

**IÄN YHTEYS ALARAAJOJEN LIHASTEN KOKOON JA ARKKITEHTUURISIIN
OMINAISUUKSIIN NOPEUS- JA KESTÄVYYSLAJIEN URHEILIJOILLA SEKÄ
VERROKEILLA**

Iida Peltonen

Gerontologia ja kansanterveyden
pro gradu -tutkielma
Kevät 2018
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Iida Peltonen (2018). Iän yhteys alaraajojen lihasten kokoon ja arkkitehtuuriin ominaisuuksiin nopeus- ja kestävyyslajien urheilijoilla sekä verrokeilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, gerontologian ja kansanterveyden pro gradu -tutkielma, 34 s.

Iän on todettu olevan negatiivisessa yhteydessä lihaksen kokoon ja lihaksen arkkitehtuuriin ominaisuuksiin. Fyysisen aktiivisuuden ja kilpaurheiluun liittyvän intensiivisen liikunnan harrastamisen on todettu taas olevan positiivisessa yhteydessä lihaksen kokoon ja lihasarkkitehtuuriin. Ikääntyvät urheilijat saattavat näin ollen hyötyä terveyden ja toimintakyvyn näkökulmasta ikääntyessään harrastetusta kilpaurheilusta. Tutkielman tarkoituksena oli selvittää iän ja lähes elinikäisen kilpaurheiluharrastuksen yhteyksiä alaraajojen lihasten kokoon ja lihasarkkitehtuuriin.

Tutkimukseen osallistui 66 alle 60 vuotiasta ($38,9 \pm 15,3$) ja 85 yli 60 vuotiasta tai vanhempaa ($75,3 \pm 5,5$) miestä, jotka jakautuivat urheilutaustan mukaan pikajuoksijoihin, kestävyysurheilijoihin ja harjoittelemattomiin verrokkeihin. Reiden (vastus lateralis VL, vastus medialis VM, vastus intermedius VI, rectus femoris RF) ja pohkeen (gastrocnemius lateralis GL, gastrocnemius medialis GM) lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri mitattiin ultraäänikuvauksella. Ryhmien välisiä eroja analysoitiin riippumattoman otoksen t-testillä ja Mann-Whitney U – testillä.

Kaikissa kolmessa ryhmässä nuorempien tutkittavien lihasten koko oli suurempi kuin ikääntyneillä tutkittavilla ($p < 0.05$). Iäkkäillä pikajuoksijoilla oli pienemmät lihassykimppujen pennaatiokulmat VL -lihaksessa ($p = 0.006$) ja GM -lihaksessa ($p = 0.04$), kuin nuoremmilla pikajuoksijoilla.

Ikääntyneillä verrokeilla oli lyhyemmät lihassykimput VL -lihaksessa ($p = 0.016$) ja GL -lihaksessa ($p = 0,030$), kuin nuorilla verrokeilla. Myös ikääntyneillä kestävyysurheilijoilla oli lyhyemmät lihassykimput VL- ($p = 0.006$) ja GL- ($p = 0.004$) lihaksissa nuoriin kestävyysurheilijoihin verrattuna. Ikääntyneillä pikajuoksijoilla oli lyhyemmät lihassykimput nilkan ojentajissa (GM $p = 0.012$; GL $p = 0.007$) kuin nuorilla pikajuoksijoilla. Ikääntyneillä pikajuoksijoilla oli ikääntyneisiin verrokkeihin nähden suurempi RF – lihaksen poikkipinta-ala ($p = 0.018$) sekä GL – lihaksen lihassykimppujen pennaatiokulma ($p = 0.011$). Ikääntyneillä kestävyysurheilijoilla VM – lihaksen paksuus ($p = 0.009$) oli suurempi kuin ikääntyneillä verrokeilla.

Nuorten ja iäkkäiden urheilijoiden sekä verrokkien tulokset osoittavat, että ikä näyttäisi olevan yhteydessä lihaksen kokoon sekä lihassykimppujen pituuteen. Verratessa iäkkäitä pikajuoksijoita, kestävyysurheilijoita ja verrokkeja keskenään näyttäisi siltä, että pitkäaikaisen kilpaurheiluharrastuksen yhteys lihaksen kokoon ja lihasarkkitehtuuriin on verrattain vähäinen.

Avainsanat: Ikääntyminen, lihasarkkitehtuuri, harjoittelu, ultraäänikuvannus

ABSTRACT

Iida Peltonen (2018). The connection of age and competitive sport activity to the size and architectural features of the lower limbs' muscles in the sprint-runners and endurance athletes and controls, Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis of Gerontology and Public Health, 34 pages.

Age has been found to be negatively linked to the size and the architectural features of the muscle. Physical activity and competitive sports have been found to be positively related to the muscle size and the muscle architecture. Older athletes may therefore benefit, to some extent, from background in competitive sports as they age. The purpose of this study was to determine the relationships between age and nearly lifelong competitive sports, and lower limb muscle size and muscle architecture.

The study involved total of 151 young and middle-aged (age <59.9 (38.9 ± 15.3) years) and older (age > 60.0 (75.3 ± 5.5) years) men, who were divided according to their sports background to the sprintrunners, endurance athletes, and sedentary controls. The thigh (vastus lateralis VL, vastus medialis VM, vastus intermedius VI, rectus femoris RF) and calf (gastrocnemius lateralis GL, gastrocnemius medialis GM) muscle size and muscle architecture were measured by ultrasonography. Differences between the groups were analyzed by independent sample t-test and the Mann-Whitney U - test.

In all three groups, the muscle size of the young was larger than that of the older subjects ($p < 0.05$). Elderly sprint-runners had smaller pennation angles in VL muscle ($p = 0.006$), and in GM muscle ($p = 0.04$) than young sprint-runners.

The elderly controls had shorter fascicles in VL muscle ($p = 0.016$) and in the GL muscle ($p = 0.030$) than the young controls. Also, the older endurance athletes had shorter fascicles in VL ($p = 0.006$) and in GL ($p = 0.004$) muscles when compared with young endurance athletes. The elderly sprint-runners had shorter fascicles in the extensors of the ankle (GM $p = 0.012$; GL $p = 0.007$) than the young sprint runners. The elderly sprint-runners had higher RF - muscle cross-sectional area ($p = 0.018$) and GL - muscle pennation angel ($p = 0.011$) than the elderly controls. In the elderly endurance athletes the thickness of VM muscle ($p = 0.009$) was higher than in the elderly control subjects.

Older age seems to be connected to the size of the muscle as well as to the length of fascicles. The association of long-term sprint and endurance training with the muscle size and the muscle architecture was, in turn, found to be relatively low.

Key words: Aging, exercise, muscle architecture, ultrasound

KÄYTETYT LYHENTEET

ACSA	anatomical cross-sectional area, anatominen poikkipinta-ala
GL	m. gastrocnemius lateralis, ulompi kaksoiskantalihas
GM	m. gastrocnemius medialis, sisempi kaksoiskantalihas
PCSA	physiological cross-sectional area, fysiologinen poikkipinta-ala
RF	m. rectus femoris, suora reisilihas
VI	m. vastus intermedius, keskimäinen reisilihas
VL	m. vastus lateralis, ulompi reisilihas
VM	m. vastus medialis, sisempi reisilihas

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LIHASTEN RAKENNE JA TOIMINTA.....	3
3 LIHASARKKITEHTUURI JA SEN VAIKUTUS LIHAKSEN TOIMINTAAN.....	5
4 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUKSET LIHAKSEN KOKOON JA LIHASARKKITEHTUURIIN	8
5 LIIKUNNAN VAIKUTUKSET LIHASARKKITEHTUURIIN.....	10
6 LIIKUNNAN VAIKUTUKSET IKÄÄNTYVÄN LIHAKSEN ARKKITEHTUURIIN	12
7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	14
8 TUTKIMUSMENETELMÄT	15
8.1 Tutkimusaineisto, tutkimusasetelma ja tutkittavat	15
8.2 Lihasarkkitehtuurin määrittäminen	15
8.3 Taustamuuttujien määrittäminen.....	16
8.4 Tilastolliset analyysit.....	17
9 TULOKSET	18
10 POHDINTA.....	25
10.1 Tulosten tarkastelu.....	25
10.2 Tutkimusmenetelmien ja -tapojen arviointi	27
10.3 Lopuksi	28
LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Ikääntymisen tiedetään aiheuttavan muutoksia ihmisen lihaksissa. Aikuisiästä alkava ja ikääntyessä jatkuva lihasmassan menetys ja lihasvoiman heikkeneminen on normaalia myös terveille henkilöille (Doherty 2003). Tähän voivat vaikuttaa mm. keskus- ja ääreishermoston toiminnan sekä hormonitoiminnan muutokset, tulehdustilat sekä ravitsemuksen muutokset ikääntyessä (Cruz-Jentoft ym. 2010; Doherty 2003). Lihaksen koon ja lihasvoiman menetyksen lisäksi muutoksia tapahtuu myös lihaksen sisäisessä arkkitehtuurissa: lihassolukimput lyhenevät ja kulma, jossa ne kiinnittyvät lihaskalvoon, muuttuu (esim. Narici ym. 2003; Kubo 2003a; Morse ym. 2005). Myös näiden lihasarkkitehtuuristen muutosten uskotaan olevan yhteydessä lihasten toiminnan heikkenemiseen ikääntyessä, sillä ne vaikuttavat lihaksen toimintaan (Narici ym. 2003; Narici ym. 2016).

Kaikkia lihaksistoon liittyviä muutoksia ei voida selittää pelkästään vanhenemisella ja siihen liittyvillä fysiologisilla muutoksilla, vaan useimmiten lihasten käyttämättömyys sekä vähäisesti liikuntaa sisältävä elämäntyyli vaikuttavat lihasten ominaisuuksiin epäsuotuisasti (Alway ym. 1996). Useat erilaiset fyysistä aktiivisuutta ja lihasvoimaharjoittelua sisältävät interventiot toteavat lihasten ominaisuuksien paranevan ikääntyneilläkin henkilöillä selvästi, kun harjoittelu on säännöllistä (Latham ym. 2004; Suetta ym. 2007).

