

21 VIIKON VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET VOIMAN-  
TUOTTOKYKYYN SEKÄ ULOMMAN REISILIHAKSEN PEN-  
NAATIOKULMAAN JA LIHASPAKSUUTEEN

Janne Kulmala

Valmennus- ja testausopin  
kandidaatin tutkielma  
Syksy 2008  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto  
Työn ohjaaja: Taija Juutinen

## TIIVISTELMÄ

*Janne Kulmala 2008. 21 viikon voimaharjoittelun vaikutukset voimantuottokykyyn sekä ulomman reisilihaksen pennaatiokulmaan ja lihaspaksuuteen. Valmennus- ja testausoppi. Kandidaatin tutkielmaseminaari. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. s. 37*

Raskas voimaharjoittelu on yksi maailman suosituimmista kuntoilumuodoista. Se johtaa moniin rakenteellisiin sekä hermostollisiin mukautumisiin, joiden johdosta voimantuottokyky kasvaa. Tässä tutkimuksessa pyrittiin aiheuttamaan erityisesti lihaksen rakenteellisia muutoksia lihaskasvuun tähtäävällä hypertrofisella puolen vuoden harjoittelulla.

Pennaatiolihasessa lihassyty ovat sijoittuneet vinosti lihaksen pitkittäiseen akseliin nähden muodostaen pennaatiokulman. Useiden tutkimusten mukaan kulma korreloi lihaspaksuuteen ja näiden molempien suureiden uskotaan suurenevan lihaskasvun myötä. Tässä tutkimuksessa havainnoidtiin aiemmin harjoittelemattomien nuorten miesten voimantuottokyvyn, ulomman reisilihaksen paksuuden sekä pennaatiokulman mukautumista voimaharjoitteluun. Tavoitteena oli selvittää, onko näillä kolmella muuttujalla positiivinen suhde toisiinsa.

27:stä koehenkilöstä (25.4±3.8 v., 181.6±5.8 cm, 74.5±7.7 kg) 19 osallistui 21 viikon progressiiviseen raskaaseen voimaharjoitteluun kahdesti viikossa kun taas loput 8 henkilöä eivät harrastaneet voimaharjoittelua. Voimantuottokyvyn muuttumista seurattiin yhden toiston maksimaalisella (1 RM) jalkaprässillä ja polven ojennuksella sekä 85%\* 1 RM polven ojennus -suorituksella. Ultraäänilaitteella mitattiin ulomman reisilihaksen paksuuden sekä pennaatiokulman muuttumista. Mittaukset suoritettiin tutkimuksen alussa, puolivälissä sekä lopussa.

Tutkimuksessa saavutettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä voimantuottokyvyn nousu koko puolen vuoden harjoittelujakson ajalla kaikilla käyttämillämme mittareilla sekä voimakas ulomman reisilihaksen hypertrofinen vaste, mikä havaittiin lihaspaksuuden kasvuna (13 %,  $p < 0.01$ ) erityisesti ensimmäisen 10.5 viikon ajalla. Voimaharjoitteluiden koehenkilöiden voimantuottokyvyn ja lihaspaksuuden välillä havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio. Pennaatiokulmassa havaittiin pientä muista poikkeavaa mukautumista, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevää, mikä antaa aiheen epäillä mittaustekniikan luotettavuutta tai teoriaa, jonka mukaan lihaspaksuus ja pennaatiokulma ovat suoraan yhteydessä toisiinsa. Tämän tutkimuksen perusteella voimantuottokyvyn kehittyminen on riippuvainen lihaspaksuuden mukautumisesta, mutta voimantuottokyky ja lihaspaksuus eivät ole riippuvaisia pennaatiokulman muutoksista.

Avainsanat: pennaatiokulma, lihaspaksuus, hypertrofinen voimaharjoittelu, ultraääni

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO .....	3
2	VOIMAHARJOITTELU .....	4
3	LIHASRAKENNE JA VOIMANTUOTTOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	6
	3.1 Pennaatiokulma.....	7
	3.2 Lihaskudoksen paksuus.....	9
	3.3 Lihaksen rakenteen määrittäminen .....	12
4	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	13
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	13
	5.1 Koehenkilöt.....	13
	5.2 Tutkimusasetelma .....	14
	5.3 Harjoittelu .....	15
	5.4 Mittaukset.....	16
	5.4.1 Voimantuotto .....	16
	5.4.2 Lihaskudoksen paksuus ja pennaatiokulma .....	17
	5.5 Tilastollinen käsittely.....	18
6	TULOKSET .....	19
	6.1 Voimantuotto .....	19
	6.2 Lihaskudoksen paksuus.....	21
	6.3 Pennaatiokulma.....	22
	6.4 Voimantuoton, lihaspaksuuden ja pennaatiokulman korrelaatio .....	22
7	POHDINTA .....	23
	LÄHTEET.....	28
	LIITE 1.....	34

# 1 JOHDANTO

Voimaharjoittelun pitkäaikaisesta ja laaja-alaisesta tutkimus- sekä harjoittelupohjasta huolimatta sen aikaansaamiin niin hermostollisiin kuin rakenteellisiin elimistön mukautumisiin liittyy vielä paljon epäselvyyksiä (Folland & Williams 2007). On selvää, että lihas suurenee ja voimantuotto kyky kasvaa, mutta mistä tämä kaikki johtuu? Rakenteellisella tasolla näyttäisi siltä että supistuvan kudoksen koko ja määrä kasvaa. (Aagaard ym. 2001; Enoka 2002, 260–261.) Mutta millä tavoin rakentuminen ja kasvaminen tapahtuu?

Lihaksen rakennetta on tutkittu alun perin kuolleilta henkilöiltä, joiden kudokseen on ollut elävää henkilöä helpompi ja inhimillisempi pääsy (Wickiewicz ym. 1983 ja 1984). Sittenkin elävän henkilön lihaksen rakenteellisia muutoksia on yritetty seurata muun muassa antropometrisin menetelmin (Buckley ym. 1987; Elia ym. 2000; Fuller ym. 1999; Knapik ym. 1996; Rice ym. 1990), joiden avulla saatu tieto ei ole kuitenkaan riittävän yksityiskohtaista ja tarkkaa. Tekniikan kehittyessä rakenteellisten muutosten seuraaminen *in vivo* vahingoittamatta koehenkilön kudosta, levossa ja lihassupistuksen aikana tuli mahdolliseksi. Nykyään suosituimpia tekniikoita ovat magneettikuvauksen (MRI) ja ultraäänilaitteen käyttäminen (Folland & Williams 2007).

## 2 VOIMAHARJOITTELU

Raskas voimaharjoittelu on yksi maailman yleisimmistä kuntoilumuodoista. Se johtaa monenlaisiin rakenteellisiin ja hermostollisiin mukautumisiin eli adaptaatioihin, joiden johdosta voimantuottokyky kasvaa. (Folland & Williams 2007.) Ensimmäisten viikkojen aikana tahdonalainen voimantuottokyky kasvaa merkitsevästi ja kasvu jatkuu vähintään 12 kuukautta (Morganti ym. 1995), joista ensimmäiset 6 kuukautta lähes lineaarisesti (Blazevich 2007). Harjoittelumenetelmistä riippuen, harjoitusvaikutus on mahdollista kohdistaa joko hermostollisen toiminnan paranemiseen tai lihasmassan kasvun suuntaan. Ensimmäisessä tapauksessa käytetään hyvin suuria kuormia, yleensä 80–100% kulloisenkin liikkeen yhden toiston maksimista (1RM) pitäen samalla toistomäärät alhaisina (1-5 toistoa sarjassa). Tällöin puhutaan usein *hermostollisesta maksimivoimaharjoittelusta*. Tämänkaltainen harjoittelu tuottaa vain hyvin vähän lihasmassan kasvua, maksimivoima sen sijaan kasvaa merkittävästi. *Hypertrofisella voimaharjoittelulla* saadaan aikaan suurin lihasmassan kasvu (Häkkinen 1990, 69-71).

Lihassolun poikittaispinta-alan kasvu eli hypertrofia 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 rekrytoitavasta sekä harjoittelijan harjoittelutaustasta (Kraemer ym. 1995 ja MacDougall 1992, 230). Vaatimuksena harjoittelun aikaansaamalle hypertrofialle, on lihaksen suuri jännitys riittävän pitkäksi ajaksi. Tämä aiheuttaa signaalin suurentuneeseen aminohappojen imeytymiseen lihaksiin ja supistumiskykyisten proteiinien tuotantoon (Kraemer & Häkkinen 2002, 27).

Vaikka erityisesti hermostollinen maksimivoimaharjoittelu aiheuttaa hermostollisen toiminnan kyseessä olevalle liikkeelle mukautumista, aiheuttaa kaikenlainen voimaharjoittelu, hypertrofisen mukaan lukien, hermostollista mukautumista. Tämä hermostollisen vasteen läsnäolo voidaan havaita esimerkiksi harjoittelun alkuvaiheen suhteellisesti suurempana voimantuoton kuin lihaksen koon kasvuna. Hermostollista oppimista tapah-

tuukin erityisesti harjoittelun alkuvaiheessa. Tätä hermostollisen mukautumisen mahdollisuutta on pitkään pidetty epäselvänä, mutta erityisesti viime aikoina tutkimusmenetelmien kehittyessä ongelmaan on saatu myös useita muita todisteita. (Folland & Williams 2007.)

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 kuin pystytään. Voidaan myös käyttää menetelmää, jossa 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.)

