

HYPERTROFISEN VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTIT VAIKUTUKSET KOKEMATTOMAN VOIMAHARJOITTELIJAN LIHASPAKSUUTEEN JA LIHAKSEN PENNAATIOKULMAAN

Janne Kulmala

Kandidaatin tutkielma

Syksy 2006

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Mikko Virmavirta

TIIVISTELMÄ

Janne Kulmala 2007. Hypertrofisen voimaharjoituksen akuutit vaikutukset harjoittelemattoman henkilön lihaspaksuuteen ja lihaksen pennaatiokulmaan. Biomekaniikka. Kandidaatin tutkielmaseminaari. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. 44 s.

Hypertrofisen harjoittelun on tarkoitus laukaista suurin harjoittelullinen vaste lihaksen kasvuun eli hypertrofiaan. Lihäsväsymystä ja sen määrää voidaan pitää akuutin harjoitusvaikutuksen osoittimena. Useimmat ihmiset kokevat voimaharjoituksen jälkeen lihasarkuutta, jonka tunnusmerkkejä ovat mm. voimantuoton lasku sekä lihasturvotus, joka voi ilmetä jopa lihasfiibereiden tilavuuden 1.8-kertaistumisena. Mikäli palautuminen ei tapahdu supistumisen jälkeen hyvin, jää lihas kestojännittyneeseen tilaan.

Pennaatiolihapsissa lihassyty ovat sijoittuneet vinosti lihaksen akseliin nähden muodostaen pennaatiokulman. Pennaatiokulman ja lihaspaksuuden korrelaatio on todettu laajan heterogeenisen joukon keskuudessa sekä harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä. Sen sijaan homogeenisella joukolla selvää korrelaatio ei ole ollut yhtä selvä. Lihaksen supistuksen aikana pennaatiolihapsissa lihassyty kiertyvät, mikä havaitaan pennaatiokulman suurentumisena. Tutkimus havainnoi harjoittelemattomien nuorten miesten pennaatiokulman ja lihaspaksuuden yhteyttä sekä selvittää voimaharjoituksen aiheuttamia akuutteja muutoksia lihaspaksuudessa ja pennaatiokulmassa sekä niiden suhteessa.

Tutkimuskohteena olivat aikaisemmin lihaskuntoa harjoittamattomat terveet nuoret miehet. Analysoitavana oli 24 (26.3±3.9 v., 180.8±6.0 cm, 77.5±7.9 kg) henkilöä, joista 17 oli kuormitettuja ja 7 kontrolleja. Kuormituksessa käytettiin bilateraalista jalkaprässiä (5*10RM, 2 minuutin palautuksilla) ja sen vaikutusta voimantuotokykyyn seurattiin alaraajojen bilateraalaisella isometrisellä dynamometrillä. Lihaksen pennaatiokulma ja paksuus mitattiin ultraäänellä vastus lateralis-lihaksesta ennen kuormitusta, välittömästi kuormituksen jälkeen, n. 15, 30 ja 45 minuutin sekä 48 h kuluttua.

Alkutilanteessa kaikkien koehenkilöiden lihaspaksuuden ja pennaatiokulman välillä havaittiin positiivinen merkitsevää lähenevä korrelaatio ($r=+0.379$, $p=.075$). Harjoitus aiheutti 40.53 % ($p<.001$) laskun voimantuotossa. Lihaspaksuus kasvoi 11.99 % ($p<.001$) ja turvotus oli havaittavissa vielä kahden vuorokauden kuluttua ($p<.05$). Pennaatiokulman osalta kuormitettujen ja kontrolliryhmän välillä tuloksissa havaitaan malliltaan merkitsevä ero ($p<.05$), mutta eroa ei pystytty paikallistamaan. Kuormituksesta palautuksessa pennaatiokulma ja lihaspaksuus korreloivat selvästi ($r=0.996$, $p<.01$), mutta kuormitusta edeltävät arvot poikkeavat näiden arvojen linjasta.

Tämän tutkimuksen perusteella voimakas hypertrofinen voimaharjoitus saa aikaan lihaksen turvotusta, mikä havaitaan vielä kahden vuorokauden kuluttua; sekä lievää lyhytaikaista pennaatiokulman kasvua. Lihaspaksuus korreloi pennaatiokulmaan lihaksen ollessa palautumistilassa.

Avainsanat: pennaatiokulma, lihaspaksuus, hypertrofinen kuormitus, isometrinen voimantuotto

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	4
2	LUURANKOLIHAS	5
	2.1 Rakenne.....	5
	2.2 Toiminta.....	7
3	HYPERTROFINEN VOIMAHARJOITTELU	8
	3.1 Ominaispiirteet.....	8
	3.2 Välittömät vaikutukset harjoitettuun lihakseen.....	9
	3.2.1 Harjoituksen aikana.....	10
	3.2.2 Harjoituksen jälkeen	10
4	LIHASKUDOKSEN PAKSUUS.....	12
	4.1 Vaikuttavat tekijät.....	12
	4.2 Määrittäminen	13
5	PENNAATIOLIHAS JA -KULMA.....	15
	5.1 Vaikuttavat tekijät.....	16
	5.2 Määrittäminen	17
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	18
7	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	18
	7.1 Koehenkilöt.....	18
	7.2 Tutkimusasetelma	19
	7.3 Kuormitus.....	20
	7.4 Mittaaminen	21
	7.4.1 Isometrinen voima.....	21

7.4.2	Lihaskudoksen paksuus.....	22
7.4.3	Lihaksen pennaatiokulma	23
7.5	Tilastollinen käsittely	23
8	TULOKSET	24
8.1	Isometrinen voima.....	24
8.2	Lihaskudoksen paksuus.....	25
8.3	Pennaatiokulma	26
8.4	Paksuuden ja pennaatiokulman korrelaatio.....	27
9	POHDINTA	30
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Hypertrofisen harjoittelun on tarkoitus laukaista suurin harjoittelullinen vaste lihaksen kasvuun eli hypertrofiaan (Häkkinen 1990, 71). Lihäsväsymystä ja sen määrää voidaan pitää akuutin harjoitusvaikutuksen osoittimena (Häkkinen 1990, 45–56). Voimaharjoitusta voi seurata lihasturvotus, jossa lihassäikeet ovat tilavuudeltaan jopa 180% lepotilanteeseen nähden (Gonzales-Serratos ym. 1978). Mikäli palautuminen ei tapahdu supistumisen jälkeen hyvin, jää lihas kestojännittyneeseen tilaan (Mero ym. (1987).

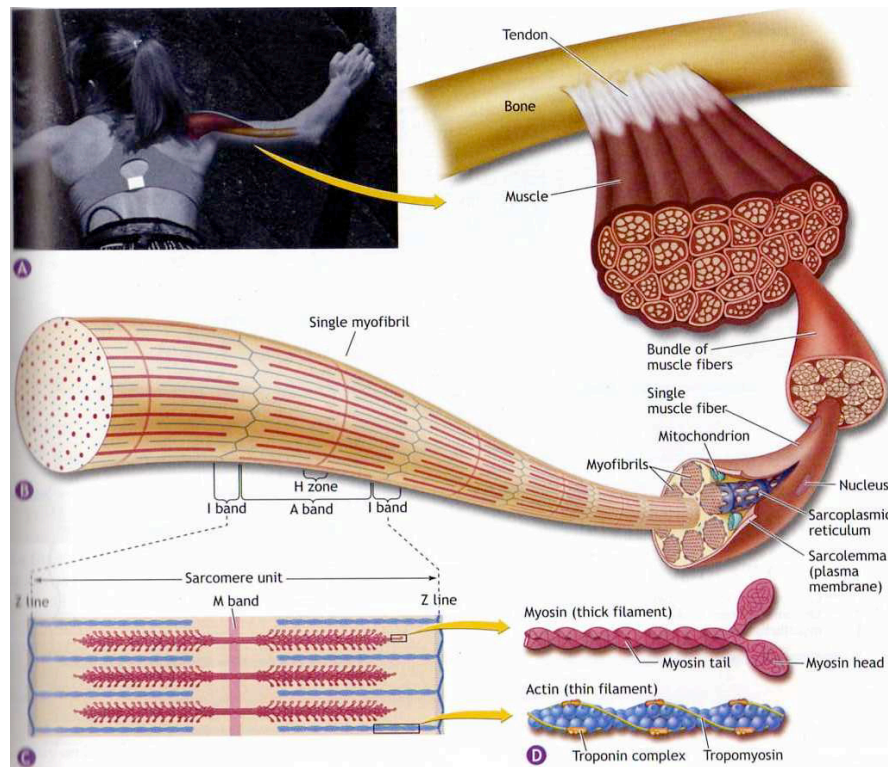
Pennaatiokulman ja lihaspaksuuden korrelaatio on todettu laajan heterogeenisen joukon keskuudessa (Kawakami ym. 2006) sekä harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä (Kawakami ym. 1993). Sen sijaan homogeenisella joukolla selvää korrelaatio ei ole ollut yhtä selvä. Lihaksen supistuessa pennaatiokulma kasvaa (Hujing 1999), mutta lihaspaksuus pysyy lähes samana lihassäikeiden samalla lyhentyessä (Maganaris ym. 1998). Tutkimuksen tarkoituksena oli havainnoida harjoittelemattomien nuorten miesten pennaatiokulman ja lihaspaksuuden yhteyttä sekä selvittää voimaharjoituksen aiheuttamia akuutteja muutoksia henkilöiden lihaspaksuudessa ja pennaatiokulmassa sekä tutkia niiden yhteyttä.

2 LUURANKOLIHAS

Enokan (2002) mukaan lihakset ovat molekyyleistä koostuvia koneita, jotka muuntavat, ensisijaisesti ruuasta saadun, kemiallisen energian voimaksi. Lihaksen ominaisuuksia ovat ärtyvyys, johtuvuus, supistumiskyky sekä sopeutumiskyky. (Enoka 2002, 219.) Lihaskudos muodostaa 30–45 % ihmisen painosta ja sitä on kolmea lajia: poikkijuovainen lihas, sileä lihas ja sydänlihas. Poikkijuovaisia lihaksia kutsutaan luurankolihasiksi, koska ne ovat useimmiten kiinnittyneet jänneiden avulla luihin. (Niensted ym. 2004, 76.) Luurankolihasen tärkein tehtävä on liikuttaa luita ja muita rakenteita, kuten esimerkiksi silmää, mutta ne myös antavat keholle muodon ja tuottavat lämpöä. Luurankolihasia voidaan nimittää myös tahdonalaisiksi lihaksiksi, koska ne ovat useimmiten tahdonalaisesti hallittavissa. (Moore & Dalley 1999, 26.)

2.1 Rakenne

Lihassolut, joita sanotaan lihassyiksi tai -fiibereiksi, ovat asettuneet lihaksen pituus-suuntaan (Niensted ym. 2004, 76). Lihassyit ovat liittyneinä kokonaiseksi lihakseksi kolmessa tasossa olevien kollageenikudoksesta muodostuvien lihaskalvojen (endomyosium, perimyosium ja epimyosium; kuva 1) avulla. Tämä aponeuroosiksi kutsuttu yhdistävä kudos, joka sijaitsee koko lihaksessa, sitoo lihaksen jänteeeseen, joka sitoutuu puolestaan luuhun. (Enoka 2002, 219.) Rinnakkain järjestyneet lihassolut muodostavat lihassolukimppuja eli fasikuluksia (Guyton & Hall 2006, 73). Endomyosiumin sisällä jokaista lihassyitä ympäröiden on sarkolemma, joka on ohut elastinen solun sisällön sulkeva kalvo. Sarkolemma pitää sisällään myös plasmakalvon, jonka ansiosta sähkökemiallinen aalto voi edetä lihassyyn pinnalla. (McArdle 2007, 366.) Kukin lihassy on täynnä myofibrillejä, jotka puolestaan koostuvat jonossa olevista sarkomeereistä (Niensted ym. 2004, 76–78). Sarkomeeri on lihaksen supistuvan komponentin pienin toiminnallinen yksikkö. Sarkomeeri sisältää toistensa lomissa olevia aktiini- ja myosiinifilamenteja, joita myös ohuiksi ja paksuiksi filamenteiksi kutsutaan. Kukin filamentti koostuu useista proteiineista. (Enoka 2002, 220–221.)

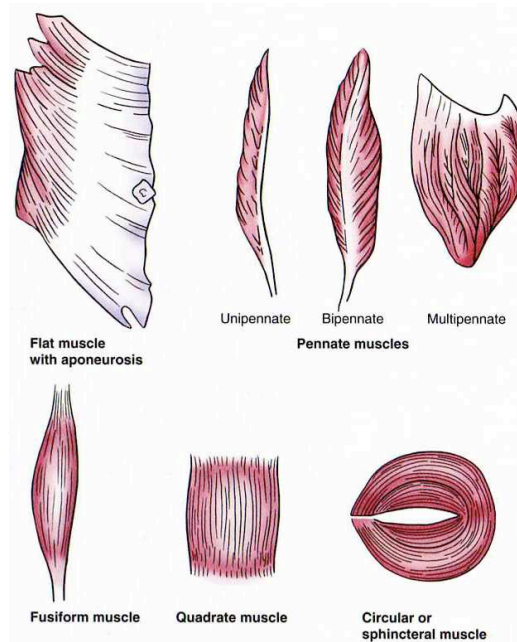


KUVA 1. Lihaksen rakenteelliset tasot (McArdle 2007, 369).

Luurankolihas ei kuitenkaan sisällä homogeenista ryhmää lihassyitä vaan lihassolutyyppit voidaan jakaa niiden supistumiselle ja metabolialle tyypillisten ominaisuuksien mukaan. Kirjallisuudessa käytetään termejä tyyppi 1, tyyppi 2a, tyyppi 2b ja harvinaisempi tyyppi 2c, tai vastaavia. Tyypin 1 solut ovat käytännöllisesti katsoen hitaita supistumiskyvyltään, alhaisen voimantuoton aikaansaavia, mutta väsymystä hyvin vastustavia. Tyypin 2 solut ovat nopeita supistumiskyvyltään. Tyypin 2 solut on vielä jaoteltu loppujen ominaisuuksien mukaan, siten että mitä suurempi on voimantuotto, sitä nopeammin ne väsyvät. (mm. Fleck & Kraemer 1997, 59; McArdle 2007, 380–383; Enoka 2002, 286–287; Kraemer & Häkkinen 2002, 11-12.)

Lihaksia voidaan kuvailla ja jaotella niiden muodon mukaan. Litteät lihakset muodostuvat samansuuntaisista lihassyistä, joihin on usein soluttautuneena aponeuroosia. Pennaatiolioksissa fasikulukset ovat järjestyneet höyhenmäisesti viistosti lihaksen akseliin nähden (kuva 2). Fusiform-lihas on muodoltaan sukkulamainen ja sen syyt kulkevat voiman tuoton suuntaisesti. Quadrate-lioksessa on neljä samankaltaista sivua. Ympyränmuotoinen lihas kiertää kehon osan jättäen keskustan avoimeksi. (Moore & Dalley 1999, 26–31.) Pennaatiolioksissa voidaan havaita lihassyiden akseliinsa nähden vinotaisen sijoittumisen ansiosta suurempi fysiologinen poikkipinta-ala (physiological cross-

sectional area), joka takaa suuremman voimantuotto ominaisuuden. Lihaksilla, joissa syyt ovat asettuneet akselin suuntaisesti, voidaan puolestaan havaita kyky tuottaa voimaa pidemmän aikaa. (McArdle 2007, 370–371.)