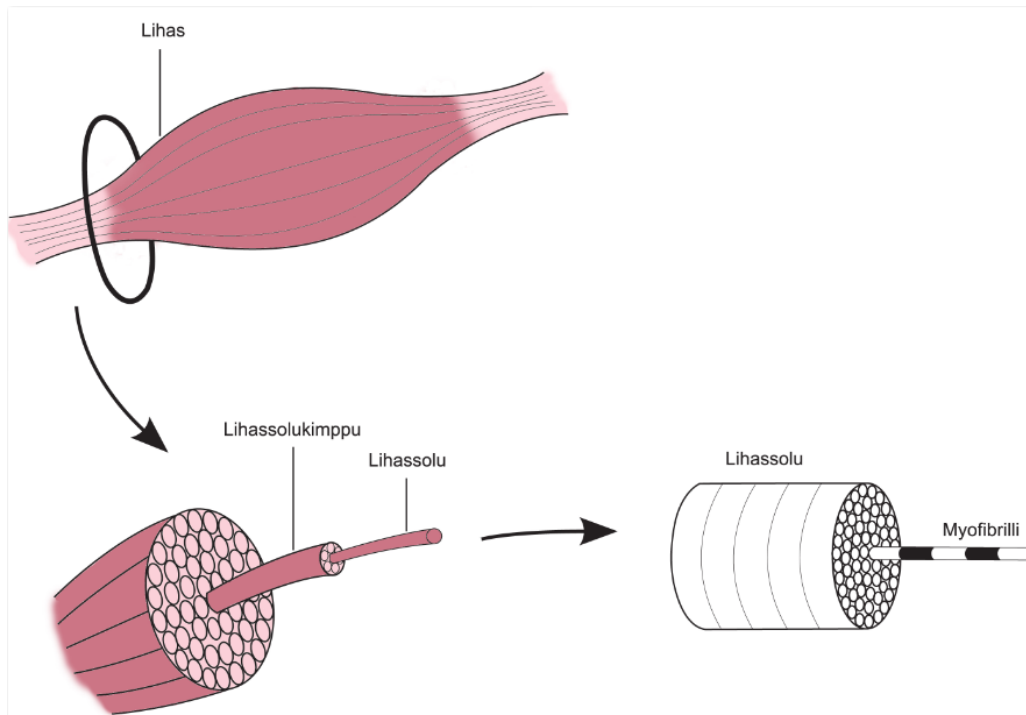
Aikuisurheilijoilla (ent. veteraaniurheilijoilla) liikuntaharrastus on useimmiten jatkunut läpi elämän. Kova harjoittelu ja kilpaileminen voi jatkua hyvinkin korkeaan ikään saakka. Urheilija, joka sitoutuu tiukkaan ja päämäärätietoiseen harjoitteluun on tieteellisesti tarkasteluna ainutlaatuinen (Trappe 2001). Ikääntyneet urheilijat eivät ole vain kiinnostava ihmisryhmä, vaan he myös tarjoavat parhaan tavan tarkastella ikääntymistä ilman kehoon ja lihaksiin kohdistuvaa ja ikääntymiseen usein liittyvää fyysisen aktiivisuuden vähenemistä (Lazarus & Harridge 2007).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää onko korkea ikä yhteydessä alaraajojen lihaksen kokoon ja niiden arkkitehtuuriin ominaisuuksiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa tarkastellaan vaikuttaako liikunta ja aktiivinen urheiluharrastus lihasarkkitehtuurissa tapahtuviin

vanhenemismuutoksiin. Ikääntyneistä urheilijoista tutkimuskohteena ovat pikajuoksijat sekä kestävyysurheilijat, joille on tehty ultraäänitutkimus reiden ja pohkeen alueen lihaksiin. Urheilevien ikääntyneiden henkilöiden lihasten kokoa ja lihasarkkitehtuurisia ominaisuuksia on tutkittu hyvin vähän.

2 LIHASTEN RAKENNE JA TOIMINTA

Luurankolihakset koostuvat poikkijuovaisesta lihaskudoksesta, jonka toiminta on tahdonalaista, ja jonka avulla ihminen liikkuu ja kommunikoii (Nienstedt ym. 2009, 76). Lihaskudos muodostuu lihassoluista, joita kutsutaan myös lihassyiksi. Jokainen lihassy sisältää myofibrilleja, joista jokainen sisältää pieniä supistuvia yksikköjä, sarkomeereja. (Kuva 1.) Sarkomeeri on lihaksen pienin toiminnallinen yksikkö, joka koostuu supistuvista paksuista myosiinifilamenteista ja ohuista aktiinifilamenteista. Nämä filamentit kulkevat toistensa lomassa lihassolussa. (Nienstedt ym. 2009, 77–78; McArdle ym. 2015, 357; Enoka 2008, 207).



KUVA 1. Lihaksen rakenne (mukaillen Frontera & Ochala 2014).

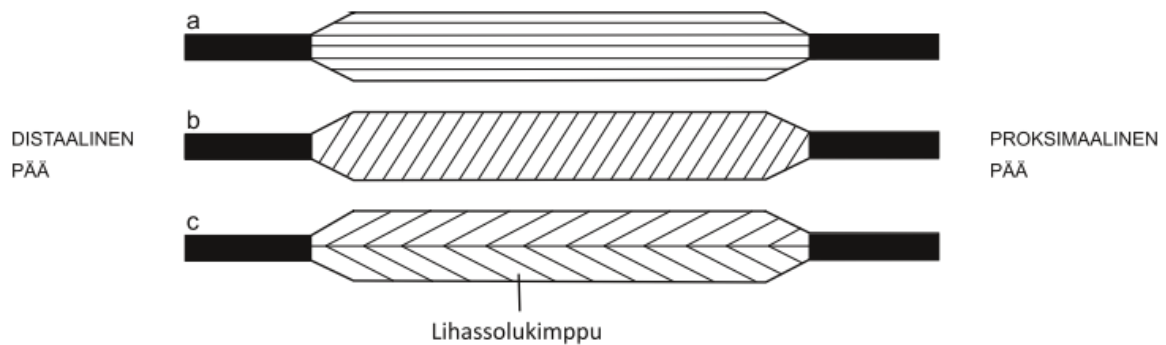
Poikkijuovaisen lihaskudoksen lihassolut voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin niiden anatomian sekä mekaanisen ja kemiallisen toiminnan mukaan (Enoka 2008, 222; McArdle ym. 2010, 371). ATPaasi -entsyymien aktiivisuuden mukaan jaoteltuna näitä ovat hitaat I-tyypin ja nopeat IIa- ja IIb – tyyppien lihassolut. (Enoka ym. 2008, 222) Samankaltainen lihassolu-tyyppien jakauma on saatu myosiinin raskaan ketjun (MHC) isoformien määrittelyn tuloksena (Enoka ym. 2008, 222). Näiden kolmen lihassolutyyppin lisäksi on olemassa erilaisia alatyyppisiä (Nienstedt ym. 2009, 144). Jokaisessa luurankolihaksessa on lomittain eri lihassolutyyppisiä, mutta yleensä

jokin lihassolutyyppi on vallitsevana lihaksen toiminnan mukaan. Paljon tyyppin I lihassoluja sisältävät lihakset ovat kestäviä, mutta hitaita, sillä tyyppin I lihassolut lyhenevät hitaasti tuottaen pitkäkestoista, mutta tyyppin II lihassoluihin nähden vaatimatonta voimaa. Tyyppin Iia ja Iib lihassoluja sisältävät lihakset taas tuottavat nopeasti lyhykestoista voimaa (He ym. 2000; Nienstedt ym. 2009, 144).

Poikkijuovaisten luurankolihasen tahdonalainen toiminta perustuu oikeanaikaisiin hermoimpulsseihin, jotka supistavat lihaskudosta (Nienstedt ym. 2009, 147). Lihassy supistuu, kun aivoista lähtevä hermoimpulssi kulkee aksonihaaraa pitkin ja siirtyy lihassyhyn motorisen päätelevyn kautta. Päätelevyssä syntynyt aktiopotentiaali siirtyy lihassyyn solukalvolle ja menee sen sisään T-järjestelmää pitkin. Kun depolarisaatioaalto saavuttaa tämän järjestelmän, vapautuu sarkoplasmisesta kalvostosta kalsiumioneja. Troponiini sekä tropomyosiini ovat valkuaisainemolekyylejä, jotka kalsiumionien vaikutuksesta siirtyvät peittämästä aktiinin aktiivisia kohtia. Tällöin aktiini pääsee reagoimaan myosiinin kanssa ja myosiinien ulkonevat päät tarttuvat kemiallisen sidoksen avulla aktiiniin muodostaen poikittaissillan. Tämän jälkeen adensiinitrifosfaattina (ATP) varastoitunut energia vapautuu ja sitoutuu myosiinin päähän rikkoen poikittaissillan. Poikittaissidosten irrottua toisistaan myosiini ja aktiini liukuvat toisiinsa nähden, jolloin sarkomeerin ja koko lihaksen pituus muuttuu. Taas myosiini on valmis tarttumaan aktiiniin uudesta kohdasta. Lihassupistuksessa filamentit liukuvat siis toistensa lomassa ja sarkomeerit lyhenevät (Nienstedt ym. 2009, 78–80).

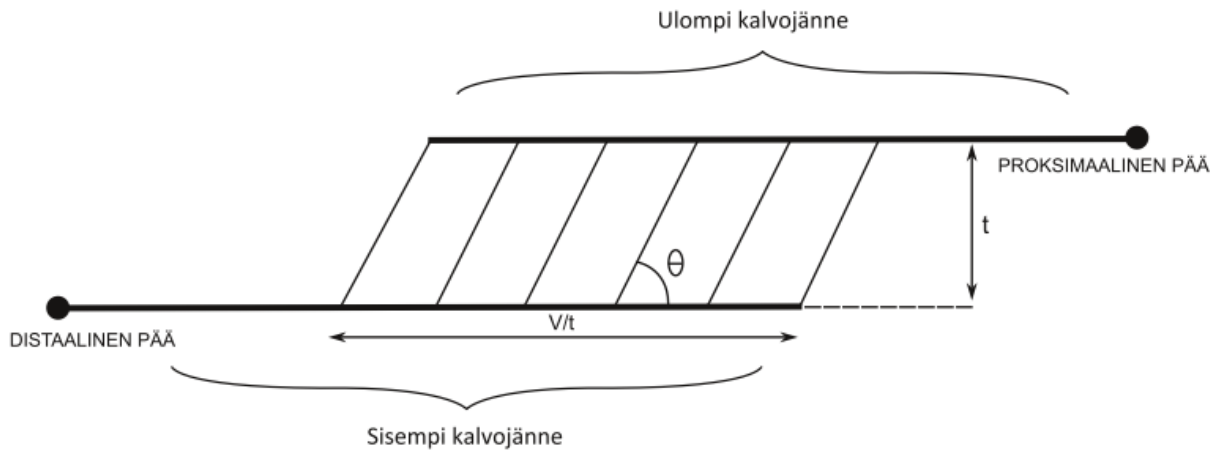
3 LIHASARKKITEHTUURI JA SEN VAIKUTUS LIHAKSEN TOIMINTAAN

Luurankolihakset voidaan jakaa lihasarkkitehtuurinsa mukaan kahteen alatyyppeihin: pitkittäisiin ja sulkamaisiin (Kuva 2.). Pitkittäisen arkkitehtuurin lihaksissa lihassolut ja lihassolukimput kulkevat koko lihaksen pituudelta sen kulkusuunnan mukaan. Sulkamaisissa lihaksissa lihassolut kulkevat viistosti lihaksen kulkusuuntaan nähden kiinnittyen lihasta ympäröivään kalvojänteeseen. Kulmaa, jossa lihassolut kiinnittyvät kalvojänteeseen kutsutaan lihaksen pennaatiokulmaksi. Suurin osa kehon lihaksista kuuluu sulkamaisiin lihaksiin ja niiden lihassolujen pennaatiokulmat yltyvät aina 30° saakka (Narici & Maganaris 2006; Enoka 2008, 217).