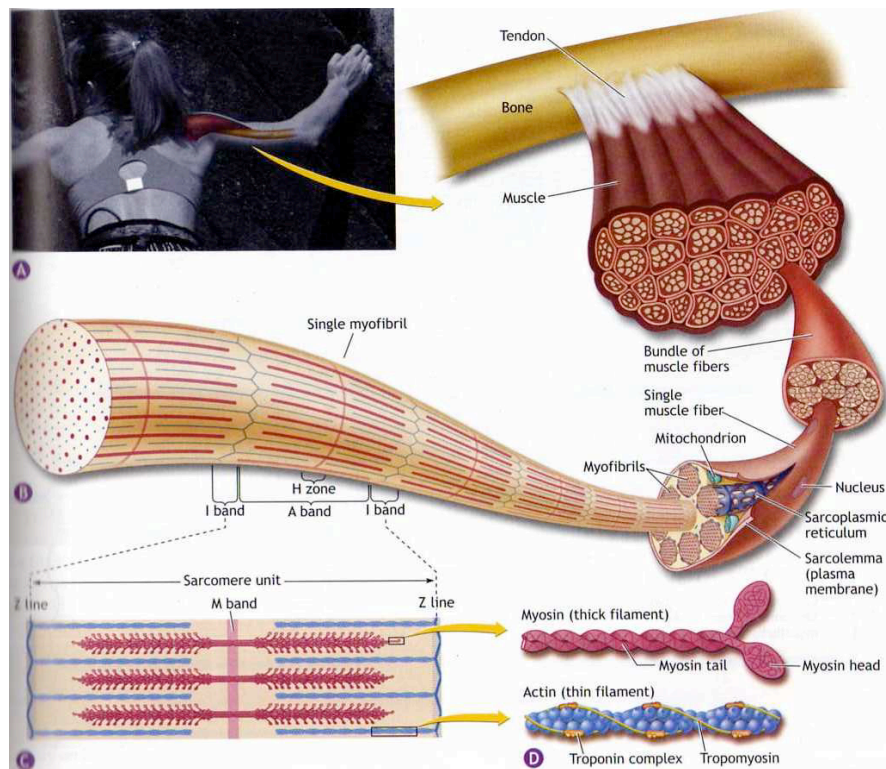
Voimaharjoittelussa voidaan hyödyntää erilaisia lihastyötapoja. Isometrisessä työssä lihas-jänne-kompleksin pituus ei muutu, mutta supistuva komponentti lyhenee ja passiivinen komponentti pitenee. Dynaaminen työ puolestaan jaetaan konsentriseen ja eksentriseen työhön ja näissä molemmissa tavoissa lihaspituus muuttuu. Eksentrisessä työssä lihas-jänne-kompleksin pituus kasvaa ja konsentrisessä lyhenee. Tutkimusten perusteella eksentrisellä työtavalla on useimmiten mahdollista saavuttaa suurin voima. (Komi 1973, Fleck & Kraemer 1997, 13–43.) Lihaksen rakenteellisen mukautumisen ei ole kuitenkaan havaittu riippuvan lihastyötavasta (Blazevich 2007).

Raskaan, hypertrofisen voimaharjoittelun vaikutuksia voimantuottokykyyn on seurattu usein maksimivoimaa testaamalla. Käytettyjä testausmenetelmiä ovat isometrisen maksimivoiman mittaus (mm. Häkkinen ym. 1985; Garfinkel & Cafarelli 1992) ja yhden toiston maksimin (1 RM) mittaus (Tracy ym. 1999; Abe ym. 2000). Usean toiston mittauksia ei olla käytetty tieteellisissä tutkimuksissa kovin yleisesti toisin kuin kuntotestauksessa, jossa pyrkimys on nimenomaan lajinomaiseen ja tarkoituksenmukaiseen tulokseen (Keskinen ym. 2004). Syynä tähän lienee asetelman vaikeampi vakiointi. Campos ym. (2002) käyttivät 60 % \* 1 RM suoritusta tutkimuksessaan mittaamaan lihaskestävyyttä. Alkuperäisen 1 RM prosentuaalisessa käyttämisessä mittauksissa on se etu, että

toistomäärät ovat monesti lähempänä harjoitteluissa suoritettuja määriä ja siten mittaus voi kuvastaa paremmin kehittyneitä ominaisuuksia.

### 3 LIHASRAKENNE JA VOIMANTUOTTOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lihassolut, eli lihassyöt ovat liittyneinä kokonaiseksi lihakseksi kolmessa tasossa olevien kollageenikudoksesta muodostuvien lihaskalvojen avulla (kuva 1). Tämä aponeuroosiksi tai kalvojänteeksi kutsuttu yhdistävä kudoks, joka sijaitsee koko lihaksessa, sitoo lihaksen jänteeseen, joka sitoutuu puolestaan luuhun. (Enoka 2002, 219.) Rinnakkain järjestyneet lihassyöt muodostavat juosteita eli lihassolukimppuja (Guyton & Hall 2006, 73). Kukin lihassyö on täynnä myofibrillejä, jotka puolestaan koostuvat jonossa olevista sarkomeereista (Niensted ym. 2004, 76–78). Sarkomeeri on lihaksen supistuvan komponentin pienin toiminnallinen yksikkö. Sarkomeeri sisältää toisiinsa lomittain sijoittuvia aktiini- ja myosiinifilamenteja, joita myös ohuiksi ja paksuiksi filamenteiksi kutsutaan (Kuva 1). Kukin filamentti koostuu useista proteiineista. (Enoka 2002, 220–221.)



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

Luurankoliuksen pienin toiminnallinen yksikkö on motorisen hermosyyn eli  $\alpha$ -motoneuronin sekä kaikkien sen hermottamien lihassyiden muodostama motorinen yksikkö (MY) (Moore & Dalley 1999, 31). Kun hermoimpulssi saavuttaa selkäytimen, lähtee toinen impulssi  $\alpha$ -motoneuronin pitkin hermosolun päätehaaroihin ja hermolihassoluihin. Tällaisella motorisella päätelevyillä 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 myosiinifilamenttien välille syntyy poikittaissiltoja. Poikittaissiltojen seurauksena filamentit liukuvat syvemmäksi toistensa lomaan aikaansaaden MY:n lihassolujen supistumisen. (Niensted ym. 2004, 79–80.)

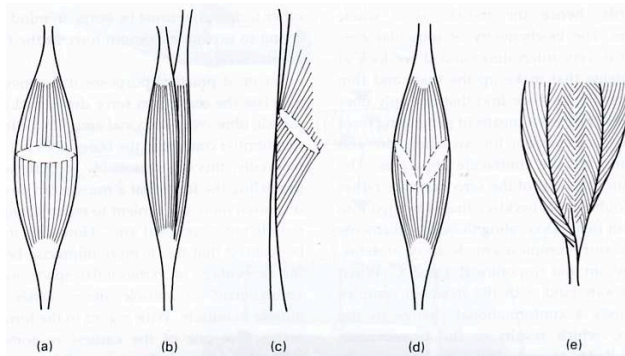
### 3.1 Pennaatiokulma

Lihassyöt voivat kulkea joko lihaksen pituusakselin suuntaisesti tai, kuten suurimmassa osassa lihaksia, viistosti pitkittäiseen akseliin nähden (kuvat 2 ja 3). Tällöin ne kiinnittyvät aponeurooseihin tietyssä kulmassa ja kyseisiä lihaksia voidaan kutsua myös pennaatiolihasiksi. Tätä kulmaa aponeuroosin ja lihassyiden välillä kutsutaan pennaatiokulmaksi ( $PA=\beta$  kuvassa 3). (Narici ym. 1992.) Pennaatiolihasien lihassolukimput ovat lyhyempiä kuin muiden lihasten, eli niissä on vähemmän sarkomeereja sarjassa. Tämän johdosta pennaatiolihasien supistumisnopeus on alhaisempi ja niiden tuottama liike pienempi kuin suorasyisissä lihaksissa. Toisaalta, pennaatiolihasissa on enemmän sarkomeereja rinnakkain, jolloin ne voivat siten tuottaa enemmän voimaa lihaskudoksen massaan nähden. Pennaatio onkin näin ollen tapa kiinnittää mahdollisimman suuri määrä lihassoluja jänteeseen. (Narici ym. 1999 ja McArdle 2007, 370–371.)

Anatomisella poikkipinta-alalla (ACSA) tarkoitetaan yleisesti lihaksen paksuimmasta kohdasta pinnan normaalina määritettyä lihaksen poikkipinta-alaa (CSA). Fysiologisella poikkipinta-alalla (PCSA) puolestaan tarkoitetaan lihassoluihin suorassa kulmassa olevaa CSA:a. Lihaksissa, joissa syyt kulkevat voimantuoton suuntaisesti, anatominen poikkipinta-ala (ACSA), leikkaa kaikki lihassolut suorassa kulmassa ja vastaa siten myös lihaksen fysiologista poikkipinta-alaa (PCSA) (kuva 2a). Pennaatiolihasissa kui-

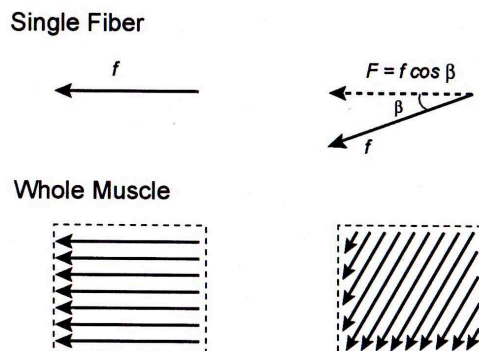


tenkin anatominen poikkipinta-ala leikkaa vain osan lihassoluista eikä siten ole sama kuin lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala (kuva 2c ja d). (Narici ym. 1992.)



KUVA 2. Lihassolujen asettuminen ja PCSA erilaisissa lihaksissa. a)  $ACSA=PCSA$ , c) ja d)  $ACSA \neq PCSA$  (Komi 1992, 214).

Kun lihassyiden sijoittumiskulma kasvaa, vähenee niiden kyky välittää voimaa lihaksen akselin suuntaisesti vinottaisen sijoittumisensa vuoksi. PA:n muuttumisen vaikutus onkin lihassyiden pakkaamisen ja mekaanisen vajeen aiheuttama yhteisvaikutus. Alexander ja Vernon (1975) laskivat, että lihaksen tuottama voima on verrannollinen kaksi kertaa PA:n siniin. Folland & Williams (2007) pohtivat tämän suhteen perusteella, että optimaalinen PA olisi  $45^\circ$ . Koska hyvin harvan lihaksen PA saavuttaa tämän arvon, päätelivät he tämän perusteella kaiken PA:n kasvun kasvattavan voimatuottokykyä, vaikkei ACSA:ssa muutosta havaittaisikaan.



KUVA 3. Pennaatiokulma ja sen vaikutus lihaksen kannalta (Enoka 2002, 261).

PA:ssa tapahtuu muutoksia myös liikkeen aikana. Lihassupistuksen aikana filamenttien liukuessa toistensa lomaan lihassolukimput lyhenevät (Ito ym. 1998) ja pennaatiolihas- ten lihassyöt kiertyvät jyrkempään pennaatiokulmaan (Hujing 1999). Samanaikainen PA:n kasvaminen ja lihassolukimppujen lyheneminen saa lihaspaksuuden pysymään lähes samana. (Maganaris ym. 1998.) Fukunagan ym. (1997) tutkimuksessa havaittiin

ulomman reisilihaksen (VL) syiden kääntyvän jyrkempään kulmaan, keskimäärin 14°:sta 18°:een, kun polvea ojennettiin.