KUVA 2. Lihakset jaoteltuina muodon mukaan (Moore & Dalley 1999).

2.2 Toiminta

Luurankoliuksen pienin toiminnallinen yksikkö on motorisen hermo­fiiberin eli α -motoneuronin sekä kaikkien sen hermottamien lihas­fiibereiden muodostama motorinen yksikkö (MY) (Moore & Dalley 1999, 31). Kun hermoimpulssi saavuttaa selkäytimen, lähtee toinen impulssi α -motoneuronin pitkin hermosolun päätehaaroihin ja hermolihaskalvoon. Tällaisella motorisella päätelevy­llä impulssi siirtyy asetyyli­koliini­välittäjäaineen avulla kemiallisesti lihaskalvolle, jossa lihassolun sähkökemiallinen ta­sapaino hetkellisesti muuttuu aiheuttaen leviävän aktiopotentiaalin. Aktiopotentiaali le­viää lihassyyn sisään erityistä T-järjestelmää pitkin ja aiheuttaa joukon kemiallisia pro­sesseja, joiden seurauksena aktiini- ja myosiinifilamentit liukuvat toistensa lomaan ai­kaansaaden MY:n lihassolujen supistumisen. (Niensted ym. 2004, 79–80.)

Luurankoliuksen rooli vaihtelee kulloisenkin tehtävän mukaan. Luurankoliuksen teh­tävä­nä voi olla toimia agonistina, antagonistina, synergistinä tai fiksaattorina. Agonistit eli päävaikuttajat ovat liikkeen kannalta tärkein liikettä aikaansaava lihas. Agonistit su-

pistuvat aktiivisesti tuottaen tiettyyn liikkeeseen tarvittavan voiman. Agonistin supistuksessa sen vastavaikuttajan, antagonistin tehtävä on rentoutua samanaikaisesti aikaansaaden sulavan liikkeen. Synergistien tehtävänä on täydentää agonistin toimintaa jotta liikkeestä saataisiin halutun kaltainen. Agonistin kulkiessa kahden nivelen yli, toimii synergisti jännittymisellään estäen toisessa nivelessä tapahtuvat liikkeet. Fiksaattorit eivät ota osaa liikkeiden muodostumiseen, niiden tehtävänä on ylläpitää proksimaalisten segmenttien asentoa varsinaisen liikkeen tapahtuessa distaalissa kehonosassa. (Moore & Dalley 1999, 31.)

3 HYPERTROFINEN VOIMAHARJOITTELU

Hypertrofia eli lihassolun poikittaispinta-alan kasvu syntyy aktiini- ja myosiinifilamenttien lisääntyneestä lukumäärästä ja koosta sekä sarkomeerien lisääntymisestä olemassa oleviin lihassoluihin (Goldspink 1992, 215–217). Yksittäisten lihassolujen kasvu näkyy siten lihaksen poikkipinta-alan kasvuna, joskin voimaharjoittelu aiheuttaa myös lihaksen sidekudoksen kasvua (MacDougall 1992, 232). Lihaskasvun määrä riippuu lihassolutyypistä ja rekrytointitavasta sekä harjoittelijan harjoittelutaustasta (Kraemer ym. 1995 ja MacDougall 1992, 230). Hypertrofisella voimaharjoittelulla saadaan aikaan suurin lihasmassan kasvu (Häkkinen 1990, 71). Vaatimuksena harjoittelun aikaan saamalle hypertrofialle on suuri jännitys lihakselle riittäväksi ajaksi, mikä aiheuttaa signaalin suurentuneeseen aminohappojen ottoon ja supistumiskykyisten proteiinien tuotannon (Kraemer & Häkkinen 2002, 27).

3.1 Ominaispiirteet

Hypertrofisessa voimaharjoittelussa käytettävä kuorma on submaksimaalinen eli käytännössä noin 60-80 %:n tasolla harjoitettavien lihasten maksimivoimasta. Kussakin sarjassa tehdään kullakin kuormalla useita toistoja peräkkäin ”ylikuormitukseen” asti. Käytännössä suoritetaan 6-12 toistoa sarjaa kohden, mutta äärimmilleen vietynä suoritetaan niin monta toistoa kullakin kuormalla kun pystytään tai keinotekoisesti enemmän

ns. huijausmenetelmällä, jossa tietyllä kuormalla suoritettujen toistojen määrä ja niiden aikaansaama rasitus pyritään maksimoimaan sallimalla viimeisissä toistoissa ”epäpuhdas”, muidenkin kuin harjoitettavien lihasten avustama, tekniikka. Lisäksi voidaan käyttää hyväksi ns. pakotettua toistoperiaatetta, jossa kussakin uupumukseen asti viedyssä sarjassa avustaja avustaa viimeiset yksi tai kaksi toistoa. Sarjojen väliset palautukset pidetään verraten lyhyinä, yleensä alle 90 sekuntia. (Häkkinen 1990, 69–72.)

Lihaksen työtavat on mahdollista jakaa kolmeen kategoriaan lihaksen pituuden muutokseen perustuen. Isometrisessä työssä lihas-jänne-kompleksin pituus ei muutu, mutta supistuva komponentti lyhenee ja passiivinen komponentti pitenee. Dynaamista työtä sen sijaan voi olla joko eksentristä tai konsentristä. Eksentrisessä työssä lihas-jänne-kompleksin pituus kasvaa ja konsentrisessä lyhenee. Tutkimusten ja kokemuksen perusteella eksentrisellä työtavalla on useimmiten mahdollista saavuttaa suurin voima. (Fleck & Kraemer 1997, 13–43.)

3.2 Välittömät vaikutukset harjoitettuun lihakseen

Voimaharjoittelu johtaa varsinkin aloittelijoilla aina jossakin määrin lihasmassan kasvuun. Voimaharjoittelun aiheuttama lihasmassan kasvu eli lihassolujen supistuvan valkuaisen määrän lisääntyminen voidaan todeta sekä nopeissa että hitaissa lihassoluissa, joskin nopeiden lihassolujen koon kasvu on yleensä suurempaa kuin hitaissa. Tyypillisen suuren intensiteetin harjoituksen akuutti vaikutus ilmenee siten, että hermostollinen kapasiteetti kuormitettujen lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen aktivointiin laskee väsymysvaikutuksen myötä. (Gandevia 1995; Häkkinen 1990, 45–56; Prasartwuth ym. 2005.) Hermostollisen väsymyksen sijasta keskityn työssäni lähinnä lihastason väsymykseen.

Lihastasolla väsymys kohdistuu toisaalta energiavarastoihin ja toisaalta palamistuotteiden kasautumisesta johtuviin muutoksiin yksittäisen lihaksen kemiallisessa tilassa. Lihasväsymystä ja sen määrää voidaan pitää akuutin harjoitusvaikutuksen osoittimena. (Häkkinen 1990, 45–56.) Voimaharjoitus saa aikaan endokriinisen vasteen, joka yhdes-

sä ravitsemuksellisten tekijöiden kanssa lisää proteiinien synteesiä ja siten aiheuttaa lihasten hypertrofiaa (McArdle 2007, 541–543).

3.2.1 Harjoituksen aikana

Lihaksen jännitystilän kasvu harjoituksen yhteydessä aiheuttaa stimuluksen, josta aiheutuu suhteellisen hidasprosessinen lihaksen kasvu, toisin sanoen hypertofia. Mekaaninen kuormitus laukaisee proteiinit aktivoimaan geenit, joka puolestaan aikaansaa suurentuneen proteiinisynteesin proteiinien hajoamiseen verrattuna. Kiihtynyt proteiinisynteesi yhdessä insuliinin ja asianmukaisten aminohappojen saatavissa olevuuden kanssa suurentaa lihaksen kokoa harjoituksen aikana. (McArdle 2007, 541-543.) Väsyttettyjen lihasfibereiden tilavuus voi olla jopa 180 % lepotilaan nähden (Gonzales-Serratos ym. 1978).

Fukunagan ym. (1997) tutkimuksessa havaittiin vastus lateralis –lihaksen syiden kääntyvän jyrkempään kulmaan (kts. kpl pennaatiokulma), keskimäärin 14° -> 18° , kun polvea ojennettiin. Vastaava kulma kasvoi myös kun lihasta jännitettiin ja kulma oli suurin kun polvi oli koukistettuna, mutta lihas jännitettynä.

3.2.2 Harjoituksen jälkeen

Useimmat ihmiset kokevat voimaharjoituksen jälkeen arkuutta ja jäykkyyttä nivelissä ja lihaksissa. Hetkellinen harjoituksen jälkeinen arkuus (postexercise soreness) voi säilyä useiden tuntien ajan, kun taas lihaksen viivästynyt arkuus (delayed-onset muscle soreness) voi kestää kolmesta neljään päivään. Syitä viivästyneeseen arkuuteen voi olla muun muassa vahingot lihaksen supistuvissa komponenteissa ja tämän myötäaiheuttama kreatiinikinaasin, myoglobiinin ja troponiinin vapautuminen, osmoottisen paineen muutokset, jotka aiheuttavat nesteen kerääntymistä ympäröivissä kudoksissa, lihas spasmit tai akuutti tulehdustila. (McArdle 2007, 549–550.) Arkuuden tunnusmerkkejä ovat lihasheikkous, voimantuoton lasku, liikelaajuuden pieneneminen lisääntyneestä jäykkyy-

destä johtuen sekä lihasturvotus (Enoka 2002, 371). Eksentrisellä työtavalla saavutetaan suuremmat oireet kuin konsentrisella (McArdle 2007, 550; Morgan 1990).

Esimerkiksi Howelin ym. (1993) nuorille ihmisille tekemässä tutkimuksessa harjoitettujen yläraajan lihasten jäykkyyden ja lihasturvotuksen todettiin kasvaneen välittömästi eksentrisen harjoituksen jälkeen. Noin kolmen päivän kuluttua jäykkyys kääntyi jyrkkään laskuun ja oli lähes kokonaan hävinnyt kymmenentenä päivänä. Chleboun ym. (1998) puolestaan tutkivat yliopistoikäisten naisten lihaspaksuutta ja –jäykkyyttä ennen ja jälkeen eksentrisen voimaharjoituksen. Turvotuksen todettiin lisääntyvän jyrkästi ensimmäisten päivien aikana ja olleen suurinta neljän päivän jälkeen kun lihasjäykkyys oli suurentunut huomattavasti välittömästi harjoituksen jälkeen lähtien selkeästi laskuun vasta viidennen päivän jälkeen. Lihasturvotus selittää osittain muutoksia lihaksen lyhenemisessä ja jäykkyydessä, mutta se ei liene ainoa tekijä. Spontaanin supistuksen on epäilty johtuvan myös epänormaalista kalsiumin kerääntymisestä lihassoluun (Ebbeling & Clarkson 1989.) Kalsiumin rooli harjoituksen aiheuttamassa vauriossa on vielä epäselvä.

Meron ym. (1987) mukaan lihaksen supistumis- ja rentoutumistapahtuman perusteella voidaan käsittää, että jos lihaksen supistumiskoneisto palautuu hyvin, on rentoutuminen tapahtunut. Mikäli palautuminen ei tapahdu supistumisen jälkeen hyvin, jää lihas kestojäännittyneeseen tilaan. Kestojännittynyt tila omaa sähköistä aktiivisuutta ja kuluttaa samalla energiaa. Pennaatiolihas lihasyyt kiertyvät lepotilaa jyrkempään kulmaan sen ollessa supistuneena (Hujing 1999).

4 LIHASKUDOKSEN PAKSUUS

Lihassolu sisältää miljoonia sarkomeerejä, jotka ovat järjestäytyneet peräkkäin sarjaan yhden myofibrillin sisällä sekä vierekkäin useiden myofibrillien välityksellä (Enoka 2002, 220). Rakenteellisella tasolla tarkasteltuna, maksimaalinen voimantuotto riippuu rinnakkain olevien poikittaissiltojen määrästä (Goldspink 1992). Näin ollen lihaksen maksimivoiman tuottaminen on suorassa suhteessa vierekkäin olevien lihassolujen lukumäärään nähden (Enoka 2002, 260–261).

4.1 Vaikuttavat tekijät

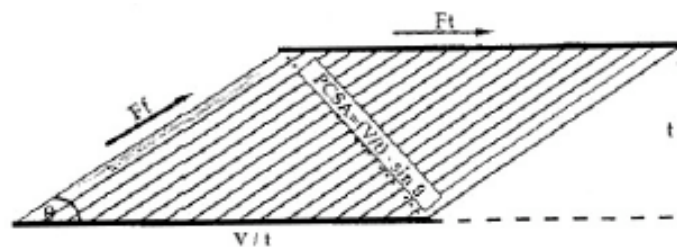
Kawakami ym. (2006) halusivat kartoittaa lihaskoon ja arkkitehtuurin vaihtelevuutta ja riippuvuutta toisistaan määrittämällä 711 henkilöltä (iältään 3-94 -vuotiaita vaihdellen harjoittelemattomista kehonrakentajiin) kolmen eri lihaksen lihaspaksuutta ja pennaatiokulmaa. Vastus lateralis -lihaksen paksuus vaihteli välillä 8-45 mm. Vaihtelun todettiin olevan naisilla hiukan pienempää kuin mieheillä. Lihaspaksuuden ja pennaatiokulman välillä havaittiin merkitsevä korrelaatio kertoimella $r=0.61$ ja todettiin pennaatioliikaksilla pennaatiokulman olevan riippuvainen lihaksen koosta. Toisaalta, koska koehenkilöjoukko on ollut hyvin heterogeeninen, herää kysymys, voiko esimerkiksi pienilihaksisten henkilöiden, kuten harjoittelemattomien naisten ja lasten pienemmät pennaatiokulmat olla luonnostaan pienemmät, mikä voisi selittää korrelaation.

Tutkimustiedon perusteella hypertrofisen harjoittelun aiheuttama vaste näyttäisi olevan suurempi ylävartalon lihaksissa kuin alavartalon lihaksissa. Syyksi on epäilty ylävartalon lihasten pienempää päivittäistä käyttömäärää verrattuna alavartalon lihaksiin, joista etenkin ojentajalihakset työskentelevät jatkuvasti ihmisen ollessa jaloillaan gravitaatiota vastaan. Näin ollen alavartalon lihakset eivät reagoisi yhtä voimakkaasti harjoittelun ärsykkeisiin. (Wilmore 1974; Cureton ym. 1988.) Keskimäärin naisten voimantuottokyky, lihasfiiberin CSA ja koko lihaksen ACSA ovat 60-80 % miesten arvoista ja niinpä voimaharjoittelun aiheuttamat absoluuttiset ja usein myös suhteelliset muutoksetkin ovat suuremmat miehillä. Alaraajojen harjoittelun osalta tutkimukset eivät ole pystyneet

osoittamaan yhtä selkeää trendiä. Samoin ikääntyneiden aikuisten absoluuttiset muutokset ovat pienempiä, mutta suhteelliset muutokset ovat tasaisempia kuin nuorilla aikuisilla. (Folland & Williams 2007.)

