

**LUURANKOLIAHAKSEN POIKKIPINTA-ALAN JA RASVATTOMAN MASSAN
YHTEYS MAKSIMIVOIMANTUOTTOON VOIMAUHEILJOILLA JA
FITNESSURHEILJOILLA**

Elsi Leikko

Liikunafysiologian kandidaattitutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylä yliopisto

Kevät 2022

TIIVISTELMÄ

Leikko, E. 2022. Luurankolihasen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan yhteys maksimivoimantuottoon voimaurheilijoilla ja fitnessurheilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatintutkielma, 43 s.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa selittävät maksimivoimantuottoa. Lisäksi tutkitaan, eroaako maksimivoimantuoton taso, lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa sekä niiden yhteydet suomalaisten eliittitasoisten voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden välillä.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 25 dopingtestattua urheilijaa, joista 13 kilpaili eliittitasolla fitnesslajeissa ja 12 voimalajeissa. Tutkittavat olivat 20-40-vuotiaita, ja heistä noin puolet olivat naisia ja puolet miehiä. Tutkittavilta mitattiin ulomman reisilihaksen anatominen poikkipinta-ala ultraäänellä, ja rasvattoman massan määrää arvioitiin ihopoimiumittauksella, josta laskettiin myös rasvattoman massan indeksi. Maksimivoimantuottoa mitattiin yhden jalan maksimaalisella isometrisellä polvenojennuksella ja jalkaprässin yhden toiston maksimilla. Tutkimus toteutettiin osana Jyväskylän yliopiston laajempaa poikkileikkaustutkimusta, ja jokainen koehenkilö saapui liikuntalaboratoriolle mittauksiin yhden päivän ajaksi.

Lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa olivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) yhteydessä maksimivoimantuoton suuruuteen sekä voimaurheilijoilla että fitnessurheilijoilla. Suurin korrelaatio havaittiin voimaurheilijoiden rasvattoman massan ja jalkaprässin yhden toiston maksimin välillä ($r = 0,966$). Lihaksen poikkipinta-alassa, rasvattomassa massassa, rasvattoman massan indeksissä ja voimamuuttujissa puolestaan ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja voima- ja fitnessurheilijoiden välillä.

Tämän ja aiempien tutkimusten perusteella lihaksen poikkipinta-ala ja rasvattoman massan määrä voivat selittää maksimivoimantuotossa havaittuja eroja saman tasoisten urheilijoiden välillä jopa 65–90 %, mikä on tärkeää ottaa huomioon käytännön harjoittelussa. Tulosten perusteella lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan osalta voidaan päästä melko samanlaisiin tuloksiin niin fitnessurheilijoiden puhtaasti lihahypertrofiaan tähtäävän harjoittelun seurauksena, kuin myös voimaurheilijoiden suorituskyvyn parantamiseen tähtäävän nopeus- ja maksimivoimaharjoittelun seurauksena. Voimamuuttujien osalta ryhmien väliset tulokset olivat ristiriitaisia aiempaan tutkimustietoon verrattuna, kun lajien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Tähän on kuitenkin voinut vaikuttaa esimerkiksi mitattujen liikkeiden spesifisyys sekä pieni otoskoko erityisesti voimaurheilijoiden osalta.

Asiasanat: lihaksen poikkipinta-ala, rasvaton massa, maksimivoima, voimaurheilijat, fitnessurheilijat

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LUURANKOLIAHAKSEN RAKENNE JA RASVATON MASSA.....	3
2.1 Luurankoliuksen rakenne.....	3
2.2 Luurankoliuksen supistuminen ja voimantuotto.....	6
2.3 Lihaksen poikkipinta-ala	7
2.4 Luurankoliukset osana kehon rasvatonta massaa	10
3 MAKSIMIVOIMANTUOTTO	12
3.1 Maksimaaliseen voimantuottoon vaikuttavat tekijät	12
3.2 Lihaksen poikkipinta-ala maksimivoimantuottoa selittävänä tekijänä.....	15
3.3 Rasvaton massa maksimivoimantuottoa selittävänä tekijänä.....	16
4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	18
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	19
5.1 Tutkittavat.....	19
5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu	20
5.3 Tilastolliset analyysit.....	23
6 TULOKSET	24
6.1 Muuttujien väliset korrelaatiot.....	24
6.2 Muuttujien keskiarvojen vertailu lajien välillä.....	25
7 POHDINTA.....	29
7.1 Lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan yhteys voimantuottoon	29
7.2 Voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden väliset erot mitatuissa muuttujissa.....	31
7.3 Virhelähteet	34
7.4 Yhteenveto.....	35
LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Perinteisesti ajatellaan, että suurien kuormien nostaminen vaatii suuren lihasmassan erityisesti liikkeessä työtä tekeviltä lihaksilta. Mikä sitten selittää sitä, että kevytrakenteinen voimanostajanainen voi liikuttaa yli kolme kertaa oman painonsa verran kuormaa, mutta suurella lihasmassalla varustettu kehonrakentaja ei ehkä kuitenkaan pysty samaan, tai ole esimerkiksi yhtä vahva kuin lihasmassaltaan pienempi painonnostaja? Herää siis kysymys, kuinka paljon lihasten koolla ja lihasmassan määrällä oikeasti onkaan merkitystä voimantuoton kannalta?

Lihaksen poikkipinta-alan, lihasmassan ja voiman yhteys on edelleen kiistanalainen aihe. Yhteyttä on tutkittu paljon, mutta edelleenkin ei ole täysin selvää, kuinka paljon lihaskoko ja lihasmassa sekä erinäiset muut tekijät selittävät maksimivoimantuottoa. Useat tutkimukset ovat havainneet positiivisen lineaarisen yhteyden lihasvoiman sekä lihaskoon ja rasvattoman massan välillä, eli lihaksen koon ja lihasmassan kasvaessa myös lihasvoima kasvaa. (Jones ym. 2008; Jones ym. 2016; Maughan ym. 1983) Kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu samaa, eikä lihaksen koon tai lihasmassan kasvu aina johda lihasvoiman kasvuun tai toisinpäin (Reggiani & Schiaffino 2020). Esimerkiksi aloittelijoilla voimaharjoittelujakson jälkeen lihaskoon ja lihasmassan kasvun on havaittu selittävän voimantuoton kasvua yksilöiden välillä vain muutamia prosentteja (Ahtiainen ym. 2016; Loenneke ym. 2017). Hyvin pitkään voimaharjoitelleilla lihaskoko ja lihasmassan määrä kuitenkin selittävät maksimivoimantuottoa melko hyvin tai jopa erittäin hyvin, mutta yksilöiden välillä havaitaan kuitenkin eroja (Brechue & Abe 2002; Ikegawa ym. 2008). Lajitavalla ja harjoittelutavalla saattaa olla vaikutusta siihen, millainen lihaskoon, lihasmassan ja maksimivoiman yhteys on (Di Naso ym. 2012; Ferland ym. 2020; Schoenfeld ym. 2017).

Voimalajien ja fitnesslajien harjoittelu eroaa perinteisesti toisistaan jonkin verran. Molemmissa lajeissa lajiharjoittelu koostuu pääosin voimaharjoittelusta, mutta harjoittelun tavoitteet eroavat lajien välillä. (Slater & Phillips 2011) Fitness-urheilijat keskittyvät yleisesti harjoittelussaan saavuttamaan mahdollisimman suuren lihasmassan, joka pyritään säilyttämään kilpailukaudella, kun kehon rasvan määrää vähennetään lajikriteerien mukaisesti. Fitness-lajeja on useita erilaisia, ja arvostelukriteerit vaihtelevat lajien välillä. (Heyward ym. 1989; van der Ploeg ym. 2001) Voimanostossa ja painonnostossa taas pyritään kehittämään maksimivoimaa sekä hermoston että lihasmassan adaptaatioiden kautta. Voimanostossa kilpaillaan kolmessa

lajissa: jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja maastanostossa, joiden yhteistulos ratkaisee voittajan. Painonnostossa puolestaan kilpaillaan työnnön ja tempauksen yhteistuloksessa. (Ferrari ym. 2022; Stone ym. 2006) Kehonrakennuksessa ja muissa fitnesslajeissa kilpailevien urheilijoiden on erityisesti ennen ajateltu olevan lihaksikkaampia kuin voimalajien urheilijoiden. Vaikka lajien harjoittelun tavoitteet eroavat toisistaan, on mielenkiintoista tietää, havaitaanko lihaksen koossa, lihasmassassa ja lihasvoimassa kuitenkin ryhmien välillä eroja.

Lisätutkimusta lihaksen poikkipinta-alan, lihasmassan ja voiman yhteyksistä tarvitaan lisää, jotta asiaa voidaan jatkossa ymmärtää paremmin sekä mahdollisesti ottaa huomioon käytännön valmennustyössä ja harjoittelussa. Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena onkin selvittää, kuinka paljon lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa selittävät maksimivoimantuottoa. Lisäksi tutkitaan, eroaako maksimivoimantuoton taso, lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa suomalaisten eliittivoimailijoiden ja fitness-lajien eliittuurheilijoiden välillä.

2 LUURANKOLIIHAKSEN RAKENNE JA RASVATON MASSA

Luurankolihakset ovat osa hermo-lihasjärjestelmää, joka vastaa tahdonalaisen liikkeen tuottamisesta. Hermosto määrittää, milloin ja mikä lihas supistuu sekä kuinka nopeasti ja voimakkaasti supistuminen tapahtuu. Lihakset puolestaan tekevät työn. (Frontera & Ochala 2015) Luurankolihakset kattavat harjoittelemattoman ihmisen elimistön painosta keskimäärin noin 40 %, ja ne kuuluvat osaksi kehon rasvatonta massaa (McArdle 2015, 738–740). Lihaksilla on tärkeä rooli liikkeen tuottamisen lisäksi esimerkiksi asennon ylläpitämisessä, hengittämisessä ja aineenvaihdunnassa (Jorgenson ym. 2020). Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi luurankolihasrakennetta ja toimintaa. Lisäksi käsitellään tarkemmin rasvatonta massaa, johon luurankolihakset kehonkoostumuksen osalta kuuluvat. Viimeisenä paneudutaan tarkemmin yksittäisen lihaksen poikkipinta-alaan.

2.1 Luurankolihasrakenne

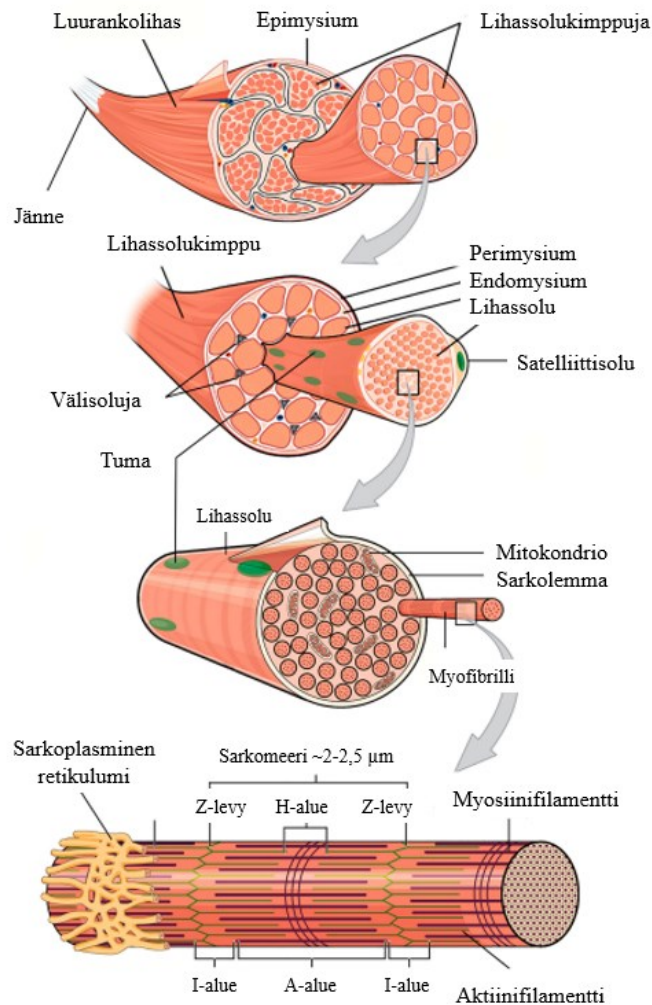
Luurankolihakset sisältävät 50–75 % koko elimistön proteiineista (Mukund & Subramanian 2019). Yksittäisestä luurankolihasesta noin 75 % on vettä, 20 % proteiineja ja loput epäorgaanisia suoloja, entsyymejä, pigmenttejä, rasvoja ja hiilihydraatteja (McArdle ym. 2015, 359). Luurankolihaskudos on poikkijuovaista, eli solut ovat asettuneet lihaksen pituussuunnassa muodostaen kimppuja. Lihaskudos koostuu lihassolujen lisäksi verisuonista, hermoista sekä kalvorakenteista, jotka yhdistyvät lihaksen päässä jänteeksi. Kalvorakenteet välittävät voimaa edelleen niveliin synnyttäen liikettä. (Mukund & Subramanian 2019)

Hermo-lihasjärjestelmän pienintä toiminnallista yksikköä kutsutaan motoriseksi yksiköksi, joka koostuu yhdestä motorisesta hermosolusta ja sen aksonin päätehaarojen hermottamista lihassoluista. Yksittäisessä lihaksessa on useita motorisia yksiköitä. Motorisen yksikön koko vaihtelee sen hermottamien lihassolujen lukumäärän mukaan, joka on keskimäärin noin 80–100. Lihassolujen lukumäärä puolestaan riippuu kyseisen lihaksen toimintatarkoituksesta. Tarkkaa hienomotoriikkaa vaativien lihasten motoriset yksiköt ovat pieniä, kun taas suurta voimantuottoa vaativien lihasten motoriset yksiköt ovat suuria. (Hall 2016, 84) Motoriset yksiköt voidaan jakaa niiden mekaanisen ja kemiallisen toiminnan mukaan kolmeen eri ryhmään: tyyppin I, tyyppin IIa ja tyyppin IIb motorisiin yksiköihin. Tyyppin I motoriset yksiköt tuottavat voimaa

hitaammin ja vähemmän kuin tyypin II motoriset yksiköt. Tyypin I motoriset yksiköt puolestaan vastustavat väsymystä paremmin kuin tyypin II motoriset yksiköt. Tyypin IIb motoriset yksiköt tuottavat suuremman voiman nopeammin kuin tyypin IIa motoriset yksiköt, mutta tyypin IIa motoriset yksiköt sietävät väsymystä tyypin IIb motorisia yksiköitä paremmin. Nopeat motoriset yksiköt ovat hyödyllisiä paljon voimaa ja nopeutta vaativissa suorituksissa, kun taas hitaita motorisia yksiköitä hyödynnetään kestävyyttä vaativissa suorituksissa. Motorisen yksikön kaikki lihassolut ovat samaa tyyppiä, mutta eri motoristen yksiköiden lukumäärät voivat vaihdella eri lihaksissa paljonkin. (McArdle 2015, 396–399)

Itse luurankolihas muodostuu lihassolukimpuista, jotka puolestaan rakentuvat yksittäisistä monitumaisista lihassoluista, ja kuten todettiin, lihassolut ovat osa motorisen yksikön rakennetta. Lihassolun supistuvat osat muodostuvat myofibrilleistä, jotka taas koostuvat lihaksen pienimmistä toiminnallisista osista eli sarkomeereistä. Sarkomeerit ovat myofibrilleissä peräkkäin järjestäytyneinä, ja yksi sarkomeeri kattaa kahden Z-levyn välisen alueen. Sarkomeeri sisältää myofilamentit eli aktiini- ja myosiinifilamentit, jotka vastaavat lihaksen supistumisesta ja ovat rakenteeltaan proteiineja. Jokaisessa aktiinifilamentissa on sitoutumiskohta myosiinifilamentille. Aktiinifilamentissa on aktiinin lisäksi filamenttien vuorovaikutusta sääteleviä proteiineja troponiinia ja tropomyosiinia sekä vahvistavana proteiinina nebuliinia. Myosiinifilamentti puolestaan sisältää myosiinin lisäksi titiiniä, joka kiinnittää filamentin Z-levyyn ja vahvistaa sen rakennetta. Lihassolun solukalvon eli sarkolemman alla on supistuvien rakenteiden lisäksi lihassolun aineenvaihduntaan ja rakenteisiin liittyviä osia, kuten mitokondrioita ja ribosomeja. Supistumiskäskyä lihassolussa välittävät T-tubulusjärjestelmä ja sarkoplasminen retikulumi. Lihassolun solunestettä kutsutaan sarkoplasmaksi. (Frontera & Ochala 2015; Hall 2016, 75–77; Mukund & Subramanian 2019)

Koko lihasta ympäröi sidekudoksinen kalvo nimeltään epimysium. Lihassolukimppuja ympäröi perimysium, jossa on runsas verisuoniverkosto. Yksittäisiä lihassoluja puolestaan ympäröi endomysium-kalvo, joka täyttää lihassolujen väliset tilat. Endomysiumin alla ja yksittäisten lihassolujen pinnalla on vielä lisäksi varsinainen lihassolun oma solukalvo eli sarkolemma, joka johtaa hyvin sähköä ja läpäisee joitakin kemiallisia aineita. (Hall 2016, 75) Endomysiumin ja sarkolemman välissä sijaitsee satelliittisoluja, jotka ovat lihaksen kantasoluja. Ne osallistuvat lihaskudoksen kasvuun, korjaamiseen ja uudistumiseen (Frontera & Ochala 2015). Luurankolihasrakennetta on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Luurankolihasen rakenne (mukailtu Jorgenson ym. 2020).