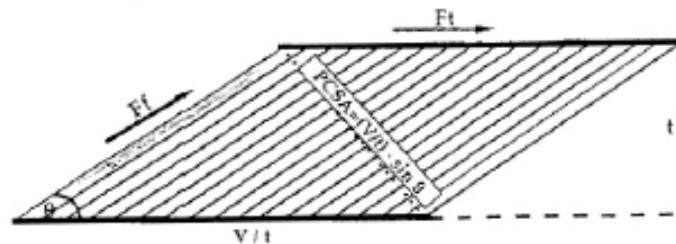
PA:n merkitystä ja riippuvaisuutta eri asioista on tutkittu ja PA:n on havaittu korreloivan negatiivisesti lihassyiden pituuteen (Bleakney & Maffulli 2002). Urheilijoilla PA:n on havaittu olevan lajiriippuvainen (Ichinose 1998) ja PA:n sekä lihaspaksuuden (MT) välillä on todettu positiivinen korrelaatio (ks. kpl 3.2). Voimaharjoittelun on useassa tutkimuksessa havaittu kasvattavan PA:a ja siksi se yhdistetään usein hypertrofiaan (Kawakami ym. 1993; Aagaard ym. 2001). Blazeovich (2007) pohti tutkimustulostensa perusteella muutosten PA:ssa voivan johtua tilanpuutteesta kasvavassa lihaksessa. Kawakamin (2005) kokoelma-artikkelin mukaan aikaisemmista tutkimuksista voidaan tehdä johtopäätös, jonka mukaan voimakas pennaatiolihasen hypertrofia aiheuttaa automaattisesti pennaatiokulman kasvua. Lihaksen käyttämättömyyden puolestaan on todettu, niin pitkällä kuin lyhyelläkin aikavälillä, aiheuttavan lihasen surkastumisen eli atrofian lisäksi PA:n merkitsevää pienenemistä (Narici & Cerretelli 1998; Bleakney & Maffulli 2002). Vaikka PA:n kasvun etuja ja haittoja sekä adaptaation syytä on paljon tutkittu ja arvioitu, ei varmuutta asiaan vielä ole.

### **3.2 Lihaskudoksen paksuus**

Yhtenä merkittävimpänä raskaan voimaharjoittelun aiheuttamana muutoksena pidetään harjoitettujen lihasen koon kasvua (Folland & Williams 2007). Kasvu havaitaan erityisen hyvin aloittelijoilla muutaman ensimmäisen kuukauden aikana. Voimaharjoittelun aiheuttama lihasmassan kasvu eli lihassolujen supistuvan proteiinin määrän lisääntyminen voidaan todeta sekä nopeissa että hitaissa lihassoluissa, joskin nopeiden lihassolujen koon kasvu on yleensä suurempaa kuin hitaissa. (Häkkinen 1990, 45–56.)

Lihaksen koko ja lihaskudoksen paksuus ovat merkittävässä roolissa tarkasteltaessa lihasen supistumiskykyä. 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, eli PCSA:an, nähden (Aagaard ym. 2001; Enoka 2002, 260–261). Lihaskudoksen paksuus ei siis pennaatiolihaksessa osoita suoraan supistuvan kudoksen määrää, vaikka Miyatani ym. (2004) osoittivat lihaspaksuuden olevan suoraan suhteessa lihaksen tilavuuteen. Toisaalta lihaspaksuuden on myös osoitettu korreloivan ( $r=0.9$ ) ACSA:aan. Naricin ym. (1999) mukaan pennaatiolihaksen PCSA:n laskemisessa tulee ottaa huomioon lihaksen tilavuus ( $V$ ), aponeuroosien välinen etäisyys ( $t$ ), eli tässä tapauksessa mitattu lihaksen paksuus ( $MT$ ), ja lihaksen pennaatiokulma ( $PA=\theta$ ). PCSA saadaan näin ollen kaavalla  $PCSA = (V/t) * \sin \theta$  (kuva 4).

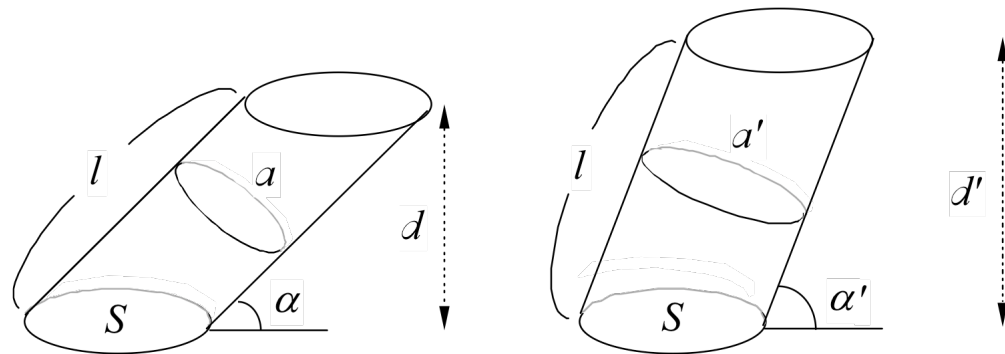


KUVA 4. Kaavakuva pennaatiolihaksesta osoittaen PCSA:n laskemistavan (Narici 1999).

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. (Folland & Williams 2007.)

Tutkimustiedon perusteella hypertrofisen harjoittelun aiheuttama vaste näyttäisi olevan suurempi ylävartalon lihaksissa kuin alavartalon lihaksissa (Abe ym. 2000). Syyksi on epäilty ylävartalon lihasten pienempää päivittäistä käyttöä verrattuna alavartalon lihaksiin, joista etenkin ojentajalihakset työskentelevät jatkuvasti painovoimaa vastaan ihmisen ollessa jaloillaan. Harjoittelu ei näin ollen aiheuttaisi yhtä voimakasta ärsykettä paljon työtä tekeviin alavartalon lihaksiin. (Wilmore 1974; Cureton ym. 1988.) Keskimäärin naisten voimantuottokyky, lihassyyn CSA ja koko lihaksen ACSA ovat 60-80 % miesten arvoista ja niinpä voimaharjoittelun aiheuttamat absoluuttiset ja usein myös suhteelliset muutoksetkin ovat suuremmat miehillä. Samoin ikääntyneiden aikuisten absoluuttiset muutokset ovat pienempiä, mutta suhteelliset muutokset ovat tasaisempia kuin nuorilla aikuisilla. (Folland & Williams 2007.)

Useissa tutkimuksissa on havaittu positiivinen korrelaatio MT:n ja PA:n välillä (Kawakami ym. 1993, 1995 ja 2006, Ichinose 1998). Kawakami ym. 1993 tutkimuksessa selvitettiin PA:n ja MT:n suhdetta samanikäisillä mieshenkilöillä ja havaittiin merkitsevä korrelaatio kolmipäisen olkalihaksen MT:n ja PA:n välillä. Harjoittelemattoman henkilön ja kehonrakentajan välillä sen sijaan todettiin merkitsevä ero mitatuissa suureissa. PA:n ja MT:n todettiin olevan suorassa suhteessa toisiinsa, minkä uskottiin viittaavan lihasten hypertrofian liittyvän läheisesti lihasten PA:n kasvuun (Kuva 5). Homogeenisella ryhmällä PA:n riippuvuus MT:sta ei ole yhtä selvästi todettavissa. Kaikissa tutkimuksissa PA:n ja MT:n välistä suoraa yhteyttä ei olla yrityksestä huolimatta onnistuttu todentamaan (Henriksson-Larsen ym. 1992). Myöskään harjoittelun aiheuttamasta vaikutuksesta ei olla aina saatu yksimielistä tulosta. Esimerkiksi Rutherford & Jones (1992) havaitsivat 5 % kasvun poikkipinta-alassa, mutta eivät muutosta pennaatiokulmassa. Kawakami (2005) teki sellaisen johtopäätöksen, että suurehkon hypertrofian saavuttaneissa tutkimuksissa myös pennaatiokulman muutokset on havaittavissa.



KUVA 5. Hypertrofian aiheuttaman lihassyyn rakenteen muuttumisen malli (Kawakami 2002). Vasen ennen harjoittelua, oikea harjoittelun jälkeen,  $a$  = PCSA,  $\alpha$ =PA,  $l$  = lihassyyn pituus,  $S$  = lihassyyn kiinnittymispinta lihaskalvoon,  $d$  = lihaskalvojen välinen etäisyys.

Kawakami ym. (2006) halusivat kartoittaa lihaskoon ja rakenteen vaihtelevuutta ja riippuvuutta määrittämällä heterogeeniselta ryhmältä ( $n=711$ , ikä 3-94) kolmen eri lihaksen MT ja PA. Ulomman reisilihaksen paksuus vaihteli 8-45 mm välillä. Vaihtelun todettiin olevan naisilla hiukan pienempää kuin miehillä. Lisäksi MT:n ja PA:n välillä havaittiin merkitsevä korrelaatio kertoimella  $r=0.61$ . PA:n todettiin myös tällä heterogeenisellä ryhmällä olevan riippuvainen lihaksen koosta. Toisaalta, yksittäisen lihassyyn koon ja PA:n välillä ei löydetty korrelaatiota Henriksson-Larsen ym. (1992) suorittamassa tutkimuksessa.

### 3.3. Lihaksen rakenteen määrittäminen

Lihaksen tilavuutta ja sen paksuutta on arvioitu mm. antropometrinen muuttujien, kuten ihopoimujen (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.

Erityisesti magneettikuvauksen (MRI) (Narici ym. 1992) ja ultraäänimittauksen (UÄ) (Rutherford & Jones 1992; Kawakami, 1993, 1995, 2006; Blazevich 2007, Blazevich ym. 2006) kehittyminen ovat mahdollistaneet lihaksen PA:n ja MT:n määrittämisen ihmisillä *in vivo*, vahingoittamatta koehenkilön kudosta, levossa ja lihassupistuksen aikana. MRI:n käyttö PA:n, lihassolukimppujen pituuden ja MT:n mittaamisessa on kallista ja aikaa vievää. Sen sijaan UÄ:n käyttö näiden mittojen määrittämisessä on helpompaa, halvempaa ja nopeampaa.