4.2 Määrittäminen

Useat tutkimukset (Aagaard ym. 2001; Narici ym. 1992; Kawakami ym. 1993 ja 1995; Jones ym. 1989) ovat osoittaneet, että lihaksen tuottama maksimivoima riippuu suurelta osin sen koosta. Tarkemmin ottaen supistuvien komponenttien poikkipinta-alan uskotaan kuvaavan parhaiten lihaksen supistumiskapasiteettia. Lihaksissa, joissa syyt kulkevat voimantuoton suuntaisesti (parallel-fibred muscle) anatominen poikkipinta-ala (ACSA), eli yleisesti lihaksen paksuimmasta kohdasta pinnan normaalina määritetty poikkipinta-ala, leikkaa kaikki lihassolut suorassa kulmassa ja vastaa siten lihaksen fysiologista poikkipinta-alaa (PCSA) (kuva 4). Pennaatiolihaksissa sen sijaan anatominen poikkipinta-ala leikkaa vain osan lihassoluista eikä siten ole sama kuin lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala. (Narici ym. 1992.) Pennaatiolihaksen PCSA:n laskemisessa tulee ottaa huomioon lihaksen tilavuus (V), aponeuroosien välinen etäisyys (t), eli tässä tapauksessa mitattu lihaksen paksuus, ja lihaksen pennaatiokulma (θ). PCSA saadaan näin ollen kaavalla $PCSA = (V/t) * \sin \theta$ (kuva 3.). (Narici ym. 1999.)



KUVA 3. Kaavakuva pennaatiolihaksesta osoittaen PCSA:n laskemistavan (Narici 1999).

Teoreettisesti ajatellen PCSA:n voisi kuvitella kuvaavan parhaiten lihaksen supistumiskykyä. PCSA:n tarkka määrittäminen ei ole kuitenkaan yksinkertaista, sillä se vaatii usean muuttujan mittaamista. Joissain tutkimuksissa on määritetty magneettikuvauksen (MRI) avulla koko lihastilavuutta, mutta tämänkään menetelmän luotettavuutta supistumiskapasiteetin kuvaajana ei ole pystytty vahvistamaan. Parhainta menetelmää lihak-

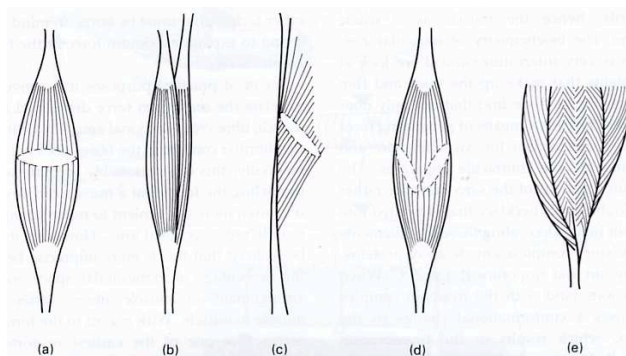
sen supistumiskapasiteetin mittaamiseen ei ole siis vielä selvitetty. (Folland & Williams 2007.)

Miyatani ym. 2004 arvioivat tutkimusartikkelissaan yleisimmin käytettyjä lihaksen paksuuden ja koon mittaamenetelmiä aikaisemmin julkaistujen tutkimusartikkeleiden avulla ja tutkivat ultraäänilaitteen tarkkuutta näiden suureiden arvioinnissa. Lihaksen kokoa ja sen paksuutta on arvioitu antropometrinen ja ihopoimujen mittojen (Buckley ym. 1987; Rice ym. 1990; Knapik ym. 1996) sekä bioimpedanssin avulla (Elia ym. 2000; Fuller ym. 1999). Näiden on kuitenkin havaittu liioittelevan rasvattoman kudoksen osuutta ja olevan vaikeasti kohdistettavissa tiettyyn lihakseen tai lihasryhmään. Uudemmissa tutkimuksissa käytetyimpiä ja tarkimpia lihaskoon arviointi- ja kuvantamismenetelmiä ovat magneettikuvaus (MRI) ja ultraäänilaitte.

Ultraäänilaitteen etuja magneettikuvaukseen nähden on sen edullisuus, helppous, sivuvaikutuksettomuus, tutkittavan vähäinen valmistautuminen, reaaliaikaisuus ja siirrettävyys. Sen sijaan heikkouksia ovat kuvan laatu ja analysointi. Muiden muassa Miyatani ym. (2004) osoittivat magneettikuvauksen ja ultraäänilaitteen tulosten vertailussa ultraäänellä mitatun lihaspaksuuden olevan suoraan suhteessa lihaskokoon, vaikkei lihaspaksuudella tämän tutkimuksen mukaan vielä voitukaan arvioida lihaskokoa luotettavasti. Blazeovich kollegoineen on useassa uudessa aiemmin julkaistussa tutkimuksessaan raportoinut 2-D ultraäänikuvien käyttämisestä lihaspaksuuden määrittämisessä ja metodin luotettavuudesta (Blazeovich 2007, Blazeovich ym. 2007 ja 2006). Ultraääni on myös Kawakamin ym. 1993, 1995 ja 2006 yleisesti lihasarkkitehtuurin määrittämisessä käytämä laite.

5 PENNAATIOLIHAS JA -KULMA

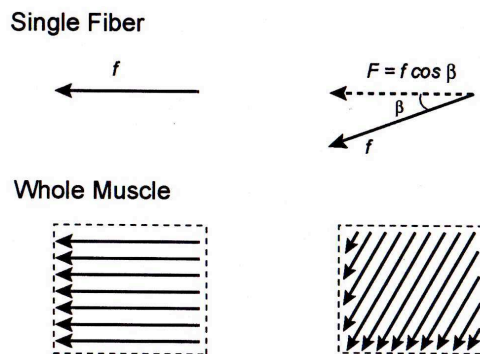
Lihassyt voivat kulkea joko lihaksen pituusakselin suuntaisesti (parallel-fibred muscle) tai, kuten suurimmassa osassa lihaksia, viistosti vetoakseliin nähden (kuvat 4 ja 5). Tällöin ne kiinnittyvät aponeurooseihin tietyssä kulmassa (kuva 3). Tätä kulmaa aponeuroosin ja lihassyiden välillä kutsutaan pennaatiokulmaksi. (Narici ym. 1992.) Pennaatiolihaslihasten lihassyt ovat lyhyempiä kuin muiden lihasten, eli niissä on vähemmän sarkomeereja sarjassa. Tämän johdosta pennaatiolihaslihasten supistumisnopeus on alhaisempi ja niiden tuottama liike pienempi kuin suorafiiberisissä lihaksissa. Toisaalta, pennaatiolihaslihaksissa on enemmän sarkomeereja rinnakkain (kuva 5), jolloin niiden PCSA on suurempi kuin suorafiiberisten lihasten ja ne voivat tuottaa siten tuottaa enemmän voimaa lihaskudoksen massaan nähden. Pennaatio onkin näin ollen tapa kiinnittää mahdollisimman suuri määrä supistuvaa kudosta jänteeseen. (Narici ym. 1999 ja McArdle 2007, 370–371.)



KUVA 4. Lihassolujen asettuminen erilaisissa lihaksissa (Komi 1992, 214).

Kun fiibereiden sijoittumiskulma kasvaa, vähenee fiiberin kyky välittää voimaa lihaksen akselin suuntaisesti vinottaisen sijoittumisen vuoksi. Pennaatiokulman muuttumisen vaikutus onkin lihasfiibereiden pakkaamisen ja mekaanisen vajeen aiheuttama yhteisvaikutus. Alexander ja Vernon (1975) laskivat, että lihaksen tuottama voima on verrannollinen kaksi kertaa pennaatiokulman siniin. Tämän suhteen perusteella optimaalinen pennaatiokulma olisi 45° . Koska hyvin harvan lihaksen pennaatiokulma saavuttaa tämän arvon, pohtivat Folland & Williams (2007) tämän perusteella kaiken pennaatiokulman kasvun kasvattavan voimatuottokykyä, vaikei ACSA:ssa muutosta havaittaisi-

kaan. Blazeovich (2007) pohti tutkimustulostensa pojalta muutosten pennaatiokulmassa voivan johtua tilanpuutteesta hypertrofoivassa lihaksessa.



KUVA 5. Pennaatiokulma ja sen vaikutus lihaksen kannalta (Enoka 2002, 261).

5.1 Vaikuttavat tekijät

Lihassupistuksen aikana filamenttien liukuessa toistensa lomaan lyhenevät lihassolukimput (Ito ym. 1998). Supistuksen aikana pennaatiolihaksissa lihassyöt kiertyvät (Hujing 1999). Tämä havaitaan pennaatiokulman muuttumisena. Samanaikainen pennaatiokulman kasvaminen ja lihassolukimppujen lyheneminen saa lihaspaksuuden pysymään lähes samana. (Maganaris ym. 1998.)

Useissa tutkimuksissa on havaittu positiivinen korrelaatio lihaksen paksuuden ja pennaatiokulman välillä (mm. Kawakami ym. 1993, 1995 ja 2006, Ichinose 1998). Kawakami ym. tutkimuksessa jo vuonna 1993 tutkittiin eroja pennaatiokulmissa ja lihaspaksuuksissa samanikäisten harjoittelemattomien henkilöiden ja kehonrakentajien välillä. Pennaatiokulman ja lihaspaksuuden todettiin olevan suorassa suhteessa toisiinsa, minkä uskottiin viittaavan lihasten hypertrofian liittyvän läheisesti lihasten pennaatiokulman kasvuun. Tässäkin tutkimuksessa korrelaatio lihaspaksuuden ja pennaatiokulman välillä havaittiin etenkin verrattaessa harjoitelleita ja harjoittelemattomia. Homogeenisella ryhmällä pennaatiokulman riippuvuus lihaspaksuudesta ei ole siis yhtä selvästi todettavissa. Tuoreemmissa tutkimuksissa voimaharjoittelun aiheuttaman lihashypertrofian on todettu johtavan pennaatiokulmien kasvuun myös akuutisti (Kawakami ym. 1995; Aagaard ym. 2001). Tutkimustuloksia voimaharjoituksen aiheuttamista pennaatiokulman välittömistä muutoksista ei ole kuitenkaan julkaistu.

Narici ja Cerretelli halusivat vuoden 1998 tutkimuksessaan selvittää lihaksen käyttämättömyyden vaikutuksia mm. pennaatiokulmaan. Tulokset osoittivat toimeettoman jalan lihasten pennaatiokulman pienenevän dramaattisesti ja korreloivan anatomiseen poikkipinta-alaan. Aagaard ym. (2001) totesivat pennaatiokulman kasvun voivan johtaa siihen, että lihaksen PCSA ja siten maksimaalinen voimantuottokapasiteetti kasvaa merkittävästi enemmän kuin lihaksen ACSA ja tilavuus. Lisäksi on arveltu pennaatiokulman arkkitehtuurisen muutoksen antavan mahdollisuuden lihassyille tuottaa voimaa optimaalisemmilla pituuksilla ja nopeuksilla (Azizi & Brainerd 2007; Blazeovich ym. 2006; Kaufman ym. 1989; Otten 1988; Wickiewicz ym. 1984). Pennaatiokulman on myös pohdittu vähentävän voimantuottokykyä suhteessa lihaksen kokoon johtuen supistuvien komponenttien epäedullisemmasta voimantuottosuunnasta. Tätä selitystä ei ole kuitenkaan kyetty todentamaan. (Ichinose 1998.)

5.2 Määrittäminen

Erityisesti magneettikuvauksen (MRI) (Narici ym. 1992) ja ultraäänimittauksen (Rutherford & Jones 1992; Kawakami, 1993, 1995, 2006; Bazeovich ym. 2007, 2007, 2006) kehittyminen ovat mahdollistaneet muun muassa lihaksen pennaatiokulmien määrittämisen ihmisillä *in vivo* sekä non-invasiivisesti levossa ja lihassupistuksen aikana. MRI:n käyttö pennaatiokulmien, fasikulusten pituuden ja lihaksen paksuuden mittaamisessa on kallista ja aikaa vievää. Sen sijaan ultraäänien käyttö näiden mittojen määrittämisessä on helpompaa, halvempaa ja nopeampaa.

Mm. Rutherford & Jones (1992) määrittivät ensimmäisten joukossa pennaatiokulmia ihmisillä *in vivo* ultraääntä käyttäen. Tulokset vastasivat hyvin aikaisemmin ruumiilla mitattuja arvoja ja ultraääntä todettiin voitavan käyttää pinnallisten lihasten pennaatiokulmien määrittämisessä. Variaatio seitsemältä henkilöltä 1-3 viikon välein mitatuissa vastus lateralis ja vastus intermedius –lihasten pennaatiokulmissa oli 13.5 % (2°). Laitteiden kehittyessä ultraäänien luotettavuus lihaksen arkkitehtuuristen muuttujien määrittämisessä on parantunut (Narici ym. 1996).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Voimaharjoituksen aiheuttamia akuutteja lihaksen pennaatiokulman muutoksia on tutkittu hyvin vähän, joten tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään lihaksen arkkitehtuurin välittömiä muutoksia. Tarkoitus oli selvittää, miten lihaspaksuus (1) ja pennaatiokulma (2) muuttuvat välittömästi voimaharjoituksen seurauksena. Oli myös kiinnostavaa tutkia, mikä on näiden muuttujien suhde, eli onko pennaatiokulman muutos voimakkaasti yhteydessä muutokseen lihaksen koossa vai onko kyseessä itsenäiset anatomiset muutokset. Toisaalta, tarkoitus oli selvittää, korreloiko pennaatiokulma lihaspaksuuteen heterogeenisellä ryhmällä alkutilanteessa.

Työhypoteeseina olivat: Lihaspaksuus (1) sekä lihaksen pennaatiokulma (2) kasvavat välittömästi raskaan voimaharjoituksen seurauksena ja korreloivat.

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus tehtiin osana isompaa tutkimusta, jossa selvitettiin sekä akuutteja että pitkäaikaisia voimaharjoittelun vaikutuksia aikaisemmin harjoittelemattomilla nuorilla miehillä.

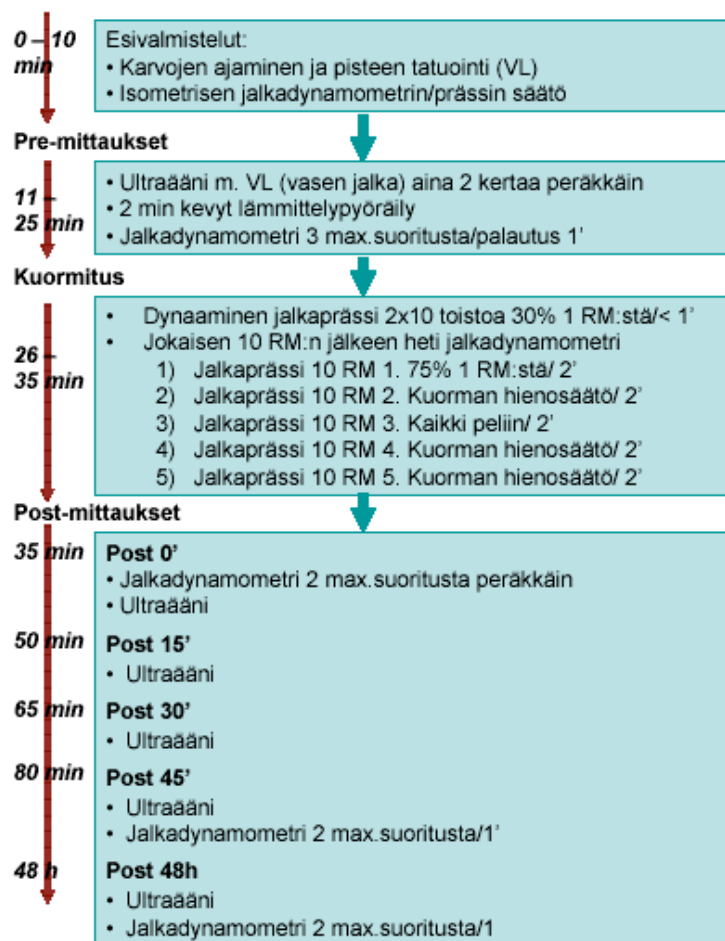
7.1 Koehenkilöt

Tutkimuskohteena olivat aikaisemmin lihaskuntoa harjoittamattomat terveet nuoret miehet. Tutkimukseen valittiin 38 koehenkilöä, joiden ikä vaihteli välillä 19–34 vuotta. Tilastolliseen käsittelyyn ja tulosten analysointiin valittiin 24 henkilöä, joista 17 (ikä 27.0 ± 4.0 v, pituus 180.3 ± 6.5 cm, paino 77.9 ± 8.5 kg) oli kuormitettuja ja 7 (ikä 24.4 ± 3.3 v, pituus 181.9 ± 4.4 cm, paino 76.6 ± 6.5 kg) kontrolleja. Analysoimatta jätettiin tapaukset, jotka keskeyttivät tai joiden mittausdata oli selkeästi puutteellinen. Ennen mittauk-

sia koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen (liite 1), jossa myös kerrottiin tutkimuksen kulku, henkilöiden oikeudet, edut ja riskit.