Kaikki lihassolut eivät ole samanlaisia, vaan ne eroavat aineenvaihduntaan ja lihassupistukseen liittyvissä ominaisuuksissa. Lihassolut voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään myosiinin raskasketjujen (myosin heavy chain, MHC) isoformien mukaan. Myosiinin raskasketjut ovat osa supistuvan proteiinin, myosiinin, rakennetta. Hitaat tyypin I lihassolut kestävät hyvin väsymystä ja turvautuvat aineenvaihdunnassa aerobisiin energiantuottoreitteihin. Tyypin I lihassoluja kutsutaan hitaiksi lihassoluiksi, sillä ne supistuvat ja rentoutuvat melko hitaaseen tahtiin. Nopeat tyypin II lihassolut jaetaan kahteen eri ryhmään. Tyypin Iia lihassolut tuottavat energiaa sekä aerobisesti että anaerobisesti ja sietävät väsymystä kohtuullisen hyvin. Tyypin Iix lihassolut ovat puolestaan kaikkein nopeimpia ja tuottavat energiaa pääasiassa glykolyysin kautta, mutta myös väsyvät nopeasti. (McArdle 2015, 374–378) Eri lihasten lihassolujakauma voi vaihdella

paljonkin. Esimerkiksi Colquhounin ym. (2018) tutkimuksessa havaittiin, että voimaharjoitelleilla miehillä ulomman reisilihaksen (m. vastus lateralis) lihassoluista noin 65 % oli tyyppin II lihassoluja ja 35 % tyyppin I lihassoluja.

2.2 Luurankoliuksen supistuminen ja voimantuotto

Liikkeen aikaansaamiseksi keskushermostosta viedään supistumiskäskeä eli aktiopotentiaali lihaksille motorisia hermoja pitkin. Aktiopotentiaali siirtyy hermosta lihakseen hermo-lihasliitoksen kautta kemiallisen välittäjäaineen asetyylikoliinin avulla. Välittäjäaine laukaisee lihassolussa aktiopotentiaalin, joka leviää T-tubulusten välityksellä samaan aikaan kaikkiin motorisen yksikön lihassoluihin. T-tubulukset ovat vahvasti yhteydessä sarkoplasmiseen retikulumiin, josta vapautuu aktiopotentiaalin seurauksena kalsiumia. Kalsium kulkeutuu aktiini- ja myosiinifilamenteille ja saa aikaan lihassupistuksen silloin, kun energiaa (adenosiinitrifosfaatti, ATP) on saatavilla. Kalsium sitoutuu aktiinifilamentin troponiiniin, mikä siirtää tropomyosiinin syrjään peittämästä aktiinifilamentin aktiivisia kohtia. Tällöin aktiini pääsee reagoimaan myosiinin kanssa, ja myosiinifilamenttien päät tarttuvat aktiinifilamentteihin muodostaen poikkisillat ja supistaen sarkomeeria kasaan. Poikittaissillat muuttavat aktiivisesti muotoaan, kun myosiinin päät kiinnittyvät myöhemmin syklisesti uuteen kohtaan aktiinifilamenttia. Tätä kutsutaan filamenttien liukumisteoriaksi, jossa myofilamentit liukuvat toistensa lomaan muuttamatta omaa pituuttaan. Koko lihassolu lyhenee, kun peräkkäiset sarkomeerit supistuvat yhtä aikaa, jolloin koko lihas supistuu ja alkaa tuottaa voimaa. (Frontera & Ochala 2015; Mukund & Subramanian 2019)

Lihaksen voimantuottoa voidaan parantaa lisäämällä keskus- ja ääreishermoston neuraalista käskytystä. Lisääntynyt käskytykseen johtaa uusien motoristen yksiköiden rekrytoimiseen ja jo käytössä olevien motoristen yksiköiden syttymistäajuuden kasvuun. Motorisia yksiköitä rekrytoidaan käyttöön Hennemanin kokoperiaatteen mukaisesti eli voimaa tuotetaan ensin pienillä ja hitailla motorisilla yksiköillä, ja voimantuottovaatimusten kasvaessa rekrytoidaan käyttöön yhä enemmän suuria ja nopeita motorisia yksiköitä. (Cormie ym. 2011a; McArdle ym. 2015, 399–400) Ihmiskehon liikkeet ovat seurausta useiden lihasten samanaikaisesta supistumisesta ja siten niiden voimantuotosta. Esimerkiksi silloin kun ojennetaan polvea, aktivoituu agonisti- eli päävaikuttajalihaksen lisäksi joukko antagonisti- eli vastavaikuttajalihaksia sekä synergistilihaksia eli liikettä avustavia lihaksia. Harjoittelun myötä liikkeessä agonistiliuksen aktivaatio

paranee ja antagonistilihaksen aktivaatio vähenee. Parantuneen lihasaktivaation myötä voimantuotto kasvaa. (Cormie ym. 2011a)

Liikkumisen aikana lihas-jännekompleksi toimii yleensä syklisesti, jossa eksentristä lihastyötä seuraa erittäin lyhyt isometrinen vaihe, jonka jälkeen tapahtuu konsentrisen lihastyö. Tätä kutsutaan venymis-lyhenemissykliksi. Isometrisellä lihastyötavalla tarkoitetaan lihastyötä ilman nivelen liikettä tai lihaspituuden muutosta, eli käytännössä liikkeen aikana kuormaa joko pidetään paikallaan painovoimaa vastaan tai liikkumatonta estettä pyritään liikuttamaan. Dynaaminen lihastyö kattaa sekä konsentrisen että eksentrisen lihastyön. Konsentrisen lihastyön aikana lihaksen pituus lyhenee, ja se vetää nivelen eri puolilla olevia luita lähemmäs toisiaan. Siinä lihaksen tuottama voima on liikuteltavaa kuormaa suurempi. (Frontera & Ochala 2015) Eksentrisen lihastyön aikana kuorman liikettä jarrutetaan painovoimaa vastaan, eli siinä lihaksen venymistä jarrutellaan tuottamalla voimaa venytystä vastaan. Lihakset pystyvät tuottamaan suurimman voiman juuri eksentrisen lihastyön aikana. (Suchomel ym. 2018)

Maksimivoimaa voidaan mitata sekä isometrisesti että dynaamisesti. Isometrisen maksimivoimamittauksen etuja ovat sen helppous sekä se, että isometrisessä maksimivoimatestissä myös harjoittelemattomat saavat itsestään hyvin irti. Dynaamisen voimantuoton mittaamisen etu puolestaan on esimerkiksi se, että se on isometristä lajispesifimpää useimpien urheilulajien liikkeille. (Suchomel ym. 2016)

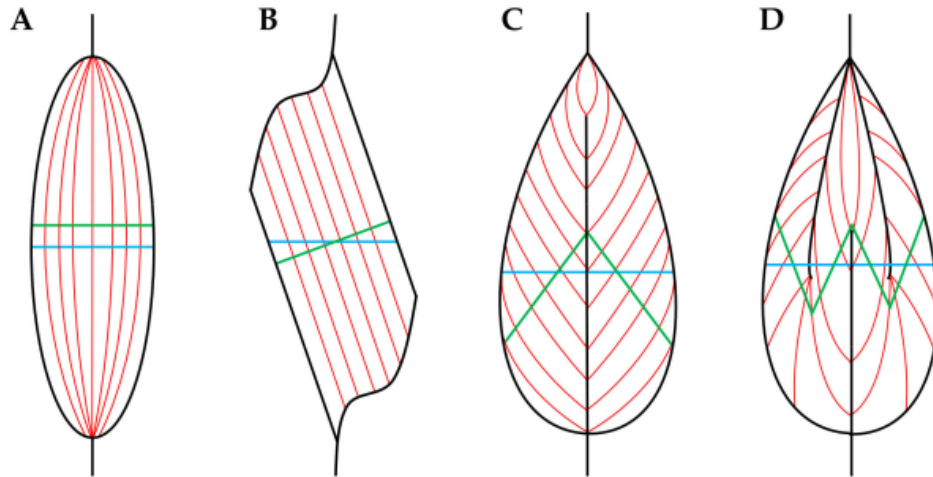
2.3 Lihaksen poikkipinta-ala

Yksittäisen lihaksen koosta saadaan tietoa mittaamalla lihaksen poikkileikkauksen pinta-alaa (Jorgenson ym. 2020). Yksittäisen lihaksen tai lihasryhmän poikkipinta-ala saattaa olla mielenkiintoinen tieto esimerkiksi silloin, kun lihas toimii liikkeessä päävoimantuottajana (Cormie ym. 2011a). Monissa fitnesslajeissa myös tähdätään juuri tiettyjen lihasryhmien kasvattamiseen arvostelukriteerien mukaisesti (Spendlove ym. 2015). Lihaksen poikkipinta-ala eroaa yksilöiden välillä, ja siihen vaikuttaa esimerkiksi kyseessä oleva lihasryhmä, sukupuoli, ikä ja harjoittelu (Folland & Williams 2007).

Voimaharjoittelun tärkeimpiä adaptaatioita on lihashypertrofia, jonka seurauksena lihaksen poikkipinta-ala ja lihasmassa kasvavat (Cormie ym. 2011a). Kokonaisen lihaksen ja yksittäisen

lihassolun poikkipinta-alan välillä on havaittu olevan korkea riippuvuus, eli kun yksittäisen lihassolun poikkipinta-ala kasvaa myös koko lihaksen poikkipinta-ala kasvaa (Monti ym. 2021). Myofibrillaarisen hypertrofian seurauksena lihassupistuksesta vastuussa olevien lihassolun sarkomeerien ja myofibrillisten proteiinien määrä lisääntyy. Sarkoplasmisen hypertrofian seurauksena kasvua tapahtuu puolestaan ainoastaan supistumattomissa proteiineissa ja sarkoplasmassa. (Cormie ym. 2011a; Di Naso ym. 2012) Voimaharjoittelun seurauksena sekä tyyppin I että tyyppin II lihassolujen poikkipinta-ala kasvaa, mutta kasvu on suurempaa tyyppin II lihassoluissa. Lihashypertrofian tasoon vaikuttavat merkittävästi harjoittelun frekvenssi, volyyymi ja intensiteetti. (Cormie ym. 2011a) Esimerkiksi ihmisillä 8–16 viikon voimaharjoittelu voi aiheuttaa 5–30 %:n kasvun koko lihaksen poikkipinta-alassa. Tämä kasvu on pääasiassa seurausta lihaksen ympärysmittan kasvusta eikä lihaksen pituuden kasvusta. Lihaksen poikkipinta-alan kasvu on vähäisempää lihaksen proksimaalisessa ja distaalisessa päässä kuin lihaksen keskiosissa. (Jorgenson ym. 2020) Lihaskokoa voidaan ilmaista joko tilavuutena tai massana, kun taas lihaksen poikkipinta-ala ilmoitetaan yleensä neliösenttimetreinä (Taber ym. 2019).

Lihaksen poikkipinta-alaan vaikuttaa merkittävästi lihaksen muoto ja yksittäisten lihassolujen järjestäytyminen lihaksessa. Lihas voi olla muodoltaan sukkulamainen, puolisuulainen, täysisuulainen tai monisuulainen. Sukkulamaisissa lihaksissa lihassyöt kulkevat lihaksen pituusakselin suuntaisesti, ja suulamaisissa lihaksissa eli pennaatiolihaissa viistosti pitkittäiseen akseliin nähden kiinnittyen lihaksen aponeuroosiin eli kalvojänteeseen tiettyssä kulmassa. Kulmaa aponeuroosin ja lihassyiden välillä kutsutaan pennaatiokulmaksi. Pennaatiolihaisten poikkipinta-ala on sukkulamaisia lihaksia suurempi, sillä niissä samaan lihastilavuuteen mahtuu enemmän sarkomeerejä rinnakkain. (McArdle ym. 2015, 362–364) Eri lihasmuotoja on havainnollistettu kuvassa 2.



KUVA 2. Erilaisia luurankolihaslihasmuotoja: sukkulamainen lihas (A), puolisuksainen lihas (B), täyssuksainen lihas (C) ja monisuksainen lihas (D). Sinisten viivojen suuntaisesti mitataan lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja vihreiden viivojen suuntaisesti fysiologinen poikkipinta-ala. (Jorgenson ym. 2020)

Lihaksen anatomisella poikkipinta-alalla (ACSA) tarkoitetaan yleisesti lihaksen paksuimmasta kohdasta pinnan normaalina määritettyä poikkipinta-alaa (CSA). Fysiologisella poikkipinta-alalla (PCSA) puolestaan tarkoitetaan lihassoluihin suorassa kulmassa olevaa poikkipinta-alaa. Sukkulamaisissa lihaksissa anatominen poikkipinta-ala vastaa fysiologista poikkipinta-alaa, sillä se leikkaa lihassolut suorassa kulmassa. Pennaatiolihasissa anatominen poikkipinta-ala leikkaa ainoastaan osan lihassoluista eikä siten ole sama kuin lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala. (Narici ym. 1992) Myös tätä on havainnollistettu kuvassa 2. Lihaksiopsioiden avulla voidaan lisäksi mitata myös yksittäisten lihassolujen poikkipinta-alaa (Meijer ym. 2015).

