

**SUKUPUOLEN JA IÄN VAIKUTUS JALKAPRÄSSIN YHDEN TOISTON
MAKSIMIIN 12 VIIKON INTERVENTIOJAKSOLLA**

Veera Väisänen

Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Väisänen, V. 2024. Sukupuolen ja iän vaikutus jalkaprässin yhden toiston maksimiin 12 viikon interventiojaksolla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, (liikuntafysiologia) kandidaatintutkielma, 35 s.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako sukupuoli ja ikä maksimivoiman kehittymiseen, ikäryhmien ollessa lähellä toisiaan. Tutkielmassa tarkastellaan myös sukupuolieroja maksimivoiman kehityksessä eri ikäryhmissä ja pohditaan näiden yhteyksiä toisiinsa.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 204 harjoittelematonta tutkittavaa, joista tilastollisissa testeissä huomioitiin 168. Heistä naisia oli 114 ja miehiä 54. Heidät jaettiin lisäksi alle ja yli 40-vuotiaisiin, jotta ikäryhmien vaikutusta voitiin selvittää. Tutkittavilta mitattiin jalkaprässin yhden toiston maksimi ennen ja jälkeen 12 viikon voimaharjoitteluintervention. Voimaharjoittelujakson aikana tutkittavat harjoittelivat kaksi kertaa viikossa noin tunnin verran koko vartalon hypertrofista harjoittelua. Tutkimus toteutettiin osana Jyväskylän yliopiston laajempaa interventiotutkimusta.

1 RM kasvoi jokaisella tutkittavalla. Naisten prosentuaalinen muutos oli keskimäärin 19,3 %, miehillä tämä oli 20,4 %. Suhteellisten muutosten välillä ei huomattu tilastollisesti merkitseviä eroja. Suhteellinen 1 RM kasvu korreloi negatiivisesti ($r = -0,253$) iän kanssa ($p < 0,001$). Miesten absoluuttiset 1 RM muutokset olivat naisia suurempia (24,7 kg vs. 37,0 kg, $p < 0,001$), mikä kävi ilmi molemmista ikäryhmistä.

Tämän ja aikaisempien tutkimusten perusteella naisten ja miesten suhteellisessa alavartalon maksimivoiman muutoksessa ei ole merkittäviä eroavaisuuksia. Absoluuttisesti miehet kehittävät maksimivoimaansa naisia enemmän. Ikä ei vaikuta sukupuolieroavaisuuksiin, mutta ikäänntyminen korreloi negatiivisesti maksimivoiman kehittymisen kanssa.

