) sarkomeeri, e) myofilamentit (Enoka, 2001 s.220).

varsinainen solukalvo eli sarkolemma. Endomyysi yhtyy lihassyyn päässä perimyysiin, joka sitten muodostaa muiden jännesyiden kanssa edelleen jänteen. Kaikilla lihaksilla ei ole selviä jänteitä, jotka kiinnittävät lihaksen luuhun, vaan lihassyöt voivat kiinnittyä epimyysin avulla myös lihasta peittävään aponeuroosiin tai muihin pehmytkodoksiin. (McArdle ym. 2001.)

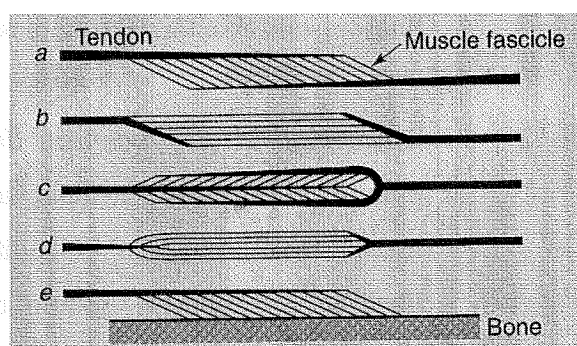
Lihassyöt koostuvat pienistä myofibrilleistä, joita voi yhdessä lihassyssä olla useista sadoista jopa useisiin tuhansiin. Myofibrillit muodostuvat edelleen pienemmistä pituussuuntaisista yksiköistä, myofilamenteista (ks. kuva 1 ). Myofilamenteja on kahta tyyppiä: aktiini- ja myosiinifilamenteja. Yhdessä myofibrillissä on noin 1500 myosiinifilamenttia ja 3000 aktiinifilamenttia. Myofilamentit (ja myös lihassyöt sekä lihassyökimpot) ovat järjestäytyneet toisiinsa nähden tietyssä järjestyksessä, mistä johtuu myofibrillin (ja lihaksen) poikkijuovaisuus. Myofibrillin poikkijuovista voidaan erottaa lepotilassa noin 2,5 µm pitkiä perusyksiköitä, joita sanotaan sarkomeereiksi. Lihassupistuksessa sarkomeerit lyhenevät, kun myosiinifilamentin ulkonevat osat tarttuvat kemiallisen sidoksen avulla aktiinifilamentin aktiivisiin osiin ja ”vetävät” aktiinia ohitse. Lihas siis supistuu, kun aktiini- ja myosiinifilamentit liukuvat toistensa ohi. (Gyuton & Hall 2000). Lihaksen tuottaman voiman suuruus on riippuvainen sarkomeerin pituudesta, sillä mitä enemmän aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä on muodostunut poikkisiltoja, sitä suurempi on lihasjäännitys. Poikkisiltojen määrä on suurimmillaan sarkomeerin keskipituuksilla. (Enoka 2001 s.258)

## 2.2 Lihassyiden pituus ja suuntautuminen

Lihaksen arkkitehtuuri ja muoto vaihtelevat huomattavasti eri lihaksissa, minkä vuoksi lihassyiden määräkin vaihtelee huomattavasti lihaksien välillä. Esimerkiksi Feinstein (1955) huomasi tutkimuksessaan, että gastrocnemius medialiksessa on yli miljoona lihassyötä kun sormen ensimmäisessä dorsaalissa interosseuksessa on vain noin 40 000 lihassyötä (Challis 2003). Lihaksen pituudella tarkoitetaan pituutta, joka ulottuu lihaksen proksimaalisimpien lihassyiden lähtökohdasta distaalisimpien syiden loppukohtaan. Lihaksen pituus, eikä edes lihassyökimpun pituus kerro suoraan

lihassyiden pituutta, sillä lihassyyt voivat kiinnittyä sidekudoskalvoon muuallakin kuin lihaksen päissä. Lihassykimppu sisältääkin usein lihassyitä, jotka ovat kiinnittyneet toisiinsa sarjassa ja porrasteisesti. Koska lihassyyt kulkevat lihaksissa lihassykimpuissa, voi yhden lihassykimpun toiminta vastata hyvinkin paljon yhden samanpituisten lihassyyn toimintaa. Useissa tutkimuksissa, joissa tutkijat puhuvat lihassyistä, he tarkoittavat itse asiassa lihassykimppuja, joiden orientaatiota ja pituutta voidaan mitata esimerkiksi ultraäänellä (Lieber & Friden 2000). Friederich ja Brand (1990) tutkivat lihassyiden pituuksia vainajien alaraajoista ja raportoivat lihassyiden suhteen lihaksen pituuteen vaihtelevan välillä 0,08 – 0,88 (keskiarvoissa mukana myös Wickienwiczin ym. (1983) tekemän tutkimuksen tulokset). Yleensä lihassy/lihas -suhteen on raportoitu vaihtelevan välillä 0,2 - 0,6, mikä tarkoittaa sitä, että suurimmassa osassa lihaksia yksittäiset lihassyyt kattavat enintään 60 % lihaksen pituudesta (McArdle ym. 2001; Lieber & Friden 2000). Lihassyiden pituuteen vaikuttaa lihassyiden orientoituminen lihaksessa. Mitä pienempi lihassy/lihas – suhde lihaksella on, sitä suuremmalla todennäköisyydellä lihassyyt ovat järjestäytyneet sulkamaisesti (Enoka 2001 s.263).

**Lihastyypit.** Lihakset voidaan jaotella lihassyiden suuntautumisen perusteella eri tyyppeihin (kuva 2). Tyypillisimpiä luustolihasyyppejä ovat sukkulamainen (kuva 2: kohdat b ja d) ja sulkamainen lihas (kuva 2: kohta c). Sulkamainen lihas voi olla myös monisulkainen (esim. hartialihaksen eli deltoideuksen tai puolisulkamainen (kuva 2: kohdat a ja e). Sukkulamaisessa lihaksessa lihassyyt kulkevat lihaksen pituussuunnassa



KUVA 2. Lihassyiden kiinnittyminen jänteeseen vaihtelee eri lihaksissa (Enoka, 2001 s. 226).

voimantuottoakselin suuntaisesti, kun taas sulkamaisessa lihaksessa lihassyiden suunta eroaa voimantuottoakselin suunnasta. Sulkamainen lihas mahdollistaa rinnakkaisten lihassyiden suuremman lukumäärän verrattuna sukkulamaiseen lihakseen. (Challis 2003).

*Pennaatiokulma.* Kulmaa, jossa lihassyöt eroavat lihaksen luuhun kiinnittävästä jänteestä, sanotaan pennaatiokulmaksi (Challis 2003). Pennaatiokulma voidaan määritellä myös kulmana, jossa lihassyöt eroavat lihaksen voimantuottosuunnasta (Enoka 2001 s.261). Käytännössä (esim. ultraäänitutkimuksissa) pennaatiokulma arvioidaan usein suhteessa lihasta ympäröivään aponeuroosiin. Pennaatiokulma voi olla erilainen suhteessa ulompaan ja sisempään aponeuroosiin, koska aponeuroosit eivät kulje aina samansuuntaisina (Kawakami ym. 1993) ja voivat kaareutua (Challis 2003). Tämän vuoksi faskioiden suunta voikin erota voimantuottolinjasta. Pennaatiokulman on raportoitu vaihtelevan ihmisellä välillä 0°-30° (Lieber & Friden 2000). Pennaatiokulma saattaa muuttua hyvinkin paljon lihassyyn kulkiessa lihaksessa läpi, sillä lihassyöt saattavat kaareutua. Esimerkiksi Kawakami ym. (1993) tutkivat lihassyiden pennaatiokulmaa ja lihaspaksuutta tavallisilla ihmisillä sekä kehonrakentajilla. Tavallisilla koehenkilöillä lihassyöt olivat järjestäytyneet lineaarisesti, kun taas kehonrakentajilla lihassyöt olivat kaarevia. Lihassyiden kaareutumista on tutkittu myös lihassupistuksen aikana, jolloin lihaksen paksuuden ja pennaatiokulman on huomattu korreloivan merkitsevästi lihassyiden kaareutumisen kanssa (Muramatsu ym. 2002). Tämä voi johtua siitä, että lihaksen sisäinen paine kasvaa pennaatiokulman suurentuessa lihasupistuksessa tai paksuuntuessa hypertrofian vaikutuksesta (Styf ym.1995).

*Arkkitehtuurin muuttuminen lihaksen eri kohdissa.* Pennaatiokulmaa, lihassyiden pituutta ja lihaksen paksuutta on useissa tutkimuksissa mitattu vain tietystä kohdasta lihasta (esim. lihaksen keskeltä). Lihaksen arkkitehtuuri saattaa kuitenkin muuttua lihaksen eri kohdissa, jolloin on varottava tietystä kohdasta mitattujen muuttujien yleistämistä koko lihakseen. Tutkimuksissa on muun muassa huomattu, että pennaatiokulma vaihtelee lihaksen eri kohdissa (Kawakami ym. 2000; Narici ym. 1996). Myös lihassyökimppujen pituuden on huomattu muuttuvan (Friedrich & Brand 1990; Kawakami ym. 2000). Koska lihas on kolmiulotteinen kappale, saattaa lihaksen kaksiulotteinen tarkastelu yksinkertaistaa lihassyiden orientoitumisesta hyvinkin paljon. Lisäksi tulee muistaa, että lihaksen arkkitehtuuri luonnollisesti muuttuu lihaksen supistuessa, joten levossa mitatut arvot eivät päde supistuksen aikana. (Kawakami ym. 2000.)



### 2.3 Lihaksen anatominen ja fysiologinen pinta-ala

Fysiologinen pinta-ala (PCSA) tarkoittaa samansuuntaiset lihassyöt kohtisuoraan leikkaavaa pinta-alaa. Sulkulamaisissa lihaksissa PCSA vastaa anatomista pinta-alaa (CSA) ja se voidaan laskea kaavasta

$$PCSA = V/L_f = m/\rho/L_f, \quad (1)$$

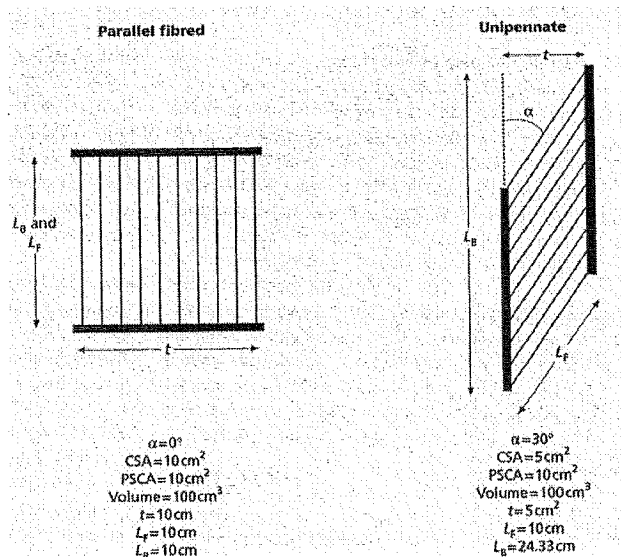
jossa  $V$  = lihaksen tilavuus,  $m$  = lihaksen massa,  $\rho$  = lihaksen tiheys ( $1,056 \text{ g/cm}^3$ ) ja  $L_f$  = syiden pituus. Sulkamaisessa lihaksessa syiden pituus  $L_f$  voidaan arvioida pennaatiokulman  $\alpha$  ja faskioiden välimatkan  $t$  perusteella seuraavasti

$$L_f = t/\sin \alpha, \quad (2)$$

jolloin PCSA:n laskukaava voidaan kirjoittaa muotoon

$$PCSA = V/t \cdot \sin \alpha \text{ (kuva 3). (Narici 1999.)} \quad (3)$$

Lihaksen fysiologisen pinta-alan laskemisessa massan ja tiheyden avulla on ongelmana se, että kaava arvioi lihaksen tiheyden olevan vakio kaikilla ihmisillä (McArdle ym. 2001). Yksittäisen lihaksen massan tarkka mittaaminen onnistuu kuitenkin vain vainajilta, joten tätä ongelmaa ei ole eläville ihmiselle tehdyissä tutkimuksissa. Lihaksen tilavuuden mittaaminen sen sijaan on mahdollista esimerkiksi magneettikuvauksen ja tietokonetomografian avulla, mutta



KUVA 3. Pennaatiokulman  $\alpha$  vaikutus lihaksen paksuuteen  $t$ . CSA = anatominen poikkipinta-ala; PCSA = fysiologinen poikkipinta-ala. (Challis 2003.)