Lihaksen poikkipinta-alassa on joissain tutkimuksissa havaittu eroja eri lajien urheilijoiden välillä, mutta toisissa taas ei. Ikegawan ym. (2008) tutkimuksessa korkealla tasolla kilpailevien kehonrakentajien kolmipäisen olkalihasen anatominen poikkipinta-ala oli merkittävästi suurempi kuin alhaisemmalla tasolla kilpailevilla painonnostajilla. Meijerin ym. (2015) tutkimuksessa kehonrakentajien yksittäisten lihassolujen poikkipinta-ala oli suurempi kuin teholajien urheilijoilla. Tutkimuksen kehonrakentajista kuitenkin suurin osa käytti anabolisia steroideja, ja toisaalta nelipäisen reisilihasen tilavuuden havaittiin itse asiassa olevan suurempi teholajien urheilijoilla. (Meijer ym. 2015) Puolestaan Di Nason ym. (2012) tutkimuksessa kehonrakentajien, voimanostajien ja painonnostajien reiden lihaksiston kokoa arvioitiin ympärysmittan ja pih-

timittauksen avulla, eikä ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Kehonrakentajien ja voimanostajien ulomman reisilihaksen lihassolujen pinta-alassa ei havaittu eroja myöskään Häkkisen ym. (1984) tutkimuksessa.

2.4 Luurankolihakset osana kehon rasvatonta massaa

Kehonkoostumus kertoo, mistä aineista keho koostuu, ja missä suhteessa ne jakautuvat kehossa. Kehonkoostumus voidaan karkeasti jakaa rasvattomaan massaan ja rasvamassaan. Rasvaton massa saadaan (Fat-Free Mass, FFM), kun koko kehon massasta vähennetään rasvamassan (Fat Mass, FM) määrä. Kun puhutaan rasvattomasta massasta, viitataan sillä useasti kehon lihasmassaan määrään. On kuitenkin tärkeää muistaa, että se kattaa myös kehon sisältämän veden ja sisäelimet sekä luu- ja sidekudokset. Rasvattomasta massasta kuitenkin suurin osa koostuu lihasmassasta. Rasvamassa puolestaan koostuu ainoastaan rasvasta, ja kun rasvamassa suhteutetaan koko kehon massaan, saadaan rasvaprosentti. Pehmytkudosmassa (Lean Body Mass, LBM) vastaa lähes täysin rasvatonta massaa, mutta se sisältää myös luiden ja sisäelinten rasvan (noin 3 % kehon massasta). Kehonkoostumusta ei voida suoraan mitata, mutta sitä voidaan arvioida useilla erilaisilla menetelmillä. (McArdle 2015, 738–740)

Kehonkoostumukseen vaikuttaa monet eri tekijät, kuten perimä, sukupuoli, ikä, ravitsemus ja harjoittelu. Luurankolihakset ovat ihmiselimistön plastisinta ja dynaamisinta kudosta (Mukund & Subramanian 2019), ja kehon lihasmassan määrä riippuu proteiinisynteesin ja proteiinien hajotuksen välillä vallitsevasta tasapainosta (Frontera & Ochala 2015). Voimaharjoittelusta seuranneen lihashypertrofian ja lihaksen poikkipinta-alan kasvun seurauksena myös rasvattoman massan havaitaan kasvavan (Moquin ym. 2021). Kehonkoostumuksella on useimmissa urheilulajeissa merkitystä, ja urheilijoilla onkin havaittu olevan keskimääräistä enemmän rasvatonta massaa ja vähemmän rasvamassaa verrattuna ei-urheilijoihin (McArdle 2015, 771–773).

Voimalajien urheilijoilla on keskimääräistä korkeampi rasvaton massa verrattuna harjoittelemattomiin ja monien muiden lajien urheilijoihin (Brechue & Abe 2002; Keogh ym. 2007; Stone ym. 2006). Voimalajien urheilijoiden välillä rasvattoman massan määrää on vertailtu melko vähän, mutta esimerkiksi Häkkisen ym. (1984) tutkimuksessa voimanostajien ja kehonrakentajien rasvattoman massan määrässä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Heywardin ym. (1989) tutkimuksessa fitnessurheilijamiesten pehmytkudosmassa oli keskimäärin 82,7

kg ja fitnessurheilijanaisten 48,5 kg. Voimanostajamiesten pienissä painoluokissa rasvatonta massaa oli keskimäärin 55,2 kg, keskimmaisissa painoluokissa 67 kg ja isoimmista painoluokista 97,7 kg (Brechue & Abe 2002). Tuoreemmassa tutkimuksessa vahvemman ryhmän naisvoimanostajien keskimääräinen pehmytkudosmassa oli 52,6 kg ja miesvoimanostajien 76,4 kg (Ferrari ym. 2022). Eliittipainonnostajanaيسilla pehmytkudosmassan määrä oli keskimäärin 54,9 kg ja eliittipainonnostajamiehillä 80,4 kg (Stone ym. 2006).

Rasvattoman massan indeksiä (Fat-Free Mass Index, FFMI) suositellaan kirjallisuudessa käytettäväksi kehonkoostumuksen mittarina silloin, kun vertaillaan urheilijoiden kehonkoostumusta ja lihasmassaa keskenään. Rasvattoman massan indeksi ottaa rasvattoman massan lisäksi huomioon pituuden, ja se voidaan laskea jakamalla rasvattoman massan määrä (kg) pituuden neliöllä (m^2). Rasvattoman massan indeksiä voidaan käyttää apuna myös urheilijan rasvattoman massan kasvukapasiteetin arviointiin, harjoittelu- ja ravitsemusohjaukseen, painoluokkalajien kilpailupainosuositukseen sekä urheilijan menestyspotentialin kartoittamiseen. (Currier ym. 2019)

3 MAKSIMIVOIMANTUOTTO

Maksimivoimalla tarkoitetaan suurinta yksilöllistä voimatasoa, jonka hermo-lihasjärjestelmä pystyy tuottamaan tietyssä liikkeessä rajoittamattomassa ajassa. Lihasten maksimivoimareservi toimii tärkeänä pohjaominaisuutena nopeusvoiman ja kestovoiman kehittämisessä. (Ferland ym. 2020; Suchomel ym. 2016) Raskas voimaharjoittelu johtaa pitkällä aikavälillä lihaksen rakenteellisiin ja hermostollisiin muutoksiin eli adaptaatioihin, joiden seurauksena voimantuotokyky kasvaa (Folland & Williams 2007). Seuraavissa alaluvuissa käsitellään voimantuottoon vaikuttavia tekijöitä.

3.1 Maksimaaliseen voimantuottoon vaikuttavat tekijät

Ihmiskehon kykyyn tuottaa voimaa vaikuttavat lukuisat eri tekijät. Voimantuottoon vaikuttavia tekijöitä on jaoteltu rakenteellisiin ja hermostollisiin tekijöihin. Rakenteellisilla tekijöillä tarkoitetaan esimerkiksi lihaksen poikkipinta-alaa, lihassolutyyppejä, lihaksen arkkitehtuuria (penaatiokulmat, lihassolukimppujen pituudet), jänteen ominaisuuksia ja lihaksen laatua eli spesifiä tensiota sekä normalisoitua lihasvoimaa. Hermostollisilla tekijöillä puolestaan tarkoitetaan esimerkiksi motoristen yksiköiden rekrytoimista ja lihaksen sisäistä koordinaatiota. Rakenteellisten ja hermostollisten tekijöiden lisäksi voimantuottoon vaikuttaa myös muita tekijöitä, joista kaikki eivät ole täysin tunnettuja. (Cormie ym. 2011a; Erskine ym. 2010) Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi lihas-jännekompleksin jäykkyys, tuki- ja sidekudosten kyky välittää voimaa, lihasten energiantuottokoneiston teho sekä erilaiset biomekaaniset tekijät kuten vipuvarsiensa pituudet ja lihasten kiinnityskohdat (Cormie ym. 2011a; Suchomel ym. 2018). Lihaksen poikkipinta-alaa ja koko kehon rasvatonta massaa maksimivoimantuottoa selittävänä tekijänä käsitellään erikseen seuraavissa alaluvuissa, mutta muihin lihaksen sisäisiin tekijöihin syvennyttään tässä luvussa.

Lihaksen laadulla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon lihas pystyy tuottamaan voimaa poikkipintaalaansa nähden. Kokonaisen lihaksen laatua kuvaa normalisoitu lihasvoima ja yksittäisen lihas-solun laatua spesifi tensio. (Erskine ym. 2010) Kirjallisuuden mukaan ihmisen lihas pystyy sukupuolesta riippumatta tuottamaan konsentrisesti keskimäärin 30 N voimaa yhtä lihaksen poikkipinta-alan neliösenttimetriä kohti (McArdle ym. 2015, 507). Suurin osa tutkimuksista on kuitenkin osoittanut, että normalisoitu lihasvoima paranee harjoittelun myötä ja eri lajitaustan

omaavilla urheilijoilla onkin havaittu eroja normalisoidussa lihasvoimassa (Dankel ym. 2019). Esimerkiksi painonnostajilla ja teholajien urheilijoilla on havaittu olevan suurempi normalisoitu lihasvoima kuin kehonrakentajilla ja kuntoilijoilla (Alway ym. 1990; Ikegawa ym. 2008; Meijer ym. 2015). Normalisoidulla lihasvoimalla on havaittu olevan merkitystä maksimivoimantuotossa, ja esimerkiksi Erskinen ym. (2010) tutkimuksessa normalisoitu lihasvoima selitti lihasvoiman kasvun vaihtelua yksilöiden välillä jopa yli 62 %.

Myös lihassolutyypillä saattaa olla vaikutusta voimantuoton suuruuteen. Tyypin II lihassolujen voimantuotonopeuden ja spesifin tension, eli lihassolun voimantuoton ja poikkipinta-alan suhteen, on havaittu olevan tyypin I lihassoluja parempi. (Cormie ym. 2011a) Kooltaan suurempien lihaksien pennaatiokulmat ovat suurempia, ja näin ollen samalle anatomiselle poikkipinta-alalle lihakseen mahtuu enemmän sarkomeereja rinnakkain (PCSA kasvaa). Sarkomeerien määrän lisääntyessä myös lihaksen supistumisesta vastuussa olevien lihaksen poikittaissiltojen lukumäärä on suurempi, jolloin ne pystyvät tuottamaan enemmän voimaa lihaskudoksen massaan nähden. (Suchomel ym. 2018) Toisaalta suurempien pennaatiokulmien myötä yksittäisistä lihassoluista välittyä akselin suuntaisesti jänteeseen vähemmän voimaa vinoittaisen sijoittumisen vuoksi. Pennaatiokulman vaikutus voimaan onkin lihassolujen pakkaamisen ja vinoittaisesta sijoittumisesta johtuvan mekaanisen vajeen aiheuttama yhteisvaikutus. Alexanderin ja Vernoin (1975) tutkimuksen mukaan lihaksen optimaalinen pennaatiokulma olisi 45 °. Hyvin harvan lihaksen pennaatiokulma voi kuitenkin saavuttaa kyseisen arvon, jolloin kaiken pennaatiokulman kasvun voidaan ajatella kasvattavan voimantuottokykyä. Pituudeltaan suuremmissa lihassolukimpuissa puolestaan on enemmän sarkomeerejä peräkkäin, jolloin voimantuotto on nopeampaa ja maksimaalinen tehontuotto parempaa. (Folland & Williams 2007)

Luurankolihasen sisäisten ominaisuuksien lisäksi voimantuottoon vaikuttavat merkittävästi hermostolliset tekijät. Voimantuoton suuruus riippuu aktiivisten motoristen yksiköiden määrästä sekä niiden käskytystiheydestä. Tällöin voimantuottoon vaikuttaa erityisesti liikehermoston kyky käskyttää yksittäisiä motorisia yksiköitä. Mitä enemmän lihaksessa tapahtuu supistuvien proteiinien välisiä poikkisiltasyklejä tietyssä ajassa, sitä enemmän lihas tuottaa voimaa. Lisäksi voimantuottoon vaikuttaa liikehermoston kyky lihasten väliseen ja sisäiseen koordinaatioon liikkeessä. Eli mitä paremmin juuri oikeat lihakset ja motoriset yksiköt ovat oikeaan aikaan ja oikean verran aktiivisena tai inaktiivisena liikesuorituksen aikana, sitä enemmän liikkeessä pystytään tuottamaan voimaa. Lisäksi voimantuottoon vaikuttaa merkittävästi voiman-

tuottoa vähentävien refleksien (Golgin jännerefleksi) väheneminen ja voimantuottoa vahvistavien refleksien (venytysrefleksi) lisääntyminen selkäydintasolla. (Cormie ym. 2011a; Folland & Williams 2007; Suchomel ym. 2018)

Voimantuottoon vaikuttavia tekijöitä on tutkittu useissa tutkimuksissa. Trezise ja Blazeovich (2019) toteuttivat tutkimuksessaan harjoittelemattomilla miehillä 10 viikon voimaharjoittelujakson, jonka seurauksena sekä isometrinen että dynaaminen voimantuotto paranivat. Dynaamisen voimantuoton paranemista selitti pääosin lihaksen parantunut aktivaatio, kun taas isometrisen voimantuoton paranemista selitti parhaiten lihaksen koon kasvu. (Trezise & Blazeovich 2019) Ikegawa ym. (2008) taas havaitsivat tutkimuksessaan, että lihaksen pennaatiokulma vaikuttaisi merkittävästi isometrisen voimantuoton suuruuteen, silloin kun se suhteutetaan lihaksen poikkipinta-alaan. Zarasin ym. (2020) tutkimuksessa naispainonnostajilla korrelaatiot lihaksen arkkitehtuurin ja painonnostotuloksen välillä eivät puolestaan olleet kovinkaan merkittäviä. Voimantuottoon vaikuttavia hermostollisia tekijöitä on kuitenkin tutkittu suhteellisen vähän verrattuna rakenteellisiin tekijöihin, ja useimmiten tutkimuksissa oletetaan, että hermostolliset tekijät selittävät voimantuotosta rakenteellisista tekijöistä jäljelle jäävän osan (Casolo ym. 2021). Casolon ym. (2021) tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että vaikka voimaharjoitteleilla absoluuttinen voimantuotto oli submaksimaalisessa työssä merkittävästi suurempaa kuin harjoittelemattomilla, motoristen yksiköiden aktivaatio oli kuitenkin samalla tasolla molemmissa ryhmissä.

Maksimivoimantuoton suuruuteen vaikuttaa merkittävästi lajitausta. Voimalajien ja fitness-lajien harjoittelu eroaa perinteisesti merkittävästi toisistaan, jolloin myös harjoittelun adaptaatiot (esim. hermostolliset- ja lihaksen sisäiset tekijät) vaihtelevat, ja voidaan ajatella, että voimalajien urheilijat ovat fitness-urheilijoita vahvempia. (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984) Häkkisen ym. (1984) ja Di Nason ym. (2012) tutkimuksessa voimannostajat olivatkin kehonrakentajia vahvempia. Molempien tutkimusten koehenkilöt kilpailivat kansallisella tasolla, ja maksimivoimantuottoa testattiin jalkakyykyssä. Lisäksi Häkkisen ym. (1984) tutkimuksessa mitattiin maksimaalista isometristä polven ojennusta. (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984) Ikegawan ym. (2008) tutkimuksessa maksimivoimantuottoa mitattiin isometrisessä ojentajapunnerruksessa, jossa kehonrakentajat osoittautuivat vahvemmiksi kuin painonnostajat. Häkkisen ja Kauhasen (1986) tutkimuksessa maksimaalisessa isometrisessä voimantuotossa ei ollut suuria eroja painonnostajien, voimannostajien ja kehonrakentajien välillä, mutta painonnostajat

olivat kuitenkin keskimäärin vahvimpia. Jalkakyykytuloksessa voimanostajat olivat puolestaan vahvimpia. (Häkkinen & Kauhanen 1986) McBriden ym. (1999) tutkimuksessa vertailtiin keskenään painonnostajia ja voimanostajia. Tutkimuksessa selvisi, että painonnostajat olivat voimanostajia vahvempia Smith-laitteessa suoritettussa puolikyykyssä. (McBride ym. 1999)

3.2 Lihaksen poikkipinta-ala maksimivoimantuottoa selittävänä tekijänä

Yksittäisen lihassolun tuottaman voiman määrä on suoraan verrannollinen sen poikkipinta-alaan. Tämä on johtanut päätelmään, että keskeinen lihasvoiman suuruuteen vaikuttava tekijä on lihaskudoksen supistuvien proteiinien määrä. Koko lihaksen tasolla poikkipinta-alan ja lihasvoiman yhteys ei kuitenkaan ole lineaarinen. (Cormie ym. 2011a; Gilliver ym. 2009; Maughan ym. 1983) Lihaksen poikkipinta-alan kasvua voidaan havaita puhtaasti hypertrofiaan eli lihaskasvuun tähtäävän harjoittelun seurauksena, mutta myös suorituskyvyn parantamiseen tähtäävän nopeus- ja maksimivoimaharjoittelun seurauksena (Reggiani & Schiaffino 2020).