KUVA 2. Sulkamainen ja pitkittäinen lihas. a) pitkittäinen lihas, lihassolut kulkevat lihaksen kulkusuunnan mukaisesti b, c) sulkamainen lihas. (mukaiillen Narici & Managanaris 2006).

Pitkittäisissä lihaksissa anatominen poikkipinta-ala (ACSA) leikkaa kaikki lihassolut suorassa kulmassa. Yleensä ACSA mitataan lihaksen paksuimmasta kohdasta. Anatominen poikkipinta-ala vastaa tällöin myös lihaksen fysiologista poikkipinta-alaa (PCSA). Sulkamaisissa lihaksissa anatominen ja fysiologinen poikkipinta-alat eivät vastaa toisiaan, sillä lihassolut kulkevat tiettyssä kulmassa lihaksen sisällä, jolloin yhdestä kohdasta mitattu (anatominen) poikkipinta-ala ei leikkaa kaikkia lihassoluja. Sulkamaisen lihaksen PCSA:ta ei voi mitata suoraan, mutta se voidaan laskea ottamalla huomioon lihaksen tilavuus (V), uloimman ja sisemmän kalvojänteen välinen etäisyys (t) ja lihaksen pennaatiokulma (θ). Kaava on $PCSA = (V/t) \cdot \sin \theta$ (Kuva 3.) (Narici 1999).



KUVA 3. Kaavakuva pennaatiolihaksesta (sulkamainen lihas). (mukaiillen Narici 1999).

Koska sulkamaisissa lihaksissa lihassolukimput eivät kulje lihaksen kulkusuunnan mukaisesti vaan kiinnittyvät kalvojänteeseen, ovat niiden lihassolukimput pitkittäisiin lihaksiin verrattuna lyhyempiä (Narici 1999; McArdle ym. 2015, 362). Tähän ilmiöön vaikuttaa myös lihaksen pennaatiokulma, mikä tarkoittaa kulmaa, jolla lihakset kiinnittyvät kalvojänteeseen. Mitä suurempi pennaatiokulma on, sitä lyhyempiä ovat lihaksen lihassolukimput suhteutettuna lihaksen kokoon (Narici & Maganaris 2006).

Lihaksen sisäinen järjestys näyttelee tärkeää roolia, kun määritellään lihaksen toiminnallisia ominaisuuksia. Sekä pituus-voima että voima-nopeus -suhteet ovat riippuvaisia lihassolujen järjestäytymisestä lihaksen sisällä. Lihaksen pennaatiokulman määrittelee lihassykimppujen pituuden lisäksi supistuvan kudoksen määrän jänteiden välillä. Näin ollen lihaksen pennaatiokulma vaikuttaa suoraan lihaksen voimantuottoon sekä supistumisnopeuteen. (Narici 1999; Narici ym. 2016).

Lihaksen toimintapotentiaali on pitkälti kiinni lihassolujen pituudesta ja lihaksen fysiologisesta pinta-alasta. Pitkissä lihassoluissa, ja näin ollen suoran arkkitehtuurin lihaksissa sarkomeerejä esiintyy enemmän sarjassa eli peräkkäin. Tämä antaa lihakselle mahdollisuuden supistua nopeasti. (Narici 1999; Narici & Maganaris 2006) Sulkamaisissa lihaksissa sarkomeerejä on sarjassa huomattavasti vähemmän verrattuna pitkittäisiin lihaksiin. Tällöin niiden supistumisnopeus on pienempi kuin pitkittäisissä lihaksissa. (Narici 1999). Toisaalta mitä enemmän sarkomeerejä on järjestäytyneinä rinnakkain, eli mitä suurempi lihaksen PCSA on, sitä suuremman maksimivoiman lihas voi tuottaa. (Narici 1999; Narici & Maganaris 2006). Sulkamaisissa lihaksissa on enemmän sarkomeerejä rinnakkain, jolloin niiden PCSA on

suurempi kuin pitkittäisissä lihaksissa. Tämä mahdollistaa suuremman voimantuoton lihaksen massaansa nähden (Narici 1999; Wilson & Lichtwark 2011). Kuitenkin sulkamaisen lihaksen supistuessa lihassykimput kääntyvät lihaksen lyhenemisen seurauksena. Tämä vaikuttaa lihaksen toimintaan huomattavasti eikä näin ollen lihaksen mekaanista toimintaa, kuten nopeusvoima-ominaisuuksia tai lihaksen toimintalaajuutta voida suoraan päätellä lihassolujen pituudesta (Maganaris ym. 1998; Azizi & Roberts 2014).

Lihaksen koon mittaamisen yhtenä tarkimmista menetelmistä on pidetty magneettiikuvausta (MRI) (mm. Bembien 2002; Sanada ym. 2006). Tätä menetelmää hyväksi käyttäen on tutkittu ultraäänien sopivuutta lihaksen koon mittaamiseen. Reeves ym. (2004) mittasivat kuudelta henkilöltä vastus lateralis -lihaksen poikkipinta-alan useamana päivänä ultraääni- ja MRI -laitteella. Mittaustapojen reliabiliteetin ja validiteetin korrelaatiokertoimet olivat todella korkeita. Kuutena eri päivänä tehtyjen mittausten korrelaatiokertoimet erosivat ultraäänessä 2.1 % ja MRI:ssä 0.8 % (Reeves ym. 2004). Kubo ym. (2003b) mittasivat tutkimuksessaan ultraäänien toistettavuutta tekemällä 33 ihmiselle mittauksen kahtena eri päivänä. Mittausten korrelaatiokertoimet olivat suuria ja ne erosivat toisistaan lihaspaksuuden osalta 2,5 %, pennaatiokulman osalta 3,8 % ja lihassykimppun pituuden osalta 5,0 %.

Ultraäänitutkimuksen validiteettiä lihasarkkitehtuurin ja lihaksen koon määrittämiseen on tutkittu vertaamalla lihasleikkauksien avulla vainajilta saatuja tuloksia ultraäänitutkimuksella saatuihin tuloksiin. Kawakami ym. (1993) tutkimuksessa todettiin, että vainajalta lihasleikkauksen avulla mitatun kolmipäisen olkalihaksen lihaspaksuuden ero ultraäänimittauksilla tehtyyn tutkimukseen verrattuna oli vain 0-1 mm ja pennaatiokulman ero 0-1°. Narici ym. (1996) puolestaan tutkivat gastrocnemius medialis – lihasta kolmesta eri mittauspisteestä ja totesivat, että ultraäänimittausten tulokset ovat hyvin lähellä lihasleikkausmenetelmällä saatuja tuloksia tutkittujen lihassolukimppujen pituuden, pennaatiokulman ja uloimman sekä sisemmän kalvojänteen välimatkan arvioinnissa. Vaikka lihassykimppujen pituuden arviointi pennaatiokulman ja lihaspaksuuden avulla on yleisesti käytetty tekniikka, huomasivat Muramatsu ym. (2002), että pennaatiokulman ja lihaspaksuuden avulla laskettu lihassykimppujen pituus aliarvioi lihassykimppujen todellista pituutta n. 6 %.

4 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUKSET LIHAKSEN KOKOON JA LIHASARKKITEHTUURIIN

Ikääntyessä lihassolujen kokonaismäärä lihaksissa vähenee noin 25 ikävuodesta alkaen (Lexell ym. 1988; Faulkner ym. 2008) ja osa lihassoluja hermottavista hermosoluista kuolee (Lexell 1988). Lihassolut myös pienenevät ikääntyessä ja etenkin nopeat II-tyypin lihassolut menettävät kokoaan (Lexell ym. 1988; Andersen 2003; Nilwik ym. 2013). Kun lihassolun hermotusyhteys on lopullisesti poikki ja solu kuolee, korvautuu se rasva- ja sidekudoksella. Tämä selittää mahdollisesti sen, miksi ikääntyneillä on suhteessa vähemmän lihaskudosta ja enemmän rasva- ja sidekudosta kuin nuorilla (Lexell ym. 1988; Kent-Braun ym. 2000).

Lihasten koko on suurimmillaan noin 25 vuoden iässä. Tämän jälkeen aina noin 50 ikävuoteen saakka lihasten koko pienenee maltillisesti noin 10 %. Suurin muutos lihasten koossa tapahtuu kuitenkin 50 ja 80 ikävuoden välillä, jolloin lihasten koon on todettu pienenevän noin 30 % (Lexell ym. 1988). Lihasten koon pienentymiseen ikääntyessä vaikuttavat ensisijaisesti lihassolujen väheneminen ja pienentyminen (Lexell ym. 1988). Nopeiden tyypin II lihassolujen osuus lihaksissa pienenee, jolloin hitaiden tyypin I lihassolujen osuus lihaksessa suurenee (Trappe ym. 1995).

Useiden tutkimusten mukaan ikääntyminen vaikuttaa myös lihaksen arkkitehtuuriin ominaisuuksiin. Pohjelihakseen kuuluva gastrocnemius medialis (GM)- lihaksen lihassykimput näyttäisivät olevan pidempiä nuorilla ikääntyneisiin verrattuna (Narici ym. 2003; Kubo ym. 2003b, Morse ym. 2005; Stenroth ym. 2012). Samankaltaisesta erosta nuorten ja ikääntyvien välillä on viitteitä reiden vastus lateralis (VL) -lihaksessa (Kubo ym. 2003b). Tutkimukset osoittavat, että lihassyiden pituuden erot eri ikäisten henkilöiden välillä eivät kuitenkaan ole merkittäviä, jos lihassyiden pituus normalisoidaan raajan tai lihaksen pituudella (Kubo ym. 2003b; Morse 2005; Stenroth ym. 2016). Ikääntyneillä GM -lihaksen pennaatiokulmat ovat hieman pienemmät kuin nuorilla (Narici ym. 2003; Kubo 2003a; Morse ym. 2005). Myös VL -lihaksen pennaatiokulmat näyttäisivät olevan nuorilla suuremmat kuin ikääntyneillä (Kubo ym. 2003a; Kubo ym. 2003b).

Karamanidis & Arampatzis (2006) tulivat siihen tulokseen, että vaikka heidän tutkimuksessaan 60 -vuotiaiden lihasarkkitehtuurissa ei ollut merkitseviä eroja nuoreen kontrolliryhmään

verrattuna, antoivat tulokset jo viitteitä pennaatiokulman pienenemisestä alaraajojen lihaksissa. Kubo ym. (2003) sekä Narici ym. (2003) tutkimuksissa yli 70 –vuotiaiden muutokset alaraajojen lihasten arkkitehtuurisissa ominaisuuksissa olivat jo merkittäviä nuoriin verrokkeihin verrattuna. Väitöskirjassaan Hoffrén-Mikkola (2014, 54–55) toteaa ikääntyneiden GM-lihasten pennaatiokulmien olevan 5.1 % pienemmät ja lihassykimppujen absoluuttisten pituuksien olevan 5.6 % lyhyemmät kuin nuorilla koehenkilöillä. Tulokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkittäviä (Hoffrén-Mikkola 2014, 54–55).