### 3 ARKKITEHTUURIN VAIKUTUS LIHAKSEN TOIMINTAAN

Lihasten arkkitehtuuriin on kiinnitetty huomattavasti vähemmän huomiota kuin lihaksen solutason rakenteeseen. Vaikka lihaksen voimantuoton on ajateltu riippuvan voimakkaasti lihasolujakaumasta, myös lihaksen arkkitehtuurilla on huomattavan suurin vaikutus voimantuottoon. Voimantuottokyvyn vaihtelua eri lihasten välillä voidaan esimerkiksi selittää paremmin lihasten arkkitehtuurilla kuin lihassyiden koolla. (Lieber & Frieden 2000.)

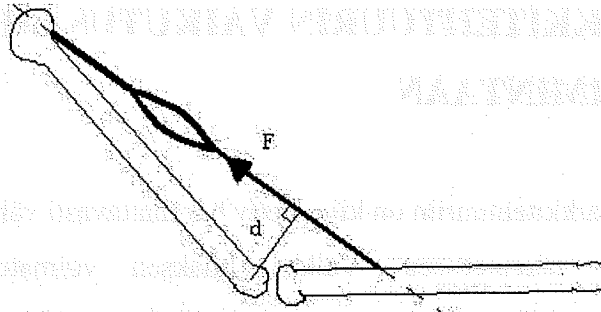
#### 3.1 Lihaksen suhteellisen voimantuoton laskeminen

Lihäs liittyy janteen välityksellä vähintään toisesta päästään joko luuhun tai rustoon. Lihaksen kiinnittymispisteet luuhun (tai pehmytkodokseen) määräävät lihaksen voimantuottosuunnan. Lihaksen molemmat päät eivät koskaan ole kiinni samassa luussa. Tavallisimmin lihakset kulkevat yhden nivelen ohi luusta toiseen. Supistuessaan lihakset voivat näin lähentää luita toisiinsa ja aiheuttaa liikkeitä. Jänne ja aponeuroosi toimivat lihaksessa voiman välittäjänä.

Janteen kautta välittyvä voima ( $F_t$ ) riippuu pennaatiokulmasta  $\alpha$  ja lihassyiden voimantuotosta ( $F_f$ ) seuraavasti:

$$F_t = F_f \cdot \cos \alpha. \quad (4)$$

Lihassyiden voimantuotto  $F_f$  voidaan tarkkaan määrittää vain invasiivisesti, mutta  $F_t$  voidaan arvioida jakamalla ulkoisesti mitattu vääntömomentti nivelen momenttivarrella (kuva 4). Momenttivarrien arvoja löytyy kirjallisuudesta (mm. Rugg ym. 1990) ja niiden suuruuteen vaikuttavat nivelkulma sekä lihaksen kiinnittymiskohdat (Enoka 2001 s.266).



KUVA 4. Jänteen kautta välittyvä voima  $F_t$  voidaan arvioida lihaksen vääntömomentin ( $M = F_t \cdot d$ ) avulla, kun tiedetään nivelen momenttivarsi  $d$  (mukaeltu Rassier ym. 1999).

Kun lihassyiden pituus (tai mahdollinen pennaatiokulma  $\alpha$  ja lihaksen paksuus  $t$ ) ja lihaksen tilavuus tiedetään, saadaan laskettua PCSA (3) ja edelleen lihaskudoksen suhteellinen voimantuotto seuraavasti:

$$F_t/PCSA = F_t \cdot \cos^{-1} \alpha / (V/t) \cdot \sin \alpha,$$

josta saadaan trigonometrian muutoskaavojen avulla

$$F_t/PCSA = [F_t / (V/t)] \cdot \sin 2 \alpha. \quad (\text{Narici 1999.}) \quad (5)$$

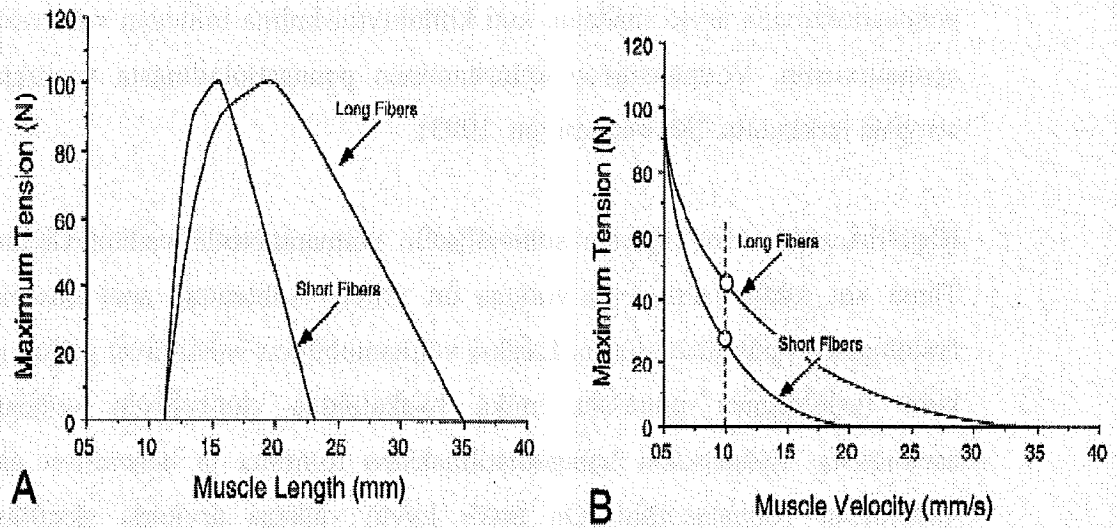
Kaavojen (4) ja (5) käytössä on luonnollisesti samat virhelähteet kuin fysiologisen pinta-alan laskemisessakin, kuten lihaksen paksuuden ja lihassyiden kaareutumisen välinen yhteys (Kawakami ym. 1993; Kawakami ym. 1995; Kawakami ym. 2000) sekä mittauspaikan valinta. Virhettä lisää myös lihaksen vipuvarren arvioiminen kirjallisuudesta, sillä vipuvarsi voi vaihdella yksilöittäin. Suhteellista voimantuottoa laskettaessa kaavan (5) ongelmana on se, että pennaatiokulman on tutkimuksissa havaittu muuttuvan lihassupistuksen aikana kaikilla lihastyötavoilla (mm. Herbert & Gandevia 1995; Narici ym. 1996). Tämän vuoksi levossa mitattu PCSA ei ole sama kuin supistuvan lihaksen PCSA. Lihaksen PCSA muuttuu myös levossa nivelkulman funktiona, jolloin voima ja PCSA olisi tärkeää mitata samoilla nivelkulmilla (Narici ym. 1996). Kaksiulotteisesta ultraäänikuvasta faskioiden avulla mitattu pennaatiokulma ei välttämättä ennusta suoraan voiman välittymistä jänteeseen, sillä aponeuroosin ja lihaksen voimantuottolinjan välillä voi olla eroa. Syvemmän aponeuroosin suunnan on huomattu eroavan vähemmän lihaksen voimantuottosuunnasta, jolloin parempi

pennaatiokulman arvio saadaan, kun kiinnittymiskulma mitataan suhteessa syvempään aponeuroosiin. Voimansiirron ennustaminen pennaatiokulmasta vaatiikin mittaajalta erityistä tarkkuutta. (Kawakami ym. 1993).

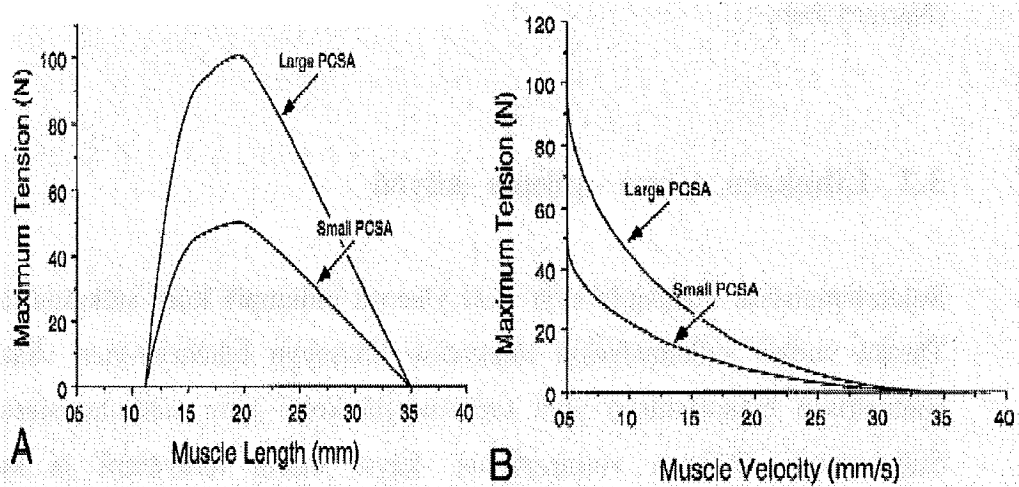
Kirjallisuuden arvot lihasten suhteelliselle voimantuotolle vaihtelevat huomattavasti. Tämä voi johtua siitä, että voimaa on yritetty suhteuttaa anatomiseen pinta-alaan fysiologisen pinta-alan sijasta. Lisäksi voimantuottoon vaikuttavat paljon muutkin asiat kuin fysiologinen pinta-ala, mikä hankaloittaa suhteellisen voimantuottokyvyn arvioimista. Esimerkiksi antagonistilihaksien toiminta ja hermoston aktiivisuustaso vaikuttavat voimatasoihin. On myös hyvin vaikeaa arvioida yksittäisten lihasten tuottaman voiman osuutta liikkeissä, joissa moni lihas toimii yhtä aikaa. Arkkitehtuurisia parametrejä, kuten fysiologista pinta-alaa on usein suhteutettu kehon tai raajojen mittoihin, millä on yritetty eliminoida ihmisen pituuden vaikutusta tuloksiin (Narici 1999).