Useat tutkimukset ovat havainneet lihaksen koon ja maksimaalisen tahdonalaisen voimantuoton välillä joko kohtuullisen tai vahvan yhteyden (Erskine ym. 2010; Häkkinen & Keskinen 1989; Ikegawa ym. 2008; Maughan ym. 1983; Trezise ym. 2016). Nykytiedon mukaan lihaskoko selittää dynaamisessa voimantuotossa keskimäärin noin 50–60 % harjoittelemattoman ihmisen voimantuottokyvystä (Trezise & Blazevich 2019). Monissa tutkimuksissa lihaksen koon ja voiman välillä on havaittu olevan lineaarinen yhteys (Schantz ym. 1983; Young ym. 1985), mutta esimerkiksi Alwayn ym. (1990) tutkimuksessa vastaavaa ei havaittu.

Vaikka onkin selvää, että voimaharjoittelu aiheuttaa jossain määrin sekä lihasvoiman, että lihaksen koon kasvua, jo pienilläkin ihmisryhmillä havaitaan tämän suhteen suurta yksilöllistä vaihtelua (Erskine ym. 2010). On myös vaikeaa tutkia, aiheuttaako juuri voimaharjoittelusta seurannut lihaskasvu myös lihasvoiman kasvun (Dankel ym. 2019). Aloittelijoilla lihaksen koon kasvu selittää lihasvoiman kasvua vain muutamia prosentteja (Ahtiainen ym. 2016; Erskine ym. 2010), kun taas kokeneemmilla harjoittelijoilla lihaskoko selittää jopa erittäin hyvin maksimivoiman suuruutta (Brechue & Abe 2002; Monti ym. 2021). Lihaskoon ja voimantuoton yhteys myös vaihtelee eri lihastyötapojen välillä. Trezisen ja Blazevichin (2019) sekä Erskinen ym. (2010) tutkimuksissa lihaksen anatomisen ja fysiologisen poikkipinta-alan sekä isometri-

sen voimantuoton välillä havaittiin vahvempi yhteys kuin lihaksen poikkipinta-alan ja dynaamisen voimantuoton välillä. Myös lajien välillä saattaa olla vaihtelua siinä, mikä on lihaskoon yhteys maksimivoimaan. Esimerkiksi Izquierdon ym. (2004) tutkimuksessa selvisi, että lihas koko selitti merkittävästi enemmän maksimivoimassa havaittua vaihtelua painonnostajilla verrattuna pyöräilijöihin.

Yksinkertaisesti ajateltuna, jos lihashypertrofian seurauksena myofibrillien määrä kasvaa, myös lihassupistuksesta vastuussa olevan lihaksen supistuvan komponentin eli myofilamenttien määrä kasvaa. Jos taas jokaisen myofilamentin tuottama voima on sama, tulisi voiman kasvaa samassa suhteessa lihaskasvun kanssa maksimaalisessa lihastyössä. (Reggiani & Schiaffino 2020) Kaikenlainen voimaharjoittelu ei kuitenkaan aiheuta lihaksen supistuvien komponenttien määrän kasvua (sarkoplasminen hypertrofia), ja lihaksen voimantuottoon vaikuttaa myös monet muut tekijät, jolloin asia ei ole näin yksinkertainen (Di Naso ym. 2012; Haun ym. 2019). Selvää on kuitenkin se, että isompi lihas tuottaa suuremman voiman silloin, kun kaikki muut tekijät ovat yhtäläiset. Pidempiaikaisen voimaharjoittelun aiheuttaman lihaskoon kasvun nähdään kasvattavan merkittävästi maksimivoimaa urheilussa (Miller ym. 2021; Taber ym. 2019).

3.3 Rasvaton massa maksimivoimantuottoa selittävänä tekijänä

Rasvattoman massan on havaittu olevan positiivisesti yhteydessä parempaan suorituskyykyyn erityisesti voima- ja teholajeissa (Brechue & Abe 2002; Jones ym. 2016; Maughan ym. 1983; Pérez ym. 2021; Ye ym. 2013). On muun muassa havaittu, että rasvattoman massan määrä vaikuttaa voiman- ja tehontuoton tasoon kaiken ikäisillä ja kaikissa painoluokissa painonnostossa (Ford ym. 2000; Thé & Ploutz-Snyder 2003). Tästä johtuen urheilijoilla havaitaan keskimääräistä korkeampia rasvattoman massan osuuksia verrattuna ei-urheilijoihin (McArdle 2015, 771–773; Stone ym. 2006).

Useimmiten lihasmassan lisääntyminen korreloikin lihasvoiman kasvun kanssa, mutta tässä voidaan myös havaita eroja yksilöiden välillä. Esimerkiksi harjoittelemattomilla tai harjoittelun suhteen aloittelijoilla yhteyden ei ole havaittu olevan yhtä selkeä. Harjoittelemattomilla lihasmassan kasvun on havaittu selittävän lihasvoiman kasvua vain 0,4–10 % yksilöiden välillä. (Loenneke ym. 2017) Myös lajitaustalla saattaa olla vaikutusta rasvattoman massan ja maksimivoimantuoton yhteyteen. Esimerkiksi voimannostajilla yhteyden on havaittu olevan vahvempi

kuin amerikkalaisen jalkapallon pelaajilla. (Ferland ym. 2020) Voimaharjoittelun adaptaatiot vaihtelevat jonkin verran harjoittelussa käytetyn intensiteetin ja volyymin mukaan, jolloin myös harjoittelutapa voi vaikuttaa voiman ja lihasmassan yhteyteen (Schoenfeld ym. 2017).

Voimanostajilla rasvattoman massan on havaittu selittävän lihasvoimaa jopa 75–90 % jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja maastavedossa (Brechue & Abe 2002; Ferland ym. 2019). Myös Jonesin ym. (2016) tutkimuksessa havaittiin lähes täydellinen korrelaatio ($r = 0,965$) rasvattoman massan ja maastavetotuloksen välillä voimaharjoitelleilla koehenkilöillä. Ferrarin ym. (2022) tutkimuksessa voimanostajien pehmytkudosmassan puolestaan havaittiin selittävän kilpailutuloksia ainoastaan 63–67 %. Painonnostajilla pehmytkudosmassan on havaittu selittävän voimantuottoa kyykyssä, etukyykyssä, tempauksessa ja työnnössä noin 70–80 % (Siahkourian & Hedayatneja 2010). Dopingtestatuilla kehonrakentajilla ja fitnessurheilijoilla lihasmassan ja voimantuoton välistä yhteyttä on tutkittu vain vähän. Rasvattoman massan indeksin on havaittu selittävän voimantuoton kasvua kyykyssä 48–77 %, mutta ainoastaan 6–10 % penkkipunnerruksessa (Appleby ym. 2012). Rasvattoman massan indeksin on lisäksi havaittu olevan positiivisesti yhteydessä tangon keskimääräiseen nopeuteen painonnostajilla (Pérez ym. 2021).

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kuinka paljon lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa selittävät maksimivoimantuottoa. Lisäksi tutkitaan eroaako maksimivoimantuoton taso, lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa voimalajien urheilijoiden ja fitness-lajien urheilijoiden välillä.

Tutkimuskysymys 1: Onko lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvattoman massan määrä yhteydessä maksimivoimantuottoon voimaurheilijoilla ja fitnessurheilijoilla?

Hypoteesi ja perustelut: Lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa ovat yhteydessä maksimivoimantuottoon sekä voimaurheilijoilla että fitnessurheilijoilla. Useat tutkimukset ovat havainneet lihaksen poikkipinta-alan ja maksimivoimantuoton välillä vahvan tai kohdallaisen yhteyden (Erskine ym. 2010; Häkkinen & Keskinen 1989; Ikegawa ym. 2008; Maughan ym. 1983; Trezise ym. 2016). Erityisesti kokeneemmilla harjoittelijoilla lihaskoko selittää jopa erittäin hyvin maksimivoiman suuruutta (Brechue & Abe 2002; Monti ym. 2021). Myös rasvattoman massan ja voimantuoton välillä on havaittu olevan vahva positiivinen yhteys etenkin harjoitelleilla yksilöillä useissa tutkimuksissa (Brechue & Abe 2002; Jones ym. 2016; Maughan ym. 1983; Ye ym. 2013).

Tutkimuskysymys 2: Eroaako maksimivoimantuotto, rasvattoman massan määrä ja lihaksen anatominen poikkipinta-ala voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden välillä?

Hypoteesi ja perustelut: Maksimivoimantuotossa havaitaan eroja voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden välillä, mutta rasvattoman massan määrässä ja lihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa ei. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu eroja maksimivoimantuotossa voimalajien urheilijoiden ja kehonrakentajien välillä. Häkkinen ym. (1984) ja Di Nason ym. (2012) tutkimuksessa voimannostajat olivat kehonrakentajia vahvempia, kun taas Ikegawan ym. (2008) tutkimuksessa kehonrakentajat olivat vahvempia kuin painonnostajat. Lihaksen poikkipinta-alassa ja rasvattomassa massassa ei puolestaan ole havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja voimaurheilijoiden ja kehonrakentajien välillä silloin, kun urheilijat ovat olleet keskenään samaa tasoa (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä kandidaatintutkielma oli osa suurempaa poikkileikkaustutkimusta, joka toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisessä tiedekunnassa syksyn 2021 ja kevään 2022 aikana. Tutkimuksessa selvitettiin voimaharjoittelutaustan ja sukupuolen vaikutusta suorituskykyyn, lihaskokoon, kehonkoostumukseen ja ravitsemukseen. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää rasvattoman massan ja lihaksen poikkipinta-alan yhteyttä maksimivoimantuottoon, sekä vertailla muuttujia eliittivoimaurheilijoiden ja -fitnessurheilijoiden välillä.

5.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistuneet tutkittavat olivat noin 20–40-vuotiaita miehiä ja naisia, joiden tuli harrastaa voimanostoa, painonnostoa tai fitnesslajeja vähintään SM-tasolla. Tutkittavien naisten pituus tuli olla 150–180 cm ja paino alle 90 kg. Miehillä pituuden tuli puolestaan olla 165–190 cm ja painon alle 120 kg. Tutkittavien tuli olla terveitä, eikä heillä saanut olla aikaisempaa historiaa urheilussa kiellettyjen aineiden ja menetelmien käytöstä. Lisäksi poissulkukriteereinä olivat säännöllinen tupakointi, tulehduskipulääkkeiden säännöllinen ja aktiivinen käyttö sekä säännöllinen päihteiden käyttö.

Tutkimukseen rekrytoitiin tutkittavia rekrytointi-ilmoituksella, sosiaalista mediaa hyödyntäen sekä olemalla suoraan yhteydessä sähköpostin tai sosiaalisen median välityksellä kriteerit täyttäviin henkilöihin. Rekrytointivaiheessa tutkittaville kerrottiin tarkasti tutkimuksen tarkoituksesta, mittauksista, tutkimukseen liittyvistä mahdollisista haitoista ja osallistumisen vapaaehtoisuudesta. Tutkittaville annettiin tutkimusta koskeva tiedotelomake, ja heidän tuli täyttää suostumus- ja terveystietolomake ennen mittauksia. Lomakkeilla kartoitettiin tutkittavien terveydentilaa ja mahdollisuutta osallistua tutkimukseen. Tutkittavia ohjeistettiin saapumaan mittauksiin 4 tunnin paaston jälkeen omien eväiden kanssa, ja välttämään harjoittelua 48 h ennen mittauksia.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 25 koehenkilöä, joista 13 oli fitness-urheilijoita ja 12 voimaurheilijoita. Voimaurheilijoiden ryhmässä koehenkilöistä puolet olivat naisia ja puolet miehiä, kun taas fitnessurheilijoiden ryhmässä oli yhteensä 7 miestä ja 6 naista. Sekä voima- että fitness-urheilijat olivat vähintään kansallisen tason kärkeä, ja heidät voitiin luokitella McKayn

ym. (2022) kriteerien mukaan eliittuurheilijoiksi. Taulukossa 1 on esitetty tutkittavien iän, pituuden ja painon keskiarvot sekä keskihajonnat sukupuolen ja harjoitustaustan mukaan.

TAULUKKO 1. Tutkittavien iän, pituuden ja painon keskiarvot ja keskihajonnat.

	Voimaurheilijat		Fitnessurheilijat	
	Miehet (n=6)	Naiset (n=6)	Miehet (n=7)	Naiset (n=6)
Ikä (v)	27,6 ± 5,7	28,0 ± 5,9	30,6 ± 5,1	33,3 ± 6,1
Pituus (cm)	174,5 ± 6,4	158,5 ± 3,6	176 ± 5,3	165,7 ± 4,2
Paino (kg)	101,1 ± 13,8	68,3 ± 11,6	91,4 ± 11,2	67,7 ± 5,3

5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu

Tutkimusasetelmana oli poikkileikkaustutkimus, ja mittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopistolla. Jokaisen koehenkilön mittausprotokolla tehtiin kertaluontoisesti yhden päivän aikana, ja se kesti noin neljä tuntia. Tutkimuksessa mitattiin tässä tutkielmassa käsiteltyjen muuttujien lisäksi kehonkoostumusta biosähköisellä impedanssilla, antropometriaa digitaalisesti ja mitta-nauhalla, biceps brachii lihaksen poikkipinta-alaa ja lihasarkkitehtuuria ultraäänellä, voimaominaisuuksia kevennys- ja staattisella hypyllä voimalevyllä sekä hauiskäännössä tangolla. Lopuksi suoritettiin kuormitusprotokollat, joiden aikana mitattiin muun muassa NIRS-laitteella lihasten happisaturaatiota. Lisäksi tutkittavat täyttivät ruoka- ja harjoituspäiväkirjaa, lihasar-kuuskyselyn, mahdollisen kuukautiskiertykyselyn sekä harjoitus- ja syömiskäyttäytymisky-selyn. Näiden mittausten tuloksia ei kuitenkaan käsitellä tässä työssä. Seuraavaksi esitellään tässä tutkielmassa käytettyjä menetelmiä.

Lihaksen poikkipinta-alan tutkiminen ultraäänellä. Tutkittavien ulomman reisilihaksen (m. vastus lateralis) anatomista poikkipinta-alaa mitattiin ultraäänikuvien avulla. Ultraäänikuvat otettiin ALOKA 3200 Ultrasound -laitteella (malli SSD-2000, Aloka co., Tokio, Japani.). Käytettävän ultraäänianturin pituus oli 4 cm ja taajuus 7,5 MHz. Ultraäänianturin ympärillä käytettiin ulkoista pidintä, jotta kuvaaminen oli mahdollisimman vakaata. Ultraäänen keräystaajuus oli 25 Hz.