5 LIIKUNNAN VAIKUTUKSET LIHASARKKITEHTUURIIN

Intensiivinen ja säännöllinen liikuntaharjoittelu ylläpitää ja kehittää lihasten neuromuskulaarisia toimintoja lihastyötavasta ja –kestosta riippuen (Rauramaa 2011, 36; McArdle ym. 2015, 462). Tyypin II lihassoluille on tyypillistä nopea supistuminen mutta huonompi kestävyys. Niitä kehittää raskailla painoilla toteutettu voimaharjoittelu, joka kasvattaa lihasvoiman lisäksi myös lihasten massaa. Lihassolut eivät itsessään lisäänty, vaan yksittäiset lihassolut kasvavat voimaharjoittelun seurauksena suuremmiksi (Rauramaa 2011, 34–40). Lihasarkkitehtuurisista ominaisuuksista voimaharjoittelun on todettu vaikuttavan lihassyiden pennaatiokulmaan. Kawakami ym. (1993) tutkimuksessa kehonrakentajilla oli merkittävästi suuremmat pennaatiokulmat yläraajan triceps brachii -lihaksessa kuin samanikäisillä harjoittelemattomilla koehenkilöillä. Etenkin lihaksen paksuus korreloi vahvasti pennaatiokulman kanssa (Kawakami ym. 1993).

Kestävyysharjoittelulla pyritään kykyyn ylläpitää mahdollisimman korkea työteho pitkän aikaa. Tällöin lihasten hitaat tyypin I lihassolut ovat aktiivisia, sillä niiden tärkein ominaisuus on hyvä valmius aerobiseen energian tuottoon. Kestävyysharjoittelu vaikuttaa myös hengitys- ja verenkiertoelimistöön lisäten sen valmiutta ylläpitää verenkiertoa ja näin ollen lihasten hapensaantia kovassa rasituksessa. (Rauramaa 2011, 36). Tutkimuksissa on vertailtu pikajuoksijoiden ja kestävyysurheilijoiden lihasarkkitehtuurisia ominaisuuksia. Abe ym. (2000) tutkimuksessa lihaspaksuus oli kaikissa tutkituissa lihaksissa (VL, GM ja GL) merkittävästi suurempi sprinttereillä kuin kestävyysurheilijoilla ja harjoittelemattomalla verrokkiryhmällä. Myös naisprinttereillä oli kontroleihin nähden paksummat lihakset ylä- ja alaraajoissa (Abe ym. 2001). Sprinttereihin verrattuna kestävyysjuoksijoilla oli suurempi lihasten pennaatiokulma VL ja GM lihaksissa, muttei GL lihaksessa (Abe ym. 2000). Pennaatiokulma oli kestävyysjuoksijoilla merkittävästi suurempi kuin harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä (Karamanidis & Arampatzis 2006; Abe ym. 2000).

Pikajuoksijan tärkein ominaisuus on nopeus. Lyhyillä juoksumatkoilla pikajuoksija tuottaa suurella supistumisnopeudella suuren määrän voimaa nopeasti. (Häkkinen 1990, 41). Tällaisen nopeusvoiman harjoittaminen aiheuttaa vähemmän lihasmassan kasvua kuin tyypillinen maksimivoimaharjoittelu. Toistot ja liikesuoritukset ovat usein maksiminopeudella tehtäviä, mutta käytettävät kuormat ovat maksimivoimaharjoittelua pienemmät (n. 30-60% maksimista).

(Häkkinen 1990, 87). Pikajuoksun on erityisesti todettu olevan yhteydessä lihassykimppujen pituuteen. Nais- ja miespikajuoksijoilla oli VL, GM ja GL -lihaksissa pidemmät absoluuttiset ja raajan pituuteen suhteutetut lihassykimput verrattuna kestävyysjuoksijoihin ja ei-urheileviin kontroleihin. (Abe ym. 2001; Abe ym. 2000; Kumagai ym. 2000). Lisäksi havaittiin, että nopeammin juoksevilla sprinttereillä (henkilökohtainen ennätys 10.00–10.90 s) oli hieman hitaammin juokseviin (ennätys 11.00–11.70 s) nähden pidemmät lihassykimput em. lihaksissa. Lihassykimppujen pituus saattaa siis olla yksi nopeussuorituskykyyn vaikuttava taustatekijä (Kumagai ym. 2000; Abe ym. 2001).

Liikunnan vaikutuksista lihaksen kokoon ja sen arkkitehtuuriin ominaisuuksiin on raportoitu myös lyhyiden harjoitusinterventioiden avulla. Aagaard ym. (2001) totesivat 14 viikkoa kestäneen voimaharjoittelujakson kasvattaneet VL – lihaksen pennaatiokulmaa, lihaksen anatomista poikkipinta-alaa sekä tyypin II lihassolujen poikkipinta-alaa. Samaan tulokseen tulivat Farup ym. (2012), joskin vain 10 viikon harjoitusohjelmalla. He totesivat myös, ettei kestävyysharjoittelulla saavutettu minkäänlaisia muutoksia lihaksen arkkitehtuurisissa ominaisuuksissa (Farup ym. 2012). Baroni ym. (2013) tutkimuksessa jo neljän viikon eksentrisen polven ojennusharjoitteluinterventio kasvatti RF- ja VL- lihasten paksuutta sekä lihassykimppujen pituuksia. Myös nilkan plantaarifleksion eksentrisen kahdeksan viikon harjoitteluinterventio jälkeen mitattiin tutkittavien lihassolukimppujen pidentyneet GM-lihaksessa (Crill ym. 2014). Tutkittavien lihasten pennaatiokulmista he eivät löytäneet muutoksia (Baroni ym. 2013; Crill ym. 2014). Crill ym. (2014) tutkimuksessa myöskään GM-lihaksen koko ei kasvanut, samoin kun GL-lihaksesta ei löydetty mitään tilastollisesti merkittäviä lihaksen koon tai arkkitehtuurin muutoksia harjoitusinterventio jälkeen (Crill ym. 2014).

Luteberget ym. (2015) tutkivat naisten käsipallojoukkueen 10 viikkoa kestävästä sprinttiharjoitteluinterventio vaikutuksia lihasarkkitehtuuriin. Kaikkien osanottajien VL-lihasten pennaatiokulma kasvoi. Vahva positiivinen korrelaatio löytyi parantuneesta 10 metrin juoksuajan ja kasvaneen pennaatiokulman suuruuden väliltä. Kaikkien tutkittavien VL-lihaksissa lihassykimppujen pituudet kasvoivat. (Luteberget ym. 2015).

6 LIIKUNNAN VAIKUTUKSET IKÄÄNTYVÄN LIHAKSEN ARKKITEHTUURIIN

Elinikäisellä liikuntaharrastuksella näyttäisi olevan lajispesifisiä vaikutuksia lihasten ominaisuuksiin. Mikkelsen ym. (2013) ja Coggan ym. (1993) huomasivat ikääntyneiden kestävyysurheilijoiden etureiden quadriceps femoris -lihaksryhmän olevan paksumpi kuin vähän liikkuvilla verrokeilla. Sen sijaan Trappe ym. (1996) ja Coggan ym. (1993) mukaan alaraajojen lihasten poikkipinta-ala oli ikääntyneillä kestävyysurheilijoilla yhtä suuri tai suurempi kuin verrokeilla. Stenroth ym. (2016) huomasivat iäkkäillä pikajuoksijoilla olevan suurempi poikkipinta-ala GM- lihaksessa verrattuna vähän liikkuviin verrokkeihin. Kestävyysurheilijoilta taas löytyivät lyhyemmät lihassolukimput pohkeen soleus -lihaksesta kuin ikäverrokeilla (Stenroth ym. 2016). Toisaalta Karamanidis & Arampatzis (2006) tutkimuksessa todettiin, että kestävyysharjoittelu saattaa estää lihassykimppuja lyhenemästä ikääntyessä.

Korhonen ym. (2006) on tutkimuksessaan verrannut nuorten ja iäkkäiden pikajuoksijoiden lihaspaksuuksia sekä lihassolukimppujen pituuksia. Tutkimuksessa pikajuoksijoiden VL – lihaksen todetaan pienenevän progressiivisesti nuorten ikäryhmästä (18–33 v.) aina vanhimpaan ikäryhmään (70–84 v.). Lopullinen ero nuorimpien ja ikääntyneimpien pikajuoksijoiden lihaspaksuuksissa oli noin 25 %. Lihassykimppujen pituuksissa ei todettu tapahtuvan tilastollisesti merkittävää muutosta nuorten ja ikääntyneiden pikajuoksijoiden välillä. Tutkimuksessa todettiin myös tyypin I lihassolujen pysyvän ikääntyessä poikkipinta-alaltaan samankaltaisina, mutta tyypin II lihassolujen pienenevän ja menettävän pinta-alaansa lihaksessa vanhemmissa ikäryhmissä (Korhonen ym. 2006).

Ikääntyneillä kestävyysurheilijoilla on tyypillisesti enemmän hitaita tyypin I lihassoluja alaraajojen lihaksissa kuin nopeita tyypin II lihassoluja verrattuna vähän liikkuviin (Trappe ym. 1996; Widrick ym. 1996; Klitgaard ym. 1990) ja voimaharjoittelua tekeviin ikääntyneisiin (Aagaard ym. 2007; Klitgaard ym. 1990). Ikääntyneillä voimaharjoittelijoilla, joilla on useamman vuoden voimaharjoittelutausta takanaan, on todettu olevan huomattavasti suuremmat tyypin II lihassolut alaraajoissa verrattuna saman ikäisiin kestävyysurheilijoihin ja verrokkeihin (Klitgaard ym. 1990; Aagaard ym. 2007). Ikääntyneillä urheilijoilla näyttäisi myös olevan ikäverrokkeja vähemmän lihaksen sisäistä rasvaa (Martin ym. 2000; Sipilä & Suominen 1991).

Lyhyissä harjoitteluinterventioissa on huomattu, että voimaharjoittelu kasvattaa lihassykimppujen pituutta (Reeves ym. 2005) sekä lihaksen poikkipinta-alaa (Scanlon ym. 2014) myös ikääntyneillä henkilöillä. Kestävyysharjoittelu-interventiot taas eivät vaikuta ikääntyessä vähenevään lihasmassaan tai lihaksen kokoon (mm. Jubrias ym. 2001).

7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää iän ja lähes elinikäisen kilpaurheiluharrastuksen yhteyksiä alaraajojen lihasten kokoon ja lihasarkkitehtuuriin.