7.2 Tutkimusasetelma

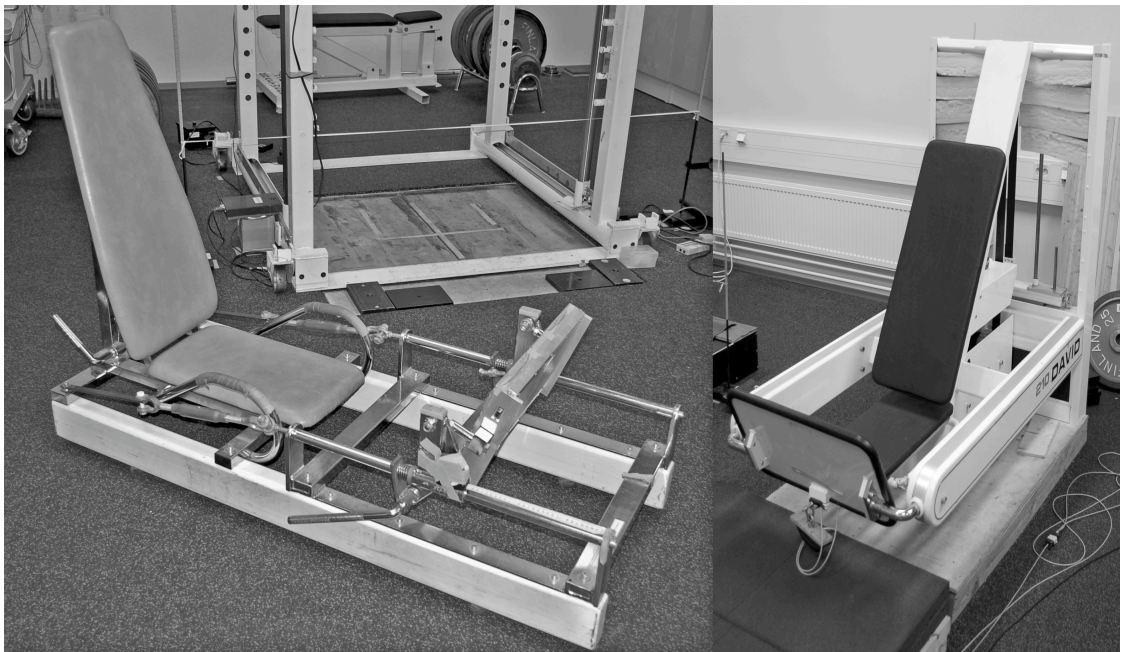
Mittaukset suoritettiin neljän viikon aikana välillä 23.10.–17.11.2006 Jyväskylässä liikuntabiologian laitoksen mittaustiloissa. Ajatuksena oli suorittaa mittaukset ennen raskasta hypertrofista voimaharjoituskuormitusta ja välittömästi kuormituksen jälkeen siten, että välittömät mittaukset tapahtuivat tunnin palautuksen aikana ja viimeinen mittaus tapahtui 48 h kuormituksesta. Mittausprotokolla on esitettyä kuvassa 6. Lihaksen pennaatiokulma ja paksuus mitattiin ultraäänilaitteella vastus lateralis-lihaksesta ennen kuormitusta, välittömästi kuormituksen jälkeen, n. 15, 30 ja 45 minuutin sekä 48 h kulluttua.



KUVA 6. Mittausprotokolla.

7.3 Kuormitus

Ennen kuormitusta koehenkilö lämmitteli lihaksiaan kevytvastuksisella polkupyöräergometrillä. Lämmiteltyään henkilö suoritti kolme maksimaalista isometrista suoritusta jalkadynamometrillä 107 asteen polvikulmalla (Häkkinen ym. 1985). Hypertrofinen kuormitus suoritettiin David 210 dynaamisella jalkaprässillä (kuva 7). Koehenkilö lämmitteli ensin kaksi kertaa kymmenen toiston sarjalla kevyellä kuormalla (30 % 1 RM:stä) oikean tekniikan löytämiseksi. Tämän jälkeen aloitettiin varsinainen kuormitus. Harjoitus käsitti viisi kymmenen toiston sarjaa. Ensimmäinen sarja tehtiin 75 % kuormalla maksimaalisesta. Seuraavat kuormat suoritettiin niin, että painoa joko hienosäädettiin pyrkien siihen, että koehenkilö juuri ja juuri kykenee omin avuin suorittamaan kymmenen toistoa. Jos painoa oli liikaa, eikä koehenkilö olisi saanut kymmentä toistoa omin avuin, avustettiin suoritusta niin kutsutuun pakkotoistoin keventäen kuormaa niin juuri sen verran, että kelkka vielä liikkui, saavuttaen suunniteltu toistomäärä. Ensimmäisen päivän mittauksiin koehenkilöä kohti kului aikaa vajaa kaksi tuntia. 48 tunnin kuluttua olleissa mittauksissa koehenkilöä kohti aikaa meni noin 20 minuuttia.



KUVA 7. Oikealla jalkaprässi David 210, vasemmalla isometrisen voiman mittaukseen suunniteltu jalkadynamometri.

7.4 Mittaaminen

Aluksi koehenkilön vasemmasta reidestä ajeltiin karvat ja mittauspiste ultraäänilaitetta varten määritettiin puoleen väliin vasemman puolen suoliluun etuyläkäärkeä (spina iliaca anterior superior) ja polven nivelrakoa noin vastus lateralis-lihaksen paksuimpaan kohtaan ja merkattiin tussilla. Mittaukset suoritettiin koehenkilön ollessa rentona makuuasennossa. Koehenkilöiden asennon vakioimiseksi heidän jalkansa kiristettiin yhteen nahkaremmillä. Heidän polvitaipeseensa ja pään alle asetettiin pehmusteet parantamaan asentoa ja heidän kätensä olivat rentoina sivulla. Ultraäänilaitteen (Aloka SSD 2000) kaksiulotteisen suoran äänipään pituus oli 7 cm (kuva 8). Anturi keskikohta asetettiin aina varovasti käsin, ihoa painamatta, tatuoidun pisteen kohdalle VL-lihaksen päälle ja ihon ja anturin välissä käytettiin geeliä parantamaan ultraäänen kulkua ja jotta äänipään aiheuttamalta paineelta vältyttäisiin. Ultraäänen keräystaajuus oli 42 Hz.



KUVA 8. Aloka SSD 2000 ultraäänilaite.

7.4.1 Isometrinen voima

Voimamittaukseen valittiin molempien jalkojen voimalevyyn kohdistama isometrinen voima jalkadynamometrissä (kuva 7). Koehenkilö istui laitteen penkissä selkä ja takamus kiinni istuimessa, jalkaterät teipillä vakioituissa kohdissa. Käsillä ohjeistettiin pitämään kiinni laitteen kahvoista, tällä pyrittiin ehkäisemään suorituksen aikaista takamuksen irtoamista penkistä ja siitä johtuvaa polvikulman muutosta. Polvikulmaksi mi-

tattiin 107° , mittaus suoritettiin koehenkilön työntäessä jaloilla kevyesti voimalevyä. Mitattu kulma oli reisiluun suuren sarvennoisen (trochanter major), polven nivelraon sekä sääriluun ulomman kehräsluun (lateral malleolus) muodostama kulma. Kulman mittauksessa käytettiin apuna kulmamittaa. Ennen mittausta koehenkilöä ohjeistettiin pyrkimään mahdollisimman suureen ja nopeaan voimantuottoon heti aloituskäskyn jälkeen, sekä pitämään yllä saavutettua voimatasoa 3-4 sekunnin ajan. Koehenkilöitä kannustettiin maksimaaliseen suoritukseen.

Mitatut voimasignaalit analysoitiin Signal 2.16- ohjelmalla. Tämän jälkeen maksimaalisen voimantuoton lukuarvo siirrettiin Microsoft Excel- ohjelmaan. Isometrista voimaa mitattiin kolmasti ennen kuormitusta, joista suurin arvo (N) merkittiin tulokseksi. Tämän lisäksi voimantuottoa mitattiin välittömästi sarjojen jälkeen, sekä 45 minuutin ja 48 tunnin kuluttua kuormituksen päättymisestä. Isometrisen voimantuoton on tarkoitus ilmentää kuormituksen aiheuttamaa väsymystä.

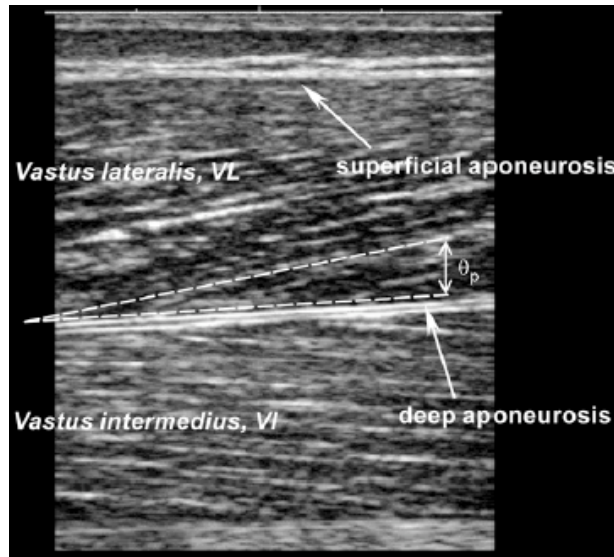
7.4.2 Lihaskudoksen paksuus

Lihaskokoa ja turvotusta arvioivana suureena käytettiin lihaspaksuutta. Muutoksia lihaksen arkkitehtuurissa ja fysiologisessa poikkipinta-alassa ja erityisesti lihaksen supistustilaa arvioitiin toisen mitattavan suureen, pennaatiokulman avulla. Pysäytetystä ultraäänikuvasta määritettiin ihonalaisen rasvakudoksen, Vastus Lateralis-lihaksen ja Vastus Intermedius-lihaksten paksuudet ultraäänilaitteen omalla ohjelmalla kursorilla välipisteet merkiten. Mittaukset suoritettiin aina lihaskudosten välisen aponeuroosin keskikohdasta. Mitattu paikka pyrittiin vakioimaan asettamalla äänipään keskikohta aina keskelle tatuoitua pistettä. Mittaus toistettiin aina kahteen kertaan ja mittausten keskiarvo otettiin lopulliseksi tulokseksi.

7.4.3 Lihaksen pennaatiokulma

Tutkimuksessa tarkasteltu VL-lihaksen pennaatiokulma määritettiin pysäytetystä ultraäänikuvasta laitteen omalla ohjelmalla (kuva 9). Ohjelman mittaus tapahtui siten, että

kahden kursorin avulla määritettiin pisteet, joita pitkin VL- ja VI-lihasten välinen aponeuroosi kulki. Tämän jälkeen määritettiin samalla tavoin kahden kursorin avulla VL-lihaksen lihassäikeen suuntainen suora. Pennaatiokulmaksi ohjelma laski näiden kahden suoran väliset kulmat, joista pienempi otettiin tarkasteluun. Myös tämä mittaus toistettiin aina kahteen kertaan ja mittausten keskiarvo otettiin lopulliseksi tulokseksi.



KUVA 9. Pysäytetty ultraäänikuva, josta erotettavissa mitatut suureet (Aagaard ym. 2001).

7.5 Tilastollinen käsittely

Mittaustulokset analysoitiin Microsoft Excel 2000, sekä SPSS 14.0 for Windows ohjelmien avulla. Koe- ja kontrollihenkilöiden välisiä eroja tarkasteltiin toistomittausten varianssianalyysin avulla. Muuttujien väliset erot paikannettiin pareittaisessa vertailussa käyttäen Bonferronin korjausta. Muutamia kiireellisen aikataulun vuoksi puuttuvat mitat arvioitiin SPSS-ohjelman EM-estimoinnin avulla n:n säilyttämiseksi kohtalaisen suurena. Tilastollisina menetelminä koehenkilöjoukon ja -ryhmien kuvaamiseen käytettiin keskiarvoa ja keskihajontaa, sekä prosentuaalista muutosta alkutilanteeseen nähden. Muuttujien välistä korrelaatiota tutkittiin kahden ryhmän välisellä korrelaatioanalyysillä. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < .05$. Tilastollisen merkitsevyyden suuruuden kuvaamiseksi on käytetty * - symbolia siten että tilastollisesti merkitsevää ($p < .05$) merkittiin *, tilastollisesti hyvin merkitsevää ($p < .01$) merkittiin ** ja tilastollisesti erittäin merkitsevää ($p < .001$) merkittiin ***. Tilastollisen merkitsevyyden vahvuuden kuvaamiseksi raportoitiin lisäksi tilastollinen teho (observed power).

8 TULOKSET

Tulosten käsittely on jaettu neljään osaan. Ensimmäisestä kappaleesta selviää kuormituksen vaikutus isometriseen voimantuottokykyyn. Toisessa ja kolmannessa tulososion kappaleessa tarkastellaan havaitut muutokset lihaspaksuudessa ja pennaatiokulmassa. Neljäs kappale paljastaa, mikä oli lihaspaksuuden ja pennaatiokulman suhde toisiinsa.

8.1 Isometrinen voima

Lähtötilanteessa (pre) kuormitusryhmä saavutti isometrisen voimantuoton tason 3758.11 ± 1455.20 N ja kontrolliryhmä vastaavasti 3687.13 ± 1434.02 N (Taulukko 1). Ryhmien välisessä lähtötasossa ei ollut merkitsevää eroa ($p=.552$). Kontrollihenkilöiltä kuormituksen jälkeistä voimatasoa edustaa mittaus 45 minuutin kohdalta, joten käytän tätä tulosta ryhmien välisessä vertailussa. Kuormitetuilla henkilöillä voimantuotto dynamometrissä oli 45 minuutin kuluttua mitattuna keskimäärin 28.54 % (1073 N) alhaisempi, kontrollihenkilöillä vastaavan lukeman ollessa 6.17 % (228 N). Pre- ja Post 45'-mittausten arvoja vertailtaessa tilastollisesti, havaitaan ryhmien välillä merkitsevä ero ($p=.019^*$) tilastollisen tehon ollessa 0.681.