Ennen mittauksen alkua tutkittavalta kysyttiin, kummalla jalalla hän haluaa suorittaa voimatestit, ja ultraäänikuvat otettiin samasta jalasta. Tämän jälkeen tutkittava lepäsi tutkimuspöydällä noin 20 minuutin ajan samalla, kun tutkittavan ulomman reisilihaksen distaalinen ja proksimaalinen kiinnityskohta etsittiin palpoimalla ja merkattiin ihoon tussilla. Tämän jälkeen kiinnityskohtien välinen etäisyys ja edelleen niiden keskikohta mitattiin mittanauhalla, ja keskikohtaan piirrettiin aksiaalileikeviiva sagittaalitasossa. Poikkileikkauskuvat otettiin piirretyn merkin kohdalta. Kuvauksen aikana ultraäänianturia kuljetettiin lihaksen lateraalireunasta mediaalireunaan tasaisella nopeudella niin, että anturi oli kohtisuorassa ihon pintaan nähdessä mahdollisimman kevyesti. Mittauksen ajan tutkittavat makasivat jalat suorina ja lihakset mahdollisimman rentoina siten, että tutkittavan jalan lateraalisivu oli tutkimuspöydän reunalla. Jokaiselta koehenkilöltä otettiin yhteensä kolme poikkileikkauskuvaa, jotka tallennettiin muistitikulle. Muistitikulta kuvat siirrettiin tietokoneelle, ja niistä analysoitiin lihaksen anatominen poikkipinta-ala kyseisestä kohtaa lihasta ImageJ-ohjelmalla.

Rasvattoman massan arvioiminen ihopoimumittauksella. Rasvattoman massan määrää arvioitiin neljän pisteen ihopoimumittauksen avulla. Ihopoimujen mittauskohdat olivat kehon oikeanpuoleinen olkavarren ojentajalihas, hauislihas, lavanalus ja suoliluunharju. Jokaisen ihopoimun paksuus mitattiin kolme kertaa, ja lukemien keskiarvoa käytettiin tuloksena. Neljän ihopoimun summa sijoitettiin urheilijoilla yleisesti käytettyyn, Durnin ja Rahamanin (1967) sukupuolen huomioon ottavaan ennusteyhtälöön, josta saatiin selville rasvaprosentti. Rasvaprosentin ja kehonpainon avulla laskettiin arvioitu suhteellinen rasvattoman massan osuus kaavalla:

$$FFM = \text{Kehon paino (kg)} \times \left(1 - \left(\frac{\%BF}{100}\right)\right)$$

Kaikki ihopoimumittaukset tehtiin yhden mittajaan toimesta, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia ja mittausvirheiden määrä vähenisi. Rasvattoman massan määrä suhteutettiin tutkittavien pituuteen tulosten välisen vertailun helpottamiseksi, jolloin arvioidun rasvattoman massan ja pituuden perusteella laskettiin rasvattoman massan indeksi (FFMI) kaavalla:

$$FFMI = \frac{\text{Rasvaton massa (FFM)(kg)}}{\text{Pituus}^2 \text{ (m)}}$$

Lämmittely. Ennen voimamittauksia tutkittavat suorittivat lämmittelyn. Lämmittely aloitettiin polkemalla polkupyöraergometrillä 3 minuutin ajan (vastus 1/55 kehonpainosta). Tämän jälkeen tehtiin erilaisia dynaamisia liikkuvuusliikkeitä ja toiminnallisia liikkeitä kehonpainovastuksella sekä kuminauhavastuksella. Lämmittelyn jälkeen tutkittavat suorittivat kolme kevennyshyppyä ja kolme staattista hyppyä voimalevyllä.

Voimamittaukset. Alaraajojen ojentajalihasten isometristä maksimivoimaa (MVC) mitattiin isometrisellä polvennuosojennusdynamometrillä (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Suomi) istuen yhdellä jalalla. Tutkittava sai itse valita ultraäänimittauksen yhteydessä jalan, jolla hän suoritti myös voimamittaukset. Suoritukset tehtiin 110° polvikulmalla, joka mitattiin gonjometrillä. Kyseinen polvikulma valittiin siksi, että sen on raportoitu olevan optimikulma polven ojentajalihasten isometrisen maksimivoiman saavuttamiseksi (Reeves ym. 2003). Suorituksen aikana koehenkilöt olivat kiinni polvenojennustuolissa lantiolta turvavyöllä, ja dynamometrin liikeakselissa nilkasta tarraremmillä noin 2 cm lateraalisen malleolin yläpuolelta. Lisäksi koehenkilöt pitivät suorituksen aikana käsin kiinni tuolin istuinosan alta. Ennen maksimaalisia yrityksiä koehenkilöitä pyydettiin lämmittelemään ja harjoittelemaan liikettä tuottamalla ensin arviolta noin 50 % maksimaalisesta voimantuotosta ja minuutin palautusajan jälkeen noin 75 % maksimaalisesta voimantuotosta. Lämmittelyn jälkeen tehtiin kolme maksimaalista yritystä. Tutkittavia ohjeistettiin tuottamaan niin paljon voimaa niin nopeasti kuin mahdollista "PAINA" komennon alkaessa, ja jatkamaan yritystä, kunnes kuulivat komennon "SEIS". Lopetuskomento annettiin, kun voimantuottokäyrä ei enää kasvanut tai se kääntyi laskuun. Suoritusten välinen palautusaika oli noin yksi minuutti. Mitatuista kolmesta yrityksestä analysoitiin se suoritus, jossa saavutettiin suurin maksimivoima. Tulosten analysoinnissa käytettiin Signal-ohjelmistoa (versio 4.10).

Dynaaminen jalkaprässin yhden toiston maksimi (1RM) suoritettiin yhdellä jalalla eksentris-konsentrisena. Liike tehtiin David 210 (David Health Solutions Ltd., Helsinki, Suomi) vaakaprässissä, ja liikkeen ala-asennossa polvikulma oli 70–75 °, joka mitattiin gonjometrillä. Koehenkilöitä ohjeistettiin nostamaan kuorma omaan tahtiin kahdella jalalla ylös, jonka jälkeen avustava jalka laskettiin lattialle, ja liike suoritettiin yhdellä jalalla eksentris-konsentrisena. Jälleen yläasennossa avustava jalka siirrettiin takaisin toisen jalan viereen, ja kuorma laskettiin alas kahdella jalalla, jotta työskentelevää jalkaa saatiin säästettyä mahdollisimman paljon. Toiston konsentrisen vaihe suoritettiin äänimerkistä siinä vaiheessa, kun laitteen painopakka oli

laskeutunut alas. Vaakaprässissä lämmiteltiin tekemällä lähestymissarjoja tekemällä ensin 8-10 toistoa BW (bodyweight, kehonpaino)*0,6 kuormalla sitten 5-8 toistoa BW*0,9 ja viimeiseksi 3-5 toistoa BW*1,2. Lämmittelyn jälkeen lähdettiin hakemaan yhden toiston maksimia niin, että jokaisen yrityksen välissä palauteltiin vähintään 2 minuuttia. Voimatesteissä tutkittavilla oli halutessaan lupa käyttää neopreenisia polvenlämmittäjiä ja kengät olivat vapaavalintaiset. Koehenkilöitä kannustettiin maksimisuoritusten aikana.

5.3 Tilastolliset analyysit

Tulosten analysoinnissa käytettiin Microsoft Excel 2019 -taulukkolaskentaohjelmaa ja IBM SPSS Statistics 28.0 -ohjelmaa. Muuttujien normaalijakaumat testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Rasvattoman massan, rasvattoman massan indeksin ja lihaksen anatomisen poikkipinta-alan korrelaatioita voimamuuttujiin testattiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Mikäli jokin muuttuja ei noudattanut normaalijakaumaa, korrelaatiota testattiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. Lihaksen poikkipinta-alan, rasvattoman massan, rasvattoman massan indeksin, isometrisen polvenojennuksen ja jalkaprässin yhden toiston maksimin keskiarvojen eroja ryhmien välillä testattiin normaalisti jakautuneilla muuttujilla riippumattomien otosten t-testillä ja normaalijakaumasta poikkeavilla muuttujilla Mann-Whitney U-testillä. Kaikissa tilastollisissa analyyseissä tilastollisen merkitsevyyden p-arvon rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

Koko tutkimusjoukossa kaikissa muuttujissa tutkittavien määrä oli 25, lukuun ottamatta maksimaalista isometristä polvenojennusta ($n = 23$) ja jalkaprässin yhden toiston maksimia ($n = 24$). Voimailijamiesten ryhmästä kaksi tutkittavaa ei pystynyt tekemään maksimaalista isometristä polvenojennusta, ja yksi ei pystynyt tekemään yhden toiston maksimia jalkaprässissä.

6 TULOKSET

Tuloksissa tarkasteltavat muuttujat ovat maksimaalinen isometrinen polvenojennus (MVC), jalkaprässin yhden toiston maksimi (1RM), ulomman reisilihaksen anatominen poikkipinta-ala (VL CSA), rasvaton massa (FFM) ja rasvattoman massan indeksi (FFMI). Korrelaatiotuloksia tarkastellaan koko tutkimusjoukon sekä voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden osalta erikseen. Muuttujien keskiarvojen vertailua tehdään koko voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden ryhmien välillä sekä lisäksi erikseen sukupuolittain.

6.1 Muuttujien väliset korrelaatiot

Lihaksen anatomisen poikkipinta-alan, rasvattoman massan ja rasvattoman massan indeksin korrelaatioita voimamuuttujiin on esitetty taulukossa 2. Koko tutkimusjoukossa sekä voima- ja fitnessurheilijoiden ryhmissä kaikkien muuttujien välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio ($p < 0,001$), lukuun ottamatta voimaurheilijoiden ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan ja maksimaalisen isometrisen polvenojennuksen välistä korrelaatiota, joka oli kuitenkin tilastollisesti hyvin merkitsevä ($p = 0,005$). Suurin korrelaatio havaittiin voimaurheilijoiden rasvattoman massan ja jalkaprässin yhden toiston maksimin välillä ($r = 0,966$).

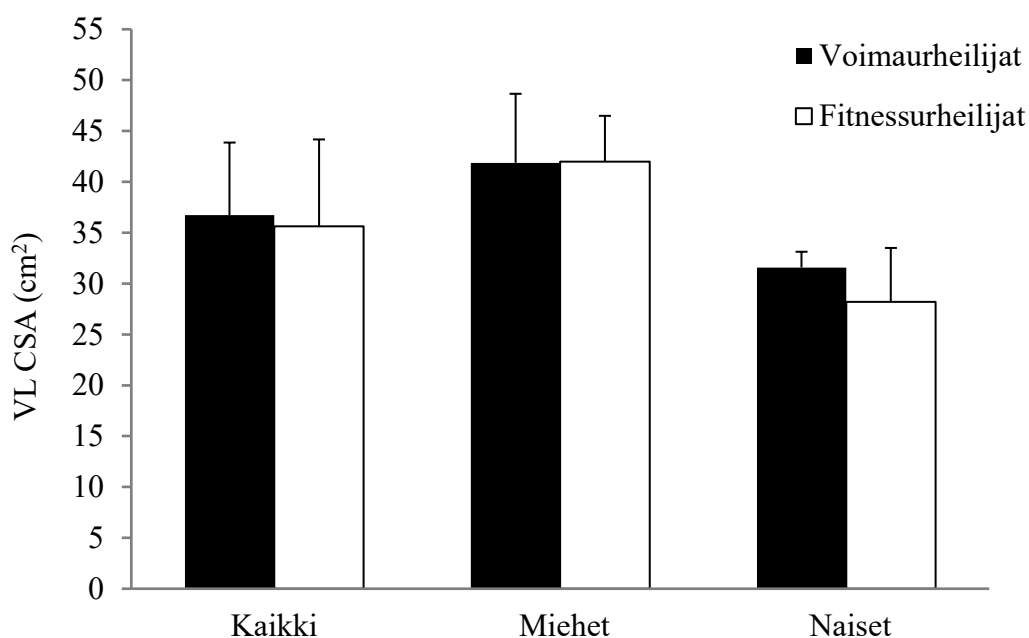
TAULUKKO 2. Lihaksen poikkipinta-alan, rasvattoman massan ja rasvattoman massan indeksin väliset korrelaatiot (r) voimamuuttujiin.

	Kaikki		Voimaurheilijat		Fitnessurheilijat	
	MVC (N) (n=23)	1RM (kg) (n=24)	MVC (N) (n=10)	1RM (kg) (n=11)	MVC (N) (n=13)	1RM (kg) (n=13)
VL CSA (cm ²)	0,817***	0,853***	0,806**	0,934***	0,858***	0,894***
FFM (kg)	0,862***	0,899***	0,920***	0,966***	0,841***	0,924***
FFMI (kg/m ²)	0,906***	0,901***	0,894***	0,932***	0,854***	0,835***

** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

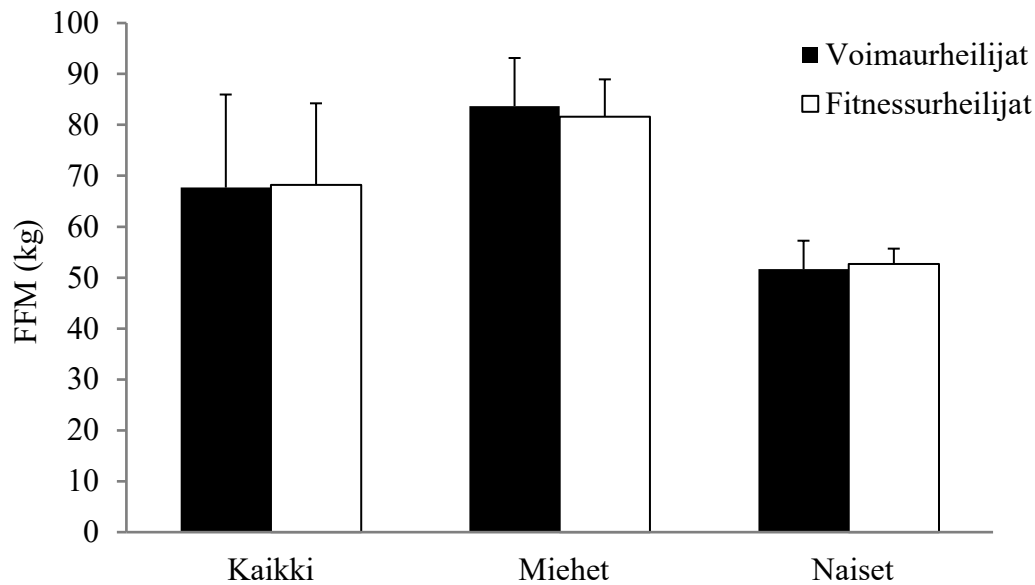
6.2 Muuttujien keskiarvojen vertailu lajien välillä

Ulomman reisilihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa (kuva 3) ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja voima- ja fitnessurheilijoiden välillä, kun tarkasteltiin koko tutkimusjoukkoa ja sukupuolia erikseen. Voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden lihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa havaittiin vain hyvin pieni ero ($36,7 \text{ cm}^2$ vs. $35,6 \text{ cm}^2$, $p = 0,810$). Miesvoimaurheilijoilla ja miesfitnessurheilijoilla havaittiin olevan lähes yhtä suuri lihaksen anatominen poikkipinta-ala ($41,9 \text{ cm}^2$ vs. $42,0 \text{ cm}^2$, $p = 0,971$). Naisvoimaurheilijoiden lihaksen anatomisen poikkipinta-ala puolestaan oli keskimäärin suurempi kuin naisfitnessurheilijoilla ($31,6 \text{ cm}^2$ vs. $28,2 \text{ cm}^2$, $p = 0,065$), muttei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi.