Tutkimusongelmat ovat:

1. Miten ikääntyneiden ja nuorempien liikuntaa harrastamattomien miesten alaraajojen lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri eroavat toisistaan?
2. Miten ikääntyneiden ja nuorempien pikajuoksijoiden alaraajojen lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri eroavat toisistaan?
3. Miten ikääntyneiden ja nuorempien kestävyysjuoksijoiden alaraajojen lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri eroavat toisistaan?
4. Miten ikääntyneiden pikajuoksijoiden ja saman ikäisten liikuntaa harrastamattomien miesten alaraajojen lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri eroavat toisistaan?
5. Miten ikääntyneiden kestävyysurheilijoiden ja saman ikäisten liikuntaa harrastamattomien miesten alaraajojen lihasten koko ja lihasarkkitehtuuri eroavat toisistaan?

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Tutkimusaineisto, tutkimusasetelma ja tutkittavat

Tutkimus on osa Athlete Aging Study (ATHLAS) –urheilijatutkimusprojektia. Tutkimusaineisto koostuu aktiivisista nuorista ja keski-ikäisistä sekä veteraani-ikäisistä miesurheilijoista. Tutkittavat on rekrytoitu eri lajiliittojen jäsenluetteloista ja tutkimukseen kutsuttiin kirjeitse kahden edellisen vuoden tulosten perusteella kansainvälisellä tai kansallisella tasolla hyvin menestyneitä urheilijoita. Verrokkit rekrytoitiin sähköpostilistojen kautta yliopiston opiskelijoista ja harrasteryhmistä (Keljon nuorisoseura, Ikääntyneiden yliopisto). Tutkimukseen osallistuneista lihasarkkitehtuurimittaukset on tehty 151 miehelle, jotka jakautuvat urheilutaustansa mukaan nopeusurheilijoihin (pikajuoksijat, aitajuoksijat, pituus-, kolmiloikka- ja seiväshyppääjät), kestävyysurheilijoihin (kestävyysjuoksijat, suunnistajat ja hiihtäjät) ja harjoittelemattomiin verrokkeihin. Osallistujien ikäjakauma oli 19–94 vuotta. Tutkittavat on jaettu tässä tutkielmassa kahteen ryhmään iän perusteella: alle 60-vuotiaat ja 60-vuotiaat ja vanhemmat.

8.2 Lihasarkkitehtuurin määrittäminen

Lihasarkkitehtuurimuuttujien määrittämiseen käytettiin ultraäänikuvauslaitetta ja 7,5 MHz äänipäätä (SSD-1400; Aloka Pro Sound alpha 10, Tokyo, Japan). Mittauspaikat määriteltiin anatomisten maamerkkien avulla: VM-lihaksen mittaukset 30 % ja VL-, VI- sekä RF- lihakset 50 % reisiluun lateraalikondyylin ja ison sarvennoisen välisestä etäisyydestä. GM- ja GL- lihakset taas 30 % fibulan lateraalimalleolin ja tibian lateraalikondyylin välisestä etäisyydestä (Korhonen ym. 2008). Äänipää asetettiin väliainetta käyttäen kohtisuoraan lihakseen nähden, jolloin ihonalainen kudος ja ylempi ja alempi kalvojänne sekä niiden välissä kulkevat lihassykimput pystyttiin määrittelemään. Oikean kohdan tarkennuttua otettiin 3-5 pysäytyskuvaa. Kuvista mittaamalla pystyttiin selvittämään määrättyjen lihasten paksuudet, poikkipinta-alat sekä lihassykimppujen pennaatiokulmat. Kuvien analysointi tapahtui tietokoneohjelma ImageJ:n avulla. Mittausten jälkeen jokaisen tutkittavan jokaiselle muuttujalle on laskettu keskiarvo, jota käytetään tilastollisten analyysien tekoon.

Lihasten paksuus. VL ja RF lihasten paksuudeksi määriteltiin ihonalaisen rasvakudoksen ja lihaksen rajapinnan väliin jäävän kalvojänteen etäisyys sisemmästä kalvosta. VI lihaksen paksuudeksi taas VL tai RF lihaksen rajapinnan kalvojänteen ja luun kaiun välinen etäisyys. VM lihaksen paksuudeksi määriteltiin kalvojänteen ja lihaksen rajapinnan etäisyys luun kaiusta.

Lihasten poikkipinta-alat. RF ja VL lihasten poikkipinta-ala määritettiin ultraäänen avulla siten, että äänipäätä liikutettiin reiden sisäsyryltä etureiden kautta sivusyrylle niin, että ultraäänilaite skannasi leikkeitä muodostaen niistä lopulta poikkileikkauskuvan polven ojentajista (Stenroth ym. 2012).

Lihasten pennaatiokulmat määriteltiin kolmesta lihaksesta: VL-, GM- ja GL -lihaksista. Pennaatiokulma määritettiin ultraäänikuvista lihassykimpun ja sisemmän kalvojänteen välisenä kulmana. *Lihassyyn pituus* arvioitiin lihaksen paksuuden ja pennaatiokulman mukaan seuraavalla kaavalla: Lihaksen paksuus $\times \sin(\text{pennaatiokulma})^{-1}$. Lihassykimppujen pituudet laskettiin VL, GM ja GL -lihaksista.

8.3 Taustamuuttujien määrittäminen

Tutkittavien pituus on mitattu senttimetrimittalla mitattavan seistessä seinää vasten. Painon mittaaminen on suoritettu henkilövaan avulla. Tutkittavien ikä on määritetty kysymällä heidän syntymäaikaansa ja määrittämällä tästä tarkka ikä testaushetkellä. Kehon rasvaton- ja rasvamassa on määritetty bioimpedanssilaitteen (BIA) avulla (Spectrum II; RJL Systems, Detroit, MI). Dominoivan polven maksimaalinen isometrinen ojennusvoima sekä koukistusvoima on mitattu dynamometrillä polvikulmien ollessa 90° (David 200, David Fitness and Medical Ltd, Outokumpu, Finland) (Cristea ym. 2008). Alaraajojen isometrinen ojennusvoima mitattiin dynamometrillä istuma-asennossa lonkkakulman ollessa 107° ja polvikulman 110°. Esikevennyshyppy on mitattu digitaaliseen ajastimeen yhdistetyllä kontaktimatolla (Newtest, Oulu, Finland). Painopisteen nousukorkeus laskettu kaavalla $h=(g \cdot t^2)/8$, jossa h = painomisteen nousukorkeus (m), $g= 9,81 \text{ m/s}^2$ ja t = lentoaika (s). (Korhonen ym. 2006).

8.4 Tilastolliset analyysit

Tilastolliset analyysit on tehty IBM SPSS Statistic 20 – ohjelmalla. Aineistoa kuvailtiin keskiarvojen ja –hajontojen avulla. Aineiston normaalijakautuneisuutta on tarkasteltu Shapiro-Wilk – testin avulla, jonka antamien tulosten mukaan ryhmien välisessä vertailussa on käytetty joko *kahden riippumattoman otoksen t-testiä* tai *Mann-Whitney-U -testiä* kuvaamaan ryhmien välisiä eroja. Tilastollisen merkitsevyyden raja-arvona oli $p < 0.05$.

9 TULOKSET

Taustamuuttujia tarkasteltaessa molemmissa urheilijaryhmissä sekä verrokkiryhmässä ikääntyneet ja nuoret erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi paitsi iän, myös pituuden ja kevennyshypyn nousukorkeuden perusteella ($p < 0.001$). Samankaltaisia merkitseviä eroja nuorempien ja ikääntyneiden välillä oli myös kehon rasvattoman massan (pikajuoksijat $p < 0.001$, kestävyysurheilijat $p < 0.05$, verrokkit $p < 0.05$) sekä voimamittausten tuloksissa (pikajuoksijat $p < 0.001$, kestävyysurheilijat $p < 0.05$, verrokkit $p < 0.05$) kaikissa ryhmissä. Ainoastaan nuoret ja ikääntyneet pikajuoksijat erosivat toisistaan myös painon perusteella (Taulukko 1). Ikääntyneet kestävyysurheilijat ja ikääntyneet verrokkit erosivat toisistaan ainoastaan kehon rasvamassan mukaan ($p < 0.05$). Ikääntyneet pikajuoksijat ja ikääntyneet verrokkit erosivat toisistaan kehon rasvamassan ($p = 0.001$) lisäksi kevennyshypyn nousukorkeudessa ($p < 0.001$). Molemmissa vertailuissa ikääntyneillä urheilijoilla oli vähemmän rasvakudosta kehossaan kuin verrokeilla ja ikääntyneillä pikajuoksijoilla oli parempi tulos kevennyshypyn nousukorkeudessa kuin verrokeilla.

TAULUKKO 1. Tutkimusjoukon taustamuuttujat.

	Pikajuoksijat		Kestävyysjuoksijat		Verrokit	
	Nuoret n=38	Ikääntyneet n=46	Nuoret n=14	Ikääntyneet n=14	Nuoret n=14	Ikääntyneet n=25
Ikä vuosina	39,3 ± 3,1	73,0 ± 1,5 [#] ***	29,1 ± 1,5	73,7 ± 1,5 [#] ***	26,8 ± 1,0	73,0 ± 0,7***
Pituus, cm	181,1 ± 1,0	173,0 ± 1,0***	182,6 ± 2,0	169,7 ± 1,0***	179,5 ± 1,9	172,3 ± 1,1***
Paino, kg	79,7 ± 1,5	71,4 ± 1,3 [#] ***	74,7 ± 3,1	69,0 ± 1,3	75,2 ± 2,4	78,1 ± 3,4 [#]
Kehon rasvaton massa, kg	66,7 ± 1,0	57,9 ± 0,9***	65,1 ± 2,5	56,0 ± 1,2**	58,8 ± 1,8	55,0 ± 1,2**
Kehon rasvamassa, kg	9,9 ± 1,0	10,9 ± 0,8 [#]	7,2 ± 0,9	10,3 ± 0,7 [#] **	13,7 ± 1,3	19,7 ± 2,4 [#]
Alaraajojen ojennusvoima ¹ , N	2703 ± 122	1968 ± 84***	2120 ± 106	1900 ± 152 [#] **	2577 ± 246	1847 ± 102**
Polven ojennusvoima ² , N	719 ± 36	568 ± 22***	593 ± 24	503 ± 24**	637 ± 35	495 ± 19**
Polven koukistusvoima ³ , N	299 ± 17	221 ± 9***	252 ± 13	207 ± 6**	299 ± 21	203 ± 6***
Nousukorkeus kevennyshypys sä ⁴ , cm	37,3 ± 0,0	22,8 ± 0,0***	34,7 ± 0,0	18,3 ± 0,0***	32,3 ± 0,0	16,7 ± 0,0***

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja [#]Mann-Whitney-U –testillä

Tutkittavien lukumäärät (Pikajuoksija nuoret n=22 ikääntyneet n= 31, Kestävyysurheilija nuoret n=13 ikääntyneet n=13, Verrokit nuoret n=13 ikääntyneet n=21)

¹Isometrinen jalkojen ojennusvoima, ²Dominoivan jalan maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima, ³Dominoivan jalan maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima, ⁴Painopisteen nousukorkeus esikevennyshypyssä, laskettu kaavalla: $h=(g*t^2)/8$

Omassa lajiryhmässään ikääntyneet erosivat nuorista tilastollisesti merkitsevästi **p<0.05 ***p<0.001

Verrokkiryhmässä lihaspaksuudet ja poikkipinta-alat olivat ikääntyneillä tilastollisesti merkitsevästi pienemmät ($p < 0.001$) kuin nuorilla kaikissa mitatuissa lihaksissa (Taulukko 2). Ikääntyneiden ja nuorten verrokkien keskiarvojen välillä ei ollut eroa minkään mitatun lihaksen pennaatiokulmissa. Verrokkiryhmässä nuorilla oli pidemmät lihassykimppujen pituudet VL - lihaksessa ($p = 0.016$) ja GL – lihaksessa ($p = 0.030$).