Rutherford & Jones (1992) määrittivät ensimmäisten joukossa PA:ia ihmisillä *in vivo* UÄ:tä käyttäen. Tulokset vastasivat hyvin aikaisemmin ruumiilla mitattuja arvoja ja ultraääntä todettiin voitavan käyttää pinnallisten lihasten PA:n määrittämisessä. Vaihtelu seitsemältä henkilöltä 1-3 viikon välein mitatuissa ulomman ja keskimmäisen reisilihaksen PA:ssa oli 2°, eli tässä tapauksessa 13.5 %. Henriksson-Larsen ym. (1992) testasivat 15 naispuolisella henkilöllä UÄ:n toistettavuutta PA:n määrittämisessä ja totesivat menetelmän hyvin toistettavaksi. Laitteiden kehittyessä UÄ:n luotettavuus lihaksen arkkitehtuuristen muuttujien määrittämisessä on parantunut (Narici ym. 1996).

Aikaisemman kertauksena ja yhteenvetona kerrottakoon, että Miyatani ym. (2004) arvioivat tutkimusartikkelissaan yleisimmin käytettyjä lihaksen paksuuden ja tilavuuden mittaamenetelmiä aikaisemmin julkaistujen tutkimusartikkeleiden avulla ja tutkivat ultraäänilaitteen tarkkuutta näiden suureiden arvioinnissa. Ultraäänilaitteen eduiksi magneettikuvaukseen nähden todettiin sen edullisuus, helppous, tutkittavan vähäinen valmistautuminen, reaaliaikaisuus ja siirreltävyys. Sen sijaan heikkouksiksi laskettiin kuvan laatu ja analysointi. Uudemmissa tutkimuksissa käytetyimpiä ja tarkimpia lihas-koon arviointi- ja kuvantamismenetelmiä ovat magneettikuvaus (MRI) ja ultraäänilaitte

(Blazevich 2007, Blazevich ym. 2007 ja 2006 sekä Kawakami ym. 1993, 1995 ja 2006), mutta parasta menetelmää lihaksen supistumiskapasiteetin mittaamiseen ei ole vielä selvitetty (Folland & Williams 2007).

## **4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT**

Tässä tutkimuksessa havainnoitiin aiemmin harjoittelemattomien nuorten miesten voimantuottokyvyn, ulomman reisilihaksen paksuuden sekä pennaatiokulman mukautumista voimaharjoitteluun. Tavoitteena oli selvittää, onko näillä kolmella muuttujalla positiivinen suhde toisiinsa.

*Tutkimuskysymys.* Miten voimantuottokyky ja ulomman reisilihaksen paksuus ja pennaatiokulma muuttuvat 21 viikon hypertrofisen voimaharjoittelun vaikutuksesta aikaisemmin harjoittelemattomilla nuorilla miehillä? Onko voimantuottokyvyn, lihaspaksuuden ja pennaatiokulman muutosten välillä lineaarista suhdetta?

*Hypoteesi.* Raskas voimaharjoittelu aiheuttaa pennaatiokulman, lihaspaksuuden sekä voimantuottokyvyn kasvua. Voimantuottokyvyn, lihaspaksuuden ja pennaatiokulman muutosten välillä on positiivinen korrelaatio.

## **5 TUTKIMUSMENETELMÄT**

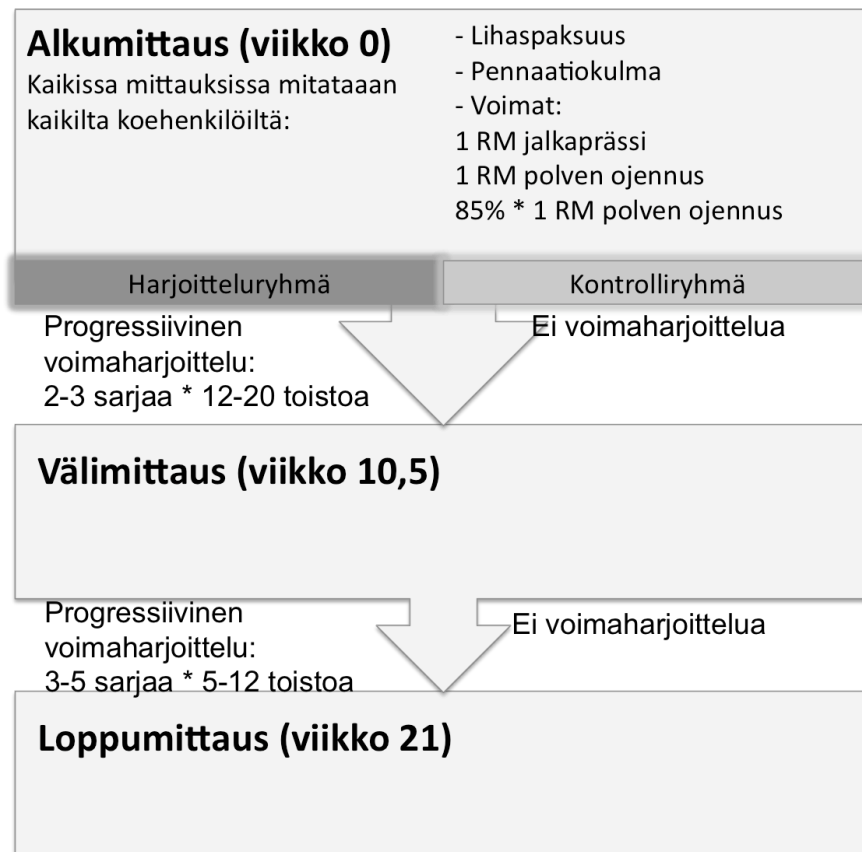
Tämä tutkimus tehtiin osana isompaa tutkimusta, jossa selvitettiin sekä akuutteja että pitkäaikaisia voimaharjoittelun vaikutuksia aikaisemmin harjoittelemattomilla nuorilla miehillä.

## 5.1 Koehenkilöt

Koehenkilöiksi tutkimukseen osallistui 38 vapaaehtoista, ilmoitukseen vastannutta, nuorta miestä (ikä 19-34 vuotta). Tilastolliseen käsittelyyn ja tulosten analysointiin valittiin yhteensä 27 henkilöä, joista 19 ( $25.7 \pm 4.1$  v.,  $180.7 \pm 6.2$  cm,  $75.2 \pm 7.7$  kg) kuului 21 viikkoa harjoitelleeseen ryhmään ja 8 ( $24.8 \pm 3.1$  v.,  $181.5 \pm 5.2$  cm,  $76.5 \pm 7.8$  kg) jatkoi kuten aiemminkin, eli ei suorittanut voimaharjoituksia. Analysoimatta jätettiin henkilöt, joiden mittausdata jäi tämän tutkimuksen kannalta puutteelliseksi. Ennen mittauksia koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksensa sopimukseen, jossa kerrottiin tutkimuksen kulku, koehenkilöiden oikeudet, edut ja riskit (Liite 1).

## 5.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin 2006 syksyn ja 2007 kevään välisenä ajanjaksona Jyväskylässä liikuntabiologian laitoksen mittaustiloissa. Koehenkilöiden harjoittelu tapahtui Jyväskylän yliopiston kuntosalilla valvotuissa olosuhteissa. Kokonaisuudessaan yhden koehenkilön mittaus- ja harjoittelujakso kesti 24 viikkoa, joista 3 ensimmäistä oli kontrollijaksoa, jonka aikana koehenkilöt jatkoivat päivärutiinejaan normaalisti. Alkumittausten jälkeen koehenkilöt arvottiin harjoittelu- ja kontrolliryhmiin. Kontrolliryhmä ei osallistunut voimaharjoitteluun vaan jatkoi päivittäisiä aktiviteettejaan kuten aikaisemminkin. Harjoittelujakso kesti 21 viikkoa. Mittaukset suoritettiin alussa, puolessavälissä, eli 10.5 viikon kohdalla ja jakson lopuksi 21 viikon kohdalla harjoittelun alkamisesta (Kuva 6).



KUVA 6. Tutkimusprotokolla

### 5.3 Harjoittelu

Koehenkilöt osallistuivat 21 viikon harjoittelujakson aikana kaksi kertaa viikossa tutkimusapulaisten valvomaan yksilölliseen voimaharjoitukseen. Jokaisen harjoituksen välissä oli oltava vähintään kaksi levätyä päivää. Voimaharjoitus sisälsi seuraavat harjoitteet: kaksi harjoitetta jalan ojentajalihaksille, molempien jalkojen jalkaprässi ja polven ojennus; yksi harjoite jalan koukistajille, molempien jalkojen polven koukistus. Voimaharjoitusohjelma sisälsi myös harjoitteita muille kehon lihasryhmille: rinta ja hartioiden, yläselkä, vartalon koukistaja ja ojentajalihakset, käsivarret, nilkan ojentajat sekä reiden lähentäjät ja loitontajat. Harjoitusohjelma toteutettiin progressiivisesti harjoitteluvastuksen vaihdellessa välillä 40-85% yhden toiston maksimista (1 RM). Sarjojen määrää lisättiin ohjelman aikana 2-3:sta 3-5:een ja toistojen määrää vähennettiin 15-20:stä 5-6:een. Vastukset määritettiin henkilökohtaisesti kullekin harjoituskerralle.



## 5.4 Mittaukset

Tätä tutkimusta koskevissa mittauksissa käytettiin yhteensä kolmea eri laitetta (Kuva 7). Voimantuottoa mitattiin jalkaprässillä (David 210) sekä polven ojennuslaitteella (David 200) ja näistä mittauksista kerrotaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Lihas-kudoksen rakenteellisia muutoksia määritettiin sen paksuutta ja pennaatiokulmaa ultraäänilaitteella (Aloka SSD 2000) mitaten. Ultraäänimittauksista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 5.4.2.



KUVA 7. Vasemmalla kuvassa 1 RM jalkaprässi –suorituksessa käytetty David 210 laite. Kes-  
kellä polven ojennuksessa käytetty David 200 laite. Äärimmäisenä oikealla ultraäänilaitte Aloka  
SSD 2000.

### 5.4.1 Voimantuotto

Voimantuottoa mitattiin kolmella eri tavalla. Mittausmenetelmissä käytettiin dynaami-  
sia suorituksia, jotta liikkeet vastaisivat mahdollisimman hyvin harjoittelun aikana teh-  
tyjä liikkeitä. Ensimmäinen menetelmä oli *konsentriinen 1 RM jalkaprässi*. Toisin sanot-  
tuna, suoritettiin maksimaalinen yhden toiston molempien jalkojen yhtäaikainen polvien  
ja lantion ojennus David 210 jalkaprässi-laitteella. Maksimaalinen suoritus pyrittiin löy-  
tämään kolmella suorituksella ja suoritusten välissä pidettiin tarvittava noin 2-3 minuut-  
tin palautus koehenkilön tunteuksista riippuen.