### **3.2 Lihaksen voima - pituus -käyrä**

Sukkulamaisissa lihaksissa syyt ovat yleensä pidempiä kuin sulkamaisissa lihaksissa. Tämän vuoksi sulkamaisessa lihaksessa lihassyyn lyhentyminen vaatii suuremman suhteellisen lyhentymisen yhtä sarkomeeria kohti kuin sukkulamaisessa lihaksessa. Sulkamaisen lihaksen voima-pituus -käyrä onkin terävämpi ja kapeampi kuin sukkulamaisen lihaksen (kuva 5A.). Lihaksen maksimaalinen voimantuotto on verrannollinen lihaksen fysiologiseen pinta-alaan. Mitä suurempi lihaksen PCSA on, sitä enemmän lihas pystyy myös tuottamaan voimaa. Sulkamaisessa lihaksessa on yleensä suurempi PCSA kuin sukkulamaisessa lihaksessa ja siksi sen voimantuottokapasiteetti/lihasgramma on myös suurempi. Esimerkiksi kahden fysiologiselta pinta-alaltaan erilaisen mutta muilta ominaisuuksiltaan samanlaisen lihaksen voima-pituus -käyrät poikkeavat toisistaan niin, että suuremman PCSA:n omaavan lihaksen käyrä on paljon korkeampi verrattuna lihakseen, jolla on pienempi PCSA (kuva 6A). Samoin käy voima-nopeus -käyrälle (kuva 6B). Käyrien muoto ei sen sijaan muutu kummassakaan tapauksessa. (Lieber & Frieden, 2000.)



KUVA 5. Lihassyiden pituuden vaikutus lihaksen voimantuottoon ja lyhenemisnopeuteen (Lieber & Frieden, 2000).



KUVA 6. Lihaksen fysiologisen pinta-alan vaikutus lihaksen voimantuottoon ja lyhenemisnopeuteen (Lieber & Frieden, 2000).

Lihasten suhteellinen voimantuoton fysiologiseen pinta-alaan verrattuna on arvioitu olevan sama kaikilla lihaksilla. Tutkimuksissa on saatu kuitenkin eriäviä tuloksia eri lihaksille, mikä voi johtua siitä, että voimantuottoa on suhteutettu fysiologisen pinta-alan sijasta anatomiseen pinta-alaan. (Narici, 1999.)

### 3.3 Lihaksen voima - nopeus -käyrä

Lihasarkkitehtuuri vaikuttaa lihaksen voima-nopeus – käyrään kuvien 5. ja 6. mukaisesti. Syiden pituus ja pennaatiokulma ennen lihassupistusta sekä lihassupistuksen huippukohdassa vaikuttavat lihaksen supistumisnopeuteen. Pitkien lihassyiden voimantuottonopeus on lyhyitä nopeampaa, koska yhden sarkomeerin pienempi suhteellinen lyheneminen pitkissä lihassyissä nopeuttaa voimantuottoa.

Lihassyiden pituuden ja pennaatiokulman vaikutusta 100 metrin juoksunopeuteen on tutkittu useissa tutkimuksissa (Kumagai ym. 2000; Abe ym. 2001). Esimerkiksi Kumagai ym. (2000) huomasivat miespikajuoksijoiden 100 metrin ajan korreloivan negatiivisesti vastus laterliksen sekä gastrocnemius medialiksen ja lateraloksen lihassykimppujen pituuden kanssa. Myös Abe kollegoineen (2000) vertaili edellä mainittujen lihasten lihassykimppujen pituutta sekä pennaatiokulmaa pikajuoksijoilla ja kestävyysjuoksijoilla. Tutkimuksen tulos oli, että pikajuoksijoilla oli pidemmät lihassykimput sekä pienemmät pennaatiokulmat kestävyysjuoksijoihin verrattuna.

## 4 VANHENEMISEN VAIKUTUKSET LIHAKSEEN

Vanhenemisen tiedetään yleisesti aiheuttavan lihasmassan vähenemistä, mikä sen sijaan aiheuttaa voimatasojen, aineenvaihdunnan sekä maksimaalisen hapenottokyvyn pienenemistä (Marcell 2003). Jopa läpi koko elämänsä aktiivisesti urheilevien veteraani huippu-urheilijoiden lihasmassan on osoitettu vähenevän, mikä antaa viitteitä siitä, että vanhenemismuutoksia ei voida kokonaan ehkäistä aktiivisella harjoittelulla (Roubenoff & Hughes 2000). Ikääntyvän ihmisen lihasmassan määrään vaikuttavat henkilön alkuperäinen lihasmassa sekä vähenemisnopeus, joka 50 ikävuoden jälkeen on noin 1-2 % vuodessa. (Marcell 2003.) Tätä puoltaa myös Janssenin ym. (2000) 468 koehenkilölle tekemä poikkileikkaustutkimus, jossa selvitettiin ikääntymisen vaikutuksia lihasmassaan. He havaitsivat, että absoluuttisen lihasmassan merkittävä väheneminen alkaa 45 ikävuoden jälkeen ja että lihasmassan väheneminen selittyi pääasiassa alaraajojen lihasmassan vähenemisellä, joka oli ikävuosien 20 - 70 välillä noin 25 %. Osasyynä lihasmassan suurempaan vähenemiseen alaraajojen lihaksissa voi olla se, että alaraajojen lihasten käyttö vähenee ikääntymisen myötä enemmän kuin yläraajojen. (Janssen ym. 2000.) Toisaalta Dohertyn (2003) mukaan tutkimukset ovat raportoineet lihaksen poikkipinta-alan pienenevän noin 40 % ikävuosien 20 ja 60 välillä. Lihasmassan vähenemisen on suurempaa miehillä kuin naisilla (Janssen ym. 2000), minkä on oletettu liittyvän hormonaalisiin tekijöihin, kuten kasvuhormonin, IGF-hormonin ja testosteronin tuotantoon ja toimintaan (Doherty 2003).

### 4.1 Muutokset lihassoluissa

Atrofia eli lihasmassan väheneminen voi johtua joko lihasten käyttämättömyydestä (akuutti atrofia) tai fysiologisista ja hermostollisista vanhenemismuutoksista (krooninen atrofia). Ikääntyvillä lihasmassan vähenemisen syynä voidaan yleisesti pitää näitä molempia. Krooniselle atrofialle on ominaista "lihaslaadun" ja siten suhteellisen voiman (F/PCSA) pieneneminen, mitä puolestaan ei tapahdu akuutissa atrofiassa. (Barton & Morris, 2003.) Tämän osoittaa myös Lexellin ym. (1988) (Kubon ym. (2003) mukaan) tutkimus, jossa nuorilla koehenkilöillä (20v) lihassolut täyttivät noin 70 % lihaksen



poikkipinta-alasta, kun taas 80-vuotiailla lihasolujen osuus pinta-alasta oli vain noin 50 %. Loput lihaksen pinta-alasta sisälsi rasvaa, sidekudosta ja verisuonia. (Kubo ym. 2003.)

Vanheneminen vaikuttaa yksittäisten lihasolujen muutoksiin eritavalla kuin pelkkä fyysisen aktiivisuuden puute. Immobilisaation aiheuttamassa akuutissa atrofiassa lihasolujen ominaisuudet pyrkivät siirtymään kohti nopeita lihassoluja, jolloin hitaiden oksidatiivisten solujen (OS) osuus vähenee ja nopeiden oksidatiivis-glykolyyttisten solujen (FOG) osuus kasvaa (Enoka 2001, s.428-429). Ikääntymisen myötä tapahtuvassa atrofiassa sekä lihasolujen kokoetta niiden määrä pienenee ja erityisesti nopeiden solujen osuus lihaksen poikkipinta-alasta pienenee. Tutkimukset ovat osittaneet, että nopeiden solujen pinta-ala pienenee noin 20-50%, kun taas hitaiden solujen pinta-ala pienenee vain 1-25%. (Doherty 2003.) Lihasmassan väheneminen ei kuitenkaan kokonaan selity lihassolujen pinta-alan pienenemisellä, joten myös lihasolujen määrän on vähennyttävä. Vaikka nopeiden solujen koon on huomattu pienenevän hitaita enemmän, ei niiden määrän laskussa ole huomattu eroa hitaisiin lihassoluihin (Enoka, 2001 s.446). Lexell kollegoineen (1988) raportoi sekä nopeiden että hitaiden lihassolujen määrän vähenevän noin 50 % ikävuosien 20 ja 80 välillä. Lexell onkin tutkimuksissaan havainnut, että vastus lateralis -lihaksen pinta-ala selittyy paremmin lihassolujen kokonaismäärällä kuin nopeiden (tyypin II) solujen määrällä tai koolla. (Doherty 2003.) Hitaiden lihassolujen parempaa säilymistä on yritetty selittää mm. sillä, että pienet ja hitaat motoriset yksiköt pyrkivät kompensoimaan motoristen yksiköiden vähentymistä kasvattamalla kokoaan ja hermottamalla nopeita soluja. Kun lihassolua hermotetaan uudelleen, hitaat motoneuronit ovat nopeita motoneuroneita voimakkaampia. Hitaiden MY:en koko siis kasvaa ja samalla nopeat solut muuttuvat hitaammiksi. (Marcell 2003.) Vanhuksilla on havaittu tapahtuvan myös eri lihassolujen ryhmäytymistä, mikä tarkoittaa nopeiden ja hitaiden solujen ilmenemistä ryhmissä satunnaisen järjestyksen sijasta (Doherty 2003).

## 4.2 Lihasmassan vähenemiseen vaikuttavat tekijät

Kroonisen atrofiaan johtavia tekijöitä on useita ja tarkkaa selvyyttä eri tekijöiden osuudesta ja vaikutusmekanismeista ei ole. Lihasmassan pienenemistä pidetään seurauksena  $\alpha$ - motoneuronien syötteen vähenemisestä. Hermosolujen vähenemistä tapahtuu vanhenemisen myötä useissa keskushermoston osissa, mutta tarkkaa tietoa ei ole siitä, kuinka paljon fyysinen aktiivisuus, hormonitasot tai geneettiset tekijät vaikuttavat motoristen yksiköiden (MY) säilymiseen. (Roubenoff & Hughes 2000.) Poikkileikkaustutkimukset osoittavat, että motoristen yksiköiden määrä säilyy 60 ikävuoteen asti, jonka jälkeen niiden määrä alkaa vähetä nopeasti (Doherty 2003).

$\alpha$ -motoneuronien vähenemisen lisäksi ikääntyvän ihmisen elimistössä tapahtuu useita fysiologisia muutoksia, jotka hidastavat tai ehkäisevät lihakseen vaikuttavien anabolisten ärsykkeiden toimintaa. Esimerkiksi hormonaaliset muutokset, joista erityisesti sukupuolihormonien (testosteroni, estrogeeni) väheneminen saattaa selittää lihasmassan vähenemisestä hyvinkin paljon. Varsinkin miehillä testosteronin lasku voi olla merkittävässä osassa. Myös kasvuhormonin erityys alkaa laskea 30 ikävuoden jälkeen, mutta sen vaikutuksesta lihaskatoon ei ole tarkkaa tietoa. Eräs ihmisen tärkeistä lihakseen vaikuttavista anabolisista hormoneista on insuliini. Ikääntyessä ihmisen insuliiniresistanssi kasvaa, minkä on epäilty vaikuttavan lihasmassan vähenemiseen. Insuliiniresistenssin kasvuun vaikuttavat ikääntymisen lisäksi myös rasvaprosentin lisääntyminen ja fyysisen aktiivisuuden vähentyminen. Ravinnon laatu ja energiatasapaino voivat keskeisesti vaikuttaa vanhuksen lihasmassan määrään. Vanhenemisen on tutkittu johtavan painon vähenemiseen 60 ikävuoden jälkeen, mikä voi olla osasyynä myös lihasmassan vähenemiseen. Jos energian ja erityisesti proteiinien saanti on riittämätöntä, proteiinimetabolian tasapaino häiriintyy ja proteiinien hajoaminen kasvaa suuremmaksi kuin proteiinisynteesi. (Roubenoff & Hughes 2000.)