TAULUKKO 2. Nuorten ja ikääntyneiden kontrollien erot lihasarkkitehtuurimuuttujissa.

	Nuoret verrokkit	Ikääntyneet verrokkit	p-arvo
Lihaspaksuus, cm			
VL	2,6 ± 0,3	2,2 ± 0,4	0.001
VM	3,7 ± 0,4	3,0 ± 0,5	<0.001
VI	2,3 ± 0,4	1,6 ± 0,5	<0.001
RF	2,1 ± 0,2	1,5 ± 0,3	<0.001
Poikkipinta-ala, cm ²			
VL	26,2 ± 3,7	18,9 ± 3,0	<0.001
RF	7,8 ± 1,6	5,1 ± 1,4	<0.001
Pennaatiokulma, °			
VL	16,7 ± 2,9	16,3 ± 3,9	0.733
GM	21,5 ± 2,7	20,3 ± 4,0	0.305
GL	13,1 ± 1,6	12,0 ± 2,5	0.167
Lihassykimppun pituus [§] , cm			
VL	9,2 ± 1,5	8,0 ± 1,4	0.016
GM	6,2 ± 0,6	5,8 ± 0,9	0.117
GL	7,4 ± 0,7	6,6 ± 1,2	0.030

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja #Mann-Whitney-U -testillä

Lihassykimppun pituus[§] mitattu laskennallisesti kaavalla: Lihaksen paksuus x (sin x pennaatiokulma⁻¹)

VL= m. vastus lateralis VM= m. vastus medialis VI= m. vastus intermedius RF= m. rectus femoris GM= m. gastrocnemius medialis GL= m. gastrocnemius lateralis

Pikajuoksijaryhmässä lihaspaksuudet ja poikkipinta-alat olivat ikääntyneillä tilastollisesti merkitsevästi pienemmät ($p < 0.001$) kuin nuorilla kaikissa mitatuissa lihaksissa (Taulukko 3). Pikajuoksijaryhmässä eroja lihassykimppujen pennaatiokulmissa ikäryhmien välillä löytyi VL-lihaksessa ($p = 0.006$) ja GM-lihaksessa ($p = 0.04$) siten että nuorilla oli suuremmat pennaatiokulmat. Nuorilla pikajuoksijoilla oli pidemmät lihassykimput kuin ikääntyneillä pohkeen lihaksissa (GM, $p = 0.012$; GL, $p = 0.007$), muttei VL-lihaksessa ($p = 0.098$).

TAULUKKO 3. Nuorten ja ikääntyneiden pikajuoksijoiden erot lihasarkkitehtuurimuuttujissa.

	Nuoret	Ikääntyneet	p-arvo
Lihaspaksuus, cm			
VL	2,6 ± 0,4	2,1 ± 0,4	<0.001
VM	3,9 ± 0,5	3,2 ± 0,6	<0.001
VI	2,0 ± 0,5	1,5 ± 0,4	<0.001
RF	2,2 ± 0,3	1,7 ± 0,4	<0.001
Poikkipinta-ala, cm ²			
VL	27,2 ± 5,1	18,8 ± 3,5	<0.001
RF	8,7 ± 2,0	6,2 ± 1,9	<0.001
Pennaatiokulma, °			
VL	17,4 ± 3,3	15,3 ± 3,4	0.006
GM	23,2 ± 3,4	21,5 ± 2,9	0.040 [#]
GL	14,0 ± 2,7	13,7 ± 2,5	0.577
Lihassykimpun pituus [§] , cm			
VL	8,9 ± 1,6	8,4 ± 1,8	0.098 [#]
GM	6,1 ± 1,0	5,5 ± 0,8	0.012 [#]
GL	7,2 ± 1,6	6,4 ± 1,1	0.007

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja [#]Mann-Whitney-U -testillä

Lihassykimpun pituus[§] mitattu laskennallisesti kaavalla: Lihaksen paksuus x (sin x pennaatiokulma⁻¹)

VL= m. vastus lateralis VM= m. vastus medialis VI= m. vastus intermedius RF= m. rectus femoris GM= m. gastrocnemius medialis GL= m. gastrocnemius lateralis

Kestävyysurheilijoiden ryhmässä (Taulukko 4.) ikääntyneiden urheilijoiden lihasten poikkipinta-alat olivat mitatuissa lihaksissa merkitsevästi pienemmät kuin nuorilla urheilijoilla ($p < 0.001$). Kestävyysurheilijoiden lihasten paksuuksissa oli myös eroa ikäryhmien välillä (VL, $p < 0.001$; VM, $p < 0.001$; VI, $p = 0.033$; RF, $p = 0.002$) nuorten hyväksi. Eroja nuorten ja ikääntyneiden kestävyysurheilijoiden lihassykimppujen pennaatiokulmien välillä ei ollut. Ikääntyneillä kestävyysurheilijoilla oli lyhemmät lihassykimput kahdessa mitatussa lihaksessa (VL, $p = 0.006$; GL, 0.004).

TAULUKKO 4. Nuorten ja ikääntyneiden kestävyysurheilijoiden erot lihasarkkitehtuurimuuttujissa.

	Nuoret	Ikääntyneet	p-arvo
Lihaspaksuus, cm			
VL	2,8 ± 0,3	2,3 ± 0,4	<0.001
VM	4,0 ± 0,5	3,4 ± 0,3	<0.001
VI	2,1 ± 0,3	1,8 ± 0,3	0.033
RF	2,0 ± 0,2	1,7 ± 0,3	0.002 [#]
Poikkipinta-ala, cm²			
VL	26,8 ± 4,3	18,4 ± 3,9	<0.001 [#]
RF	7,8 ± 1,9	4,8 ± 1,2	<0.001 [#]
Pennaatiokulma, °			
VL	17,3 ± 2,3	15,7 ± 1,9	0.057
GM	20,8 ± 2,6	21,0 ± 2,7	0.868
GL	12,5 ± 2,4	13,7 ± 2,7	0.230
Lihassykimpun pituus[§], cm			
VL	9,5 ± 1,1	8,4 ± 0,8	0.006
GM	6,2 ± 0,7	6,0 ± 0,8	0.352 [#]
GL	8,1 ± 1,7	6,5 ± 0,8	0.004

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja [#]Mann-Whitney-U -testillä

Lihassykimpun pituus[§] mitattu laskennallisesti kaavalla: Lihaksen paksuus x (sin x pennaatiokulma⁻¹)

VL= m. vastus lateralis VM= m. vastus medialis VI= m. vastus intermedius RF= m. rectus femoris GM= m. gastrocnemius medialis GL= m. gastrocnemius lateralis

Verrattaessa ikääntyneitä pikajuoksijoita ja kestävyysurheilijoita ikääntyviin harjoittelemattomiin verrokkeihin, löytyi lihasarkkitehtuurimuuttujista muutama merkitsevä ero. Ikääntyneillä pikajuoksijoilla (Taulukko 5) oli merkitsevästi suurempi RF -lihaksen poikkipinta-ala ($p=0.018$) ja GL -lihaksen pennaatiokulma ($p=0.011$). Ikääntyneitä kestävyysurheilijoita (Taulukko 6) verratessa ikääntyneisiin verrokkeihin urheilijoilla oli merkitsevästi paksumpi VL -lihas ($p=0.009$). Muita eroja ryhmien välillä ei havaittu.

TAULUKKO 5. Ikääntyneiden pikajuoksijoiden ja ikääntyneiden verrokkien erot lihasarkkitehtuurimuuttujissa.

	Ikääntyneet verrokkit	Ikääntyneet pikajuoksijat	p-arvo
Lihaspaksuus, cm			
VL	2,2 ± 0,4	2,1 ± 0,4	0.399
VM	3,0 ± 0,5	3,2 ± 0,6	0.139
VI	1,6 ± 0,5	1,5 ± 0,4	0.214
RF	1,5 ± 0,3	1,7 ± 0,4	0.063
Poikkipinta-ala, cm ²			
VL	18,9 ± 3,0	18,8 ± 3,5	0.963
RF	5,1 ± 1,4	6,2 ± 1,9	0.018
Pennaatiokulma, °			
VL	16,3 ± 3,9	15,33 ± 3,43	0.263
GM	20,3 ± 4,0	21,5 ± 2,9	0.067 [#]
GL	12,0 ± 2,5	13,7 ± 2,5	0.011
Lihassykimpun pituus [§] , cm			
VL	8,0 ± 1,4	8,4 ± 1,8	0.528 [#]
GM	5,8 ± 0,9	5,5 ± 0,8	0.071 [#]
GL	6,6 ± 1,2	6,4 ± 1,1	0.314

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja [#]Mann-Whitney-U -testillä

Lihassykimpun pituus[§] mitattu laskennallisesti kaavalla: Lihaksen paksuus x (sin x pennaatiokulma⁻¹)

VL= m. vastus lateralis VM= m. vastus medialis VI= m. vastus intermedius RF= m. rectus femoris GM= m. gastrocnemius medialis GL= m. gastrocnemius lateralis

TAULUKKO 6. Ikääntyneiden kestävyysurheilijoiden ja ikääntyneiden verrokkit erot lihasarkkitehtuurimuuttujissa.

	Ikääntyneet verrokkit	Ikääntyneet kestävyysurheilijat	p-arvo
Lihaspaksuus, cm			
VL	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,4	0.275
VM	3,0 ± 0,5	3,4 ± 0,3	0.009
VI	1,6 ± 0,5	1,8 ± 0,3	0.252
RF	1,5 ± 0,3	1,7 ± 0,3	0.157 [#]
Poikkipinta-ala, cm ²			
VL	18,9 ± 3,0	18,4 ± 3,9	0.478 [#]
RF	5,1 ± 1,4	4,8 ± 1,2	0.592 [#]
Pennaatiokulma, °			
VL	16,3 ± 3,9	15,7 ± 1,9	0.471
GM	20,3 ± 4,0	21,0 ± 2,7	0.568
GL	12,0 ± 2,5	13,7 ± 2,7	0.062
Lihassykimpun pituus [§] , cm			
VL	8,0 ± 1,4	8,4 ± 0,8	0.297
GM	5,8 ± 0,9	6,0 ± 0,8	0.613 [#]
GL	6,6 ± 1,2	6,5 ± 0,8	0.612

Arvot keskiarvoja ± keskihajontoja

Keskiarvot testattu riippumattomien otosten t-testillä ja [#]Mann-Whitney-U -testillä

Lihassykimpun pituus[§] mitattu laskennallisesti kaavalla: Lihaksen paksuus x (sin x pennaatiokulma⁻¹)

VL= m. vastus lateralis VM= m. vastus medialis VI= m. vastus intermedius RF= m. rectus femoris GM= m. gastrocnemius medialis GL= m. gastrocnemius lateralis

10 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin iän vaikutusta alaraajojen lihasten paksuuteen ja poikkipinta-alaan sekä lihasten arkkitehtuuriin ominaisuuksiin, joita olivat lihassykimppujen pituus ja pennaatiokulma. Lisäksi tarkasteltiin, onko aktiivinen liikunta ja erityyppinen kilpaurheiluharrastus yhteydessä lihasarkkitehtuurissa ja lihaksen koossa tapahtuviin vanhenemismuutoksiin. Tutkittavat olivat iältään 19-94 vuotiaita, joista osa harrasti kestävyysurheilua ja pikajuoksua. Osa tutkittavista muodosti myös urheilua harrastamattoman verrokkiryhmän.