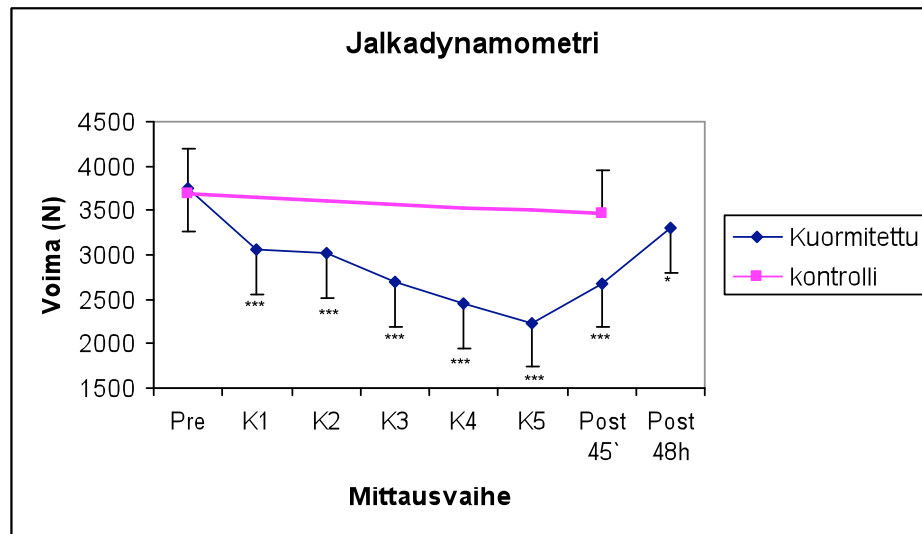
TAULUKKO 1. Ryhmien lähtötilanne jalkadynamometrillä ja 45 minuutin levon jälkeinen tilanne.

Mittauskerta	Kuormitetut	Kontrollit
Pre	3758 N	3687 N
Post 45 min	2685 N (71,46 %)	3459 N (94 %)

Voimaharjoituksen suorittaneella kuormitetulla ryhmällä havaittiin isometrisessä voimantuotossa laskua jokaisen sarjan jälkeen ja heti harjoituksen jälkeen 40.53 % (1523.21 N) lasku, mikä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p<.001^{***}$) muutos (Taulukko 2). Voimantuotto pysyi vielä 45 minuutin kuluttua tilastollisesti erittäin merkitsevästi alempana, mutta palautui kahden vuorokauden levon jälkeen 87.80 %:in maksimaalisesta ($p=.035^*$) (Kuva 10).

TAULUKKO 2. Kuormitetun ryhmän isometriset voimantuotot jalkadynamometrissä eri aikaväleillä. K1...5 tarkoittavat numerolla ilmoitetun rasisussarjan välittömästi jälkeistä tilannetta.

	Keskiarvo	Keskihajonta
Pre	3758,11	1455,20
K1	3063,32 p<0,001	1117,91
K2	3022,89 p<0,001	1221,95
K3	2692,09 p<0,001	1071,88
K4	2454,66 p<0,001	848,85
K5	2234,90 p<0,001	708,11
Post 45'	2685,44 p=0,001	989,25
Post 48h	3299,62 p=0,035	1256,83



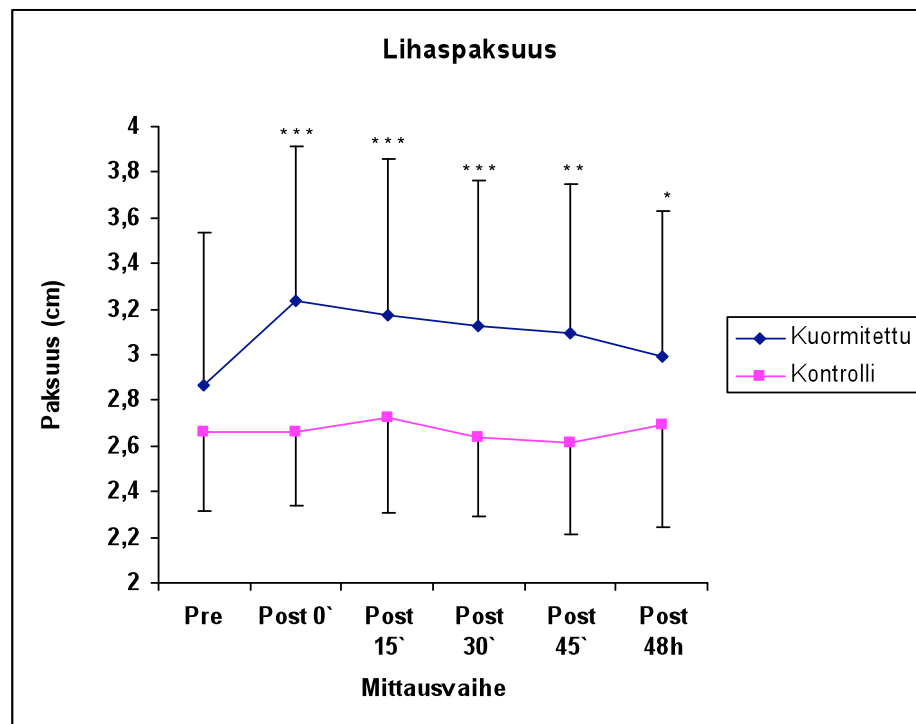
KUVA 10. Ryhmien isometriset voimantuotot jalkadynamometrissä eri aikaväleillä. K1...5 tarkoittavat numerolla ilmoitetun rasisussarjan välittömästi jälkeistä tilannetta.

8.2 Lihaskudoksen paksuus

Lähtötilanteessa kuormitetun ryhmän VL-lihaksen paksuus oli 2.869 ± 0.651 cm ja kontrolliryhmän 2.618 ± 0.342 cm (Taulukko 3). Lähtötasossa ei ole merkitsevää eroa ($p=.130$). Ryhmien välillä on lähtötilanteesta eteenpäin malliltaan hyvin merkitsevä ero ($p=.002^{**}$) hyvällä tilastollisella teholla 0.970. Kontrolliryhmällä ei havaita eroa mittauskertojen välillä, vaikka mittauskertojen välillä on pieniä eroja. Sen sijaan tilanteessa Post 0' VL-lihaksen paksuuden voidaan todeta kasvaneen kuormitetulla ryhmällä 11.99 % ollen tilastollisesti erittäin merkitsevä muutos ($p<.001^{***}$). Lihas oli merkitsevästi paksumpi ($p=.032^*$) vielä kahden vuorokauden levon jälkeen (Kuva 11).

TAULUKKO 3. Ryhmien lihaspaksuuden keskiarvot ja –hajonnat eri mittaushetkillä. Tilastollisesti merkitseviin kohtiin on liitetty p-arvot.

LIHASPAKSUUS						
Keskiarvo	Pre	Post 0`	Post 15`	Post 30`	Post 45`	Post 48h
HARJ	2,869	3,213 p<0.001	3,160 p<0.001	3,117 p=0.001	3,067 p=0.002	2,983 p=0.032
KONT	2,618	2,624	2,591	2,597	2,625	2,662
Keskihajonta						
HARJ	0,651	0,662	0,668	0,624	0,639	0,623
KONT	0,342	0,324	0,347	0,349	0,381	0,410



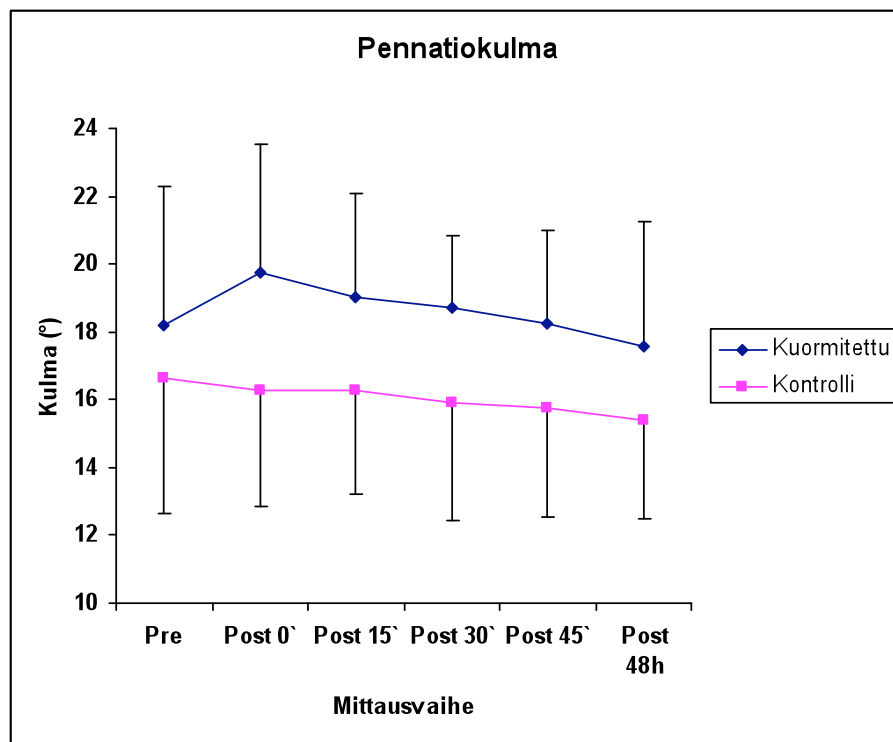
KUVA 11. Ryhmien lihaspaksuuden keskiarvot ja –hajonnat eri mittaushetkillä.

8.3 Lihaksen pennaatiokulma

Lähtötilanteessa kuormitetun ryhmän pennaatiokulma oli $18.56 \pm 4.21^\circ$ ja kontrolliryhmän $15.33 \pm 3.98^\circ$ (Taulukko 4). Lähtötasossa on pieni, mutta ei merkitsevä ero ($p=.082$). Toistomittausten varianssianalyysillä tulosten mallia tarkasteltaessa havaitaan merkitsevä tilastollinen ero ($p=.041^*$). Kuormitetulla ryhmällä muutos lähtötilanteesta välittömästi kuormituksen jälkeiseen Post 0` tilanteeseen oli 1.13 astetta ja 6.1 % (Kuva 12). Pareittaisessa vertailussa Bonferonin korjausta käytettäessä merkitsevää eroa ei kuitenkaan löytynyt ei toisto- eikä ryhmien välisessä vertailussa.

TAULUKKO 4. Ryhmien pennaatiokulman keskiarvot ja -hajonnat eri mittaushetkillä.

PENNAATIOKULMA						
Keskiarvo	Pre	Post 0`	Post 15`	Post 30`	Post 45`	Post 48h
HARJ	18,56	19,69	19,15	18,72	18,43	17,75
KONT	15,33	15,83	15,75	15,42	14,96	14,42
Keskihajonta						
HARJ	4,211	3,667	2,902	2,288	2,867	3,691
KONT	3,983	3,445	3,256	3,484	3,348	3,056

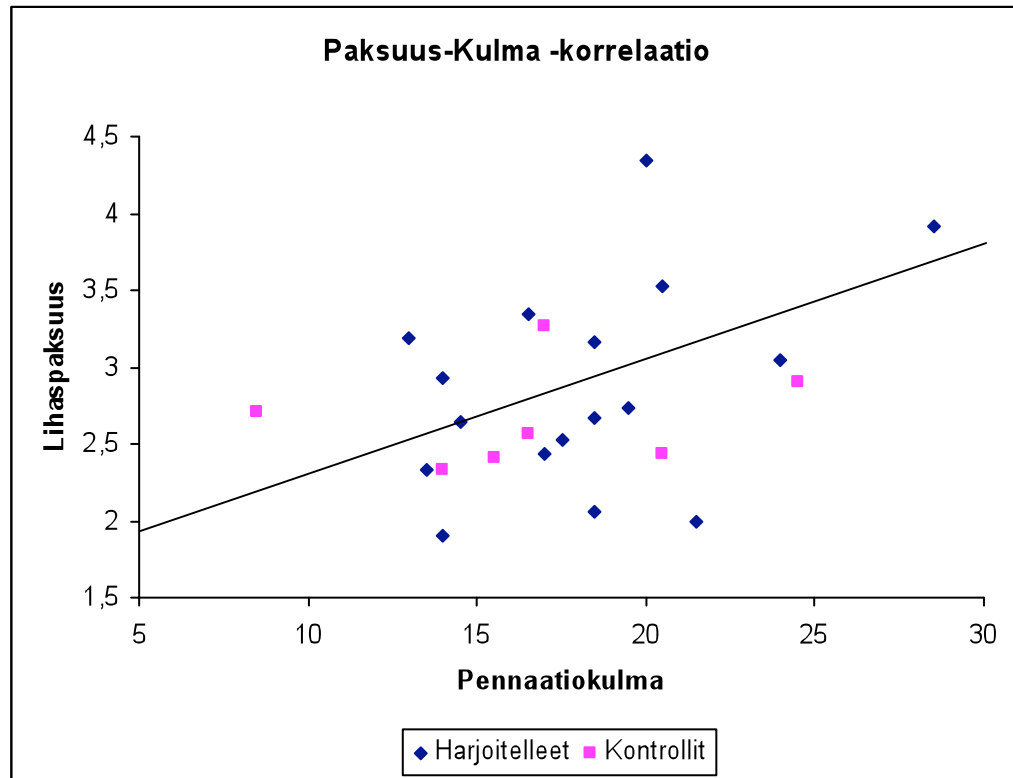
Kuva 12. Ryhmien pennaatiokulman keskiarvot ja -hajonnat eri mittaushetkillä. Merkitsevä ero ryhmien välillä pennaatiokulman käyttäytymismallissa ($p=0.041^*$).

8.4 Paksuuden ja pennaatiokulman korrelaatio

Ennen kuormitusta, (Taulukko 5.) verrattaessa kaikkien koehenkilöiden lihaspaksuutta ja pennaatiokulmaa toisiinsa, havaitaan näiden muuttujien välillä positiivinen merkitsevää lähenevä ($p = 0.075$) korrelaatio (+0.379 Kuva 13.). VL-lihaksen paksuus vaihteli välillä 1.91-4.35cm ja pennaatiokulma välillä 8.5-28.5 astetta.

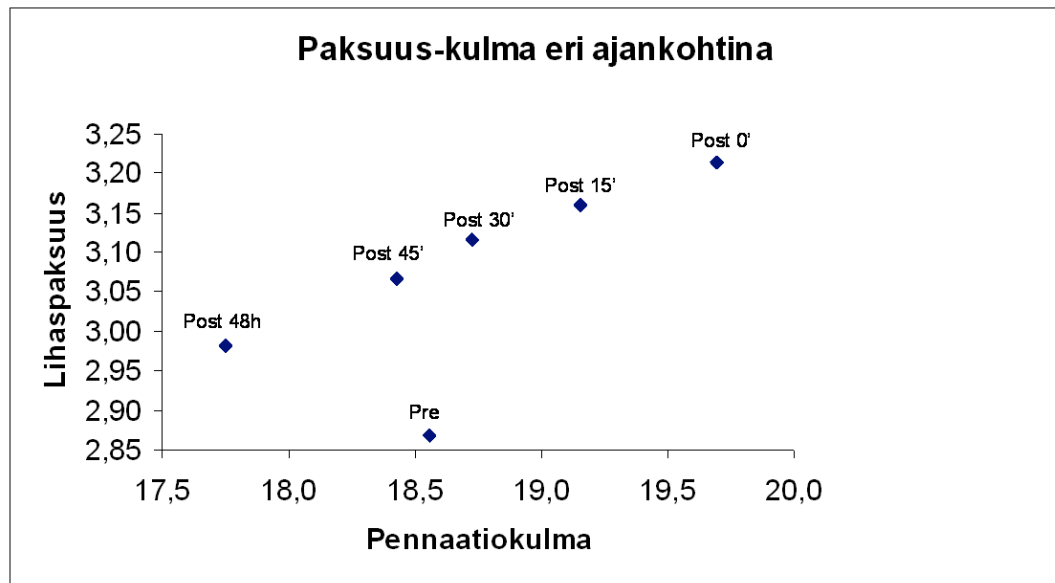
TAULUKKO 5. Lihaspaksuus (cm) ja pennaatiokulma (astetta) koehenkilöittäin. Alimmat seitsemän arvoparia ovat kontrollihenkilöiden.