### 4.3 Lihaksen koon vaikutus pennaatiokulmaan ja lihassykimppujen pituuteen

Tutkimukset ovat osoittaneet lihaksen paksuuden olevan yhteydessä lihassykimppujen pennaatiokulmaan (mm. Kawakami ym. 1993; Kawakami ym. 1995; Kawakami ym. 2000). Näiden tutkimusten perusteella paksuissa lihaksissa on myös suuremmat pennaatiokulmat. Myös lihassykimppujen pituuden on huomattu olevan yhteydessä lihaksen kokoon (Narici 1999; Kearns ym. 2000). Vanhenemisen aiheuttaman lihasmassan vähenemisen voidaan siten olettaa pienentävän pennaatiokulmaa. Muutokset lihassykimppujen pituudessa viittaavat peräkkäisten sarkomeerien lukumäärän muuttumiseen, kun taas pennaatiokulman ja lihaksen paksuuden muuttuminen viittaa vierekkäisten sarkomeerien lukumäärän muuttumiseen.

Ikääntymisen vaikutusta lihasarkkitehtuuriin makroskooppisella tasolla on tutkittu vain vähän. Narici ym.(2003) tutkivat gastrocnemius medialis -lihaksen (GM) tilavuutta, pennaatiokulmaa ja lihassykimppujen pituutta nuorilla (n=14, 27-42 vuotta) ja vanhoilla (n=16, 70-81 vuotta) koehenkilöillä. Tutkimuksen mukaan lihaksen tilavuus, pennaatiokulma ja lihassyiden pituus olivat nuorilla koehenkilöillä 25,3 %, 13,2 % ja 10,2 % suuremmat verrattuna vanhoihin koehenkilöihin. Tästä johtuen myös fysiologinen pinta-ala oli nuorilla 15,2 % suurempi. Myös Kubo ym. (2003a) tutkivat GM- lihaksen, vastus lateraloksen (VL) ja triceps brachiin (TB) arkkitehtuuria 20-79 -vuotiailla naisilla. GM- ja VL- lihasten paksuudet ja VL -lihaksen pennaatiokulma pienenevät merkitsevästi iän lisääntyessä. Lihassykimppujen pituudessa ei sen sijaan havaittu merkitsevää yhteisvaihtelua iän kanssa missään tutkituissa lihaksissa. Koska TB -lihaksessa ei havaittu muutoksia missään tutkituista muuttujista, Kubon tutkimus tukee sitä, että vanhenemismuutokset ovat suurempia alaraajojen lihaksistossa.

## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT

1. Muuttuuko vastus lateraliksien, gastrocnemius medialiksien tai vastus lateraliksien pennaatiokulma iän myötä?

H<sub>1</sub>: Pennaatiokulma muuttuu iän myötä.

H<sub>0</sub>: Iällä ei ole vaikutusta pennaatiokulmaan.

2. Muuttuuko raajan pituuteen suhteutettu lihaksen paksuus iän myötä?

H<sub>1</sub>: Raajan pituuteen suhteutettu lihaksen paksuus pienenee iän myötä.

H<sub>0</sub>: Iällä ei ole vaikutusta raajan pituuteen suhteutettuun lihaksen paksuuteen.

3. Onko raajan pituuteen suhteutetulla lihaksen paksuudella vaikutusta pennaatiokulmaan?

H<sub>3</sub>: Raajan pituuteen suhteutettu lihaksen paksuus vaikuttaa pennaatiokulmaan.

H<sub>0</sub>: Raajan pituuteen suhteutetulla lihaksen paksuudella ei ole vaikutusta pennaatiokulmaan.

4. Muuttuvatko lihassykimppujen pituudet iän myötä?

H<sub>4</sub>: Lihassykimppujen pituudet muuttuvat iän myötä.

H<sub>0</sub>: Iällä ei ole vaikutusta lihassykimppujen pituuksiin.

5. Muuttuvatko raajan pituuteen suhteutetut lihassykimppujen pituudet iän myötä?

H<sub>5</sub>: Raajan pituuteen suhteutetut lihassykimppujen pituudet muuttuvat iän myötä.

H<sub>0</sub>: Iällä ei ole vaikutusta raajan pituuteen suhteutettujen lihassykimppujen pituuksiin.

6. Muuttuuko vastus lateraliksien ja gastrocnemius medialiksien tai lateraliksien paksuuksien suhde iän myötä?

H<sub>6</sub>: Lihasten paksuuksien suhde muuttuu iän myötä.

H<sub>0</sub>: Paksuuksien suhteessa ei tapahdu muutosta iän myötä.

## 6 MENETELMÄT

### 6.1 Koehenkilöt ja tutkimusasetelma

*Koehenkilöt.* Tutkimukseen osallistui 93 16-85-vuotiasta miespikajuoksijaa. Kaikki koehenkilöt harrastivat kilpailumielessä pikajuoksua ja harjoitteluun kuului juoksuharjoittelun lisäksi myös voimaharjoittelua. Kaikki koehenkilöt osallistuivat vapaaehtoisesti tutkimukseen. Tutkimus oli osa laajempaa 9 kuukautta kestävästä pikajuoksu- ja voimaharjoittelututkimuksesta. Lihasarkkitehtuurimittaukset tehtiin tutkimuksen 3 viikkoa kestäneiden loppumittausten yhteydessä touko- ja kesäkuussa 2003. Jokainen koehenkilö testattiin yhden päivän aikana niin, että testipäiväpäivänä käytiin ensin juoksu- ja hyppytesteissä, jonka jälkeen suoritettiin lihasmittaukset. Osa koehenkilöistä joutui tosin aikataulullisista syistä käymään ennen lihasmittauksia myös voimatesteissä, jotka normaalisti tehtiin vasta lihasmittausten jälkeen.

*Raajojen pituuksien mittaaminen.* Raajojen pituudet mitattiin käyttäen hyväksi anatomisia kiintopisteitä, jotka voitiin tunnustella ihon pinnalta. Reiden pituutena käytettiin reisiluun ulomman nivelnastan ja ison sarvennoisen korkeimman kohdan välimatkaa. Säären pituus sen sijaan mitattiin pohjeluun ulkokehrästä sääriluun ulompaan nivelnastaan.

*Lihasarkkitehtuurimittaus.* Pennaatiokulmat ja lihaspaksuudet mitattiin vastus lateraliksesta (VL), gastrocnemius medialisesta (GM) ja gastrocnemius lateraliksesta (GL) yhden kerran jokaiselta koehenkilöltä. Pennaatiokulmat ja lihaspaksuudet mitattiin lihaksen päältä reaaliaikaisella B-mallin ultraäänilaitteella (SSD-1400, Aloka, Japan), jonka äänipäänä oli 7,5 MHz:n lineaarinen monikideanturi. Reaaliaikaisessa ultraäänessä kuvan muodostumiseen kuluva aika on pieni ja anturin liikkeen vaikutusta voitiin seurata suoraan näyttöruudusta. Mittaukset tehtiin VL:sta koehenkilön ollessa selinmakuulla jalka ojennettuna suoraksi eteen. Koehenkilöitä pyydettiin pitämään jalka mahdollisimman rentona mittauksen ajan. Mittauskohtana käytettiin reisiluun puoltaväliä. GM ja GL sen sijaan mitattiin koehenkilöiden seistessä noin 50cm korkealla tasolla, jolloin nilkan asento oli noin 90°. Mittauspaikaksi GM:lle ja GL:lle

laskettiin 30% säären pituudesta, joka mitattiin sääriluun ulommasta nivelnastasta alaspäin. Suorakulmion muotoinen äänipää asetettiin kohtisuoraan ihon pintaa vastaan lihaksen pitkittäisakselin suuntaisesti. Anturin ja ihon välissä käytettiin vesiliukoista pastaa, joka auttaa akustisen kontaktin saamisessa ilman ihon painallusta.

Jokaisesta lihaksesta otettiin pysäytyskuvia niin kauan, kunnes kuvasta näkyi selvästi lihassykimppujen rajat ja kiinnittyminen syvään aponeuroosiin. Kun hyvä pysäytyskuva oli saatu kuvaruudulle, siitä analysoitiin ultraäänilaitteessa olevan ohjelman avulla lihaksen paksuus ja lihassykimppujen pennaatiokulma. Lihaspaksuus määritettiin kuvan keskikohdasta niin, että paksuudeksi määriteltiin ihonalaisen rasvakudoksen ja lihaksen rajapinnan etäisyys lihaksen sisemmästä aponeuroosista. Pennaatiokulma määritettiin kuvassa mahdollisimman selvänä (ohuena) ja pitkänä näkyvästä lihassykimpusta. Pennaatiokulma määritettiin jokaisesta kuvasta suhteessa syvään aponeuroosiin. Lihassykimppujen pituus arvioitiin lihaspaksuuden ja pennaatiokulman avulla kaavaa 2 (ks. sivu 9) käyttäen, koska lihassykimpun kiinnittymiskohta pinnalliseen aponeuroosiin näkyi vain harvoin samassa kuvassa kuin kiinnittymiskohta syvään aponeuroosiin.

*Tilastollinen käsittely.* Tilastolliset analyysit tehtiin käyttäen SPSS 11.0 ohjelmaa. Muuttujien välisiä suhteita tutkittiin Pearsonin korrelaatiokerroimen avulla ja sen merkitsevyyttä kaksisuuntaisella testillä, jossa erehtymisriskiksi valittiin korkeintaan 5% ( $p < 0,05$  eli korrelaatiokerroin on tilastollisesti melkein merkitsevä). Ikäryhmien välisiä eroja testattiin kahden riippumattoman otokset t-testillä. Ennen t-testin suorittamista tarkistettiin varianssien yhtä suuruudet Levenen f-testillä ( $p > 0,05$ ). Merkitsevyytensä t-testissä asetettiin  $p < 0,05$ .

## **6.2 Menetelmän arviointia**

Ultraäänikuvaus on erityisen herkkä erilaisille kuvausvirheille verrattuna esimerkiksi röntgen- ja magneettikuvaukseen. Hyvänlaatuisen kuvan aikaansaamiseksi ja virhetulkintojen välttämiseksi ultraäänen käyttäjän on tärkeää olla selvillä ultraäänen heijastumiseen liittyvistä ilmiöistä, tyypillisistä kuvausvirheistä sekä laitteen oikeanlaisista säädöistä ennen mittaamisen aloittamista. Kuvaajalla on suuri vastuu

kuvauksen laadusta, sillä kuvaaja määrää kaiken aikaa, mistä tasosta ja suunnasta kuva muodostuu. Kuvatasojen etsiminen on satunnaista, standardoimatonta ja vie aikaa, mikä hankaloittaa ultraäänikuvauksen tekemistä. Reaaliaikainen ultraääni mahdollistaa onneksi kuvauskohteen jatkuvan seuraamisen, mutta tarkan kuvan saaminen kohteesta voi vaatia useiden kuvaustasojen läpikäymisen. Anturin oikeanlainen asettelu ihon pinnalle voi olla hankalaa ja ultraäänitutkimukseen totuttelu ja perehtyminen vaatiikin runsaasti opetusta ja harjoittelemista. (Linnavuo 1999.)