10.1 Tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan näyttää siltä, että ikääntyessä (nuoret vs. ikääntyneet) etenkin lihasten koko pienenee merkitsevästi niin paksuudeltaan kuin myös pinta-alaltaan. Kyseinen ilmiö oli nähtävissä kontrolliryhmien lisäksi myös molemmissa urheilijaryhmissä ikäryhmien välillä kaikissa tutkituissa lihaksissa. Tulos tukee myös aikaisempia harjoittelemattomilla henkilöillä tehtyjä tutkimuksia (mm. Frontera ym. 2000; Doherty 2003; Lexell ym. 1988) joiden mukaan ikääntyminen vaikuttaa lihaksen kokoon ja sen poikkipinta-alaan merkittävästi etenkin 50 ikävuoden jälkeen.

Aiempien urheilijoilla ja ei-urheilijoilla tehtyjen tutkimusten mukaan alaraajojen lihassyöt ovat lyhemmät ikääntyneillä henkilöillä verrattuna nuorempiin tutkittaviin (Narici ym. 2003; Kubo ym. 2003b, Morse ym. 2005; Stenroth ym. 2012). Tässä tutkielmassa lihassykimppujen pituudet olivat suuremmat nuoremmilla verrattuna vanhempiin tutkittaviin verrokkiryhmässä (VL- ja GL-lihakset), pikajuoksijaryhmässä (GM- ja GL-lihakset) sekä kestävyysurheilijaryhmässä (VL- ja GL-lihakset). Tulos on linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa. Nuorten pikajuoksijoiden lihassykimput ovat keskimäärin tutkimuksen pisimmät. Kuitenkaan ikääntyneiden pikajuoksijoiden ja ikääntyvien harjoittelemattomien verrokkien välillä ei ole nähtävissä eroavaisuuksia. Ehkäpä syynä on, että biologinen ikääntyminen johtaa vääjäämättä peräkkäisten sarkomeerien vähenemiseen ja/tai lyhenemiseen, johon edes intensiivisellä urheiluharjoittelulla ei voida vaikuttaa.

Lihaksen pennaatiokulma vaikuttaa supistuvan kudoksen määrän jänteiden välillä, jolloin sillä on vaikutusta lihaksen voimantuottoon sekä supistusnopeuteen (Narici 1999). Näin ollen voimalajien harrastajien pennaatiokulmat ovat suuremmat kuin kestävyysurheilijoilla tai harjoittelemattomilla verrokeilla. Kuitenkin kestävyysurheilijoiden pennaatiokulmat ovat harjoittelemattomia verrokkiryhmiä suuremmat (Kawakami ym. 1993). Pennaatiokulmat on havaittu olevan ikääntyneillä pienemmät kuin nuoremmilla henkilöillä, jonka ajatellaan heijastavan lihassoljen surkastumista ja rinnakkaisten sarkomeerien lukumäärän vähenemistä ikääntymisen myötä (Kubo ym. 2003a; Kubo ym. 2003b). Tässä tutkielmassa tutkittujen lihasten pennaatiokulmissa näyttäisi olevan iän mukanaan tuomaa eroa vain pikajuoksijoiden osalta VL- ja GM- lihaksissa.

Tutkielman tulosten mukaan ikääntyneet pikajuoksijat ja kestävyysurheilijat ovat lihasarkkitehtuurisilta ominaisuuksiltaan lähes samalla tasolla tavallisten urheilua harrastamattomien ikääntyneiden henkilöiden kanssa. Aiempien tutkimusten mukaan kestävyysurheilijat, etenkin pitkän matkan juoksijat, ovat usein lihaksen poikkipinta-alan ja koon puolesta hyvin lähellä liikuntaa harrastamattomia verrokkeja (Trappe ym. 1996; Coggan ym. 1993).

Tutkimuksia, joiden kohteena olisi ollut sekä iän vaikutus lihasten rakenteellisiin ominaisuuksiin, että liikunnan vaikutus todettuihin vanhenemismuutoksiin on tehty vain vähän ja säännöllistä voimaharjoittelua koskevia tutkimustuloksia ei tiettävästi ole saatavilla. Tutkimusten tulokset ovat hajanaisia, mutta osoittavat, että pitkään jatkunut urheiluharrastus voi vähentää ikääntyessä tapahtuvia lihasarkkitehtuurin muutoksia ainakin jonkin verran (Mikkelsen ym. 2013; Trappe ym. 1996; Coggan ym. 1993; Stenroth ym. 2016; Karamanidis & Arampatzis 2006).

Tutkimukseen osallistunut urheilua harrastamaton kontrolliryhmä on hankittu tähän tutkimukseen opiskelijoiden kautta sekä mm. Keljon nuorisoseuran jäsenistä ja Ikääntyneiden yliopiston opiskelijoista. Tällöin tietyn kaltaista valikoitumista on tapahtunut. Etenkin ikääntyneen väestön laadukas edustus on kyseenalaista, sillä kontrolliryhmä koostuu kohtuullisen hyväkuntoisista ja liikunnallisesti aktiivisista henkilöistä, jotka asuvat kotona ja jotka ovat pystyneet osallistumaan mittausjaksolle yliopistolle. Ikääntynyt väestö on kuitenkin hyvin heterogeeninen ryhmä varsinkin liikunnan harrastamisen ja toimintakyvyn näkökulmasta, jolloin koko ikääntyneen väestön kuntoa tai tilaa käsittävä tutkiminen ja

keskimääräisten arvojen ja määritelmien tekeminen on toisaalta jopa tarpeetonta tämänkaltaisessa tutkielmassa.

10.2 Tutkimusmenetelmien ja -tapojen arviointi

Vaikka poikkileikkaustutkimus on nopea ja helppo toteuttaa, ei sen avulla pystytä selvittämään varsinaisia syy-seuraussuhteita. Se kuvaakin parhaiten ilmiön vallitsevuutta, muttei anna tietoa ilmiön ilmaantuvuudesta (Hulley ym. 2013, 86-88). Myös tässä tutkielmassa on pystytty selvittämään tutkimushenkilöiden lihasten arkkitehtuurisia ja kokoon liittyviä ominaisuuksia tiettyinä ajanhetkenä. Tutkimus antaa viitteitä mahdollisesta syy-seuraussuhteesta, jota varten jatkotutkimuksia tulisi tehdä. Syy-seuraussuhteet vaatisivat pitkittäistutkimuksen tai kokeen suorittamista, jossa urheilevia henkilöitä voitaisiin seurata pitkiä, jopa vuosikymmeniä kestäviä ajanjaksoja ja näin varmistua yksilötasolla tapahtuvista muutoksista lihaksissa.

Ultraäänitutkimuksen käyttö lihasten koon ja arkkitehtuuristen ominaisuuksien kuvantamiseen onnistuu epäsuorasti kaikuanalyysin perusteella (Kawakami ym. 1993; Narici ym. 1996). Ultraäänen avulla lihasten sisäistä arkkitehtuuria on pyritty määrittämään sen helppouden, nopeuden ja suhteellisen hyvän paikkansapitävyyden vuoksi (mm. Reeves, ym 2014; Muramatsu ym. 2002; Kubo ym. 2003b). Näin ollen tuloksiin liittyy mahdollisia systemaattisia virheitä sekä satunnaisvirhettä. Ultraäänikuvantamisen reliabiliteetin heikkouden vuoksi systemaattista virhettä tapahtuu esim. anturin puristaessa lihasta, jolloin sen todellinen paksuus vääristyy. Satunnaisvirhettä mittaustilanteessa voi tulla esim. anturin väärästä asennosta. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää hyvinä estimaatteina todellisesta tilanteesta.

Aineiston normaalijakautuneisuutta on tässä tutkielmassa tarkasteltu Shapiro-Wilk – testin avulla, jonka antamien tulosten mukaan ryhmien välisessä vertailussa on käytetty joko *kahden riippumattoman otoksen t-testiä* tai *Mann-Whitney-U -testiä* kuvaamaan ryhmien välisiä eroja. Tutkimusasetelmaan olisi sopinut myös kaksisuuntainen ANOVA, jossa tutkittavan asian keskiarvoon vaikuttavat kaksi muuttujaa; tässä tutkielmassa siis iän ja urheiluharrastuksen vaikutukset lihasten kokoon ja arkkitehtuuriin ominaisuuksiin. Tämän tyyppisen analyysin toteutusta vaikeuttavat liian pienet ja huomattavan erikokoiset ryhmät sekä vino jakauma, joita tämän tutkielman aineistosta löytyi. Tästä syystä tutkielman tilastolliseksi menetelmäksi on valittu parittainen vertailu, jonka arveltiin sopivan paremmin kyseisen aineiston analysointiin.

Toisaalta kaksisuuntainen ANOVA olisi yksinkertaistanut tutkimuskysymysten asettelua ja tulosten tarkastelua. Se myös vähentäisi riskiä tyypin I virheeseen, joka lisääntyy yksittäisiä parivertailuja tehtäessä. Tämä olisi mahdollisesti lisännyt tutkielman tilastollista varmuutta.