Toisena suoritustyyppinä käytettiin eristettyä konsentrista *1 RM polven ojennusta* laitteella David 200. Mittaus suoritettiin samaan tapaan kuin edellä kuvattu suoritus. Paras onnistunut suoritus merkittiin muistiin jatkotarkastelua varten. Koska suuri osa puoli vuotta kestäneestä harjoittelusta tapahtui vähintään kymmenen toiston sarjoilla, käytettiin kolmantena mittausmenetelmänä useamman toiston mittausta.

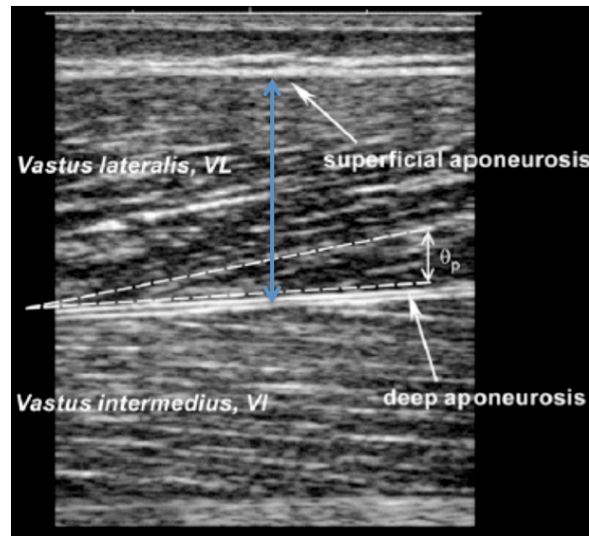
Liikkeessä käytettiin samaa *polven ojennus* -suoritusta kuin edellä (David 200), mutta koska suoritus koostui toistoista oli mukana myös eksentrisen liike. Vastuksena käytettiin *85 % kuormaa alkumittausten 1 RM suorituksesta*. Koehenkilön tavoitteena oli jokaisessa mittauksessa suorittaa niin monta toistoa tällä  $85 \% * 1 \text{ RM}$  kuormalla kuin mahdollista. Tämän mittauksen tarkoituksena oli testata dynaamisemman ja harjoitukselle tyypillisemmän ominaisuuden kehitystä. Kaikissa suorituksissa koehenkilöä kannustettiin maksimaaliseen suoritukseen sanallisesti.

#### **5.4.2 Lihaskudoksen paksuus ja pennaatiokulma**

Lihaksen rakenteellisten muutosten seuraamiseksi koehenkilön oikeaan reiteen tatuoitui piste suoliluun etuyläkärjen ja polven nivelraon puoliväliin, noin ulomman reisilihaksen paksuimpaan kohtaan. Pisteestä alueelta reidestä ajeltiin karvat joka mittaukselta varten. Mittaukset suoritettiin koehenkilön ollessa rentona makuuasennossa ja aina ennen voimantuottokyvyn mittauksia. Koehenkilöiden asennon vakioimiseksi heidän jalkansa kiiristettiin yhteen nahkaremmillä. Heidän polvitaipeseensa ja pään alle asetettiin pehmusteet parantamaan asentoa ja heidän kätensä olivat rentoina sivulla. Ultraäänilaitteen kaksikulotteisen suoran äänipään pituus oli 7 cm (Kuva 7). Anturin keskikohta asetettiin aina varovasti käsin tatuoidun pisteen kohdalle ulomman reisilihaksen päälle ja ihon ja anturin välissä käytettiin geeliä parantamaan ultraäänen kulkua ja jotta äänipään aiheuttamalta paineelta vältyttäisiin.

Pysäytetystä ultraäänikuvasta määritettiin *ulomman reisilihaksen paksuus* ultraäänilaitteen toiminnoilla. Pysäytetystä kuvasta (Kuva 8) merkittiin kursorilla lihaksen ylä- ja alareunat samalta pystysuoralta linjalta kuvan keskikohdasta, minkä jälkeen ohjelma laski merkittyjen pisteiden välisen etäisyyden. Mittauspaikka pyrittiin vakioimaan asettamalla äänipään keskikohta keskelle lihaksen tatuoitua pistettä äänipää lihaksen suun-

taisesti. Mittaus toistettiin aina kahteen kertaan ja mittausten keskiarvo otettiin lopulliseksi tulokseksi.



KUVA 8. Tässä pysäytetyssä ultraäänikuvassa esitetään pennaatiokulman ( $\theta$ ) määrittystapa katkoviivoin sekä ulomman reisilihaksen paksuuden mittaaminen asettamalla mittausväli, jota sininen viiva aponeuroosien välillä kuvastaa (muokattu Aagaard ym. 2001).

Tutkimuksessa tarkasteltu *ulomman reisilihaksen pennaatiokulma* määritettiin pysäytetyssä ultraäänikuvasta laitteen toimintoja käyttäen (kuva 8). Mittaus tapahtui kuvan 7 osoittamalla tavalla. Pysäytettyyn kuvaan merkittiin cursorilla ulomman ja keskimmäisen reisilihaksen välinen suora sekä lihassyiden suuntainen suora. Laitteen toiminnoilla voitiin määrittää näiden kahden suoran muodostama pennaatiokulma. Myös tämä mittaus toistettiin aina kahteen kertaan ja mittausten keskiarvo otettiin lopulliseksi tulokseksi.

## 5.5 Tilastollinen käsittely

Mittaustulokset analysoitiin Microsoft Excel 2008 for Mac, sekä SPSS 16.0 for Mac ohjelmien avulla. Tilastollisina menetelminä ryhmien kuvaamiseen käytettiin keskiarvoa ja keskihajontaa. Koehenkilöiden sekä ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin toistomittausten varianssianalyysin avulla. Muuttujien väliset erot paikannettiin pareittaisessa vertailussa käyttäen Bonferronin korjausta. 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 merkitsevä ( $p < .01$ ) merkittiin \*\* ja tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < .001$ ) merkittiin \*\*\*. Tilastollisen merkitsevyyden vahvuuden kuvaamiseksi raportoitiin lisäksi tilastollinen teho (observed power).

## 6 TULOKSET

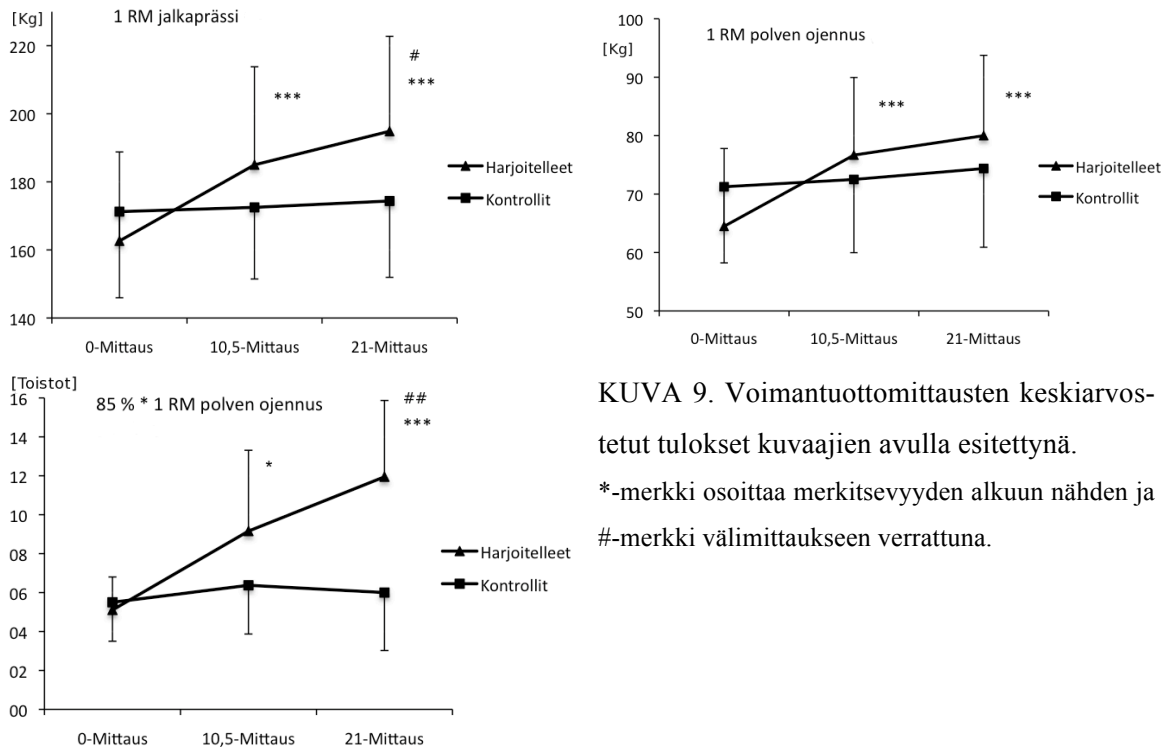
### 6.1 Voimantuotto

Polven ojennuksen toistosuorituksessa havaitaan lähtökohtaisesti pieni tilastollisesti merkitsevä ero ( $p = 0.025$ ; 0.4 toistoa) ryhmien välillä, mutta tämä pieni ero ei vaikuttane tuloksiin merkittävästi. Kaikkien kolmen voimatason muuttujan osalta havaitaan ryhmien välillä tuloksissa malliltaan erittäin merkitsevästi toisistaan eroava käyttäytyminen Wilks' Lambdan testillä seuraavasti: 1 RM prässi,  $p < 0.001$ , teholla 1.000; 1 RM polven ojennus,  $p = 0.001$ , teholla 0.973; 85 % \* 1 RM polven ojennus,  $p < 0.001$ , teholla 0.994. Myös tutkittaessa ryhmien välistä yhdysvaikutusta eri mittausten välillä, havaitaan merkitseviä muutoksia kaikissa suoritustyypeissä (Taulukko 1 ja kuva 9). Kontrollihenkilöillä ei havaittu merkitseviä muutoksia seurannan aikana missään voimamuuttujissa.

TAULUKKO 1. Mitattujen voimien keskiarvostetut muutokset harjoitelleilla koehenkilöillä ( $n = 19$ ) sekä ryhmien välinen yhdysvaikutus eri mittausten välillä. Kontrollihenkilöiden tulokset ovat esitettyinä *kursivoituna* ( $n = 8$ ). \*-merkki osoittaa merkitsevyyden alkuun nähden ja #-merkki välimittaukseen verrattuna.