*Lihaksen koon mittaaminen.* Lihaksen koon mittaamisen kultaisena standardina on pidetty magneettikuvausta (MRI) ja tietokonetomografiaa. Lihaskoon määrittämisessä ultraäänen validiteettia onkin tutkittu edellä mainittujen menetelmien avulla (mm. Bemben 2002; Dupont ym. 2001; Sipilä & Suominen 1993). Bemben (2002) vertasi ultraäänellä mitattuja biceps femoris -lihaksen poikkipinta-aloja magneettikuvauksella saatuihin arvoihin. Tutkimuksessa ei havaittu merkitsevää eroa näiden tekniikoiden välillä. Tosin ultraäänimittausten variaatiokertoimet olivat suurempia kuin MRI-mittausten (6,7% vs. 5,2%). Dupont ym. (2001) puolestaan havaitsivat, että 30° muutos anturin kulmassa antoi 15 % virheen lihaksen paksuudessa, mikä johtuu ultraäänen heijastumisesta aponeuroosin rajapinnalta. Tämän vuoksi anturin oikeanlainen suuntaus on erittäin tärkeää luotettavien tulosten saamiseksi. Lisäksi koon mittaamisessa mittauskohta on merkittävä huolella, jos mittaukset toistetaan erillisinä päivinä (esimerkiksi voimaharjoittelun vaikutuksia seurattaessa). Jos mittauspaikka vaihtuu, voi virheen suuruus kasvaa niin suureksi, että lihaksen todellista muutosta ei pystytä havaitsemaan (Perkin ym. 2003). Nivelkulman vakioiminen poikkipinta-alan mittaamisessa on myös tärkeää, sillä lihaksen pituus vaihtelee nivelkulman muuttuessa, jolloin myös lihaksen poikkipinta-ala ja paksuus voivat muuttua (Narici ym. 1996). Lepotilassa mitattaessa on myös varmistuttava siitä, että lihaksessa ei ole jännitystä, mikä aiheuttaisi poikkipinta-alan kasvua ja reliabiliteetin huononemista (Bemben 2002). Perkin ym. (2003) tutkivat artikkelissaan ultraäänen validiteettia ja reliabiliteettia lihaskoon mittaamisessa kriittisesti valittujen artikkelien (12kpl) perusteella. He tulivat siihen tulokseen, että ultraääni on hyvin luotettava menetelmä tarkasti kontrolloiduissa olosuhteissa, mutta esimerkiksi rasvan määrä, aponeuroosien suuntautuneisuus, lihaksen muoto ja patologia voivat vaikuttaa mittauksen validiteettiin.

*Lihasarkkitehtuurin mittaaminen.* Ultraäänimittauksen validiteettia on tutkittu vertaamalla lihasleikkauksella saatuja tuloksia ultraäänellä saatuihin tuloksiin. Narici ym. (1996) mittasivat 62-vuotiaalta miesvainajalta gastrocnemius medialis -lihaksen arkkitehtuuria sekä ultraäänellä että lihasleikkauksella. He saivat luotettavia tuloksia pennaatiokulmille (sekä pinnalliseen että ulompaan aponeuroosiin nähden), lihassykimppujen pituudelle ja aponeuroosien välimatkalle. Myös Kawakami ym. (1993) tekivät samanlaisen tutkimuksen triceps brachii -lihakselle kolmella iäkkäällä vainajalla (2 miestä ja yksi nainen). Heidän mittauksissaan ultraäänellä ja lihasleikkauksella saatujen tulosten ero oli pennaatiokulmassa 0-1mm ja lihaksen paksuudessa 0-1°. Nämä tutkimukset osoittavat, että ultraääni antaa hyviä tuloksia ainakin lepotilamittauksissa.

Ultraäänimittausten reliabiliteettimittauksia on tehty huomattavasti enemmän, sillä useimmat tutkimukset ovat varmistaneet oman mittausasetelmansa reliabiliteetin toistamalla saman mittauksen useita kertoja yhdelle tai useammalle henkilölle ja laskemalla mittausten variaatiokertoimen. Kun lihassykimppun pituus arvioidaan pennaatiokulman ja lihaspaksuuden avulla, vaikuttaa tulokseen sekä pennaatiokulman että lihaspaksuuden mittausvirhe. Tämän vuoksi lihassykimppujen pituudessa on useimmissa mittauksissa havaittu eniten myös vaihtelua. Esimerkiksi Kubo ym. (2003b) tekivät reliabiliteettimittaukset vastus lateralikselle, triceps brachille ja gastrocnemius medialikselle. Mittaukset toistettiin kahtena erillisenä päivänä 33 koehenkilölle. Variaatiokertoimeksi saatiin lihaspaksuudelle 2,5%, pennaatiokulmalla 3,5% ja lihassykimppun pituudelle 5,0%. Myös Narici ym. (1996) tutkivat ultraäänen reliabiliteettia. He käyttivät mittauksissa vain yhtä koehenkilöä, mutta toistivat mittaukset 7 kertaa. Mittaukset tehtiin gastrocnemius medialikselle ja variaatiokertoimiksi saatiin aponeuroosien välimatkalle 4,8 % (<2mm), pennaatiokulmalle 9,8% (<2°) sekä lihassykimppujen pituudelle 5,9% (<4mm). Abe ym. (2000) tutkimuksessa vastus lateraloksen, gastrocnemius medialoksen ja lateraloksen lihassykimppujen pituuden variaatiokerroin oli 4,7 %, mikä on lähellä myös edellä mainittuja arvoja. Rutherford ja Jones (1992) puolestaan tutkivat vastus lateraloksen sekä vastus intermediuksen pennaatiokulmia ja saivat 7 koehenkilöllä toistettujen mittausten variaatiokertoimeksi 13,5%. Kawakami ym. (1998). Reliabiliteetti riippuu siis hyvin paljon mittaajasta, mittausasetelmasta ja mittauksen kontrolloinnista (paikan tarkkuudesta jne.). Variaatiokertoimet ovatkin vaihdelleet hyvin paljon erin tutkimusten



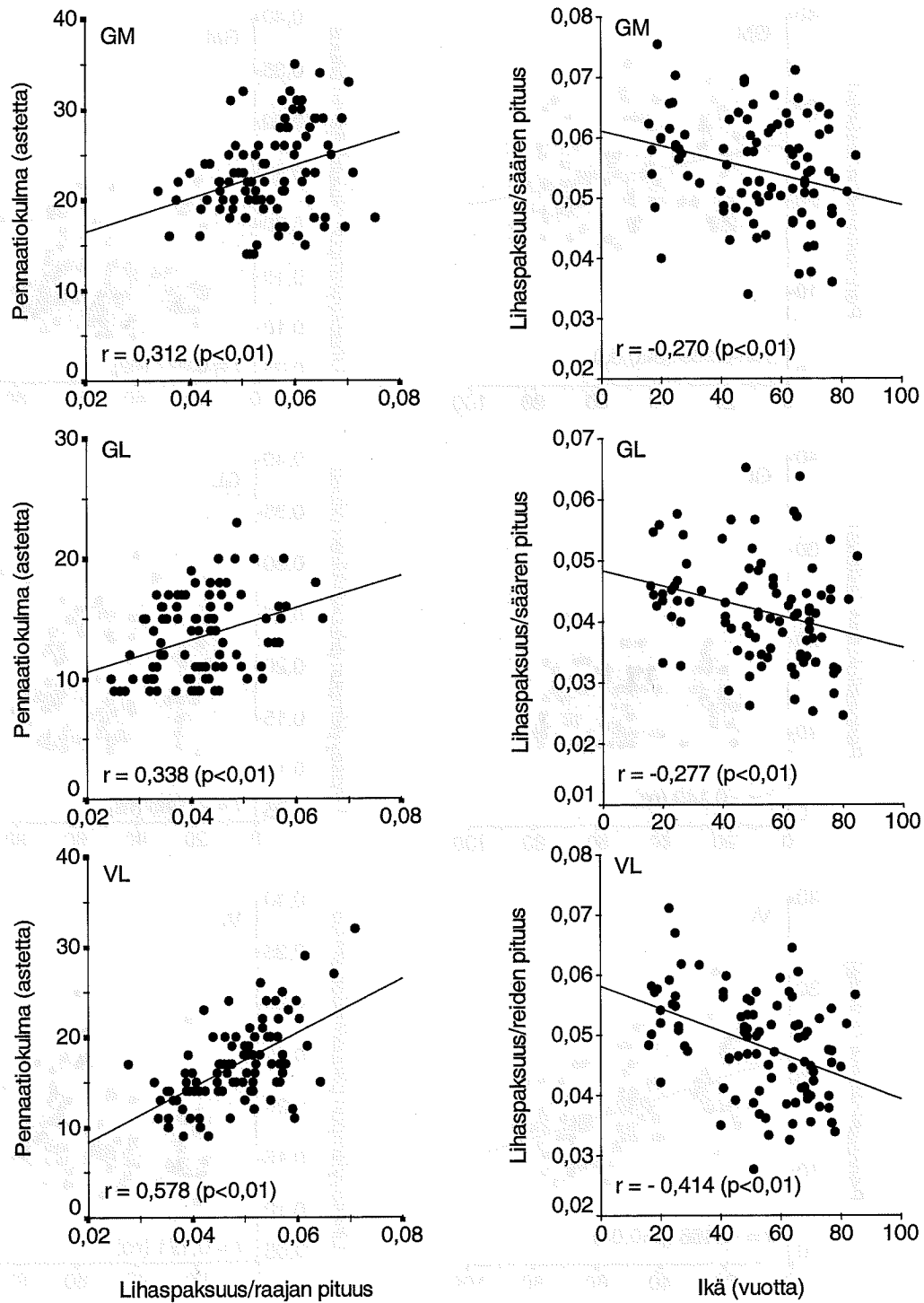
välillä. Esimerkiksi Kawakami ym. (1998) saivat poikkeuksellisen pieniä variaatiokertoimen arvoja triceps suraan pennaatiokulmalle ja lihassykimppujen pituudelle (0-2%), kun he toistivat jokaisen koehenkilön mittaukset kolmesti. Reliabiliteetin parantamiseksi tutkimuksissa onkin ollut tapana tehdä useampi kuin yksi mittausta yhtä koehenkilöä kohden. Esimerkiksi pennaatiokulma ja lihaksen paksuus on määritetty samasta pysäytyskuvasta useamman kuin yhden kerran tai vaihtoehtoisesti määrittäminen on tehty useamman pysäytyskuvan avulla. Käytettyjen pysäytyskuvien määrällä voikin olla merkittävä vaikutus mittauksen variaatiokertoimeen.