10.3 Lopuksi

Tähän tutkielmaan olisi ollut mielenkiintoista saada mukaan myös voimailijoiden lihaspaksuus- sekä lihasarkkitehtuurimuuttujia. Vertailu ryhmien kesken olisi ollut näin mielekkäämpää, sillä lajit olisivat olleet toisiinsa nähden hyvin erilaisia. Useat tutkimukset viittaavat lihasvoiman lisääntymiseen myös vanhemmalla iällä harrastetun voimaharjoittelua sisältävän liikunnan osalta. (Reeves ym. 2005; Scanlon ym. 2014). Tutkimus ikääntyneillä pikajuoksijoilla on osoittanut yhdistetyn voima- ja pikajuoksuharjoittelun johtavan nopeiden lihassolujen kasvuun mikä viittaa siihen, että voimaharjoittelu on tehokas kuormitusmuoto ylläpitämään lihasten rakenteellisia ominaisuuksia iän myötä (Cristea ym. 2008). Jatkossa mielenkiintoista olisikin nähdä lihasominaisuuksien ikämuutokset erityisesti pitkän harjoittelutaustan omaavilla voimaurheilijoilla.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A-M., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjær-Kristensen, J. & Simonsen, E. B. 2001. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *Journal of Physiology* 534.2, 613-623.
- Aagaard P, Magnusson, P. S., Larsson, B., Kjaer, M. & Krstrup, P. 2007. Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (11): 1989-96.
- Abe, T., Kumagai, K. & Brechue, W. F. 2000. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (6), 1125–1129.
- 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.
- Alway, S. E., Coggan, A. R., Sproul, M. S., Abduljalil, A. M. & Robitaille, P. M. 1996. Muscle torque in young and older untrained and endurance-trained men. *Journals of Gerontology* 51 (3), B195-201.
- Azizi, E. & Roberts, T. J. 2014. Geared up to stretch: pennate muscle behavior during active lengthening. *The Journal of Experimental Biology* 217, 376-381.
- Baroni, B. M., Geremia, J. M., Rodrigues, R., Franke, R. De A., Karamanidis, K. & Vaz, M. A. 2013. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle & Nerve* 48, 498-506.
- Bemben, M. 2002. Use of diagnostic ultrasound for assessing muscle size. *Journal of Strength and Condition Research* 16 (1), 103-108.
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Bronks, R. & Newton, R. 2003. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 35 (12), 2013-2022.
- Coggan, A. R., Abduljalil, A. M., Swanson, S. C., Earle, M. S., Farris, J. W., Mendenhall, L. A. & Robitaille P-M. 1993. Muscle metabolism during exercise in young and older untrained and endurance-trained men. *Journal of Applied Physiology* 75 (5), 2125-2133.

- Cristea, A., Korhonen, M. T., Häkkinen, K., Mero, A., Alén, M., Sipilä, S., Viitasalo, J. T., Koljonen, M. J., Suominen, H. & Larsson, L. 2008. Effects of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre levels in elite master sprinters. *Acta Physiologica* 193, 275-289.
- Crill, M. T., Berlet, G. & Hyer, C. 2014. Plantar flexor muscle architecture changes as a result of eccentric exercise on patients with Achilles tendinosis. *Foot & Ankle Specialist* 7, 460-465.
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., Martin, F. C., Michel, J-P., Rolland, Y., Schneider, S. M., Topinková, E., Vandewoude M. & Zamboni, M. 2010. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and Ageing* 39 (4): 412-423.
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. 4. painos. Champaign, IL : Human Kinetics.
- Farup, J., Kjølhede, Tue., Sørensen, H., Dalgas, U., Møller, A. B., Vestergaard, P. F., Ringgaard, S., Bojsen-Møller, J. & Vissing, K. 2012. Muscle morphological and strength adaptations to endurance vs. resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (2), 398-407.
- Faulkner, J. A., Davis, C. S., Mendias, C. L. & Brooks, S. V. 2008. The aging of elite male athletes: age-related changes in performance and skeletal muscle structure and function. *Clinical Journal of Sport Medicine* 18 (6): 501-507.
- Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fielding, R. A., Fiatarone, M. A., Evans, W. J. & Roubenoff, R. 2000. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology* 88 (4), 1321-1326.
- Frontera, W. R. & Ochala, J. 2014. Skeletal muscle: A brief review of structure and function. *Calcified Tissue International* 96 (3), 183-195.
- Hawkins, S. A., Wiswell, R. A. & Marcell, T. J. 2003. Exercise and the master athlete - A model of successful aging? *Journal of Gerontology: Medical sciences* 58 A (11), 1009-1011.
- He, Z-H., Bottinelli, R., Pellegrina, M. A., Ferenczi, M. A. & Reggiani, C. 2000. ATP consumption and efficiency of human single muscle fibers with different myosin isoform composition. *Biophysical Journal* 79, 945-961.
- Hoffrén-Mikkola, M. 2014. Functional muscle architecture in aging. *Jyväskylän yliopisto. Studies in Sport, Physical Education and Health* 209.

- Hulley, S. B., Cummings, S. R. & Newman, T. B. 2013. Designing cross-sectional and cohort studies. Teoksessa: S. B. Hulley, S. R. Cummings, W. S. Browner, D. G. Grady & T. B. Newman. Designing clinical research. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, s. 85-96.
- Häkkinen, K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet. Gummerus kirjapaino, Jyväskylä.
- Jubrias, S. A., Esselman, P. C., Price, L. B., Cress, M. E. & Conley, K. E. 2001. Large energetic adaptations of elderly muscle to resistance and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 90(5), 1663-1670.
- 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.
- Klitgaard, H., Mantoni, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C., Schnohr, P. & Saltin, B. 1990. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica* 140 (1): 41–54.
- Korhonen, M. T., Cristea, A., Alén, M., Häkkinen, K., Sipilä, S., Mero, A., Viitasalo, J., Larsson, L. & Suominen, H. 2006. Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 101: 906-917.
- Korhonen, M. T., Mero, A. A., Alén, M., Sipilä, S., Häkkinen, K., Liikavainio, T., Viitasalo, J. T., Haverinen, M. T. & Suominen, H. 2008. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41 (4), 844-856.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Azuma, K., Ishizu, M., Kuno, S. Y., Okada, M. & Fukunaga, T. 2003a. Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35 (1), 39-44.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Azuma, K., Ishizu, M., Kuno, S. Y., Okada, M. & Fukunaga T. 2003b. Muscle architectural characteristics in young and elderly men and women. *International Journal of Sports Medicine* 24 (2), 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.
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M. & Anderson, C. S. 2004. Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *Journal of Gerontology: Medical Science* 59A (1), 48-61.

- Lazarus, N. R. & Harridge, S. D. R. 2007. Inherent ageing in humans: the case for studying master athletes. *Scandinavian Journal of Science and Sports* 17, 461-463.
- Luteberget, L. S., Raastad, T., Seynnes, O. & Spencer, M. 2015. Effect of traditional and resisted sprint training in highly trained female team handball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10, 642-647.
- Maganaris, C. N., Baltzopoulos, V. & Sargeant, A. J. 1998. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *Journal of Physiology* 512.2, 603-614.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*. 8. Painos. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mikkelsen, U. R., Couppé, C., Karlsen, A., Grosset, J. F., Schjerling, P., Mackey, A. L., Klausen, H. H., Magnusson, S. P. & Kjaer. 2013. Life-long endurance exercise in humans: Circulating levels of inflammatory markers and leg muscle size. *Mechanisms of Ageing and Development* 134, 531-540.
- Morse, C. I., Thom, J. M., Birch, K. M. & Narici, M. V. 2005. Changes in triceps surae muscle architecture with sarcopenia. *Acta Physiologica Scandinavica* 183 (3), 291-298.
- 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 (1), 129-134.
- 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 contraction. *Journal of Physiology* 496 (1), 287-297.
- Narici, M. V. 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. & Maganaris, C. 2006. Muscle architecture and adaptations to functional requirements. Teoksessa: R. Bottinelli & C. Reggiani (toim.). 2006. *Skeletal Muscle Plasticity in Health and in Disease*. Springer. s. 265-288.
- Narici, M. V., Maganaris, C. N., Reeves, N. D. & Capodaglio, P. 2003. Effect of aging on human muscle architecture. *Journal of Applied Physiology* 95 (6): 2229–2234.
- Narici, M., Franchi, M. & Maganaris, C. 2016. Muscle structural assembly and functional consequences. *Journal of Experimental Biology* 219, 276-284.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A & Björkqvist, S-E. 2009. *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. 18. Uudistettu painos. WSOY: Helsinki.

- Rauramaa, A. 2011. Liikunnan vaikutukset elinjärjestelmittain. Teoksessa: I. Vuori, S. Taimela, U. Kujala (toim.) Liikuntalääketiede. Helsinki- Duodecim, s. 30–54.
- Reeves, N. D., Maganaris, C. N. & Narici, M. V. 2004. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology* 91, 116-118.
- Roy, R. R., Monti, R. J., Lai, A. & Edgerton, V. R. Skeletal muscle and motor unit architecture: effect on performance. Teoksessa P. V. Komi 2003. *Strength and Power in Sports* 134–153.
- Sanada, K., Kearns, C. F., Midorikawa, T. & Abe, T. 2006. Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *European Journal of Applied Physiology* 96, 24-31.
- Scanlon, T. C., Fragala, M. S., Stout, J. R., Emerson, N. S., Beyer, K. S., Oliveira, L. P. & Hoffman, J. R. 2013. Muscle architecture and strength: Adaptations to short-term resistance training in older adults. *Muscle & Nerve* 49, 584–592.
- Sipilä, S & Suominen, H. 1991. Ultrasound imaging of the quadriceps muscle in elderly athletes and untrained men. *Muscle & Nerve* 14, 527-533.
- Stenroth, L., Cronin, N. J., Peltonen, J., Korhonen, M. T., Sipilä, S. & Finni, T. 2016. Triceps surae muscle-tendon properties in older endurance- and sprint-trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 120, 63-69.
- Stenroth, L., Peltonen, J., Cronin, N. J., Sipilä, S. & Finni, T. 2012. Age-related differences in Achilles tendon properties and triceps surae muscle architecture in vivo. *Journal of Applied Physiology* 113, 1537-1544.
- Suetta, C., Magnusson, S. P. Beyer, N. & Kjaer. 2007. Review: Effect of strength training on muscle function in elderly hospitalized patients. *Scandinavian Journal of Medicine in Science and Sports* 17, 464-472.
- Trappe, S. 2001. Master athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 11: S196-S207.
- Trappe, S. W., Costill, D. L., Fink, W. J. & Pearson, D. R. 1995. Skeletal muscle characteristics among distance runners: a 20-yr follow-up study. *Journal of Applied Physiology* 78 (3): 823-829.
- Trappe, S. W., Costill, D. L., Goodpaster, B. H. & Pearson, D. R. 1996. Calf muscle strength in former elite distance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 6, 205-210.

- Widrick, J. J., Trappe, S. W., Blaser, C. A., Costill, D. L. & Fitts, R. H. 1996. Isometric force and maximal shortening velocity of single muscle fibers from elite master runners. *American Journal of Physiology* 271 (2 Pt 1): C666-675.
- Wilson, A. & Lichtwark, G. 2011. The anatomical arrangement of muscle and tendon enhances limb versatility and locomotor performance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 366, 1540-1553.
- Zampieri, S., Pietrangelo, L., Loeffler, S., Fruhmann, H., Vogelauer, M., Burggraf, S., Pond, A., Grim-Stieger, M., Cvecka, J., Sedliak, M., Tirpáková, V., Mayr, W., Sarabon, N., Rossini, K., Barberi, L., De Rossi, M., Romanello, V., Boncompagni, S., Musarò, A., Sandri, M., Protasi, F., Carraro, U. & Kern, H. 2015. Lifelong physical exercise delays age-associated skeletal muscle decline. *Journals of Gerontology: Biological Sciences* 70(2): 163-173.