	0-Mittaus		10.5-Mittaus		21-Mittaus	
	Harj.	<i>Kontrolli</i>	Harj.	<i>Kontrolli</i>	Harj.	<i>Kontrolli</i>
1 RM prässi (kg)						
Keskiarvo	162.6	<i>171.3</i>	185.0 ***	<i>172.5</i>	194.9 ***#	<i>174.4</i>
Keskihajonta	26.2	<i>25.3</i>	28.8	<i>21.0</i>	27.9	<i>22.4</i>
%-muutos			13.7	<i>0.7</i>	19.8	<i>1.8</i>
1 RM polven ojennus (kg)						
Keskiarvo	64.5	<i>71.3</i>	76.7 ***	<i>72.5</i>	80.0 ***	<i>74.4</i>
Keskihajonta	13.3	<i>13.0</i>	13.3	<i>12.5</i>	13.7	<i>13.5</i>
%-muutos			18.9	<i>1.7</i>	24	<i>4.3</i>
85 % *1 RM polven ojennus (toistot)						
Keskiarvo	5.1	<i>5.5</i>	9.2 *	<i>6.4</i>	11.9 ***##	<i>6.0</i>
Keskihajonta	1.7	<i>2.0</i>	4.2	<i>2.5</i>	3.9	<i>3.0</i>
%-muutos			80.4	<i>16.3</i>	133	<i>9.0</i>

*Konsentrisessa 1 RM jalkaprässi* –suorituksessa 10.5 viikkoa harjoitelleiden henkilöiden tulos kasvoi keskimäärin 13,7 %, mikä oli tilastollisesti erittäin merkittävä muutos tilastollisella teholla 0.997 alkutilanteeseen verrattuna. Samalla tavalla verrattuna 21 viikon kohdalla mitattu tulos oli noin 19.8 % korkeampi, tilastollinen merkitsevyys pysyi erittäin merkitsevänä tehon ollessa 1 (Kuva 9). Puolivälin mittaustulokseen verrattuna loppumittauksen tulos oli tilastollisesti merkitsevä ( $p=0.014$ ) tehon ollessa 0.722.



KUVA 9. Voimantuottomittausten keskiarvoistetut tulokset kuvaajien avulla esitettynä.

\*-merkki osoittaa merkitsevyyden alkuun nähden ja #-merkki välimittaukseen verrattuna.

*Konsentrisen 1 RM polven ojennus*–suorituksessa harjoitelleiden henkilöiden tulokset kasvoivat väli- ja loppumittaukseen 18.9% ja 24 %. Tulokset olivat myös tilastollisesti erittäin merkitseviä tilastollisten tehojen ollessa 0.984 ja 0.990. Puolivälin mittaustulokseen verrattuna loppumittauksen ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

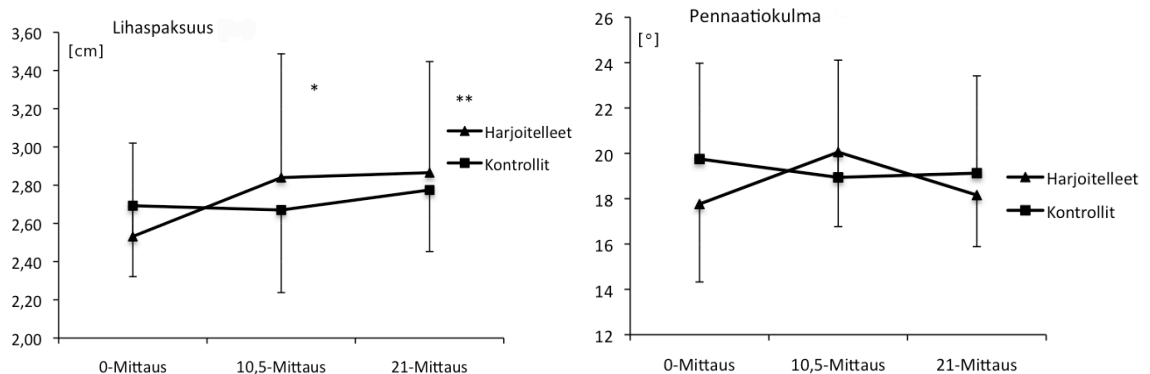
*Dynaamisessa 85 % \* 1 RM polven ojennus* –suorituksessa harjoitelleilla henkilöillä toistojen määrät kasvoivat väli- ja loppumittaukseen keskimäärin 4.1 ja 6.8 toistoa. Välimittauksen tulos oli alkumittaukseen ja kontrolliryhmään verrattuna tilastollisesti merkitsevä tehon ollessa 0.659. Vastaavasti loppumittauksen tulos oli erittäin merkitsevä tilastollisella teholla 0.998. Puolivälin mittaustulokseen verrattuna loppumittauksen oli tilastollisesti hyvin merkitsevä ( $p=0.004$ ) tehon ollessa 0.864.

## 6.2 Lihaskudoksen paksuus

Ryhmien välillä ei havaita tilastollisesti merkitseviä lähtökohtaisia eroja lihaskudoksen paksuuden osalta. Ryhmien välisessä vertailussa havaitaan malliltaan merkitsevä ero  $p=0.014$ , tilastollisen tehon ollessa 0.769. Säännöllisesti voimaharjoittelua harrastaneella ryhmällä ulomman reisilihaksen paksuuden kasvua tapahtui keskimäärin 3.1 mm ensimmäisen 10.5 viikon aikana ja yhteensä noin 3.4 mm koko puolen vuoden harjoittelujakson aikana (Taulukko 2). Tutkittaessa ryhmien välistä yhdysvaikutusta eri mittausten välillä, havaitaan merkitseviä muutoksia (Taulukko 2 ja kuva 10). Välimittauksen tulos oli harjoitelleilla tilastollisesti merkitsevästi suurempi ( $p=0.013$ ) kuin alkutilanteessa. Vastaavasti verrattuna loppumittauksen tulos oli hyvin merkitsevästi suurempi ( $p=0.005$ ). Näissä analyyseissä tilastolliset tehot olivat 0.729 ja 0.842.

TAULUKKO 2. Harjoitelleiden koehenkilöiden lihaspaksuuksien ja pennaatiokulmien keskiarvotetut tulokset sekä tilastolliset merkitsevyydet alkutilanteeseen verrattuna. Kontrollihenkilöiden tulokset ovat esitettyinä *kursivoituna*.  $*=p<0.05$ ,  $**=p<0.01$  ja  $***=p<0.001$ .

	0-Mittaus		10.5-Mittaus		21-Mittaus	
	Harj.	<i>Kontrolli</i>	Harj.	<i>Kontrolli</i>	Harj.	<i>Kontrolli</i>
Lihaspaksuus (cm)						
Keskiarvo	2.53	<i>2.69</i>	2.84 *	<i>2.67</i>	2.87 **	<i>2.78</i>
Keskihajonta	0.49	<i>0.37</i>	0.65	<i>0.43</i>	0.58	<i>0.32</i>
%-muutos			12.3	<i>-0.74</i>	13.4	<i>3.35</i>
Pennaatiokulma (°)						
Keskiarvo	17.8	<i>19.8</i>	20.1	<i>18.9</i>	18.2	<i>19.1</i>
Keskihajonta	3.4	<i>4.2</i>	3.3	<i>5.2</i>	2.3	<i>4.3</i>
%-muutos			12.9	<i>-4.5</i>	2.2	<i>-3.5</i>



KUVA 10. Lihaksen rakenteelliset muutokset keskiarvotettujen tulosten avulla esitettyinä kuvajissa.

### 6.3 Lihaksen pennaatiokulma

Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja pennaatiokulmassa missään vaiheessa tutkimusta. Sen enempiä harjoittelemattomalla kontrolliryhmällä kuin puoli vuotta voimaharjoitelleella ryhmälläkään ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia ulomman reisilihaksen pennaatiokulmassa. Harjoitelleella ryhmällä pennaatiokulman kasvu välimittaukseen mennessä oli mittausten mukaan lähes 13 %, mutta toisaalta kulma on taas palautunut lähes alkumittausten tasolle loppumittausten mukaan.

### 6.4 Voimantuoton, lihaspaksuuden ja pennaatiokulman korrelaatio

Korrelaatioanalyysit vahvistavat näkemystä tilastollisesti merkitseviä muutoksia kokeiden muuttujien samankaltaisesta käyttäytymisestä. Kun tarkastellaan harjoitelleiden koehenkilöiden kaikkien mitattujen lihaspaksuusarvojen yhteyttä mihin tahansa muuhun muuttujaan nähden kahden ryhmän välisellä korrelaatioanalyysillä havaitaan tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio kaikkiin muihin paitsi pennaatiokulmaan nähden (Taulukko 3). Itse asiassa pennaatiokulma ei korreloinut mihinkään mitattuun muuttujaan. Lihaspaksuuden (MT) suhde muihin muuttujiin oli seuraavanlainen: MT - 1 RM jalkaprässin välinen korrelaatio  $r=0.674$  ( $p<0.001$ ), MT – Polven ojennus  $r=0.387$  ( $p=0.003$ ) ja MT – 85 % \* 1 RM Polven ojennus  $r=0.351$  ( $p=0.008$ ).

TAULUKKO 3. Muuttujien suhde toisiinsa korrelaation avulla esitettynä. PA=pennaatiokulma, MT=lihaspaksuus, JP=1 RM jalkaprässi, PO=1 RM polven ojennus, 85% PO=85%\*1 RM polven ojennus.

Korrelaatiot	PA	MT	JP	PO
MT	$r=-0.96$ , $p=0.48$			
JP	$r=-0.18$ , $p=0.19$	$r=0.674$ ***		
PO	$r=-0.12$ , $p=0.38$	$r=0.387$ **	$r=0.736$ ***	
85% PO	$r=0.15$ , $p=0.27$	$r=0.351$ **	$r=0.058$	$r=0.518$ ***

Voimantuoton mittareiden osalta harjoitelleilla henkilöillä polven ojennus –laitteessa tehdyt kaksi eri mittaustyyppiä korreloivat positiivisesti  $r=0.518$  ( $p<0.001$ ), kuten myös

1 RM polven ojennus ja 1 RM jalkaprässi  $r=0.736$  ( $p<0.001$ ). Sen sijaan  $85\% * 1$  RM polven ojennus -tulokset eivät korreloineet 1 RM jalkaprässin tuloksiin.