## 7 TULOKSET

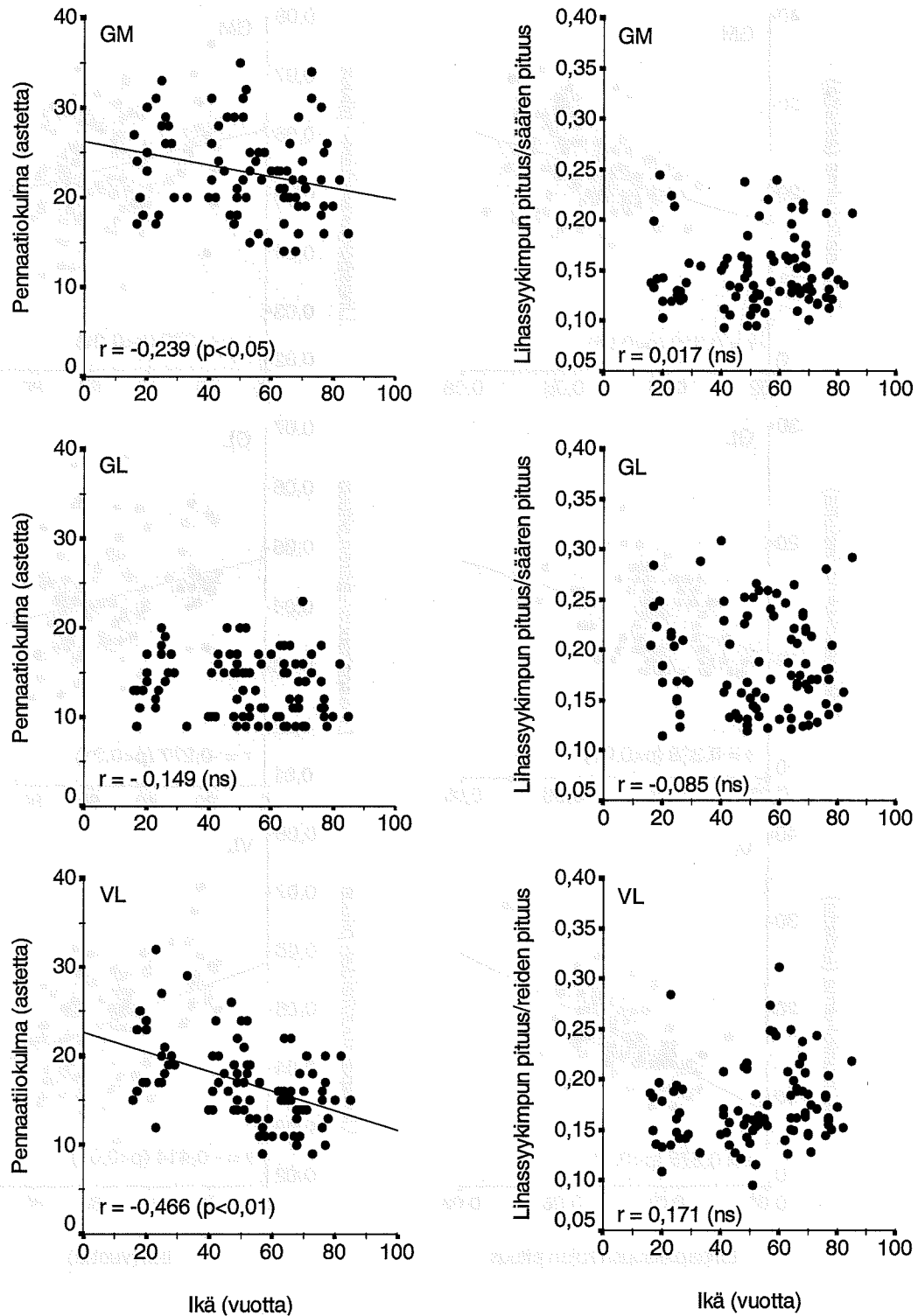
Pennaatiokulman ja raajan pituuteen suhteutetun lihaspaksuuden suhde oli positiivinen ja merkitsevä ( $p < 0,01$ ) kaikissa mitatuista lihaksista (kuva 7, vasemmalla). Myös absoluuttisen lihaspaksuuden ja pennaatiokulman suhde oli merkitsevä kaikilla lihaksilla (GM,  $r = 0,321$ ; VL,  $r = 0,586$ ; GL,  $r = 0,335$ ). Raajan pituuteen suhteutettu lihaksen paksuus väheni merkitsevästi ( $p < 0,01$ ) kaikissa lihaksissa (kuva 7, oikealla) iän lisääntyessä. Kun absoluuttista lihaspaksuutta verrattiin ikään, yhteisvaihtelu oli vielä voimakkaampaa, vaikka merkitsevyytensä pysyikin samana ( $p < 0,01$ ; VL,  $r = -0,465$ ; GM,  $r = -0,497$ ; GL,  $r = -0,454$ ). Iällä ei ollut vaikutusta VL:n ja GM:n lihaspaksuuksien suhteeseen eikä myöskään VL:n ja GL:n lihaspaksuuksiin suhteeseen.

Kuvasta 8 (vasemmalla) nähdään iän vaikutus mitattujen lihasten pennaatiokulmiin. Iän lisääntyessä pennaatiokulma pieneni merkitsevästi VL:ssa ( $p < 0,01$ ) ja GM:ssa ( $p < 0,05$ ) mutta ei GL:ssa. Raajan pituuteen suhteutetut lihassykimppujen pituudet eivät sen sijaan muuttuneet merkitsevästi missään mitatuista lihaksista (kuva 10, oikealla). Iällä ei ollut vaikutusta myöskään absoluuttisten lihassykimppujen pituuteen.

Lihaspaksuuksia, pennaatiokulmia sekä absoluuttista ja raajan pituuteen suhteutettuja lihassykimppujen pituuksia vertailtiin myös kahden ikäryhmän välillä. Nuorten ryhmä koostui niistä koehenkilöistä, joiden ikä oli 20-40 -vuotta ( $n = 16$ ) ja vanhojen ikäryhmään kuuluivat kaikki yli 70 -vuotiaat koehenkilöt ( $n = 17$ ). Tulokset on esitetty taulukossa 1. Vanhojen lihaspaksuudet olivat merkitsevästi ( $p < 0,001$ ) nuorten lihaspaksuuksia pienemmät kaikissa mitatuissa lihaksissa. Myös raajan pituuteen suhteutetut lihaspaksuudet erosivat merkitsevästi vanhojen nuorten välillä (VL,  $p < 0,01$ ; GM,  $p < 0,05$ ; GL,  $p < 0,05$ ). Mielenkiintoinen tulos oli myös se, että vanhojen säären pituus oli merkitsevästi nuorten säären pituutta lyhyempi ( $p < 0,001$ ). Pennaatiokulmat eivät eronneet merkitsevästi kuin VL:ssa ( $p < 0,01$ ). Lihassykimppujen pituuksissa ei havaittu eroa nuorten ja vanhojen välillä missään mitatuista lihaksista.



KUVA 7. Vasemmalla: Raajan pituuteen suhteutetun lihaspaksuuden vaikutus pennaatiokulmaan gastrocnemius medialiksessa (GM), gastrocnemius lateraliksessa (GL) ja vastus lateraliksessa (VL). Oikealla: Iän vaikutus raajan pituuteen suhteutettuun lihaspaksuuteen gastrocnemius medialiksessa (GM), gastrocnemius lateraliksessa (GL) ja vastus lateraliksessa (VL).



KUVA 8. Vasemmalla: Iän vaikutus pennaatiokulman suuruuteen gastrocnemius medialiksessa (GM), gastrocnemius lateraliksessa (GL) ja vastus lateraliksessa (VL). Oikealla: Iän vaikutus raajan pituuteen suhteutettuun lihassykipun pituuteen gastrocnemius medialiksessa (GM), gastrocnemius lateraliksessa (GL) ja vastus lateraliksessa (VL).

TAULUKKO 1. Vastus lateraliuksen (VL), gastrocnemius medialiksen (GM) ja gastrocnemius lateraliuksen (GL) lihaspaksuudet, pennaatiokulmat ja lihassykimppujen pituudet 20-40 – vuotiailla (n=16) ja 70-85-vuotiailla (n=17).

	Nuoret 20-40 -vuotiaat (n = 16)			Vanhat 70-85 -vuotiaat (n = 18)		
	Keskiarvo (SD)	CV (%)	Vaihtelu- väli	Keskiarvo (SD)	CV (%)	Vaihtelu- väli
Ikä (vuotta)	25,9 (5,1)	19,7	20-40	75,5 (4,3)***	5,6	70-85
Pituus (cm)	179,3 (4,4)	2,5	171,5- 186,0	170,7 (5,7)***	3,3	161,5- 182,0
Massa (kg)	77,4 (4,3)		69,5-84,9	71,0 (9,4)*		58,5-92,5
Säären pituus (cm)	41,3 (2,2)	5,2	38,0-46,0	38,3 (1,9)***	9,9	35,5-42,5
Reiden pituus (cm)	45,7 (2,1)	4,6	39,5-52,5	45,0 (2,6)	5,7	39,5-49,5
Lihaspaksuus (cm)						
VL	2,48 (0,41)	16,5	1,70-3,13	1,98(0,31)***	15,9	1,43-2,49
GM	2,40 (0,27)	11,1	1,68-2,71	1,93 (0,32)***	16,5	1,44-2,52
GL	1,86 (0,28)	14,9	1,28-2,25	1,45 (0,32)***	22,8	0,90-2,11
Pennaatiokulma (°)						
VL	20,6 (5,3)	26,0	12-32	15,3 (3,2)**	20,7	9-20
GM	25,1 (4,9)	19,5	17-33	22,3 (5,2)	23,5	16-34
GL	14,8 (3,2)	21,7	9-20	13,1 (3,9)	29,5	9-23
Lihassykimppun pituus (cm)						
VL	7,40 (1,9)	25,5	4,53-12,51	7,68 (1,3)	17,2	5,99-11,19
GM	5,85 (1,3)	23,1	4,30-8,76	5,21 (1,0)	20,0	4,27-8,15
GL	7,66 (2,3)	29,9	4,79-12,96	6,71 (1,8)	26,6	4,73-12,06
Lihassykimppun pituus/raajan pituus						
VL	0,16 (0,04)	30,3	0,11-0,28	0,17 (0,03)	16,7	0,13-0,24
GM	0,14 (0,03)	23,5	0,10-0,22	0,14 (0,03)	20,6	0,10-0,21
GL	0,19 (0,05)	29,1	0,11-0,31	0,18 (0,05)	26,7	0,12-0,29

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001 verrattuna nuorten ryhmään

## 8 POHDINTA

### 8.1 Iän vaikutus lihasarkkitehtuuriin

*Lihaspaksuudet.* Sekä absoluuttiset että raajan pituuteen suhteutetut lihaspaksuudet pienenevät kaikissa kolmessa lihaksissa merkitsevästi iän lisääntyessä, mikä tukee aikaisempien tutkimusten tuloksia (mm. Kubo ym. 2003a; Kubo ym. 2003b). Kubo ym. (2003a) raportoivat suhteellisen lihaspaksuuden vähenevän merkitsevästi naisilla VL:ssa ( $r = -0,276$ ) ja GM:ssä ( $r = -0,201$ ) mutta eivät tibialis anteriorissa ( $r = 0,040$ ). Samat tutkijat (Kubo ym. 2000b) tekivät myös ikäryhmävertailua nuorten (20-39-vuotta) ja vanhojen (60-85-vuotta) välillä (VL, GM ja tibialis anterior) ja saivat tulokseksi, että suhteelliset lihaspaksuudet erosivat miehillä ja naisilla merkitsevästi vain VL:ssa ( $p < 0,001$ ), vaikka absoluuttiset lihaspaksuudet erosivat sekä VL:ssa että GM:ssä ( $p < 0,001$ ). Tässä tutkimuksessa ikäryhmien vertailussa saatiin merkitsevä ero kaikkiin lihaksiin sekä absoluuttisina että suhteellisina arvoina tarkasteltuna. Yksi syy siihen, että esimerkiksi Kubo ym. (2000b) eivät saaneet merkitsevää eroa GM:n suhteellisessa paksuudessa on se, että myös raajojen pituudet olivat merkitsevästi pienemmät vanhojen ryhmällä. Säären pituus pieneni merkitsevästi myös tässä tutkimuksessa ( $p < 0,001$ ). Tämä osoittaa sen, että raajojen pituus on otettava aina huomioon, kun tutkitaan ikääntymisen vaikutuksia lihaksen paksuuteen tai poikkipinta-alaan.