Asiasanat: voimaharjoittelu, sukupuoli, ikä, maksimivoima

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
DHEA-S	testosteronin esiaste
GH	growth hormone, kasvuhormoni
MVC	maksimaalinen isometrinen lihassupistus
F(max)	suurin tuotettu voima
RFD	rate of force development, voiman kasvunopeus
1 RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	1
2	MAKSIMIVOIMANTUOTTO	2
2.1	Luurankoliuksen supistuminen	2
2.2	Voimantuottoon vaikuttavat rakenteelliset tekijät	4
2.2.1	Lihassolutyypit	4
2.2.2	Lihaksen poikkipinta-ala	5
2.3	Voimantuottoon vaikuttavat hermostolliset tekijät	6
3	SUKUPUOLTEN VÄLISET EROT MAKSIMIVOIMAN KEHITTÄMISESSÄ	9
3.1	Hormonaaliset erot	11
3.2	Lihaskoko ja lihassolutyppi	13
4	IÄN VAIKUTUS MAKSIMIVOIMAN KEHITTÄMISEEN	15
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	17
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	18
6.1	Tutkittavat	18
6.2	Tutkimusasetelma	19
6.3	Tilastolliset analyysit	20
7	TULOKSET	21
7.1	Muuttujien väliset korrelaatiot	21
7.2	Muuttujien keskiarvojen vertailu	21
8	POHDINTA	24
8.1	Sukupuoli yhden toiston maksimin muutoksen selittäjänä	24
8.2	Ikäryhmä yhden toiston maksimin muutoksen selittäjänä	26
8.3	Virhelähteet	27
8.4	Yhteenveto	28
	LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Lihassoimaa voidaan määritellä ”kyvyksi käyttää soimaa ulkoista vastusta vastaan” (Stone 1993). Lihassoima on tärkeä ominaisuus arjen jokapäiväisissä tehtävissä. Sen on tutkittu parantavan elämänlaatua, fyysistä suorituskykyä ja alentavan ennenaikaisen kuolleisuuden riskiä, sekä loukkaantumisia (Katula ym. 2008). Korkeampi lihassoima siis vähentää kansansairauksia ja yhteiskunnalle kertyviä kustannuksia. Eroja soimaominaisuuksien kehittämisessä on tutkittu paljon. Yhden toiston maksimi (1 RM) on yksi yleisimmistä tavoista määrittää maksimisoima. Sen kehitystä voidaan vertailla tarkkailemalla suhteellista 1 RM muutosta, jossa otetaan huomioon tutkittavan lähtötaso, tai absoluuttista muutosta, jossa seurataan muutosta kilogrammoina (Hubal ym. 2005). Lihassoiman kehittämisessä henkilöitä voidaan jakaa ”high responder”:eihin, joiden soimaominaisuudet kasvavat tehokkaasti, sekä ”low responder”:eihin, joiden soimaominaisuudet kasvavat hitaammin (Ahtiainen ym. 2016). Tässä työssä tarkastellaan näitä yksilöitä ikä ja sukupuoli huomioiden.

Vastusharjoittelu on yleisin käytetty lihassoiman kasvattamiseen tähtäävä harjoitusmuoto. Sitä voidaan suorittaa isometrisillä lihassoikkeilla, isokineettisillä lihassoikkeilla, sekä dynaamisilla lihassoikkeilla (lihaksen eksentrisen ja konsentrisen liike yhdistettynä) (Kraemer ym. 2002). Sen toteuttaminen perustuu kuorman määrään, toistoihin, toistojen kestoihin, lepoaikaan ja harjoittelun periodisointiin. Esimerkiksi kuorman ja toistomäärän säätelyllä voidaan vaikuttaa siihen, mitä voimantuottotapaa kehitetään. (Fisher ym. 2011) Maksimisoiman kehittämiseksi vastusharjoittelu eroaa esimerkiksi lihaskasvuun tähtäävästä harjoittelusta. On todettu, että maksimisoimaa voidaan kehittää tehokkaimmin 1–6 toiston sarjoilla (Benedict 1999), kun taas tästä pidemmät sarjat lyhyemmällä tauoilla lisäävät lihaksen kasvua (Berger 1962). Lihassmassan kasvun määrällä on huomattu olevan korrelaatiota maksimisoimaan (Jones ym. 2012), mutta niiden suhteesta on ristiriitaista tutkimustietoa.

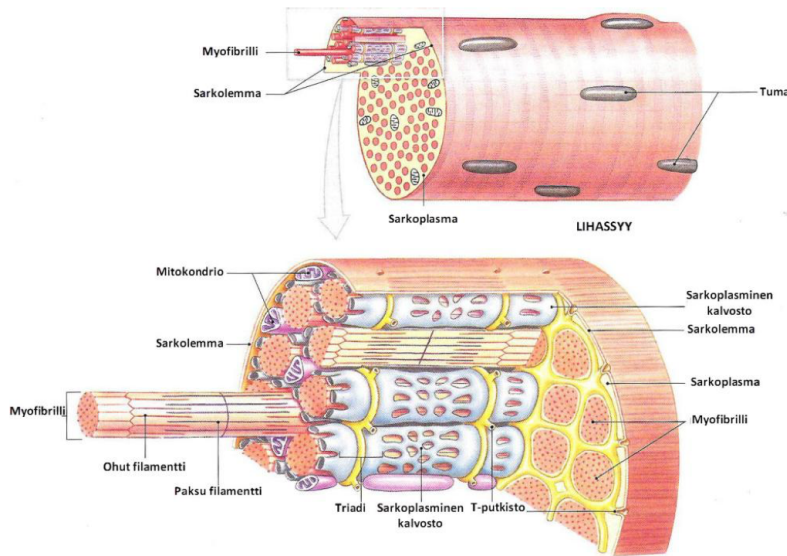
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia sukupuolen vaikutusta jalkaprässin yhden toiston maksimin kehittämiseen 12 viikon vastusharjoitteluinterventiojakson ajalta ikäryhmät huomioiden. Tutkielmassa pyritään selvittämään, onko sukupuolella tai iällä merkittävää vaikutusta jalkaprässin 1 RM muutokseen. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan aikaisempien tutkimusten pohjalta sukupuolen ja ikäryhmien eroavaisuuksia 1 RM muutoksessa sekä näiden taustalla mahdollisesti vaikuttavia biologisia tekijöitä.