LIHASPAKSUUS JA PENNAATIOKULMA LÄHTÖTILANTEESSA																	
Paksuus	2,53	4,35	3,53	2,34	2,93	3,19	2,43	2,06	2,65	3,16	3,34	2,68	1,91	3,91	1,99	3,05	2,73
Kulma	17,5	20	20,5	13,5	14	13	17	18,5	14,5	18,5	16,5	18,5	14	28,5	21,5	24	19,5
Paksuus	2,9	2,33	2,41	3,26	2,71	2,44	2,57										
Kulma	24,5	14	15,5	17	8,5	20,5	16,5										



KUVA 13. Kaikkien koehenkilöiden lähtötason lihaspaksuuden ja pennaatiokulman korrelaatio (+0.370 kun n=24).

Kuormitetuilla henkilöillä harjoituksen eri vaiheissa mitattujen arvojen korrelaatio on positiivinen ($r=0.715$), mutta tulos ei ole tilastollisesti merkitsevä ($p=.111$)(kuva 14). Linjasta poikkeaa selvästi ennen harjoitusta mitattu pennaatiokulma. Jos tämä pre-mittausarvo jätetään pois tilastollisesta tarkastelusta, saadaan korrelaatiokertoimeksi hyvin selvää korrelaatiota osoittava $r=0.996$ ($p<.01^{**}$).



Kuva 14. Harjoituksen suorittaneiden lihaskudoksen paksuus (cm) ja pennaatiokulma (°) eri mittausajankohtina.

9 POHDINTA

Kuormitus. Käytetty kuormitusmenetelmä on tuottanut aikaisemmissa tutkimuksissa toivotunlaisen kovan lihasväsymisen ja suunta oli nytkin sama. Tutkimuksessa käytetty kuormitusmenetelmä johti varsin suureen isometrisen voiman pudotukseen ja oli siinä mielessä onnistunut ja tarkoituksenmukainen. Välittömästi suorituksen jälkeen mitattu maksimaalisen isometrisen voiman prosentuaalinen lasku oli jopa selvästi suurempi kuin esimerkiksi Linnamon ym. vuonna 2005 tekemässä tutkimuksessa, jossa käytettiin vastaavaa kuormitusprotokollaa (40.5 % vs. 23.7 %). Enokan mukaan viivästyneeseen lihasarkuuteen (DOMS) liittyy vähentynyt kyky tuottaa voimaa, mikä näkyi tässä tapauksessa myös dynamometrin tuloksissa, 48 h levon jälkeen voimantuoton ollessa 12 % lähtötasoa alhaisempi. Koehenkilöt vaikuttivat antavan kaikkensa jokaisessa isometrisessä mitattavassa voimantuotossa eikä ole syytä uskoa tässä tapahtuneen tuloksiin vaikuttavia virheitä. Kontrollihenkilöiden hiukan alhaisempi voimantuotto (94 %) 45 minuutin kohdalla lienee sattumaa ja syynä voi muutaman tapauksen heikomman tuloksen vaikutus keskiarvoon, jossa pienet muutoksetkin vaikuttavat kohtuullisesti pienen kontrollihenkilöjoukon (7 kpl) takia. Keskihajonnat olivat molemmilla ryhmillä samaa luokkaa.

Mittausmenetelmässämme koehenkilö istui alkutilanteessa dynamometrissä ja hänen jalkansa nojasivat kevyesti voimalevyyn. Tuloksen tulkinnassa vähennettiin maksimi-voimantuotosta tämä jalkojen nojaamisen tuottama voima, joka saattoi koehenkilöstä riippuen vaihdella. Tämä nojan tuottama voima oli jokaiselle henkilöllä jokaisella suorituksella suunnilleen samaa luokkaa, eikä tuloksiin aiheutune tämän takia suuria virheitä. Sen sijaan, ohjeistuksista huolimatta, saattoi muutamalla henkilöllä olla voimalevyä vasten jo valmiina pieni valmistautumisen aiheuttama pito, mikä aiheutti jopa yli 100 N kuormituksen levyyn. Nämä virheet pyrittiin poistamaan suorituksista tekemällä niin monta uutta toistoa, että suoritus olisi niin sanotusti puhdas.

Lihaspaksuus. Mitattujen ryhmien lähtötason lihaspaksuuksien keskiarvot sijoittuvat melko lähelle toisiaan (2.869 ± 0.651 cm vs. 2.618 ± 0.342 cm), joten ryhmissä ei tältä osin ole paljon eroa. Kontrolliryhmällä ei merkitseviä muutoksia tapahdu kuuden eri

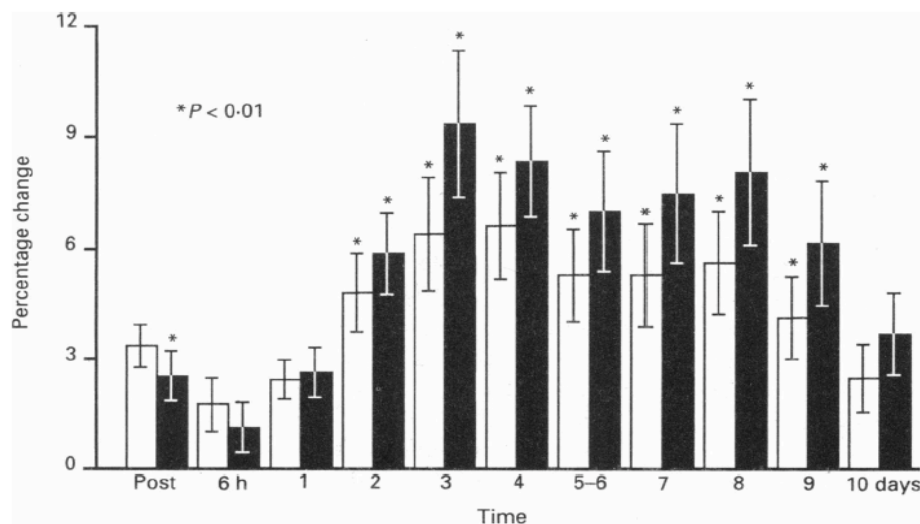
mittauskerran ja ajankohdan välillä, mikä osittain kertoo myös mittauksen hyvästä toistettavuudesta ja luotettavuudesta. Kuormitetulla ryhmällä sen sijaan kuormituksen vaikutus näkyy lihaspaksuudessa erittäin merkitsevänä muutoksena, joka havaitaan vielä kahden vuorokauden kuluttua merkitsevänä erona lähtötasoon nähden. Lihaksessa oli vielä havaittavissa turvotusta kahden päivän kuluttua, mutta turvotus oli selkeästi pienempää kuin välittömästi harjoituksen jälkeen (11.99 % vs. 4.0 %), jolloin harjoituksessa tarvittava suuri verimäärä ja nopea energia-aineenvaihdunta vaikuttivat luultavimmin paksuuteen.

Tämä tulos poikkeaa esimerkiksi Chleboun ym. (1998) tutkimustuloksista, joissa turvotus kasvoi koko ajan harjoituksen lopettamisesta eteenpäin ja suurin lihasturvotus mitattiin vasta neljäntenä päivänä. Tutkimukset erosivat siten, että Chleboun ym. käyttivät koehenkilöinä nuoria naisia ja mittasivat biceps brachii-lihaksen tilavuutta, ultraäänilaitteen sagittaalitasoon kuvalla, sekä käsivarren ympärysmittaa. Molemmilla turvotuksen mittareilla kasvu oli heti harjoituksen jälkeen pientä ja huippu saavutettiin muutaman vuorokauden jälkeen. Ympärysmittaa käytettäessä muutokset eivät näkyneet prosentuaalisesti yhtä suurina. Lihaksen on epäsymmetrisen muotoinen, eikä sen poikkileikkauksen sädettä eli lihaspaksuutta näin ollen voida käyttää pinta-alan määrittämiseen suoraan. Tästä huolimatta olisi epäloogista, että lihaspaksuuden antama arvio lihaskoon muutoksesta ja sagittaalitasoon pinta-alan avulla laskettu tilavuuden antama arvio turvotuksen muutoksesta voisivat olla syynä erilaiseen tulokseen.

Chleboun ym. tutkimuksessa kuormitus suoritettiin eksentrisesti; toistoja tehtiin 4-6 ja sarjoja tehtiin kolme. Kenties nämä lyhyemmät sarjat eivät aiheuttaneet yhtä pitkäkestoisesta kovaa painetta lihakseen, jotta lihas olisi täytynyt verestä ja energia-aineenvaihduntatuotteista samalla tavalla kuin tässä käsitellyssä tutkimuksessa. Esimerkiksi kiihtyneen proteiinisynteesin pitäisi kuitenkin hypertrofisessa harjoituksessa suurentaa lihaksen kokoa jo harjoituksen aikana siten että väsyttettyjen lihasfibereiden tilavuus voi olla jopa 180 % lepotilaan nähden (McArdle 2007, 541-543; Gonzales-Serratos ym. 1978). Tutkimusartikkelin mukaan mittaus on suoritettu välittömästi kuormituksen jälkeen, mutta mittauksen suorituksen monimutkaisemmista tekniikoista on hämmästyttävää mikäli mitat on kyetty ottamaan välittömästi. Jos aikaa mittaukseen suorittamiseen on kulunut yli viisi minuuttiakin, on välitön turvotus jo voinut alkaa kadota. Käsitellyn tutkimuksen kuormituksesta eroavalla, nimenomaan eksentriseen voi-

mantuottoon painottuneella lyhyitä sarjoja sisältäneellä kuormituksella, voidaan aiheuttaa huomattavan paljon suurempaa vahinkoa lihaksen rakenteisiin ja viivästynyttä lihasarkuutta (McArdle 2007, 550; Morgan 1990).

Chleboun oli jo aikaisemmin Howellin ja Conatserin (1993) kanssa suorittanut samantapaisen tutkimuksen, jossa eksentrisiä toistoja tuli puolestaan 5-15, mikä on lähempänä tämän tutkimuksen toistomäärää. Menetelmät olivat muilta osin lähes edellä käsitellyn tutkimuksen kaltaiset. Vuonna 1993 julkaistussa tutkimuksessa ultraäänimittaukset valittavasti tapahtuivat noin 30 minuuttia harjoituksen jälkeen, jolloin suuri osa lihaksen sisäisistä nesteistä oli, myös kyseisten tutkijoiden arvion mukaan, todennäköisesti siirtynyt pois lihaksesta ihonalaiseen tilaan. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella tuo lihaksen sisäisten nesteiden palautuneisuus on noin 3.4 %, koska Post 0'-tilanteessa turvotus on 11.99 % ja Post 30'-tilanteessa 8.64. Välittömästi mitattuja ultraäänimittausten tuloksia ei voida siis käyttää vertailussa tähän tutkimukseen, mutta käsivarren ympärystmittauksen tulokset viittaavat lihasturvotuksessa kaksivaiheiseen kehityssuuntaan. Ympärysmittan avulla mitattuna turvotus heti harjoituksen jälkeen oli noin 3 %, mutta laski post 6h mittaushetkeen lähelle alkuperäistä arvoa. Seuraavan päivänä mitattuna turvotus oli kasvanut lähelle 3 %, josta se nousi kolmanteen päivään asti ollen tällöin 6-9 %, minkä jälkeen ympärystmitta palasi rauhallisesti kymmenessä päivässä lähelle lähtötasoa (kuva 15). Howellin ym. (1993) tutkimuksessa välitön vaste oli siis huomattavasti pienempi (12 % vs. 3 %).



KUVA 15. Käsivarren ympärystmittan aikajanallinen käyttäytyminen. Ympärysmitta käsivarren keskiosasta=vaaleat pylväät, ympärystmitta 1 cm proksimaalisesti lateraali epikondylis-tä=tummat pylväät (Howell ym. 1993).

Howellin ym. tuoreemman tutkimuksen tavoin lyhyemmät sarjat eivät kenties aiheutta-
neet yhtä voimakasta välitöntä veren pakkautumista lihakseen kuin meidän tutkimuk-
semme pitkäkestoisemmat suoritukset. Toinen mielenkiintoinen eroavaisuus on tilanne
kahden vuorokauden mittaustuloksissa. Tässä tutkimuksessa turvotus oli selvästi lieven-
tynyt kahden vuorokauden mittauksen kohdalla. Selityksenä voisi olla, kevyempien
kuormien aiheuttamat pienemmät lihasvauriot. Toisaalta, seurantamme päättyi tähän,
emme voi tietää seuranneista vuorokausista, jolloin turvotus on voinut kääntyä vielä
nousuun.

Pennaatiokulma. Lähtötasoisesti kontrollihenkilöiden pennaatiokulmien keskiarvoa las-
kee yhden koehenkilön poikkeuksellisen alhainen 8.5 asteen kulma. Keskimäärin tämän
koehenkilön pennaatiokulma oli vain 9.04 ± 0.60 astetta, joten tämän koehenkilön arvot
laskevat jonkin verran koko kontrolliryhmän kulmien keskiarvoa. Tämän henkilön arvot
alarajoilla jopa Kawakamin ym. 2006 suorittamaan kattavaan 711 henkilön lihaspak-
suuden ja pennaatiokulmien hajontojen kartoitustutkimukseen verrattaessa. Tässä kar-
toituksessa alimmat kulmat olivat 7 astetta ja tutkimuksessa oli mukana myös naisia ja
lapsia, joilla kulmat näyttäisivät olevan keskimäärin pienempiä kuin aikuisilla miehillä
(Kawakami ym. 2006). Tilastolliset analyysit osoittivat eri ryhmien välillä pennaatio-
kulman käyttäytymisen malleissa merkitsevän eron ($p=.041^*$), minkä voi silmämääräi-
sesti todeta myös kuvasta 12. Molempien ryhmien mallit näyttäisivät käyttäytyvän myös
hyvin samalla tavalla kuin lihaspaksuus (kuva 11), vaikkeivät muutokset olleetkaan pro-
sentuaalisesti yhtä voimakkaita. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei voitu paikantaa sa-
man ajankohdan mittauspisteissä eri ryhmien välillä pareittaisessa vertailussa. Syynä tä-
hän voi olla liian pieni vertailuryhmä (kontrollit 7 kpl) tai liian suuret hajonnat henki-
löiden välillä.