Lihaspaksuuksien suhteet (VL/GM ja VL/GL) eivät muuttuneet merkitsevästi iän myötä, vaikka korrelaatioanalyysi osoitti, että iän yhteisvaihtelu VL:n kanssa oli voimakkaampaa kuin GM:n ja GL:n. Lihaspaksuuksien suhteen muuttumattomuus on ristiriidassa aikaisempien tutkimusten kanssa, joissa VL:n ja GM:n suhteen on raportoitu pienenevän ikääntyneillä (Kubo ym. 2003a; Kubo ym. 2003b). Tutkijat ovat epäilleet, että syynä VL:n selvempään lihasmassan vähenemiseen voisi olla nilkan ojentajalihaksien (GM ja GL) suurempi suhteellinen aktiivisuustaso (verrattuna maksimivoimaan) normaalissa päivittäisessä elämässä verrattuna polven ojentajalihaksien aktiivisuuteen (VL) (Kubo ym. 2003a). Säännöllinen, polven ojentajalihaksia aktivoiva juoksu- ja voimaharjoittelu saattaakin vähentää VL:n ja GM:n

lihaspaksuuksien suhteen muuttumista. Kubon ym. (2003b) saamat arvot VL:n ja GM.:n absoluuttiselle lihaspaksuudelle vastaavat sekä nuorten (VL, 2,51cm; GM, 2,28cm) että vanhojen (VL, 1,83cm; GM, 1,93cm) ryhmällä hyvin tämän tutkimuksen arvoja. Tämä on kiinnostava tulos siinä mielessä, että Kubon koehenkilöt eivät harrastaneet säännöllistä liikuntaa. Nuorten ryhmän lihaspaksuudet vastaavat kuitenkin VL:ta lukuun ottamatta kohtalaisen hyvin pikajuoksijoille raportoituja arvoja (VL, 2,74cm; GM, 2,39cm; GL,1,94cm, Abe ym. 2000). Harjoittelun hyötyä kuvastaa puolestaan se, että vanhojen ryhmän arvot näyttävät poikkeavan nuorille inaktiivisille kontrollihenkilöille raportoiduista arvoista vain VL:ssa (esim. Abe ym. 2000: VL 2,32cm; GM 1,97cm; GL 1,59cm ja Kearns ym. 2000: VL 2,32cm; GM 1,99cm; GL 1,61cm). Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että säännöllinen juoksu- ja voimaharjoittelu eivät riitä täysin pysäyttämään ikääntymisen aiheuttamaan lihaspaksuuden vähenemistä.

**Pennaatiokulma vs. lihaspaksuus.** Pennaatiokulman ja lihaspaksuuden yhteisvaihtelu oli merkitsevää kaikissa tutkituissa lihaksissa. Tämä tulos on samansuuntainen myös muiden aikaisempien tutkimusten kanssa (mm. Kawakami ym. 1993, Kawakami ym. 1995; Kearns ym. 2000; Kubo ym. 2003a, Kanehisa ym. 2003). Tutkimuksen tulos tukee oletusta siitä, että lihaksen hypertrofioituessa myös pennaatiokulma saattaa suurentua. Pennaatiokulman suureneminen voi olla seurausta yksittäisten lihassolujen koon kasvamisesta, sillä suurempi pennaatiokulma mahdollistaa suuremman fysiologisen pinta-alan ja siis myös suurempien yksittäisten lihassolujen mahtumisen tiettyyn lihastilavuuteen. Koska yksittäisten lihassolujen pinta-ala on verrannollinen fysiologiseen pinta-alaan, suurentuu PCSA enemmän kuin ACSA lihaksen hypertrofioituessa. Lihaspaksuus sen sijaan enemmän verrannollinen ACSA:an, mikä aiheuttaa sen, että lihaspaksuuden ja pennaatiokulman muutokset eivät täysin kulje käsi kädessä. (Aagaard ym. 2001.)

**Pennaatiokulmat.** Ikä vaikutti korrelaatioanalyysin avulla tarkasteltuna merkitsevästi VL:n sekä GM:n, mutta ei GL:n pennaatiokulmaan. Ikäryhmävertailussa merkitsevyys saatiin kuitenkin vain VL:lle. Myös Kubon ym. (2003b) tutkimuksessa ikäryhmien pennaatiokulmat erosivat vain VL:ssa merkitsevästi toisistaan. Lisäksi Kubo ym. (2003a) saivat merkitsevän eron vain VL:een, kun he vertailivat eri-ikäisten naisten pennaatiokulmia korrelaatioanalyysillä. Narici ym. 2003) sen sijaan raportoivat GM:n pennaatiokulman eroavan merkitsevästi fyysisesti aktiivisten nuorten ja vanhojen

miesten välillä. Pennaatiokulmien absoluuttiset arvot poikkeavat vanhojen ryhmällä kirjallisuudessa inaktiivisille nuorille raportoiduista arvoista vain VL:ssa (esim. Abe ym. 2000: VL 19,5°; GM 20,4°; GL 13,2° ja Kubo ym. 2003: VL 16,5°, GM 21,9° ja Kearns ym. 2000: VL 19,9°, GM 21,3°; GL 13,5°), mikä tukee sitä, että vastaava oli huomattavissa myös lihaspaksuuksissa (ks. sivun 31 alku). Ikäryhmävertailun ja edellisten huomioiden perusteella onkin todennäköistä, että juoksu- ja voimaharjoittelu eivät pysty täysin ehkäisemään pennaatiokulman pienenemistä VL:ssa, mutta mahdollisesti GM:ssa ja GL:ssa, johtuen mahdollisesti lihasmassan erilaisesta vähenemisestä näissä lihaksissa.

*Lihassykimppujen pituudet.* Tässä tutkimuksessa lihassykimppujen pituudet eivät eronneet merkitsevästi nuorten ja vanhojen välillä. Tämä tulos poikkeaa aikaisemmista tutkimuksista. Esimerkiksi Kubon ym. (2003b) tutkimuksessa lihassykimppujen pituudet erosivat merkitsevästi nuorten ja vanhojen miesten välillä VL:ssa ja GM:ssa ja naisten välillä GM:ssa. Kuitenkin kun lihassykimppujen pituuden suhteutettiin raajan pituuteen, erot eivät olleet enää merkitseviä kuin naisilla VL:ssa. Myös Naricin ym. (2003) tutkimuksessa absoluuttiset lihassykimppujen pituudet erosivat merkitsevästi GM:ssa nuorten ja vanhojen miesten välillä. Yhtenä syynä lihassykimppujen pituuden muuttumattomuuteen tässä tutkimuksessa voikin olla koehenkilöiden fyysisen aktiivisuuden taso, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa koehenkilöt ovat olleet ei-kilpaurheilijoita tai inaktiivisia (mm. Narici ym. 2003; Kubo ym. 2003b). Eläinkokeet ovat osoittaneet, että juoksuharjoittelulla voi olla vaikutusta lihassykimppujen pituuteen. Esimerkiksi Lynn ym. (1998) tutkivat ylä- ja alamäkijuoksun vaikutusta lihakseen rotilla. He havaitsivat, että alamäkijuoksu sai aikaan lihassyiden pitenemistä. Juoksuharjoittelun vaikutuksesta lihassyiden pituuteen ihmisillä ei kuitenkaan ole tarkkaa selvyyttä. Toisaalta tutkimuksissa on raportoitu lihaksen suurenemisen olevan yhteydessä myös lihassyiden pitenemiseen. Esimerkiksi Reeves ym. (2004) tekivät 14 viikkoa kestäneen voimaharjoittelututkimuksen ikääntyneille koehenkilöille ja havaitsivat lihassykimppujen pitenevän ja ACSA:n sekä lihaslavuuden suurenevan merkitsevästi VL:ssa maksimaalisen isometrisen lihassupistuksen aikana. Myös sumopainijoille tehty tutkimus osoittaa, että lihaksen paksuudella ja lihassykimppujen pituudella on merkitsevä positiivinen yhteys (Kearns ym. 2000). Juoksu- ja voimaharjoittelu saattavatkin hidastaa peräkkäisten sarkomeerien vähentymistä ikääntyneillä. Toisaalta myöskään Kubo ym. (2003a) eivät havainneet



lihassykimppujen pituuden muuttuvan, vaikka tutkimuksen naiskoehenkilöt eivät olleet keskivertoa japanilaisnaista aktiivisempia.

Aikaisemmissa tutkimuksissa raportoidut arvot inaktiivisille nuorille (Abe ym. 2000: VL 0,18; GM 0,14; GL 0,18; Kearns ym. 2000: 0,18, GM 0,14; GL 0,18 ja Kubo ym. (2003b): VL 0,174, GM 0,147) ovat vastanneet tässä tutkimuksessa saatuja arvoja sekä vanhojen että nuorten ryhmälle. Tämä osoittaa sen, että raajan pituudella saattaa olla suuri vaikutus lihassykimppujen pituuteen. Absoluuttiset arvot sen sijaan ovat ainakin VL:n kohdalla sekä vanhoilla että nuorilla suurempia kuin kirjallisuudessa raportoidut inaktiivisten nuorten arvot (Abe ym. 2000: VL 7,13cm; GM 5,69cm; GL 7,16cm; Kearns ym. 2000: VL 6,97cm, GM 5,53cm; GL 7,04cm ja Kubo ym. 2003b: VL 6,93cm; GM 5,75cm). Toisaalta vanhojen ryhmän GM:n ja GL:n lihassykimput ovat puolestaan lyhyempiä ja nuorten ryhmällä pidempiä kuin edellä mainittujen tutkimusten tulokset. Syynä GM:n ja GL:n lyhenemiseen voikin olla juuri säären pituuden lyheneminen ikääntymisen myötä. VL:n normaalia pidemmät syyt sekä nuorilla että vanhoilla puoltavat sitä, että harjoittelulla voisi olla vaikutusta lihassyiden pituuteen. Harjoittelun mahdollisia vaikutuksia lihassyiden pitenemiseen on analysoitu mm. Kearnsin ym. (2000) tutkimuksessa.

## 8.2 Tutkimuksen kritiikkiä

Tutkimuksen lähtökohtana oli valita koehenkilöiksi urheilijoita, joiden harjoittelutaustat vastaisivat mahdollisimman hyvin toisiaan, jolloin harjoittelun vaikutukset voitaisiin minimoida ikääntymisen vaikutuksia analysoitaessa. Koehenkilöiden harjoittelumäärät eivät kuitenkaan täysin vastanneet toisiaan, millä on voinut olla vaikutusta tuloksiin. Vanhojen ryhmän arvojen vertailu nuoriin pikajuoksijoihin voi vääristää kuvaa siitä, että harjoittelu ei riitä kompensoimaan ikääntymisen aiheuttamaa lihasmassan vähenemistä. Poikkileikkaustutkimuksen ongelmana onkin juuri se, että voida tietää, mitä esimerkiksi vanhojen ryhmän arvot ovat olleet vaikkapa 20 vuotta sitten. Osa veteraaniurheilijoista on aloittanut urheilun uudelleen pitkän tauon jälkeen tai jopa kokonaan vasta vanhemmalla iällä, millä voi olennaisesti olla vaikutusta lihaksen arkkitehtuuriin. Ei siis voida olettaa, että veteraaniurheilijat ovat olleet nuorena

samanlaisessa kunnossa kuin tutkimuksessa käytetyt nuoret. Tämäntyyppisessä poikkileikkaustutkimuksessa koehenkilöiden vertailu ei annakaan ehkä täysin oikeaa kuvaa iän vaikutuksista lihaksen arkkitehtuuriin. Olisikin ollut mielenkiintoista verrata vanhojen ryhmän tuloksia kontrolliryhmään, joka ei harrasta säännöllistä juoksu- ja voimaharjoittelua. Tosin kirjallisuudesta löytyi mukavasti samalla mittausptokollalla tehtyjä tutkimuksia, joiden kontrolliryhmiä pystyi käyttämään myös tässä tutkimuksessa hyväksi.