2 MAKSIMIVOIMANTUOTTO

Yhden toiston maksimi (1 RM) perustuu maksimivoimaan (Benedict 1999; Levinger ym. 2009). Grgicin ym. 2020 kirjallisuuskatsauksessa todetaan yhden toiston maksimin luotettavuuden olevan erinomaisella tasolla maksimivoiman mittarina. Maksimivoima tarkoittaa kykyä tuottaa mahdollisimman suuri voima lyhyen aikaikkunan sisällä. Lihaksen supistumiskäsky alkaa keskushermostosta (aivot ja selkäydin) ja kulkee sähköisenä impulssina motoriseen yksikköön. Motoriset yksiköt voidaan jakaa nopeisiin ja hitaisiin niiden syttymisnopeuden perusteella. Maksimaalisessa voimantuotossa nopeat motoriset yksiköt ovat olennaisia, sillä ne tuottavat voimaa sekä relaksoituvat hitaita nopeammin (Häkkinen ym. 1990). Maksimivoimantuotokykyyn vaikuttavat lisäksi voimantuottoon käytetty aika, elastisen energian varastointi ja hyödyntäminen, supistuvien ja elastisten filamenttien toiminta ja venytysrefleksit (Ahtiainen 2014). Seuraavissa alaluvuissa käsitellään maksimaalisen voimantuoton peruseriaatteita, siihen vaikuttavia tekijöitä ja jalkaprässin yhden toiston maksimia voimantuoton mittarina.

2.1 Luurankolihasen supistuminen

Ihmisen solut muodostavat erilaisia rakenteellisia kokonaisuuksia, kudoksia. Näitä ovat epi-teeli-, tuki-, lihas- ja hermokudos. Lihaskudokset koostuvat lihassolukimpuista, jotka muodostuvat yksittäisistä lihassoluista sekä niitä ympäröivistä kalvorakenteista. (McArdle ym. 2015, 355) Lihassolut koostuvat useista lihassäikeistä, myofibrilleistä. Myofibrillit taas koostuvat peräkkäin järjestäytyneistä sarkomeereista, jotka sisältävät kahden Z-levyn välisen alueen sekä aktiini- ja myosiinifilamentit. Lihassyiden ja solun rakenne esitetty kuvassa 1. Aktiinifilamenteissa on sitoutumiskohta myosiinifilamentille ja proteiinina troponiinia, tropomyosiinia ja nebuliinia. Myosiinifilamentit puolestaan sisältävät titiiniä, joka kiinnittää filamentin Z-levyyn. T-tubulusjärjestelmä ja sen yhteydessä oleva sarkoplasminen retikulumi välittävät supistumiskäskyä solussa. (Mukund & Subramanian 2019) Sarkoplasminen retikulumi on kalvosto, joka varastoi kalsiumia ja pitää sarkoplasman kalsiumkonsentraation alhaisena (Moilanen 2008). Luurankolihakset sisältävät useita motorisia yksiköitä, joihin kuuluu useita lihassoluja, sekä niihin kiinnittyvän hermosolun päätehaarakkeet, aksonit. Luurankolihakset kiinnittyvät luustoon ja ovat voimakkaasti hermottuneita mahdollistaen ihmisen tietoisien motorisen toiminnan. (Mukund & Subramanian 2019)



KUVA 1. Lihassy ja lihassolu (mukautettu, Martini & Nath 2009, 297).