Vähäisistä aikaisemmista tutkimustuloksista johtuen, on pennaatiokulman muutosten
vertailu mahdollista ainoastaan pidemmän aikavälin muutoksiin. Aagaardin ym. (2001)
tutkimuksessa 16 viikon hypertrofinen harjoittelu aiheutti VL pennaatiokulmaan keski-
määrin 35.5 % kasvun alkutilanteeseen nähden kun paksuus kasvoi samalla aikavälillä
vain 10 %. Toisaalta, koehenkilöiden keskiarvostettu pennaatiokulma oli lähtötasoisesti
hyvin pieni (8.0 ± 0.4 astetta), jolloin pienikin kasvu näkyi suurena suhteellisena muu-
toksena. Kawakamin ym. (1995) tutkimuksessa 16 viikon voimaharjoittelu puolestaan
aiheutti yhtä suuret suhteelliset muutokset lihaskuivumissä, ACSA:ssa, PCSA:ssa, li-

haspaksuudessa ja pennaatiokulmassa. Tässä tutkimuksessa välittömästi harjoituksen jälkeen mitattu pennaatiokulman ja lihaspaksuuden muutosten suhde oli pikemminkin päinvastainen, sillä lihaspaksuus (+11.99 %) kasvoi noin kaksi kertaa enemmän kuin pennaatiokulman (6.1 %). Välittömät muutokset pennaatiokulmassa johtunevat harjoitusta seuranneesta kestojännityksestä (Meron ym. 1987) tai siitä, että lihakseen pakkautunut veri ja aineenvaihdunta tuotteet vääntävät lihassyitä normaalia jyrkempään kulmaan (Blazevich 2007). Kumpikaan näistä syistä ei kuitenkaan pitänyt lihassyitä pitkään normaalia jyrkemmässä kulmassa, koska puolen tunnin levon jälkeen pennaatiokulma oli jo lähes lähtötasossa. Tulos osoittaa lihassyiden voivan sijoittua suuresta lihasturvotuksesta huolimatta itsenäisesti lepotilannetta vastaavaan kulmaan, eikä tilanpuute tässä tapauksessa väännä lihassyitä normaalia suurempaan kulmaan.

Lihaspaksuuden ja pennaatiokulman suhde. Hypoteesin mukaisesti pennaatiokulman ja lihaspaksuuden välillä havaittiin jokaisessa vertailussa lievä korrelaatio, mutta joka ei tilastollisessa tarkastelussa kuitenkaan yltänyt merkitseväksi. Kuormituksen suorittaneilla henkilöillä harjoituksen eri vaiheissa mitattujen arvojen korrelaatio on ilmeinen lähtötilanteen arvoa lukuun ottamatta, eli palautumisen aikana muuttujat korreloivat $r=0.996$ ($p<.01^{**}$). Syy lähtötilanteessa mitatun arvon poikkeavuuteen on epäselvä. Ehkä kulma oli korkeampi koehenkilöiden mittaustilanteesta johtuvan jännityksen takia tai kenties lihassyt asettuivat harjoituksen jälkeisen levon ansiosta normaalia rennompaan tilaan ja laskivat siksi lähtötason alapuolelle. Ilmeistä on, ettei lihaspaksuuden ja pennaatiokulman suhde ole verrattavissa levänneen lihaksen ja kovan harjoituksen kokeneen, DOMS-tilassa olevan, lihaksen välillä. Lihaspaksuus ja pennaatiokulma näyttävät korreloivan voimaharjoituksen jälkeenkin, mutta tulokset eivät ole yhdistettävissä täysin palautuneen lihaksen tilanteeseen.

Validiteetti. Koska kaikki syyt eivät välttämättä ole kuvassa asettuneena täysin samansuuntaisesti, voi pieniä mittausvirheitä tuloksiin on voinut aiheuttaa kahden eri mittauksen käyttäminen arkkitehtuuristen muutosten määrittämisessä. Toisaalta, edellisen mittauksen tulosta ei tarkastettu tilastoista, vaan pennaatiokulma määritettiin lihassyistä, joka parhaiten kuvassa näkyi. Edellisen tuloksen tarkastamisella olisi voinut parantaa todennäköisyyttä mitata kulmaa ja paksuutta samasta kohdasta ja olisi näin voitu vähentää keskihajontaa, mikä olisi helpottanut tilastollista analysointia. Toisaalta, tämä olisi

voinut vaikuttaa tuloksiin manipuloidusti, kun tutkija ei olisi käyttänyt täysin muista tuloksista riippumatonta menetelmää.

Tutkimuksen kuuluminen yhtenä osana isompaan tutkimukseen vähensi joustavuuden mahdollisuuksia eikä aikaa mittauksiin ollut paljoa käytettävissä, jolloin muutama arvo jäi mittaamatta ja oli käytettävä SPSS-ohjelman EM-estimointia joidenkin puuttuvien mittojen saamiseksi mukaan analysointiin. Jos koehenkilöltä puuttui useampi kuin yksi arvo, en voinut hyväksyä tuloksia analysointiin, jolloin koehenkilömäärä laski eikä parasta mahdollista tilastollista tehoa voitu saavuttaa. Erityisesti kontrollihenkilöiden vähäinen määrä oli haitaksi tuloksien tilastolliselle tarkastelulle. Väljempi aikataulu olisi todennäköisesti nostanut myös mittaustarkkuutta. Tulevissa akuuttien vaikutusten tutkimuksissa seurannan olisi hyvä olla pidempi, jotta mahdollinen palautumisen kaksivaiheinen sykli voitaisiin havaita ja tutkia sen vaikutuksia. Koehenkilöryhmät kannattaa valita mahdollisimman suuriksi ja mittaajan kannattaa olla aina sama, ainakin samalla mitattavalla, jos mahdollista. Pennaatiokulman mittaamisen vakiointiin on syytä kiinnittää erityishuomiota.

Johtopäätös. Tämän tutkimuksen perusteella voimakas hypertrofinen voimaharjoitus saa aikaan lihaksen turvotusta, mikä havaitaan vielä kahden vuorokauden kuluttua sekä lievää lyhytaikaista pennaatiokulman kasvua. Lihaspaksuus korreloi pennaatiokulmaan lihaksen ollessa palautumistilassa.

LÄHTEET

- Aagaard P., Andersen JL., Dyhre-Poulsen P., Leffers AM., Wagner A., Magnusson SP., Halkjaer-Kristensen J., Simonsen EB. 2001. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The journal of physiology* 534(Pt. 2) 613-23
- Alexander R.M. & Vernon A. 1975. The dimensions of the knee and ankle muscles and the forces they exert. *Journal Of Human Movement* 1: 115-23
- Azizi E., Breinard E.L. 2007. Architectural gear ratio and muscle fiber strain homogeneity in segmented musculature. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology* s. 145-155
- Blazevich A.J. 2007. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *Journal of applied physiology (painossa)*.
- Blazevich AJ, Gill ND, Deans N, Zhou S. 2007. Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle & Nerve* 35: 78-86, 2007
- Blazevich A.J., Gill N.D., Zhou S. 2006. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of anatomy* 209: 289-310
- Buckley D.C., Kudsk K.A., Rose B.S., Fatzinger P., Koetting C.A. Schlatter M. 1987. Anthropometric and computerized tomographic measurements of lower extremity lean body mass. *Journal of the American dietetic association*, Feb;87(2):196-9
- Chleboun G.S., Howell J.N., Conatser R.R. & Giesey J.J. 1998. Relationship between muscle swelling and stiffness after eccentric exercise, *Medicine and science in sports and exercise*, 30(4):529-35
- Cureton K.J., Collins M.A., Hill D.W., ym. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20: 338-44
- Ebbeling & Clarkson 1989. Prolonged loss in range of motion and stiffness. *Teoksessa Gandevia S.C. (toim.) Fatigue: neural and muscular mechanisms*. New York : Plenum Press , cop. 1995, s. 465

- Elia M.N., Fuller J., Hardingham C.R., Graves M., Screatton N., Dixon A.K., Ward L.C. 2000. Modeling leg sections by electrical impedance analysis, dual energy X-ray absorptiometry: assessing segmental muscle volume using magnetic resonance imaging as reference. *Ann N Y Acad Sci*, 904: 298-304
- Enoka R.M. 2002. *Neuromechanics of human movement* 3rd edition, Human Kinetics, 219-221, 260-261, 286-287, 371
- Fleck S.J. & Kraemer W.J. 1997. *Designing resistance training programs*, Human Kinetics, 13-43
- Folland J. P. & Williams A. G. 2007. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports medicine* 37(2): 145-168
- Fukunaga T., Ichinose Y., Ito M., Kawakami Y., Fukashiro S. 1997. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of applied physiology* 82(1):354-8
- Fuller N.J., Hardingham C.R., Graves M., Screatton N., Dixon A.K., Ward L.C., Elia M. 1999. Predicting composition of leg sections with anthropometry and bio-electrical impedance analysis, using magnetic resonance imaging as reference. *Clinical science (London, England: 1979)*, Jun;96(6):647-57
- Gandevia S.C. (toim.) *Fatigue: neural and muscular mechanisms*. New York : Plenum Press , cop. 1995, s. 464
- Goldspink G. 1992. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. Teoksessa Komi P.V. (ed.) *Strength and power in sport*. Blackwell scientific, Oxford, 214-217
- Gonzalez-Serratos H., Somlyo A.V., McClellan G., Shuman H., Borrero L.M., Somlyo A.P. 1978. Composition of vacuoles and sarcoplasmic reticulum in fatigued muscle: electron probe analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Mar;75(3):1329-33
- Guyton A.C. & Hall J.E. 2006. *Textbook of medical physiology* 11th edition, Elsevier Saunders, Philadelphia, 73
- Howell J.N., Chleboun G. & Gonatser R. 1993. Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans, *Journal of physiology* 464, s. 183-196

- Huizing P.A. 1999. Muscle as a collagen fiber reinforced composite: a review of force transmission in muscle and whole limb, *Journal of biomechanics*, 32: 329-345
- Häkkinen K. 1990. Voimaharjoittelun perusteet, Gummerus, Jyväskylä, 45-56, 69-72
- Häkkinen K., Komi P.V., Alen M. 1985. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand.* Dec;125(4):587-600
- Ichinose Y., Kanehisa H., Ito M., Kawakami Y., Fukunaga T. 1998. Relationship between muscle fiber pennation and force generation capability in Olympic athletes. *International Journal of Sports Medicine* Nov;19(8):541-6
- Ito M., Kawakami Y., Ichinose Y., Fukashiro S., Fukunaga T. 1998. Nonisometric behaviour of fascicles during isometric contractions of a human muscle, *Journal of applied physiology*, 85: 1230-1235
- Jones D.A., Rutherford O.M., & Parker D.F. 1989. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 74, 233-256
- Kaufman K.R., An K.N., Chao E.Y. 1989. Incorporation of muscle architecture into the muscle length-tension relationship. *Journal of Biomechanics* 8, s. 943-948.
- Kawakami Y., Abe T., Fukunaga T. 1993. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles 74(6) s. 2740-2744
- Kawakami Y., Abe T., Kanehisa H., Fukunaga T. 2006. Human skeletal muscle size and architecture: variability and interdependence. *American Journal of human biology* Nov-Dec;18(6):845-8
- Kawakami Y., Abe T., Kuno S.Y., Fukunaga T. 1995. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 72 (1/2) s. 37-43
- Komi P.V. (ed.) 1992. *Strength and power in sport*. Blackwell scientific, Oxford, 214
- Knapik J.J., Staab J.S., Harman E.A. 1996. Validity of an anthropometric estimate of thigh muscle cross-sectional area. *Medicine and science of sports and exercise*, Dec;28(12):1523-30
- Kraemer W.J. & Häkkinen K. 2002. *Strength training for sport*, Blackwell Science Malden, Oxford, 11-12, 27

- Kraemer W.J., Patton J., Gordon S.E., Harman E.A., Descenes M.R., Reynolds K., Newton R.U., Triplett N.T. & Dziados J.E. 1995. Compatibility of high intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of applied physiology* 78 (3), 976-989
- Linnamo V., Pakarinen A., Komi P.V., Kraemer W.J., Häkkinen K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *J Strength Cond Res*, Aug;19(3):566-71
- MacDougall J.D. 1992. Hypertrophy and hyperplasia. Teoksessa Komi P.V. (ed.) *Strength and power in sport*. Blackwell scientific, Oxford, 230, 232
- Maganaris C.N., Palzopoulos V., Sargeant A.J. 1998. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: Implications for muscle function, *Journal of physiology*, 512: 603-614
- McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L 2007. *Exercise physiology*, Lippincott Williams & Wilkins, 366, 370-371, 380-383, 541-543, 549-550
- Mero A., Peltola E. & Saarela J. 1987. Nopeus- ja nopeuskestävyysharjoittelu, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä
- Miyatani M., Kanehisa H., Ito M., Kawakami Y., Fukunaga T. 2004. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *European Journal of Applied Physiology* vol. 91, numbers 2-3
- Moore K.L. & Dalley A.F. 1999. *Clinically orientated anatomy* 4th edition, Lippincott Williams & Wilkins, 26-31
- Morgan 1990. Prolonged loss in range of motion and stiffness. Teoksessa Gandevia S.C. (toim.) *Fatigue: neural and muscular mechanisms*. New York : Plenum Press , cop. 1995, s. 464
- 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 s. 97-103
- 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: 287-297
- Narici M.V., Cerretelli P. 1998. Changes in human muscle architecture in disuse-atrophy evaluated by ultrasound imaging. *Journal of Gravitational Physiology* Jul;5(1):P73-4

- Narici M.V., Landoni L., Minetti A.E. 1992. Assessment of human knee extensor muscles stress from in vivo physiological cross-sectional area and strength measurements. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 65 (5). s. 438-444
- Niensted W., Hänninen O., Arstila A. & Björkqvist S-E. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WS Bookwell Oy, Porvoo, 76-80
- Otten E. 1988. Concepts and models of functional architecture in muscle. *Exercise and sport sciences review* 16, s. 89-137
- Prasartwuth O., Taylor J.L., Gandevia S.C. 2005. Maximal force, voluntary activation and muscle soreness after eccentric damage to human elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*. Aug 15;567(Pt 1):337-48
- Rice C.L., Cunningham D.A., Paterson D.H., Lefcoe M.S. 1990. A comparison of anthropometry with computed tomography in limbs of young and aged men. *Journal of gerontology*, Sep;45(5):M175-9
- Rutherford O.M., Jones D.A. 1992. Measurement of fibre pennation using ultrasound in the human quadriceps in vivo. *European Journal of applied physiology and occupational physiology* 65 (5). s. 433-437
- Wickiewicz T.L., Roy R.R., Powell P.L., Perrine J.J., Edgerton V.R. 1984. Muscle architecture and force-velocity relationships in humans. *Journal of applied physiology* 57, s. 435-443
- Wilmore J.H. 1974. Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training-program. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 6: 133-8

LIITE 1. Suostumuslomake

LUURANKOLIHAKSEN MOLEKYYLIBIOLOGINEN JA FYSIOLOGINEN ADAPTOITUMINEN: VOIMAHARJOITTELUN JA HERAPROTEIININ PITKÄAIKAISET JA AKUUTIT VAIKUTUKSET NUORILLA MIEHILLÄ

TIEDOTE TUTKITTAVILLE

Tutkijoiden yhteystiedot

Antti Mero, LitT, erikoistutkija, dosentti, (vastuullinen tutkija), Liikuntabiologian laitos, Viveca, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. (014) 2602077, 040-5408704, email: antti.mero@sport.jyu.fi

Vuokko Kovanen, FT, dosentti, terveystieteiden laitos, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh (014) 2602163, email: vuokko.kovanen@sport.jyu.fi

Keijo Häkkinen, LitT. Professori. Liikuntabiologian laitos, Viveca, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. (014) 2602076, email: keijo.hakkinen@sport.jyu.fi

Juha Hulmi, LitM. Liikuntabiologian laitos, Viveca, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. (014) 260 2058, 040-8327001, email: juha.hulmi@sport.jyu.fi

Marko Haverinen, LitM. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, puh. 050-3277206, email: marko.haverinen@pajulahti.com

Juha Ahtiainen, LitM. Liikuntabiologian laitos, Viveca, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, puh. (014) 260 2083, email: juha.ahtiainen@sport.jyu.fi

Tuomas Kaasalainen, kemian yo. Kemian laitos, Jyväskylän yliopisto, puh. (045) 6789894, email: tkaasal@cc.jyu.fi

Harri Selänne, LKT, Yleislääketieteen ja liikuntalääketieteen erikoislääkäri, ylilääkäri, LIKES, puh. (014) 2601575, (050) 4285252, email: harri.selanne@likes.fi

Heikki Kainulainen, FT, professori, dosentti, Liikuntabiologian laitos, Viveca, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, Puh (014) 2602052, email: heikki.kainulainen@sport.jyu.fi

Tutkimuksen taustatiedot

Tämä tutkimus on osa laajempaa tutkimusprojektia, jossa selvitetään ravintosupplementaatiolla ja ilman tapahtuvan voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia vaikutuksia luurankolihasproteiineihin ja kehon fysiologiaan sekä voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia vaikutuksia lihastonukseen (lihaksen jännitystilaan). Tämän tutkimuksen mittaukset tehdään Jyväskylän yliopiston Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnan tiloissa lokakuun 2006 ja toukokuun 2007 välisenä aikana.