Lihaspaksuuden, pennaatiokulman ja lihassykimppujen pituuden mittaukseen liittyviä virheitä on käsitelty tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa sekä menetelmän arvioinnissa. Esimerkiksi lihaspaksuuden mittauksessa mittauspaikalla voi olennaisesti olla vaikutusta mittaustulokseen. Lihakset eivät kiinnity kaikilla ihmisillä samaan kohtaan eivätkä ole samanmuotoiset, joten mittauspaikan vakioiminen saattaa aiheuttaa sen, että joillakin koehenkilöillä mittauskohta on lihaksen paksuin kohta kun taas toisilla ei. Tässä varsinkin harjoittelutaustalla ja käytetyillä harjoitteilla voi olla suurikin vaikutus, sillä voimaharjoittelun on havaittu muuttavan lihaksen muotoa (Narici ym. 1996). Abe ym. (2000) puolestaan havaitsivat pikajuoksijoiden lihaspaksuuden olevan suurempi reiden etuyläosassa mutta ei etualaosassa verrattuna kontrolliryhmään ja kestävyysjuoksijoihin. Myös mittauspaikan tarkkuudessa voi tulla virhettä, koska esimerkiksi reisiluun ison sarvennoisen palpoiminen ihon pinnalta on hankalaa sen suuren koon vuoksi. Lisäksi lihassykimput selvästi näyttävän ultraäänikuvan löytäminen vaati usein pientä mittauspaikan muuttamista ja korjaamista, jolloin vakioitu mittauspaikka ja äänipään kohtisuoruus saattoivat muuttua (ks. kohta 6.3).

Mittaajien kokemattomuus ultraäänien käytössä on tuonut tuloksiin varmasti myös lisävirhettä. Pysäytyskuvan tulkintaa vaikeutti lihasrajojen epäselvyys ja aponeuroosien vinous toisiinsa nähden, mikä vaikutti sekä lihaspaksuuksien että pennaatiokulmien määrittämiseen. Tämän vuoksi tulokseen olisikin ollut hyvä ottaa mukaan useampi yhden mittauksen sijaan. Näin olisi saatu mittaukselle enemmän luotettavuutta. Tutkimuksen miinuksena voidaan pitää myös reliabiliteettimittauksen puuttumista.

Myös koehenkilöiden asennolla mittauksia tehtäessä on voinut olla vaikutusta tuloksiin. Koehenkilöt seisoivat GM:n ja GL:n mittauksessa noin 50cm korkealla penkillä, mikä

aiheutti pohjelihakseen isometrisen jännitystilän. Isometrisen lihassupistuksen on tutkimuksissa havaittu aiheuttavan pennaatiokulman suurenemista (Narici ym. 1996), minkä vuoksi GM:n ja GL:n arvot eivät ole täysin verrattavissa tutkimuksiin, jossa GM:n ja GL:n lihasarkkitehtuuria on tutkittu koehenkilöiden ollessa päinmakuulla. Erityisesti iäkkäimmillä koehenkilöillä seisominen oli usein hieman epävakaata ja lihaksen jännitystilat vaihtelivat selkeästi ultraäänikuvasta katsottuna. Myös VL:n mittaamisessa asento saattoi vaikuttaa hieman tuloksiin, sillä reisi oli täysin vapaana ja saattoi kiertyä luonnolliseen asentoonsa, jolloin polven kulmaa ei pystytty vakioimaan.

### 8.3 Yhteenveto

Pikajuoksulle ominainen harjoittelu ei näytä ehkäisevän ainakaan täysin lihaksen paksuuden ja pennaatiokulman pienenemistä, mutta lihassykimppujen lyhenemiseen sillä voi olla ehkäisevä vaikutus. Mielenkiintoista tutkimuksessa on se, että VL:n lihaspaksuus ja pennaatiokulma olivat vanhojen ryhmällä merkitsevästi nuoria pienemmät, mutta VL:n lihassykimppujen pituus ei eronnut. Tosin samaa ei ollut huomattavissa GM:ssa ja GL:ssa. Johtopäätöksenä tutkimuksen tuloksista voidaan sanoa, että ainakin pikajuoksua harrastavilla miehillä iän myötä tapahtuva lihasatrofia saattaa tapahtua enemmän vierekkäisissä kuin peräkkäisissä sarkomeereissa.

## LÄHTEET

- Abe, T., Fukashiro, S., Harada, Y., & Kawamoto, K. 2001. Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 20(2), 141-147.
- Abe, T., Kumagai, K., & Brechue, W. F. 2000. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 32(6), 1125-1129.
- Barton, E., & Morris, C. 2003. Mechanisms and Strategies to Counter Muscle Atrophy. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 58A(10), 923-926.
- Bemben, M. G. 2002. Use of Diagnostic Ultrasound for Assessing Muscle Size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 103-108.
- Challis, J. H. 2003. Muscle-Tendon Architecture and Athletic Performance. Teoksessa Komi, P. V. (toim.) *Strength and power in sport*, 2<sup>nd</sup> edition. Blackwell Science Malden, Oxford.
- Doherty, T. J. 2003. Invited Review: Aging and Sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*, 95, 1717-1727.
- Dupont, A. Sauerbrei, E., Fenton, P., Shragge, P., Loeb, G., & Richmond, F. 2001. Real-time sonography to estimate muscle thickness: comparison with MRI and CT. *Journal of Clinical Ultrasound*, 29, 230-236.
- Enoka, R.M. 2001. *Neuromechanical basis of kinesiology*. 3<sup>rd</sup> edition. Champaign: Human Kinetics.
- Friederich, J. A., & Brand, R. A. 1990. Muscle fiber architecture in the human lower limb. *Journal of Biomechanics*, 23(1), 91-95.
- Guyton, A.C., & Hall, J.E. 2000. *Textbook of medical physiology*. 10<sup>th</sup> edition. W. B Saunders.
- Herbert, R.D., & Gandevia, S.C. 1995. Changes in pennation with joint angle and muscle torque: in vivo measurements in human brachialis muscle. *Journal of Physiology*, 484.2, 523-532.
- Häkkinen, K., & Häkkinen, A. 1991. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *European Journal of Applied Physiology*, 62, 410-414.

- Iannuzzi-Susich, M., Prestwood, K. M., & Kenny, A. M. 2002. Prevalence of sarcopenia and Predictors of skeletal Muscle Mass in Healthy, Older Men and Women. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 57A(12), M772-M777.
- Kanehisa, H., Muraoka, Y., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. 2003. Fascicle Arrangements of Vastus Lateralis and Gastrocnemius Muscles in Highly Trained Soccer Players and Swimmers of Both Genders. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 90-95.
- Kawakami, Y., Abe, T., & Fukunaga, T. 1993. Muscle fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology* 74(6), 2740-2744.
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S., & Fukunaga, T. 1995. Training induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology*, 72, 37-43.
- Kawakami, Y., Ichinose, Y., Kubo, K., Ito, M., Imai, M., & Fukunaga, T. 2000. Architecture of contracting human muscles and its functional significance. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 88-98.
- Kawakami, Y., Ichinose, Y., & Fukunaga, T. 1998. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *Journal of Applied Physiology*, 85, 398-404.
- Kearns, C. F., Abe, T., & Brechue, W. F. 2000. Muscle enlargement in sumo wrestlers includes increased muscle fascicle length. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 289-296.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Azuma, K., Ishizu, M., Kuno, S., Okada, M., & Fukunaga, T. 2003a. Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (1), 39-44.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Azuma, K., Ishizu, M., Kuno, S., Okada, M., & Fukunaga, T. 2003b. Muscle Architectural Characteristics in Young and Elderly Men and Women. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 125-130.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W.F., Ryushi, T., Takano, S., & Mizuno, M. 2000. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88, 811-816.
- Lexell, J., Henrikson-Larsen, B., Winblad, B., & Sjostrom, M. 1983. Distribution of different fibre types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross-sections. *Muscle & Nerve*, 6, 588-595.

- Lieber, R.L., & Frieden, J. 2000. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*, 23, 1647-1666.
- Linnavuo, M. 1999. Bioelektroniikan laboratoriotyöt, opetusmoniste. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki. Saatavilla [www.muodossa.fi](http://www.muodossa.fi) <<http://www.hut.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/302/Ultra/om2.htm>>10.4.2004
- Lynn, R., Talbot, J. A., & Morgan, D. L. 1998. Differences in rat skeletal muscle after incline and decline running. *Journal of Applied Physiology*, 85, 98-104.
- Marcell, T. J. 2003. Sarcopenia: causes, Consequences, and Preventions. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 58A(10), 911-916.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. 2001. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5<sup>th</sup> Edition. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore.
- Muramatsu, T., Muraoka, T., Kawakami, Y., Shibayama, A., & Fukunaga, T. 2002. In vivo determination of fascicle curvature in contracting human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 92, 129-134.
- Muramatsu, T., Muraoka, T., Takeshita, D., Y., Kawakami, Y., Hirano, Y., & Fukunaga, T. 2001. Mechanical properties of tendon and aponeurosis of human gastrocnemius muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1671-1678.
- Narici, M. V., Binzoni, T., Hiltbrand, E., Fasel, J., Terrier, F., & Cerretelli, P. 1996. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest and during graded isometric contractions. *Journal of Physiology*, 496.1, 287-297.
- Narici, M. 1999. Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9, 97-103.
- Narici, M. V., Maganaris, C., N., Reeves, N. D., & Capodaglio, P. 2003. Effect of aging on human muscle architecture. *Journal of Applied Physiology*, 95, 2229-2234.
- Perkin, H. M., Bond, E. A., Thompson, J., Woods, E., & Smith, C. 2003. Real time ultrasound: an objective measure of skeletal muscle. *Physical Therapy Reviews*, 8, 99-108.
- Rassier, D. E., MacIntosh, B. R., & Herzog, W. 1999. Length dependence of active force production in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1445-1457.
- Roubenoff, R., & Hughes, V. A. 2000. Sarcopenia: Current Concepts. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 55A(12), M716-M724.

- Rugg, S. G., Gregor, R. J., Mandelbaum, B. R., & Chiu, L. 1990. In vivo moment arm calculations at the ankle using magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Biomechanics*, 23, 495-501.
- Sacks, R. D. & Roy, R. R. 1982. Architecture of the hind limb muscles of cats: Functional significance. *Journal of Morphology*, 173, 185-195.
- Sipilä, S., & Suominen, H. 1993. Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly trained and untrained women. *Muscle & Nerve*, 16,194-300.
- Styf, J. Ballard, R., Aratow, M. Crenshaw, A. Watenpaugh, D., & Hargens, A.R. 1995. Intramuscular pressure and torque during isometric, concentric and eccentric muscular activity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5, 291-296.

Wright, S. D., Gordon, R. J., Mandelstam, B. R., & Cypel, L. (1990). A review of  
relationships in the alkali-saline wetlands of the Colorado Plateau.  
Bioscience, 40, 402-407.

Wright, R. D., & Boy, R. W. (1983). A synthesis of the bird fauna of the  
Colorado Plateau. Journal of Field Ornithology, 14, 147-153.

Wright, R. D., & Boy, R. W. (1985). Patterns of bird diversity and  
abundance in the Colorado Plateau. Journal of Field Ornithology, 16, 1-10.

Wright, R. D., Boy, R. W., & Cypel, L. (1987). The bird fauna of the  
Colorado Plateau: A review of its composition and distribution.  
Journal of Field Ornithology, 18, 1-10.