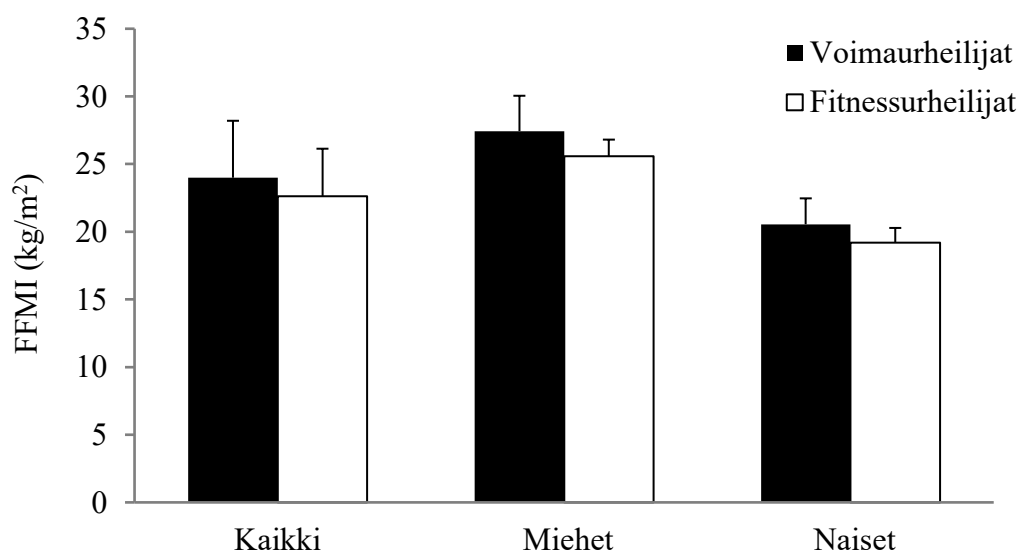
KUVA 3. Ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan (VL CSA) keskiarvot ja keskihajonnat lajien välillä koko tutkimusjoukossa ja erikseen sukupuolittain. Lajien välisessä vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kuvassa 4 on esitetty tutkittavien arvioidut rasvattoman massan määrät. Rasvattoman massan määrä oli lähes yhtä suuri lajien välillä koko tutkimusjoukossa ($67,7 \text{ kg}$ vs. $68,2 \text{ kg}$, $p = 0,769$). Miesvoimaurheilijoilla oli keskimäärin hieman enemmän rasvatonta massaa kuin miesfitnessurheilijoilla ($83,7 \text{ kg}$ vs. $81,6 \text{ kg}$, $p = 0,659$), kun taas naisvoimaurheilijoilla oli hieman vähemmän rasvatonta massaa kuin naisfitnessurheilijoilla ($51,7 \text{ kg}$ vs. $52,7 \text{ kg}$, $p = 0,712$). Ryhmien väliset erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.



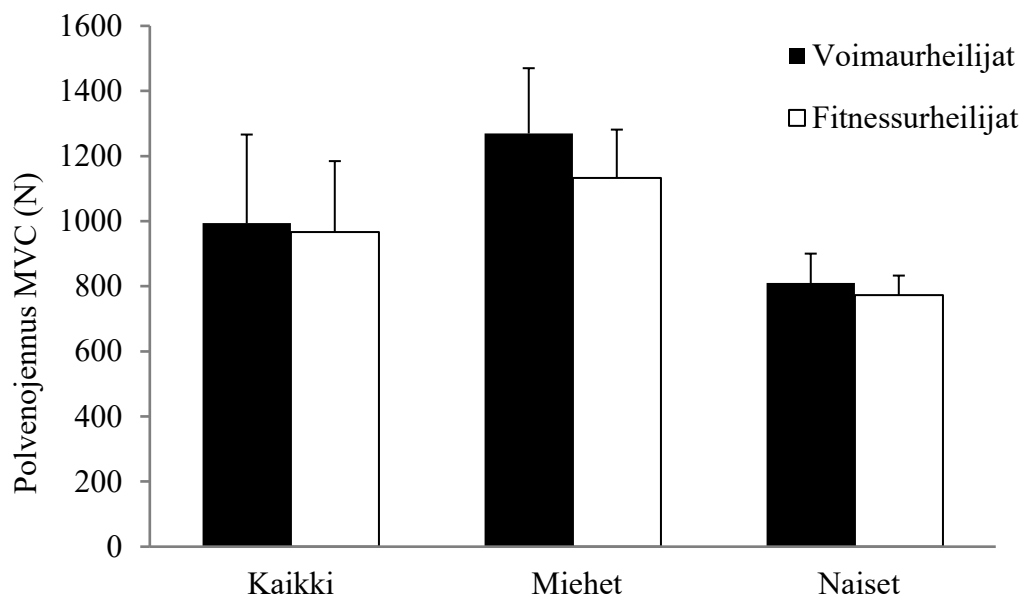
KUVA 4. Rasvattoman massan (FFM) keskiarvot ja keskihajonnat lajien välillä koko tutkimusjoukossa ja erikseen sukupuolittain. Lajien välisessä vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Voimaurheilijoilla oli keskimäärin suurempi rasvattoman massan indeksi kuin fitnessurheilijoilla kaikissa ryhmissä (kuva 5). Koko voimaurheilijoiden ryhmässä rasvattoman massan indeksi oli 24,0, kun taas fitnessurheilijoiden ryhmässä se oli 22,6 ($p = 0,437$). Miesvoimaurheilijoiden rasvattoman massan indeksi oli 27,4 ja miesfitnessurheilijoiden 25,6 ($p = 0,122$). Naisvoimaurheilijoiden rasvattoman massan indeksi oli keskimäärin 20,6 ja naisfitnessurheilijoiden 19,2 ($p = 0,161$). Rasvattoman massan indeksissä ei kuitenkaan rasvattoman massan tapaan havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja lajien välillä koko tutkimusjoukossa tai sukupuolittain.



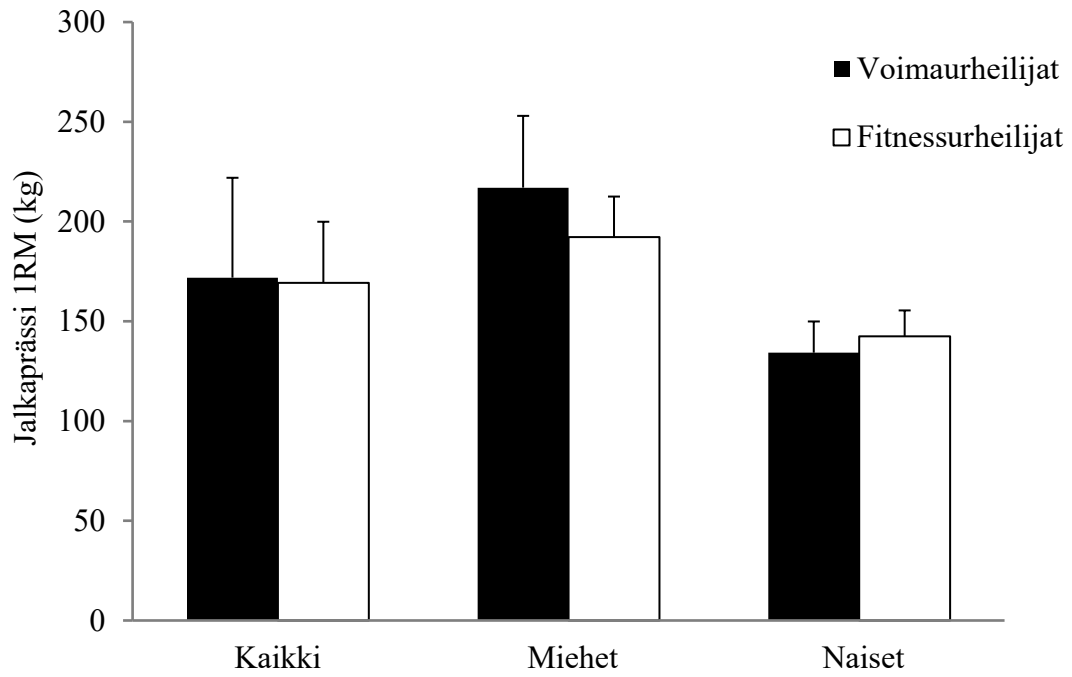
KUVA 5. Rasvattoman massan indeksin (FFMI) keskiarvot ja keskihajonnat lajien välillä koko tutkimusjoukossa ja erikseen sukupuolittain. Lajien välisessä vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Voimaurheilijat olivat yhden jalan maksimaalisessa isometrisessä polvenojennuksessa keksimäärin hieman vahvempia kuin fitnessurheilijat (kuva 6), vaikkakaan erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Koko tutkimusjoukossa ja naisten ryhmässä tulosten keskiarvot erosivat toisistaan vain vähän lajien välillä. Miesvoimaurheilijoiden yhden jalan maksimaalisen isometrisen polvenojennuksen tulos oli 1269,4 N ja miesfitnessurheilijoiden 1133,1 N. Tämäkään ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,226$).



KUVA 6. Maksimaalisen isometrisen polvenojennuksen (MVC) keskiarvot ja keskihajonnat lajien välillä koko tutkimusjoukossa ja erikseen sukupuolittain. Lajien välisessä vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kuvassa 7 on esitetty yhden jalan jalkaprässin yhden toiston maksimin tulokset. Koko tutkimusjoukossa lajien välinen ero oli hyvin pieni (171,9 kg vs. 169,2 kg, $p = 0,881$). Miesvoimaurheilijoilla oli keksimäärin suurempi yhden toiston maksimi kuin miesfitnessurheilijoilla (217,0 kg vs. 192,1 kg, $p = 0,156$). Naisurheilijoista fitnessurheilijat puolestaan olivat vahvempia yhden jalan jalkaprässissä kuin voimaurheilijat (142,5 kg vs. 134,3 kg, $p = 0,343$). Erot lajien välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä missään ryhmässä.



KUVA 7. Yhden jalan jalkaprässin yhden toiston maksimin (1RM) keskiarvot ja keskihajonnat lajien välillä koko tutkimusjoukossa ja erikseen sukupuolittain. Lajien välisessä vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

7 POHDINTA

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa selittävät maksimivoimantuottoa. Lisäksi tutkittiin, eroaako maksimivoimantuoton taso, lihaksen poikkipinta-ala ja rasvaton massa suomalaisten eliittivoimailijoiden ja fitness-lajien eliittiruheilijoiden välillä. Voimailijoiden ryhmään kuului sekä painonnostajia että voimannostajia, ja fitnessruheilijoiden ryhmässä oli useamman eri fitnesslajin edustajia. Molemmissa ryhmissä oli miehiä ja naisia lähes saman verran. Kyseessä oli poikkileikkaustutkimus, ja tutkittavat saapuivat mittauksiin Jyväskylän yliopistolle kertaluontoisesti. Tutkittavien rasvattoman massan määrää arvioitiin ihopoimiumittauksella ja lihaksen anatomista poikkipinta-ala ultraäänellä. Maksimaalista voimantuottoa mitattiin yhden jalan maksimaalisessa isometrisessä polvenojennuksessa sekä yhden jalan jalkaprässin yhden toiston maksimissa.

Tässä luvussa tarkastellaan tutkielman päätuloksia muuttujien välisistä yhteyksistä ja lajiryhmien välisistä eroista, sekä verrataan niitä aiempaan tutkimusnäyttöön. Lisäksi pohditaan mitkä kaikki asiat tuloksiin ovat voineet vaikuttaa. Lopuksi vedetään tutkielma kokonaisuudessaan yhteen, ja pohditaan käytännön sovelluksia ja mahdollista lisätutkimuksen tarvetta.

7.1 Lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan yhteys voimantuottoon

Asetetun hypoteesin mukaisesti lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa olivat yhteydessä maksimivoimantuoton suuruuteen sekä voimaurheilijoilla että fitnessruheilijoilla. Ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan, kehon rasvattoman massan ja rasvattoman massan indeksin havaittiin olevan yhteydessä maksimaaliseen voimantuottoon tilastollisesti erittäin merkittävästi sekä koko tutkimusjoukossa että molemmissa lajiryhmissä. Samanlaisia tuloksia on havaittu useissa eri tutkimuksissa (Brechue & Abe 2002; Jones ym. 2016; Maughan ym. 1983).

Nykytiedon mukaan lihaksen poikkipinta-ala selittää dynaamisessa voimantuotossa keskimäärin noin 50–60 % harjoittelemattoman ihmisen voimantuottokyvystä (Trezise & Blazeovich 2019). Laskettaessa selitysasetta (r^2) havaittiin, että tässä tutkielmassa lihaksen anatominen poikkipinta-ala selitti maksimivoimantuottoa voima- ja fitnessruheilijoilla yksilöiden välillä keskimäärin jopa 65–85 %. Pidempään voimaharjoitelleilla henkilöillä lihaksen poikkipinta-ala

on havaittu olevan suuremmassa roolissa maksimaalisessa voimantuotossa kuin harjoittelemattomilla (Brechue & Abe 2002; Ikegawa ym. 2008; Monti ym. 2021). Tämä ja aiempi tutkimusnäyttö (Schantz ym. 1983; Young ym. 1985) huomioon ottaen näyttäisi siis siltä, että lihaksen poikkipinta-alan ja maksimivoimantuoton välillä on positiivinen lineaarinen yhteys, eli kun lihaksen poikkipinta-ala kasvaa myös voimantuotto kasvaa ja toisin päin. Mitä enemmän lihaksessa on supistuvia proteiineja lihassyyn paksuussuunnassa, sitä enemmän lihaksella on voimantuottopotentiaalia (Folland & Williams 2007).

Lihaksen poikkipinta-alan lisäksi myös rasvaton massa oli vahvasti yhteydessä maksimivoimantuoton suuruuteen sekä dynaamisessa että isometrisessä maksimaalisessa lihastyössä sekä voima- että fitnessurheilijoilla. Rasvaton massa ja pituuteen suhteutettu rasvattoman massan indeksi selitti 70–90 % maksimaalisen voimantuoton vaihtelusta yksilöiden välillä. Voimanoistajilla rasvattoman massan on havaittu selittävän lihasvoimaa jopa 75–90 % jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja maastavedossa. (Brechue & Abe 2002; Ferland ym. 2019) Myös Jonesin ym. (2016) tutkimuksessa havaittiin lähes täydellinen korrelaatio ($r = 0,965$) rasvattoman massan ja maastavetotuloksen välillä voimaharjoitelleilla koehenkilöillä. On melko todennäköistä, että tässä tutkielmassa käytettyjen voimamuuttujien lisäksi voimaurheilijoiden kilpailutulosten ja rasvattoman massan korrelaatio olisi voimakasta. Voidaan jopa ajatella, että koska erilaisten voimamuuttujien, kilpailutulosten ja rasvattoman massan välillä on havaittu näin vahva yhteys, voitaisiin esimerkiksi voimanoistajilla maastavedon kilpailutuloksia ennustaa kehonkoostumusmittausten perusteella.

Vastoin odotuksia ulomman reisilihaksen anatomisen poikkipinta-alan korrelaatio oli suurempaa jalkaprässin yhden toiston maksimiin kuin maksimaaliseen isometriseen polvenojennukseen. Ulompi reisilihas on polvenojennuksessa kuitenkin yksi päävaikuttajalihaksista muiden nelipäisen reisilihaksen lihaksien ohella, kun taas jalkaprässissä tärkeässä roolissa on myös pakaralan lihakset ja lähentäjät. Lisäksi aiemmissä tutkimuksissa lihaksen poikkipinta-alan ja isometrisen voimantuoton välillä on havaittu vahvempi yhteys kuin lihaksen poikkipinta-alan ja dynaamisen voimantuoton välillä (Erskine ym. 2010; Trezise & Blazeovich 2019). Voimaurheilijoilla lihaksen poikkipinta-alan ja maksimaalisen voimantuoton korrelaatio oli suurempaa dynaamisen voimantuoton osalta, kun taas fitnessurheilijoilla korrelaatio oli suurempaa isometrisessä voimantuotossa. Rasvattoman massan ja voimamuuttujien osalta korrelaatio oli puolestaan suurempaa voimaurheilijoilla kuin fitnessurheilijoilla. Tuloksiin voi vaikuttaa esimerkiksi

mittaustavat, kokemus mitattujen liikkeiden suorittamisesta, harjoittelun muuttujat ja harjoittelussa korostetut lihastyötavat sekä erikoistekniikat, kuten pakkotoistot ja tempovariaatiot.