## 7 POHDINTA

### *Päätulokset*

Voimantuottokyky kasvoi harjoitelleilla henkilöillä odotetulla tavalla ja muutos oli hyvin samankaltainen kaikilla mittareilla; 1 RM jalkaprässi, 1 RM polven ojennus ja  $85\% * 1$  RM polven ojennus. Kehittyminen oli teorian (Morganti ym.1995) mukaisesti voimakkainta ensimmäisen puoliskon aikana ja kehitys säilyi hyvin positiivisena vielä toisen 10.5 viikon jakson ajan. Myös lihaskudoksen paksuus käyttäytyi oletuksen mukaisesti kasvaen voimakkaasti lihaksen poikkipinta-alaa, eli supistuvaa materiaalia, lisäten ensimmäisen jakson aikana. Hypoteesin vastaisesti, fysiologisen poikkipinta-alan huomattavan suurta kasvua ei voitu ainakaan todentaa pennaatiokulman kasvulla sillä sen osalta tilastollisesti merkitseviä muutoksia analyyseissä ei havaittu. Suhde mitattujen muuttujien välillä oli hyvin edellä kuvatun kaltainen; lihaskudoksen paksuuden kasvu oli suorassa suhteessa kaikkiin voimamuuttujiin, mutta pennaatiokulma ei korreloinut mihinkään muuhun muuttujaan.

### *Harjoitteluohjelma ja voimantuotto*

Kaikkien voimamuuttujien osalta tulokset kasvoivat enemmän ensimmäisen kuin toisen harjoittelujakson aikana (Kuva 9) aikaisempaa tutkimustietoa (Folland & Williams 2007) mukailleen. Harjoitteluohjelma osoittautui onnistuneeksi sillä koehenkilöt suoriutuivat puolen vuoden urakasta ilman harjoittelusta johtuvia vakavia loukkaantumisia, ja voimat kasvoivat kaikkien mitattujen suoritusten osalta (Kuva 8) merkitsevästi. Onnistunut harjoitteluohjelma ilmeni myös koehenkilöiden aktiivisena osallistumisena harjoitteluun sekä alhaisena keskeyttämisprosenttina. Mikäli harjoittelulla olisi pyritty aiheuttamaan vielä suurempia muutoksia, oltaisiin viimeiselle puolen vuoden ajalle voitu lisätä esimerkiksi yksi harjoittelukerta lisää viikkoa kohti, mutta tämä olisi voinut velvoittaa koehenkilöitä liian suureen läsnäoloon, jolloin vähemmän harjoitteluun motivoitumattomilla henkilöillä harjoittelun intensiteetti olisi voinut kärsiä.



Lisäksi, vain vähän tämänkaltaisissa voimaharjoittelututkimuksissa käytetty, usean toiston suoritus näytti toimivan hyvänä suorituskyvyn mittarina, vaikkakin muutamalla koehenkilöllä suorituksen paraneminen loppumittaukseen oli sen verran suurta, että toistoja tuli jopa yli 20, mikä on enemmän kuin harjoittelun toistomäärät missään vaiheessa. Mielenkiintoista tämän suorituksen tuloksissa on se että nämä vertautuvat saman liikeradan yhden toiston maksimiin tilastollisesti hyvin samankaltaisesti ( $r=0.518$ ,  $p<0.000$ ), mutta eivät jalkaprässin suoritukseen ( $r=0.058$ ,  $p=0.670$ ), joka kuitenkin korreloi positiivisesti polven ojennuksen yhden toiston suoritukseen ( $r=0.736$ ,  $p<0.000$ ). Tämä kertonee siitä, että submaksimaalisen kuorman käyttö voimantuottokyvyn arvioinnissa, ainakin alle puolen vuoden kestoisessa seurannassa, on mahdollista. Mittaus on kuitenkin hyvin liikeriippuvainen sillä verrattaessa alaraajojen ojennussuoritukseen (1 RM jalkaprässi) korrelaatio ei toteudu, vaikka vertailtavissa liikkeissä osa työskentelevistä lihaksista on samoja (polven ojentajat). Submaksimaalisen kuorman maksimaaliset testit korreloivat siis yhden toiston maksimaaliseen suoritukseen liikeradaltaan vain hyvin vastaavassa liikkeessä.

### *Lihaspaksuus*

Ulomman reisilihaksen lihaspaksuus kasvoi ensimmäisen 10.5 viikon aikana keskimäärin noin 12 %, mikä oli myös tilastollisesti merkitsevä muutos, mutta jälkimmäisellä samanpituisella jaksolla kasvua tapahtui enää vain noin 1 % lisää. Harjoittelun ensimmäisten kuukausien suurempi paksuuden kasvu tukee aikaisempaa tutkimustietoa erityisesti ensimmäisten kuukausien merkittävästä lihaksen koon kasvamisesta (Folland & Williams 2007). Kaiken kaikkiaan kasvu oli hiukan suurempaa kuin Aagaardin ym. (2001) tutkimuksessa, jossa 16 viikon hypertrofinen harjoittelu tuotti noin 10 % kasvun. Vaikka ACSA ei olekaan suoraan verrannollinen lihaspaksuuteen, on näiden välillä todettu positiivinen korrelaatio ( $r=0.9$ ). Kawakamin kokoelma-artikkelissa voimaharjoittelun vaikutuksista lihasarkkitehtuuriin todetaan 5-12 viikkoa kestäneen voimaharjoittelun johtavan 5-20 % ACSA:n kasvuun (Kawakami 2005), mille välille myös tämän tutkimuksen tulokset sisältyvät. Hiukan yllättävää oli lihaspaksuuden hyvin pieni kasvu viimeisen puoliskon aikana. Harjoitelleen koeryhmän voimantuotto kuitenkin kasvoi melko tasaisesti läpi puoli vuotta kestäneen tutkimuksen. Olisi hyvin epätavallista, että voimien kasvu johtuisi hermostollisesta mukautumisesta, koska perinteisesti hermostollisen toiminnan mukautumisen uskotaan tapahtuvan aikaisessa vaiheessa harjoittelua

(Folland & Williams 2007). Toisaalta, sarjojen pituuden lyhentyessä, eli harjoittelun muuttuessa enemmän hermostolliseksi, tarvitsee lihakset jatkuvasti voimakkaampaa hermostollista käskytystä muun muassa suurien nopeiden motoristen yksiköiden rekrytoimiseksi Hennemanin koko säännön mukaisesti (Enoka 2002, s. 279-280, 289-297, Mendell 2005) ja näin ollen tämänkaltaista mukautumista voinee tapahtua korostuneesti.

### *Pennaatiokulma*

Vaikka pennaatiokulman osalta tilastollisesti merkitseviä muutoksia harjoitelleilla ei nähtykään, voidaan silmämääräisesti kuvaa 10 tarkasteltaessa todeta harjoitelleen joukon tuloskuvaajan poikkeavan kontrollihenkilöiden kohtuullisen vakaana pysyneestä pennaatiokulmasta. Kulman muutos ensimmäisen 10.5 viikon aikana oli lähes 13 % kun se Aagaardin ym. (2001) tutkimuksessa 16 viikon hypertrofinen harjoittelun myötä kasvoi keskimäärin 35.5 % alkumittaukseen nähden. Toisaalta, koehenkilöiden keskiarvostettu pennaatiokulma oli Aagardin ym. tutkimuksessa lähtötasoisesti hyvin pieni ( $8.0 \pm 0.4$  astetta), jolloin pienikin kasvu näkyi suurena suhteellisena muutoksena.

Tämän tutkimuksen tulos ei varsinaisesti ole ristiriidassa aikaisempien päätelmien kanssa, sillä Kawakamin (2005) mukaan pennaatiokulman kasvua tapahtuu mikäli hypertrofia on kyllin voimakasta. Tässäkin tapauksessa kulman kasvua tapahtui vain silloin kun voimakasta hypertrofiaakin tapahtui, eli ensimmäisen 10.5 viikon aikana, mikä näkyi lihaspaksuuden voimakkaana kasvuna. Poikkeaviksi tämän tutkimuksen tuloksista tekee kuitenkin se että harjoitteluaan nimenomaan hypertrofistyyppisemmäksi loppua kohti muuttaneiden koehenkilöiden pennaatiokulmat lähtivät takaisin laskuun palaten lähes lähtötasoon 21 viikon mittausten kohdalla, vaikka lihaspaksuuden muutosten suunta oli vielä lievästi kasvava (1%). Tämä suureiden eriävyys on ristiriidassa Kawakamin (2002) lihassyyn rakenteen muuttumisen mallin (Kuva 5) kanssa. Tämän mallin mukaan lihaslihaskalvojen välinen etäisyys ( $d$ ), eli lihaspaksuus, korreloi pennaatiokulman ( $\alpha$ ) muutoksiin.

Atrofian on todettu aiheuttavan lihaksen pienenemisen lisäksi pennaatiokulman laskua (Narici & Cerretelli 1998; Bleakney & Maffulli 2002), mutta tässä tapauksessa lihaskatoa ei kuitenkaan havaittu. Onko luonnollista, että pennaatiokulma palautuu lähes tutkimusta edeltäneeseen arvoonsa, mikäli hypertrofia ei jatku yhtä voimakkaana kuin al-

kuvaiheessa? Mikäli näin on, lihaspaksuus ja pennaatiokulma eivät ole täysin riippuvaisia toisistaan vaan lihaksen rakenteellisille muutoksille olisi oltava olemassa jokin toisenlainen mekaaninen malli. Jälkeenpäin mielenkiinnon vuoksi suoritetusta tarkastuksesta käy ilmi, etteivät lihaspaksuus ja pennaatiokulma korreloi edes ensimmäisen 10.5 viikon ajalla, jolloin näiden muuttujien keskiarvostettu muutos on molempien osalta samansuuntainen (Kuva 10). Toisaalta on myös huomioitava, että mekaaniset mallit ovat aina vain yksinkertaistettuja selitysmalleja ja harvoin pätevät sellaisenaan kaikissa fysiologisissa tapauksissa. Kawakamin malli ei ota esimerkiksi millään lailla huomioon lihassyiden mahdollista kaareutumista (Van Leeuwen & Spoor 1992).