3 Tutkimusaineiston säilyttäminen

Tutkimuksen vastuullinen tutkija Antti Mero sekä väitöskirjaopiskelijat Juha Hulmi ja Marko Haverinen vastaavat tutkimusaineiston turvallisesta säilyttämisestä. Tutkimusaineiston (ATK- ja manuaalinen aineisto) säilytetään liikuntabiologian laitoksen fysiologian laboratoriotiloissa ja tutkijoiden (Juha Hulmi ja Marko Haverinen) lukituissa kaapeissa. Tietokonepohjainen mittausdata kopioidaan cd-levyille, jotka arkistoidaan Juha Hulmin ja Marko Haverisen lukittuihin kaappeihin liikuntabiologian laitoksella.

4 Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää sekä solu-, kudos-, että koko kehon tasolla nuorilla miehillä tapahtuvia a) voimaharjoittelun vaikutuksia lisäproteiinilla ja ilman, b) yksittäisen voimaharjoituksen akuutteja vaikutuksia lisäproteiinilla ja ilman sekä c) **voimaharjoittelun akuutteja ja pitkäaikaisia vaikutuksia lihastonukseen**. Useiden harjoitteluun liittyvien adaptaatioiden on oletettu tapahtuvan kumulatiivasti yksittäisten harjoitusten aikaisten väli aikaisten muutosten kautta. Tämän tutkimuksen selvät vahvuudet ja ainutlaatuisuus ovat sekä pitkäaikaisen harjoittelun että yksittäisen harjoituksen akuutin vaikutuksen tutkiminen samassa tutkimuksessa samoilta koehenkilöiltä. Lisäksi on erittäin vähän tutkimuksia, joissa on selvitetty voimaharjoittelun vaikutuksia sekä uusilla molekyylibiologisilla ja lihastonusta mittaavilla menetelmillä että toisaalta voimantuottoa mittaavia laitteita hyväksi käyttäen.

Hankkeen merkitys. Tutkimukset nuorten heikosta kunnosta osoittavat, että fyysinen suorituskyky on uhkaavasti heikentynyt viime vuosina. On tärkeää hankkia lisätietoa harjoittelun ja ravinnon yhteisvaikutuksista, jotta vältetään nuorten kunnan lisääntyvä heikkeneminen. Tutkimuksen tuloksista arvioidaan olevan hyötyä kehitettäessä kuormittamisen ja ravinnon yhteisvaikutuksia kilpaurheilussa, kuntoliikunnassa, kuntoutuksessa, koululiikunnassa ja fyysisessä työelämässä.

Menettelyt, joiden kohteeksi tutkittavat joutuvat

Koehenkilöt jaetaan kolmeen ryhmään satunnaistetusti:

- 1) voimaharjoittelujakso lisäproteiinilla (hera ennen jokaista harjoitusta (15 g) ja välittömästi jokaisen harjoituksen jälkeen 15 g heraa (n=12),
- 2) voimaharjoittelujakso plasebolla (plasebo harjoitusta ennen ja harjoituksen jälkeen vastaavasti, n=12) ja
- 3) kontrollihenkilöt osallistuvat mittauksiin ja jatkavat normaalia elämänrytmiään, mutta eivät harjoittele (n=12).

Lisäksi ryhmien 1 ja 2 koehenkilöiden voimaharjoituksen akuutit vasteet tutkitaan heraproteiinilla (ks. edellinen kohta) (n=10) ja plasebolla (n=10) joko harjoittelujakson alussa tai lopussa. Tutkimus on asemaltaan kaksoissokkokoe eli koehenkilöt eivät tiedä, saavatko ravintolisää vai plaseboa ja toisaalta tutkijat eivät tiedä harjoittelun ja mittausten aikana mihin ryhmään kukin koehenkilö kuuluu. Koehenkilöt täyttävät ravinto- ja harjoituspäiväkirjaa tutkimusjakson aikana. Intensiivinen, progressiivinen ja jaksotettu voimaharjoittelu on kestoaltaan 21 viikkoa. Voimaharjoittelua on kaksi kertaa viikossa. Koehenkilöiden harjoittelu ohjataan koko harjoittelujakson ajan.

Jokaiselta koehenkilöiltä otetaan useita lihasnäytteitä ulommasta reisilihaksesta. Koehenkilöille tehdään alkumittaukset, joissa määritetään koehenkilön pituus, paino sekä rasvan ja lihaksen määrä (ihopoimiumittauksilla, ultraäänitutkimuksella ja magneettikuvauksella), koehenkilöiden voimantuotto testataan kahdesti ja heiltä mitataan lisäksi lihastonusta ja passiivista lihasjäykkyyttä kuvaavat muuttujat. Samat mittaukset tehdään harjoittelujakson puolivälissä. Edelleen loppumittauksissa harjoittelujakson jälkeen koehenkilöille tehdään täysin samat testaukset kuin alkumittauksissa.

Pitkäkestoisen 21 viikon harjoittelujakson jälkeen koehenkilöt osallistuvat viiden (5) viikon herkistely- ja detraining-jaksoon, jonka aikana seurataan lihastonuksen, passiivisen lihasjäykkyyden ja voimatasojen muuttumista viikoittain. Heraproteiini- ja plaseboryhmien koehenkilöt satunnaistetaan viiden viikon ajaksi joko detraining-ryhmään, joka ei harjoittele lainkaan, tai ns. herkistelyryhmään, joka tekee kerran viikossa nopeusvoimatyypisen voimaharjoituksen.

Tutkimuksen hyödyt ja haitat tutkittaville

Mitä tutkittavat hyötyvät osallistumisestaan tutkimukseen. Korvaukseksi tutkimukseen osallistumisestaan tutkittavat saavat monipuolista tietoa optimaalisesta harjoittelusta ja ravinnosta sekä omasta kunnostaan, lihasten koosta ja rakenteesta sekä useista terveystilastuksista (mm. hemoglobiini, hematokriitti, kolesteroli ja mieshormoni testosteroni). Kaikkien koehenkilöiden ruokapäiväkirjat analysoidaan Nutrica 3.1-ohjelmalla. Saatujen tulosten avulla he pystyvät halutessaan jatkossa suunnittelemaan paremmin oman ruokavalionsa itselleen parhaiten sopivaksi. Kaikki testit ja mittaukset ovat tutkittaville maksuttomia.

Tutkimukseen liittyvät riskit ja mahdolliset haitat. Tässä tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät on todettu turvallisiksi lukuisissa tutkimuksissa. Maksimaalisen suorituskyvyn (intensiivinen voimaharjoitus) mittaamiseen liittyy kuitenkin myös riskejä. Tällaisia ovat tapaturmat, joihin liittyy ulkoinen syy (esim. liukastuminen, kaatuminen ja niistä aiheutuneet vammat) sekä lihas- ja jännerevähdykset tai sairaskohtaukset, joihin ei liity ulkoista syytä. Tapaturman ja sairaskohtauksen ensiapuun liikuntabiologian laitoksella on varauduttu.

Laskimoverinäytteiden otto aiheuttaa nipistävästä kipua ja toisinaan mustelman näytteenottoalueelle. Nämä vaivat häviävät yleensä muutamassa päivässä. Verinäytteet ottaa siihen koulutuksen saanut laboratoriohoitaja. Ultraäänitutkimus ja magneettikuvaus ovat täysin kivuttomia ja vaarattomia.

Lihasnäyte otetaan paikallispuudutuksessa (lääkäri selvittää allergisuuden puudutteelle ennen toimenpiteitä). Ihoon ja lihaskalvoon tehdään 0,5-1 cm:n viilto, jonka kautta näytteenotto-neula viedään lihakseen. Toimenpiteestä aiheutuu vähäistä kipua ja pieni tulehdus, joka on osa paranemisprosessia. Myös pintahermo voi vaurioitua, jolloin reiden ihon kosketustunto on muutaman viikon ajan heikentynyt. Näytteenotto aiheuttaa aina myös vähäistä laskimoverenvuotoa, joka minimoidaan kylmäkäsittelyllä ennen ja jälkeen toimenpiteen. Haava suljetaan perhosteipillä, sidetaiteksella ja joustavalla liimasiteellä, joka poistetaan seuraavana päivänä. Vakavat tulehdus- tai verenvuotokomplikaatiot (haitat) ovat erittäin harvinaisia ja nekin lähes poikkeuksetta täysin hoidettavissa. Usein lihasbiopsiasta jää muistoksi hyvin pieni arpi. Välittömästi toimenpiteen jälkeen voi kävellä normaalisti, mutta harjoitella voi aikaisintaan parin päivän kuluttua. Lihasnäytteen ottaa tutkimusryhmään kuuluva lääkäri, jolla on runsaasti kokemusta näytteenotosta.

Lihastonusmittaus suoritetaan etu- ja takareidestä. Mittauksen aikana tietokoneohjatun tonuslaitteen anturi, minkä pään pinta-ala (1 cm²), painautuu pinnallisesti hieman lihaksen alueelle kunnes on saavuttanut 3 kg:n voiman. Tapahtuma on täysin turvallinen, mutta saattaa tuottaa mittauksen aikana lyhytaikaista puristavaa kipua ja mittauksen jälkeen ihon pinta saattaa olla hieman arka, mutta tämä ei kuitenkaan aiheuta rajoitteita mittauksen jälkeiselle harjoittelulle. Takareiden passiivista lihasjäykkyyttä kuvaavassa mittauksessa koehenkilö kiinnitetään liikkuvuutta mittaavaan dynamometriin, joka mekaanisesti ohjaa henkilön suoraa jalkaa kohti rintakehää mitaten samalla lonkkanivelen nivelkulmaa ja lihaksen venytystä vastustavaa voimaa. Venytys pysäytetään ääriasennossa koehenkilön ilmoittaessa kipurajan saavutetun. Mittaus on normaali takareiden liikkuvuudesta, joka voi aiheuttaa pientä kipua venytyksen aikana.

Toisen voimamittauksen yhteydessä mitataan etu- ja takareidestä lihasaktiivisuutta (EMG) pintaelektrodi- en avulla. Elektrodin kiinnittämiskohdasta ajellaan ihokarvat, kuollut ihosolukko poistetaan hiekkapaperilla ja iho pyyhitään desinfiointiaineella (Amisept). Tämä aiheuttaa kirvelöintiä ja mittauksen jälkeen iho saattaa ärsyntyä. Tästä syystä tavallisten perusvoiteiden käyttäminen elektrodikohdissa mitausten jälkeen on suotavaa ihon paranemisen nopeuttamiseksi. Ihokarvojen ajaminen aiheuttaa lisäksi kosmeettisen haitan lyhyeksi ajanjaksoksi. Ensimmäisellä mittauksella elektrodi- ja lihastonusmittauskohtiin tehdään pieni tatuointipiste mittauskohdan vakioimiseksi seuraavia mittauksia varten. Tatuointi tehdään musteella ja pienellä neulalla, jolla pistäminen aiheuttaa lyhytaikaista nipistävästä kipua.

Proteiiniravinto on kirjallisuuden perusteella valmistettu mahdollisimman hyväksi ja terveelliseksi, joten sen nauttiminen ei aiheuta mitään oireita ja oletettavasti parantaa elimistön fysiologista tilaa.

Mihin tutkimustuloksia aiotaan käyttää

Tutkimustuloksia julkaistaan alan kansainvälisissä tieteellisissä aikakauslehdissä ja kongresseissa. Tutkimuksesta kirjoitetaan artikkeleita myös suomenkielisiin alan julkaisuihin. Tutkimuksesta valmistuu osa Juha Hulmin liikuntafysiologian väitöskirjatyöstä, osa Marko Haverisen valmennus- ja testausopin väitöskirjatyöstä, Tuomas Kaasalaisen molekyylibiologian laudaturtyö, kaksi kandidaatin työtä ja kaksi gradutyötä. Tutkimuksen tuloksia käytetään jatkossa normaalissa yliopiston opetuksessa.

Tutkittavien oikeudet

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Tutkittavilla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mittauksista ja keskeyttää testit ilman, että siitä aiheutuu mitään seuraamuksia. Tutkimuksen järjestelyt ja tulosten raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan ja tutkijaryhmän käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Tutkittavilla on oikeus saada lisätietoa tutkimuksesta tutkijaryhmän jäseniltä missä vaiheessa tahansa.

Vakuutukset

Tutkittavat on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa ja ohjelman mukaisissa harjoituksissa. Vakuutusyhtiöt eivät kuitenkaan korvaa äkillisen ponnistuksen aiheuttamaa lihas- tai jännerevähdystä, ellei siihen liity ulkoista syytä. Tapaturmien ja sairastapausten välittömään ensiapuun mittauksissa on varauduttu liikuntabiologian laitoksella. Laboratoriossa on ensiapuvälineet ja varusteet, joiden käyttöön henkilökunta on perehtynyt. Tutkittavalla olisi hyvä olla oma henkilökohtainen tapaturma/sairaus- ja henkivakuutus, koska tutkimusprojekteja varten vakuutusyhtiöt eivät myönnä täysin kattavaa vakuutusturvaa esim. sairauskohtauksien varalta.

Tutkittavan suostumus

Olen perehtynyt tämän tutkimuksen tarkoitukseen ja sisältöön, tutkittaville aiheutuviin mahdollisiin haittoihin sekä tutkittavien oikeuksiin ja vakuutusturvaan. Suostun osallistumaan mittauksiin ja toimenpiteisiin annettujen ohjeiden mukaisesti. En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena. Voin halutessani peruuttaa tai keskeyttää osallistumiseni tai kieltäytyä mittauksista missä vaiheessa tahansa. Tutkimustuloksiani saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. julkaisuihin) sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

Päiväys

Tutkittavan allekirjoitus

Päiväys

Tutkijan allekirjoitus