Lihaksen anatominen poikkipinta-ala ja rasvaton massa ovat siis erittäin merkittävässä roolissa maksimaalisessa voimantuotossa, ja selittävät maksimivoimantuotosta harjoitteleiden yksilöiden välillä jopa 90 %. Lihaksen poikkipinta-alan ja lihasmassan ohella on esitetty, että maksimaaliseen voimantuottoon vaikuttavat merkittävästi hermostolliset tekijät sekä lisäksi lihaksen arkkitehtuuri, lihassolutyypit, normalisoitu lihasvoima, jänteen ominaisuudet, tuki- ja sidekudosten kyky välittää voimaa, biomekaaniset tekijät, taito ja psykologiset tekijät (Cormie ym. 2011a). Casolon ym. (2021) tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että vaikka voimaharjoitteleilla absoluuttinen voimantuotto oli submaksimaalisessa työssä merkittävästi suurempaa kuin harjoittelemattomilla, motoristen yksiköiden aktivaatio oli samalla tasolla molemmissa ryhmissä. Harjoitteleilla lihaksen poikkipinta-ala puolestaan oli lähes kaksinkertainen verrattuna harjoittelemattomiin. (Casolo ym. 2021) Tämä tukee ajatusta siitä, että erot lihaksen poikkipinta-alassa selittäisivät merkittävästi eniten voimantuotossa havaittuja eroja. Harjoittelemattomilla lihaksen poikkipinta-alan, lihasmassan ja voimantuoton yhteyden ei ole havaittu olevan yhtä merkittävä (Ahtiainen ym. 2016; Loenneke ym. 2017). Harjoittelun alussa muut voimantuottoon vaikuttavat tekijät saattavat siis olla lihaskokoa suuremmassa roolissa. Mikä sitten selittää sitä, että kevytrakenteinen voimannostajanainen voi liikuttaa yli kolme kertaa oman painonsa verran kuormaa, mutta suurella lihasmassalla varustettu kehonrakentaja ei ehkä kuitenkaan pysty samaan. Tässä suuressa roolissa todennäköisesti on normalisoitu lihasvoima, lihasarkkitehtuuri, taito ja biomekaaniset tekijät. Ei myöskään tule unohtaa harjoittelutavan vaikutusta, sillä maksivoimantuotto intensiteetispesifiä, ja se kehittyy paremmin harjoittelemalla korkeammalla intensiteetillä silloin, kun volyyymi on samalla tasolla. Selvää on kuitenkin se, että isompi lihas tuottaa suuremman voiman silloin, kun kaikki muut tekijät ovat yhtäläiset (Taber ym. 2019).

7.2 Voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden väliset erot mitatuissa muuttujissa

Asetetun hypoteesin mukaisesti lihaksen anatomisessa poikkipinta-alassa, rasvattomassa massassa ja rasvattoman massan indeksissä ei havaittu lajien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja. Hypoteesin vastaisesti myöskään maksimaalisessa voimantuotossa ei havaittu lajien välillä

eroja, kun asiaa tarkasteltiin koko tutkimusjoukossa ja sukupuolittain. Erityisesti miesvoimaurheilijat olivat kyllä keskimäärin vahvempia kuin miesfitnessurheilijat, mutta tämäkään ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan osalta tulokset vastasivat aiempaa tutkimusnäyttöä, kun lihaksen poikkipinta-alassa, rasvattomassa massassa ja rasvattoman massan indeksissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden välillä. Lihaksen poikkipinta-alassa ja rasvattomassa massassa ei tutkimuksissa ole havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja voimaurheilijoiden ja kehonrakentajien välillä silloin, kun urheilijat ovat olleet keskenään samaa tasoa (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984). Muutamissa tutkimuksissa eroja on kyllä havaittu (Ikegawa ym. 2008; Meijer ym. 2015), mutta näissä tutkimuksissa koehenkilöiden ja muuttujien vakiointi on epäonnistunut. Esimerkiksi Meijerin ym. (2015) koehenkilöinä olleista fitnessurheilijoista suurin osa käytti anabolisia steroideja, mikä vaikuttaa merkittävästi lihaksen poikkipinta-alaan. Ikegawan ym. (2008) tutkimuksessa taas mitattiin kolmpäisen olkalihaksen poikkipinta-alaa, joka ei ehkä ole niin merkittävä lihas painonnostajilla verrattuna kehonrakentajiin.

Tässä tutkielmassa mitattiin ulomman reisilihaksen anatomista poikkipinta-alaa, joka on merkittävässä roolissa niin voimaurheilijoiden suorituskyvyssä kuin fitnessurheilijoiden fysiikassakin. On siis selvää, että kyseessä on hyvin harjoitettu lihas molempien ryhmien osalta. Sekä fitness- että voimaurheilijat voitiin lisäksi luokitella eliittitason urheilijoiksi, jolloin on todennäköistä, että geneettinen kehityskapasiteetti lihaksen koon ja rasvattoman massan osalta on ainakin melkein saavutettu. Toisaalta etenkin voimalajien urheilijat kilpailevat painoluokissa, mikä saattaa asettaa rajoituksia lihasmassan kasvatukselle, ja täten vaikuttaa voimaurheilijoiden tuloksiin lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan osalta. Vaikka voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden harjoittelun tavoitteet perinteisesti eroavat jonkin verran toisistaan, harjoittelulla voidaan saavuttaa samankaltaisia tuloksia. Lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan kasvua voidaankin havaita niin puhtaasti hypertrofiaan eli lihaskasvuun tähtäävän harjoittelun seurauksena, kuin myös suorituskyvyn parantamiseen tähtäävän nopeus- ja maksimi-voimaharjoittelun seurauksena (Reggiani & Schiaffino 2020). Voimaurheilijoiden ja fitnessurheilijoiden tulokset rasvattoman massan osalta vastasivat aiempien tutkimusten keskiarvoja melko hyvin (Brechue & Abe 2002; Heywardin ym. 1989). On kuitenkin huomioitava, että

aikaisemmissa tutkimuksissa mittausmenetelmät lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan osalta ovat olleet erilaisia ja urheilijat ovat saattaneet käyttää dopingaineita, jolloin tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia.

Lihaksen poikkipinta-alassa ja rasvattomassa massassa erot ryhmien välillä olivat mitättömän pieniä, mutta rasvattoman massan indeksin osalta erot olivat hieman suurempia, vaikkakaan eivät tilastollisesti merkitseviä. Rasvattoman massan indeksillä tutkittavia pystyy paremmin vertailemaan keskenään, sillä se ottaa huomioon henkilön pituuden. Voimaurheilijoilla oli keskimäärin suurempi rasvattoman massan indeksi kuin fitnessurheilijoilla sekä koko tutkimusjoukossa että sukupuolittain tarkasteltuna. Maksimivoiman kehittämiseen tähtävällä harjoittelulla lihaskasvu voi siis olla jopa suurempaa kuin puhtaasti hypertofisella harjoittelulla. Toisaalta voimalajien urheilijoiden kehonpaino ja rasvaprosentti ovat keskimäärin hieman korkeampia kuin fitnessurheilijoiden (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984), mikä voi vaikuttaa rasvattoman massan ja rasvattoman massan indeksin tuloksiin merkittävästi.

Asetetun hypoteesin vastaisesti myöskään maksimaalisessa voimantuotossa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja, kun tarkasteltiin lajien välisiä eroja koko tutkimusjoukossa ja sukupuolittain. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu eroja maksimivoimantuotossa voimalajien urheilijoiden ja kehonrakentajien välillä. Häkkinen ym. (1984) ja Di Nason ym. (2012) tutkimuksessa voimannostajat olivat kehonrakentajia vahvempia, kun taas Ikegawan ym. (2008) tutkimuksessa kehonrakentajat olivat vahvempia kuin painonnostajat. Toisaalta Häkkinen ja Kauhaseen (1986) tutkimuksessa ei havaittu suuria eroja painonnostajien, voimannostajien ja kehonrakentajien välillä.

Koko tutkimusjoukossa ja naisilla maksimaalisessa isometrisessä polvenojennuksessa ja jalkaprässin yhden toiston maksimissa erot lajien välillä olivat pienet. Miesvoimaurheilijat olivat molemmissa voimamuuttujissa keskimäärin jonkin verran vahvempia kuin miesfitnessurheilijat. Tuloksiin voi vaikuttaa esimerkiksi maksimivoimantuoton mittaustapojen vähäinen lajispesifisyys. Tutkimuksissa, joissa voimantuotossa on havaittu lajien välillä eroja, maksimaalista voimantuottoa on mitattu jalkakyykyssä (Di Naso ym. 2012; Häkkinen ym. 1984), joka on erityisesti voimalajien urheilijoille hyvin lajispesifi liike. Suurin osa tutkittavista ei ollut koskaan tehnyt maksimaalista isometristä polvenojennusta, ja harva voimaurheilija teki edes dynaamista polvenojennusta osana omaa harjoitusohjelmaansa. Jalkaprässissä polvikulma taas oli suhteellisen pieni verrattuna esimerkiksi perinteiseen voimannostokyykyyn. Lihaksen voimantuotto

on pitkälti nivelkulmaspesifiä, jolloin voimanostajat eivät välttämättä pystyneet tuottamaan samaan tapaan pienemmällä nivelkulmalla voimaa jalkaprässissä kuin suuremmalla nivelkulmalla kyykyssä. Lisäksi molemmat voimamittaukset tehtiin unilateraalisenä yhdellä jalalla, ja kaikki eivät välttämättä harjoittelussaan tee muuta kuin kahden jalan bilateraalista työtä. Lisäksi maksimaalisissa voimamittauksissa vaikuttaa merkittävästi irtiottokyky ja taito tehdä maksimisuorituksia. Voimalajien urheilijat ovat tottuneet kilpailuissa ja ajoittain myös harjoittelussa tekemään yhden toiston maksimeja, kun taas fitnessurheilijat välttämättä eivät.

7.3 Virhelähteet

Tutkimukseen osallistui suhteellisen vähän koehenkilöitä, ja otoskoolla voi olla vaikutusta tutkimuksen tuloksiin. Voimaurheilijoiden ryhmässä, ja vielä erityisesti miehillä, voimamittauksissa otoskoko oli todella pieni, sillä voimailijamiehistä vain viisi pystyi tekemään jalkaprässissä yhden toiston maksimin ja ainoastaan neljä maksimaalisen isometrisen polvenojennuksen. Pienin korrelaatio havaittiin juuri voimaurheilijoilla lihaksen poikkipinta-alan ja maksimaalisen isometrisen polvenojennuksen välillä. Lisäksi erot voimamuuttujissa miesvoimaurheilijoiden ja miesfitnessurheilijoiden välillä olisivat voineet olla jopa tilastollisesti merkitseviä, jos kaikki olisivat pystyneet suorittamaan mittaukset.

Tulosten kannalta on olennaista huomioida se, että fitnessurheilijoista pari koehenkilöä oli kilpaillut myös voimalajeissa ja toisinpäin. Lajiryhmät saattoivat siis olla liian samankaltaisia, kun useampi koehenkilö olisi voinut kuulua kumpaan ryhmään vaan. Tästä johtuen osalla koehenkilöistä harjoittelu ei ollut puhtaasti fitnesslajeissa tai voimalajeissa menestymiseen tähtäävää, vaan harjoitusvuoteen saattoi sisältyä sekä fitness- että voimanostokisat, jolloin myös harjoittelutapa vaihteli vuoden aikana. Tämä on yksi mahdollinen selittävä tekijä sille, ettei lajiryhmien välillä havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja muuttujien keskiarvoissa.

Myös muut tutkittavista riippuvat tekijät ovat saattaneet vaikuttaa tutkimustuloksiin. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään rasitusta mittauksia edeltävänä päivänä, mutta silti tutkittavien fyysisessä ja psyykkisessä vireystilassa on saattanut olla eroja. Lisäksi eliittitason urheilijat kärsivät usein kuormituksesta seuranneista tuki- ja liikuntaelimistön vammoista tai kivuista, joilla saattaa olla vaikutusta fyysiseen suorituskykyyn. Erityisesti voimalajien urheilijat kilpailevat

painoluokissa, jolloin kehonpaino ei saa nousta liikaa. Tämä saattaa rajoittaa lihaskasvuun tähtävää harjoittelua ja täten vaikuttaa lihaksen poikkipinta-alaan ja rasvattomaan massaan. Voimamittauksissa tutkittavat käyttivät vapaavalintaisia kenkiä ja halutessaan polvenlämmittämiä, mitkä voivat vaikuttaa tuloksiin.

Lisäksi tulee ottaa huomioon lihaksen poikkipinta-ala ja rasvattoman massan mittaustavat. Lihaksen poikkipinta-ala mitattiin ultraäänellä anatomisena poikkipinta-alaana eikä fysiologisena poikkipinta-alaana, mikä vaikuttaa tuloksiin. Tästä johtuen tulokset eivät myöskään ole täysin vertailukelpoisia monien aiempien tutkimuksien tuloksiin. Ultraäänen on kuitenkin todettu olevan luotettava tapa lihaksen poikkipinta-alaan määrittämiseen (Ikai & Fukunga 1960). Rasvatonta massaa arvioitiin ihopoimiumittauksella ja laskentakaavojen perusteella. Käytetty kaava ja mittaustekniikka vaikuttaa saatuihin tuloksiin merkittävästi. Rasva jakautuu kehossa ihmisten välillä eri tavoin, jolloin tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Sekä ultraääni- että ihopoimiumittaukset suoritettiin saman mittajaan toimesta mittausvirheiden vähentämiseksi.

7.4 Yhteenveto

Maksimaaliseen voimantuottoon vaikuttavat useat eri tekijät, mutta etenkin pitkään harjoitelleilla eliittuurheilijoilla merkittävimpana erottelevana tekijänä voidaan pitää lihaksen poikkipinta-ala ja lihasmassan määrää. Tämän ja aiempien tutkimusten perusteella lihaksen poikkipinta-ala ja rasvattoman massan määrä voivat selittää sekä isometrisessä että dynaamisessa maksimivoimantuotossa havaittuja eroja saman tasoisten urheilijoiden välillä jopa 65–90 % (Brechue & Abe 2002; Ferland ym. 2019; Jones ym. 2016; Monti ym. 2021; Siahkoughian & Hedayatneja 2010). Käytännön valmennustyössä pitäisi ottaa huomioon se, että voimalajien urheilijoilla lihashypertrofian tulisi ehdottomasti olla voiman kehittämisen ohella yksi harjoittelun tavoitteista, sillä lihaksen poikkipinta-ala ja lihasmassan määrä erottelee pitkällä aikavälillä menestyvät urheilijat muista urheilijoista. Lisätutkimus maksimivoimantuottoon vaikuttavista tekijöistä on kuitenkin tarpeen, jotta voitaisiin entistä paremmin ymmärtää mitkä tekijät lihaksen poikkipinta-alaan ohella vaikuttavat voimantuottoon, ja kuinka suuri merkitys niillä on.