#### *Muuttujien välinen suhde*

Kawakamin ym. (1995) tutkimuksessa 16 viikon voimaharjoittelu aiheutti yhtä suuret suhteelliset muutokset lihasvolyymissä, ACSA:ssa, PCSA:ssa, lihaspaksuudessa ja pennaatiokulmassa. Tässä tutkimuksessa saavutetut lihaspaksuuden muutokset edellä esitettyä vastoin eivät ole suhteessa pennaatiokulman muutoksiin. Saatu tulos poikkeaa oletuksesta, jonka mukaan hypertrofian uskotaan aiheuttavan yhtä suurta kasvua niin lihaspaksuudessa kuin pennaatiokulmassa (Kawakami ym. 1995), lihassyyn rakenteen muuttumisen mallista (Kawakami 2002) ja siten myös ennen tutkimusta asetetusta hypoteesista. On olemassa vankka epäily, ettei näiden muuttujien välistä positiivista korrelaatiota tai pennaatiokulman muutosta välttämättä havaita ellei voimakas hypertrofia ole läsnä (Kawakami 2005, Kulmala 2006). Toisaalta, vaikka ensimmäisen 10.5 viikon aikana havaitaan voimakasta lihaspaksuuden kasvua, mikä voitaneen tulkita hypertrofiaksi, eivät tulokset korreloi tälläkään aikavälillä. Tämä kyseinen korreloimattomuus voi selittyä tulosten kohtalaisen suurella keskihajonnalla.

Lihaspaksuuden positiivinen korrelaatio voimantuoton mittareihin on yksi osoitus lihaspaksuuden yhteydestä voimantuottokykyyn. Usean toiston polven ojennus korreloi hyvin saman liikkeen yhden toiston maksimiin, mutta ei jalkaprässissä suoritettuun jalkojen ojennus liikkeeseen, mikä kertonee mittarin liikespesifisyydestä.

#### *Reliabiliteetti ja validiteetti*

Pennaatiokulman mittaamisessa satunnaisvirhettä pyrittiin poistamaan käyttämällä aina kahden peräkkäisen mittauksen keskiarvoa. Kaikkien koehenkilöiden kanssa toimittiin samalla tavalla. Kun näiden kaikkien mittausten kahta peräkkäistä tulosta verrataan toi-

siinsa, on niiden välinen ero noin  $\pm 2.50^\circ$ . Kun kaikkien koehenkilöiden ja kaikkien mitausten pennaatiokulman keskiarvo näissä mittauksissa oli suunnilleen  $19.0^\circ$ , on tämä keskimääräinen heitto noin 13 %. Tämä ei siis eroa kovinkaan paljon Henriksson-Larsen ym. (1992) havaitsemasta 13.5 %:sta, jonka avulla he totesivat mittaustavan olevan siten kohtuullisen toistettava. Lihaspaksuuden osalta kaikkein suurin yksittäinen kahden peräkkäin suoritettun varmistusmittauksen välinen ero oli kuitenkin vain noin 7 %. Mielestäni suurehkosta satunnaisvirheestä johtuen pennaatiokulman mittaustulokset eivät voi olla täysin luotettavia. Mittauksissa on saattanut esiintyä myös systemaattista virhettä mikäli sama henkilö on mitannut esimerkiksi tietyissä mittauksissa toisia mittaajia enemmän. Mahdollista virhettä ovat korostaneet vaihtuvien kolmen eri mittaajan tulkinnat lihasarkkitehtuurista, mittauksissa läsnä ollut kiire sekä ultraäänilaitteella mitaamiseen liittyvät yleiset puutteet: kolmiulotteisen rakenteen mittaaminen kaksiulotteisesti, äänipään asettaminen lihaksen päälle sekä kuvan tulkinta. Kuten Kawakami (2005) kokoelma-artikkelissaan toteaa: Lihasrakenteelliseen muutosten analysointiin tulisi käyttää kolmiulotteista menetelmää, kuten 3D-ultraäänilaitetta, ja siten vasta tulevaisuuden tutkimukset tulevat näyttämään voimaharjoittelun aiheuttamat kolmiulotteiset rakenteelliset muutokset lihaksessa.

### *Johtopäätökset*

Tässä tutkimuksessa saavutettiin toivotunkaltainen lähes lineaarinen voimatason nousu koko puolen vuoden harjoittelujakson ajalla sekä voimakas ulomman reisilihaksen hypertrofinen vaste ensimmäisen 10.5 viikon ajalla, mikä havaittiin lihaspaksuuden kasvuna. Voimaharjoitteluiden koehenkilöiden voimantuottokyvyn ja lihaspaksuuden välillä havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio niin kuin hypoteesissa oletettiin. Pennaatiokulma puolestaan käyttäytyi itsenäisesti eikä muuttunut merkitsevästi harjoittelun seurauksena tutkimushypoteesista poiketen. Pennaatiokulma ei siis ollut suorassa yhteydessä voimantuottokyvyn parantumiseen eikä lihaspaksuuden kasvuun.

## **LÄHTEET**

- Aagaard P., Andersen J.L., Dyhre-Poulsen P., Leffers A.M., Wagner A., Magnusson S.P., Halkjaer-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. *The Journal of Physiology* 534, (2) 613-623
- Alexander R.M & Vernon A. 1975. The dimensions of knee and ankle muscles and the forces they exert. *Journal of Human Movement Studies* 1, 115-123
- Bleakney R. & Maffulli N. 2002. Ultrasound changes to intramuscular architecture of the quadriceps following intramedullary nailing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 42, (1) 120-125
- Blazevich A.J. 2007. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *Journal of Applied Physiology* 103, (5) 1565-75
- Blazevich A.J., Gill N.D., Deans N., Zhou S. 2006. Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle & Nerve* 35, (1) 78 - 86
- 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* 87, (2) 196-199
- Campos G.E., Luecke T.J., Wendeln H.K., Toma K., Hagerman F.C., Murray T.F., Ragg K.E., Ratamess N.A., Kraemer W.J., Staron R.S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal Of Applied Physiology* 88, (1-2) 50-60
- Cureton K.J., Collins M.A., Hill D.W. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20, 338-344
- Elia M.N., Fuller J., Hardingham C.R., Graves M., Screatton N., Dixon A.K., Ward L.C. 2000. Modeling Leg Sections by Bioelectrical Impedance Analysis, Dual-Energy X-ray Absorptiometry, and Anthropometry: Assessing Segmental Muscle Volume Using Magnetic Resonance Imaging as a Reference. *Annals of the New York Academy of Sciences* 904, 298-304

- Enoka R.M. 2002. Neuromechanics of human movement 3rd edition, Human Kinetics, 219-221, 260-261, 279-280, 286-297, 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) 354-358
- Fuller N.J., Hardingham C.R., Graves M., Sreaton 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* 96, (6) 647-657
- Garfinkel S., Cafarelli E. 1992. Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, (11) 1220-1227
- 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
- Guyton A.C. & Hall J.E. 2006. *Textbook of medical physiology* 11th edition, Elsevier Saunders, Philadelphia, 73
- 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
- Henriksson-Larsen K., Wretling M.L., Lorentzon R., Öberg L. 1992. Do muscle fibre size and fibre angulation correlate in pennated human muscles? *European Journal of Applied Physiology* 64, (4) 68-72
- 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 Physiologica Scandinavica* 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* 19, (8) 541-546
- 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
- Kawakami Y. 2002. Macroscopic changes in muscle architecture by resistance training. *Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise* 6, 220-226
- Kawakami Y. 2005. The Effects of Strength Training on Muscle Architecture in Humans. *International Journal of Sport and Health Science* 3, 208-217
- Kawakami Y., Abe T., Fukunaga T. 1993. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology* 74, (6) 2740-2744
- Kawakami Y., Abe T., Kanehisa H., Fukunaga T. 2006. Human skeletal muscle size and architecture: variability and interdependence. *American Journal of Human Biology* 18, (6) 845-248
- Kawakami Y., Abe T., Kuno S.Y., Funkunaga T. 1995. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, (1/2) 37-43
- Keskinen K.L., Häkkinen K., Kallinen M. 2004. *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntateollinen Seura ry, Tammer-Paino Oy, Tampere, 14-15
- 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* 28, (12) 1523-1530
- Komi P.V. 1973. Relationship between muscle tension, EMG and velocity of contraction under concentric and eccentric work. In: *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, edited by Desmedt JE. Basel: Karger, 596-606
- Komi P.V. (ed.) 1992. *Strength and power in sport*. Blackwell scientific, Oxford, 214

- 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
- Kulmala J. 2006. Hypertrofisen voimaharjoituksen akuutit vaikutukset kokemattoman voimaharjoittelijan lihaspaksuuteen ja lihaksen pennaatiokulmaan. Kandidaatin tutkielma, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Työn ohjaaja: Virmavirta Mikko
- 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
- Mendell L.M. 2005. The size principle: a rule describing the recruitment of motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 93, 3024-3026
- 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* 91, 2-3
- Moore K.L. & Dalley A.F. 1999. *Clinically orientated anatomy* 4th edition, Lippincott Williams & Wilkins, 26-31
- Morganti C.M., Nelson M.E., Fiatarone M.A., Dallal G.E., Economos C.D., Crawford B.M., Evans W.J. 1995. Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training in older women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27, (6) 906-12
- 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.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* 5, (1) 73-74
- 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) 438-444
- Niensted W., Hänninen O., Arstila A. & Björkqvist S-E. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WS Bookwell Oy, Porvoo, 76-80
- 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* 567, (1) 337-348
- 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* 45, (5) 175-179
- 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) 433-437
- Tracy B.L., Ivey F.M., Hurlbut D., Martel G.F., Lemmer J.T., Siegel E.L., Metter E.J., Fozard J.L., Fleg J.L., Hurley B.F. 1999. Muscle quality. II. Effects Of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology* 86, (1) 195-201
- Van Leeuwen J.L. & Spoor C.W. 1992. Modelling mechanically stable muscle architectures. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, biological sciences* 29, 336, (1277) 275-292
- Wickiewicz T.L., Roy R.R., Powell P.L., Edgerton V.R. 1983. Muscle architecture of the human lower limb. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 179, 275-283
- 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, 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: 133-138

## LIITE 1. Suostumuslomake

### LUURANKOLIHAKSEN MOLEKYLIBIOLOGINEN JA FYSILOGINEN 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:juha.hulmi@sport.jyu.fi)

**Marko Haverinen**, LitM. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, puh. 050-3277206, email: [marko.haverinen@pajulahti.com](mailto: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](mailto:juha.ahtiainen@sport.jyu.fi)

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

**Harri Selänne**, LKT, Yleislääketieteen ja liikuntalääketieteen erikoislääkäri, ylilääkäri, LIKES, puh. (014) 2601575, (050) 4285252, email: [harri.selanne@likes.fi](mailto: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](mailto: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 asetelmaltaan 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 sairauskohtauksen 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 kylmäkäsitteilyllä ennen ja jälkeen toimenpiteen. Haava suljetaan perhosteipillä, sidetaidoksella 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 cm<sup>2</sup>), 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) pintaelektrodien 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 elektrodin- 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