Voimalajien ja fitnesslajien harjoittelu eroaa perinteisesti toisistaan jonkin verran. Molemmissa lajeissa lajiharjoittelu koostuu pääosin voimaharjoittelusta, mutta harjoittelun tavoitteet eroavat

lajien välillä jonkin verran. (Slater & Phillips 2011) Lihaksen poikkipinta-alan ja rasvattoman massan kasvun osalta voidaan kuitenkin havaita melko samankaltaisia tuloksia niin puhtaasti hypertrofiaan eli lihaskasvuun tähtäävän harjoittelun seurauksena, kuin myös suorituskyvyn parantamiseen tähtäävän nopeus- ja maksimivoimaharjoittelun seurauksena (Reggiani & Schiaffino 2020). Myös maksimivoiman osalta tulokset voivat olla lähes samankaltaisia harjoittelutavasta riippumatta tiettyjen liikkeiden osalta, sillä maksimivoimantuotto on monilta osin hyvin spesifiä (Cormie ym. 2011b; Folland & Williams 2007). Dopingtestattuja voima- ja fitnessurheilijoita on kuitenkin tutkittu aiheen tiimoilta suuremmilla otoksilla hyvin vähän, joten selkeitä johtopäätöksiä ei aiheesta voida tehdä.

LÄHTEET

- Ahtiainen J. P., Walker, S., Peltonen, H., Holviala, J., Sillanpää, E., Karavirta, L., Sallinen, J., Mikkola, J., Valkeinen, H., Mero, A., Hulmi, J. J. & Häkkinen, K. (2016). Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age* 38 (1), 10. doi: 10.1007/s11357-015-9870-1.
- Alexander, R. M. & Vernon, A. (1975). The dimensions of the knee and ankle muscles and the forces they exert. *Journal Of Human Movement* 1, 115-123.
- Alway, S. E., Stray-Gundersen, J., Grumbt, W. H. & Gonyea, W. J. (1990). Muscle cross-sectional area and torque in resistance-trained subjects. *European Journal of Applied Physiology* 60 (2), 86-90. doi: 10.1007/BF00846026.
- Appleby, B., Newton, R. U. & Cormie, P. (2012). Changes in Strength over a 2-Year Period in Professional Rugby Union Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (9), 2538–2546. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823f8b86.
- Brechue, W. F. & Abe, T. (2002). The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *European Journal of Applied Physiology* 86 (4), 327–336. doi:10.1007/s00421-001-0543-7.
- Casolo, A, Del Vecchio, A. Balshaw, T. G., Maeo, S., Lanza, M. B., Felici, F., Folland, J. P. & Farina, D. (2021). Behaviour of motor units during submaximal isometric contractions in chronically strength-trained individuals. *Journal of Applied physiology* 131 (5), 1584–1598. doi: 10.1152/jappphysiol.00192.2021.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011a). Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41 (1), 17–38. doi: 10.2165/11537690-000000000-00000.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011b). Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 2 – Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Medicine* 41 (2), 125–146. doi: 10.2165/11537690-000000000-00000.
- Colquhoun, R. J., Magrini, M. A., Haun, C. T., Muddle, T. W. D., Tomko, P. M., Luera, M. J., Mackey, C. S., Vann, C. G., Martin, J. S., Young, K. C., DeFreitas, J. M., Roberts, M. D. & Jenkins, N. D. M. (2018). Muscle phenotype is related to motor unit behaviour of the vastus lateralis during maximal isometric contractions. *Physiological reports* 6 (5), e13636. doi: 10.14814/phy2.13636.

- Currier, B. S., Harty, P. S., Zabriske, H. A., Stecker, R. A., Moon, J. M., Jagim, A. R. & Kerk-sick, C. M. (2019). Fat-Free Mass Index in a Diverse Sample of Male Collegiate Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 33 (6), 1474–1479. doi: 10.1519/JSC.0000000000003158.
- Dankel, S. J., Kang, M., Abe, T. & Loenneke, J. P. (2019). Resistance training induced changes in strength and specific force at the fiber and whole muscle level: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology* 119 (1), 265-278. doi: 10.1007/s00421-018-4022-9.
- Di Naso, J. J., Pritschet, B. L., Emmet, J. D., Owen, J. D., Willardson, J. M., Beck, T. W., DeFreitas, J. M. & Fontana, F. E. (2012). Comparing thigh muscle cross-sectional area and squat strength among national class Olympic weightlifters, power lifters, and body-builders. *International Sport Medicine Journal* 13 (2), 48-57.
- Durnin, J. V. & Rahaman, M. M. (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition* 21, 681-689. doi: 10.1079/bjn19670070.
- Erskine, R. M., Jones, D. A., Constantinos, N. M. & Degens, H. (2009). In vivo specific tension of the human quadriceps femoris muscle. *European Journal of Applied Physiology* 106 (6), 827-838. doi: 10.1007/s00421-009-1085-7.
- Erskine, R. M., Jones, D. A., Williams, A. G., Stewart, C. E. & Degens, H. (2010). Inter-individual variability in the adaptation of human muscle specific tension to progressive training. *European Journal of Applied Physiology* 110 (6), 1117-1125. doi: 10.1007/s00421-010-1601-9.
- Ferland, P-M, Miron, F. S., Laurier, A. & Comtois, A. S. (2019). The relationship between body composition measured by Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) and maximal strength in classic powerlifting. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 60 (3), 407-416. doi: 10.23736/S0022-4707.19.09996-1.
- Ferland, P-M., Pollock, A., Swope, R., Ryan, M., Reeder, M., Heumann, K. & Comtois, A. S. (2020). The relationship Between Physical Characteristics and Maximal Strength in Men Practicing the Back Squat, the Bench Press and the Deadlift. *International Journal of Exercise Science* 13 (4), 281-297. doi: PMC7039481.
- Ferrari, L., Colosio, A. L., Teso, M. & Pogliaghi, S. (2022). Performance and Anthropometrics of Classic Powerlifters: Which Characteristics Matter? *Journal of Strength and Conditioning Research* 36 (4), 1003–1010. doi: 10.1519/JSC.0000000000003570.

- 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. doi: 10.2165/00007256-200737020-00004.
- Ford, L. E., Detterline, A. J., Ho, K. K. & Cao, W. (2000) Gender- and Height-Related Limits of Muscle Strength in World Weightlifting Champions. *Journal of Applied Physiology* 89 (3), 1061–1064. doi: 10.1152/jappl.2000.89.3.1061.
- Frontera, W. R. & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: A brief review of structure and function. *Calcified tissue international* 96 (3), 183-195. doi: 10.1007/s00223-014-9915-y.
- Gilliver, S. F., Degens, H., Rittweger, J., Sargeant, J. & Jones, D. A. (2009). Variation in the determinants of power of chemically skinned human muscle fibres. *Experimental Physiology* 94 (19), 1070-1078. doi: 0.1113/expphysiol.2009.048314.
- Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. 13. painos. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., Fox, C. D., Johnson, C. A., Parry, H. A., Kavazis, A. N., Moon, J. R., Badisa, V. L. D., Mwashote, B. M., Ibeanusi, V., Young, K. C. & Roberts, M. D. (2019). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS One* 14 (6), e0215267. doi: 10.1371/journal.pone.0215267. eCollection 2019.
- Heyward, V. H., Sandoval, W. M. & Colville, B. C. (1989). Anthropometric, Body Composition and Nutritional Profiles of Bodybuilders During Training. *Journal of Applied Sport Science Research* 3 (2), 22-29.
- Häkkinen, K., Alen, M. & Komi, P. V. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal of Applied Physiology* 53, 97-105. doi: 10.1007/BF00422570.
- Häkkinen, K. & Kauhanen, H. (1986). Comparison of neuromuscular performance capacities between weightlifters, powerlifters & bodybuilders. *International Olympic Lifter* 9 (5), 24-26.
- Häkkinen, K. & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 59 (3), 215-220. doi: 10.1007/BF02386190.
- Ikai, M. & Fukunga, T. A. (1970). A study on training effect on strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Internationale Zeitschrift*

- für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie 28 (3), 173-180. doi: 10.1007/BF00696025.
- Ikegawa, S., Funato, K., Tsunoda, N., Kanehisa, H., Fukunaga, T. & Kawakami, Y. (2008). Muscle Force per Cross-sectional Area is Inversely Related with Pennation Angle in Strength Trained Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (1), 128–131. doi: 10.1519/JSC.0b013e31815f2fd3.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Ruesta, M. & Gorostiaga, E. M. (2004). Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *Journal of sports sciences* 22 (5), 465–478. doi: 10.1080/02640410410001675342.
- Jorgenson, K. W., Phillips, S. M. & Hornberger, T. A. (2020). Identifying the Structural Adaptations that Drive the Mechanical Load-Induced Growth of Skeletal Muscle: A Scoping Review. *Cells* 9 (1658), 1–32. doi:10.3390/cells9071658.
- Jones, E. J., Bishop, P. A., Woods, A. K. & Green, J. M. (2008). Cross-Sectional Area and Muscular Strength – A Brief Review. *Sports Medicine* 38 (12), 987–994. doi: 10.2165/00007256-200838120-00003.
- Jones, M. T., Jagim, A. R., Haff, G. G., Carr, P. J., Martin, J. & Oliver, J. M. (2016). Greater Strength Drives Difference in Power between Sexes in the Conventional Deadlift Exercise. *Sports* 4 (3), 43. doi: 10.3390/sports4030043.
- Keogh, J. W. L., Hume, P. A., Pearson, S. N. & Mellow, P. (2007). Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass. *Journal of sport sciences* 25 (12), 1365-1376. doi: 10.1080/02640410601059630.
- Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Mouser, J. G. & Bemben, M. G. (2017). Time-course of muscle growth, and its relationship with muscle strength in both young and older women. *Geriatrics & Gerontology international* 17 (11), 2000–2007. doi: 10.1111/ggi.13010.
- Maughan, R. J., Watson, J. S. & Weir, J. (1983). Strength and Cross-sectional Area of Human Skeletal Muscle. *The Journal of Physiology* 338 (1), 37-49. doi: 10.1113/jphysiol.1983.sp014658.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. 8. painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A. & Newton, R. U. (1999). A Comparison of Strength and Power Characteristics Between Power Lifters, Olympic Lifters, and Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13 (1), 58-66.

- McKay, A. K., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J. & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17 (2), 317-331. doi: 10.1123/ijsp.2021-0451.
- Meijer, J. P., Jaspers, R. T., Rittweger, J., Seynnes, O. R., Kamandulis, S., Brazaitis, M., Skurvydas, A., Pisot, R., Simunic, B., Narici, M. V. & Degens, H. (2015). Single muscle fibre contractile properties differ between body-builders, power athletes and control subjects. *Experimental Physiology* 100 (11), 1331-1341. doi: 10.1113/EP085267.
- Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., Allen, S. J. & Folland, J. P. (2021). The Muscle Morphology of Elite Sprint Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 53 (4), 804-815. doi: 10.1249/MSS.0000000000002522.
- Monti, E., Toniolo, L., Marcucci, L., Bondi, M., Martellato, I., Simunic, B., Toninello, P., Franchi, M. V., Narici, M. V. & Reggiani, C. (2021). Are muscle fibers of body builders intrinsically weaker? A comparison with single fibers of aged-match controls. *Acta Physiologica* 231 (2), e13557. doi: 0.1111/apha.13557.
- Moquin, P. A., Wetmore, A. B., Carroll, K. M., Fry, A. C., Hornsby, W. G. & Stone, M. H. (2021). Lean Body Mass and Muscle Cross-Sectional Area Adaptations Among College Age Males with Different Strength Levels across 11 Weeks of Block Periodized Programmed Resistance Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (9), 4735. doi: 10.3390/ijerph18094735.
- Mukund, K. & Subramanian, S. (2019). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function in health and disease. *WIREs Systems Biology and Medicine* 12 (1). doi: 10.1002/wsbm.1462.
- 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. doi: 10.1007/BF00243511.
- Pérez, D. V., Martínez-Sanz, J. M., Ferriz-Valero, A., Gómez-Vicente, V. & Auso, E. (2021). Relationship of Limb Lengths and Body Composition to Lifting in Weightlifting. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (2), 756. doi: 10.3390/ijerph18020756.
- Reggiani, C. & Schiaffino, S. (2020). Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *European Journal of Translational Myology*, 30, (3). doi: 10.4081/ejtm.2020.9311.

- Reeves, N. D., Narici, M. V. & Maganaris, C. N. (2003). Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *Journal of Applied Physiology* 96 (3), 885-892. doi: 10.1152/jappphysiol.00688.2003.
- Schantz, P., Randall-Fox, E., Hutchison, W., Tyden, A. & Åstrand, P-O. (1983). Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 117 (2), 219-226. doi: 10.1111/j.1748-1716.1983.tb07200.x.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D. & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (12), 3508-3523. doi: 10.1519/JSC.0000000000002200.
- Siahkouhian, M. & Hedayatneja, M. (2010.) Correlations of Anthropometric and Body Composition Variables with the Performance of Young Elite Weightlifters. *Journal of Human Kinetics* 25, 125-131. doi: 10.2478/v10078-010-0040-3.
- Slater, G. & Phillips, S. (2011). Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events and bodybuilding. *Journal of Sports Sciences* 29 (1), 67–77. doi: 10.1080/02640414.2011.574722
- Spendlove, J., Mitchell, L., Gifford, J., Hackett, D., Slater, G., Cobley, S. & O'Connor, H. (2015). Dietary intake of Competitive Bodybuilders. *Sports Medicine* 45 (7), 1041–1063. doi: 0.1007/s40279-015-0329-4
- Stone, M. H., Pierce, K. C., Sands, W. A. & Stone, M. E. (2006). Weightlifting: A Brief Overview. *Strength and Conditioning Journal* 28 (1), 50-66. doi: 10.1519/1533-4295(2006)28[50:WABO]2.0.CO;2.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S. & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine* 46 (10), 1419-1449. doi: 10.1007/s40279-016-0486-0.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine* 48 (4), 765-785. doi: 10.1007/s40279-018-0862-z.
- Taber, C. B., Vigotsky, A., Nuckols, G. & Haun, C. T. (2019). Exercise-Induced Myofibrillar Hypertrophy is a Contributory Cause of Gains in Muscle Strength. *Sports Medicine* 49 (7), 993-997. doi: 10.1007/s40279-019-01107-8.

- Thé, D. J. & Ploutz-Snyder, L. (2003). Age, Body Mass, and Gender as Predictors of Masters Olympic Weightlifting Performance. *Medicine and science in sports and exercise* 35 (7), 1216–1224. doi: 10.1249/01.MSS.0000074582.55220.1C.
- Trezise, J., Collier, N. & Blazeovich, A. J. (2016). Anatomical and neuromuscular variables strongly predict maximum knee extension torque in healthy men. *European Journal of Applied Physiology* 116 (6), 1159-1177. doi: 10.1007/s00421-016-3352-8.
- Trezise, J. & Blazeovich, J. (2019). Anatomical and Neuromuscular Determinants of Strength Change in Previously Untrained Men Following Heavy Strength Training. *Frontiers in Physiology* 10, 1001. doi: 10.3389/fphys.2019.01001.
- van der Ploeg, G. E., Brooks, A. G., Withers, R. T., Dollman, J., Leaney, F. & Chatterton B. E. (2001). Body Composition changes in female bodybuilders during preparation for competition. *European journal of clinical nutrition* 55 (4), 268-277. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601154.
- Ye, X., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., Kim, D., Bembem, M. G. & Abe, T. (2013). Relationship between lifting performance and skeletal muscle mass in elite powerlifters. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 53 (4), 409-414.
- Young, A., Stokes, M. & Crowe, M. (1985). The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clinical physiology* 5 (2), 145-154. doi: 10.1111/j.1475-097x.1985.tb00590.x.
- Zaras, N., Stasinaki, A-N., Spiliopoulou, P., Hadjicharalambous, M. & Terzis, G. (2020). Lean Body Mass, Muscle Architecture, and Performance in Well-Trained Female Weightlifters. *Sports* 8 (5), 67. doi: 10.3390/sports8050067.