Lihassyyn ja lihassolun rakenne on esitetty kuvassa 1. Hermolihasjärjestelmän toiminta mahdollistaa tahdonalaiset lihassupistukset. Andrew F. Huxley on esittänyt lihasten supistumista selittävän ”poikittaissilta-teorian” (Huxley 1954). Keskushermosto lähettää lihasten sähköisen supistuskäskyn eli aktiopotentiaalin afferentteja, motorisia hermoja pitkin lihaksille. Tämä käsky kulkeutuu kemiallisen välittäjäaineen, asetyylikoliinin avulla hermo-lihasliitokseen. Asetyylikoliini laukaisee aktiopotentiaalin lihassoluissa, joka leviää nopeasti T-tubulusten kautta kaikkiin motorisen yksikön lihassoluihin. Lihassolut supistuvat, mikäli energiaa on käytettävissä adenosiinitrifosfaatin (ATP) muodossa. Kalsiumionit sitoutuvat aktiinifilamentin troponiiniin, mikä mahdollistaa tropomyosiinin siirtymisen aktiinin aktiivisista kohdista. Näin aktiinin kiinnittymiskohdat paljastuvat ja myosiini kykenee tarttumaan aktiiniin muodostaen poikittaissillan ja vetämään sitä itseään kohti. (Huxley 1974) Poikittaissillat muuttavat tällöin jatkuvasti muotoaan, kun myosiinin päät kiinnittyvät aina uuteen kohtaan aktiinifilamenttissa (filamenttien liukumisteoria). Luurankolihasen ATP-hydrolyysi tapahtuu myosiinin päässä olevassa ATPaasissa, ja se tarjoaa tarvittavan energian myosiinin ja aktiinin kiinnittymiskohtien liikkeelle. (Mukund & Subramanian, 2019)

Maksimaaliseen tuotettuun voimaan (F_{max}) vaikuttaa lihastoiminnan tyyppi. Eksentrisen eli ”jarruttava” lihassupistus pystyy tuottamaan suuremman maksimaalisen voiman, kuin isometrisen (staattinen), tai konsentrisen lihassupistus. Luonnolliset liikkeet ja lihastoiminnot ovat harvoin eriytettävissä, minkä takia eksentristen ja konsentristen lihassupistuksen muotoja yhdistetään. (Komi 2000) Tätä kutsutaan venymis-lyhenemissykliksi. On esitetty, että lihassolut

venyisivät eksentrisessä vaiheessa (Komi 1984), mutta osa kirjallisuudesta osoittaa, että supistuva komponentti voi säilyttää vakiopituuden (Hoff ym. 1983; Komi 2000) tai jopa lyhentyä (Griffiths, 1991, Komi 2000 mukaan).

2.2 Voimantuottoon vaikuttavat rakenteelliset tekijät

Maksimaalista voimantuottoa voidaan kasvattaa joko vaikuttamalla lihaksen rakenteellisiin tekijöihin tai parantamalla motoristen yksiköiden hermostollista rekrytoimista sekä lihaksen sisäistä koordinaatiota (Enoka 2008, 397). Lihasten rakenteellisilla tekijöillä tarkoitetaan esimerkiksi lihassolutyyppejä, lihaksen poikkipinta-alaa (CSA), jänteiden ja sidekudosten rakennetta, lihasten arkkitehtuuria sekä lihaksen laatua (normalisoitu lihasvoima). Lihaksen arkkitehtuuriin ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi pennaatiokulmat ja lihassolukimppujen pituudet. (Folland & Williams 2007)

2.2.1 Lihassolutyypit

Lihassolutyypit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään myosiinin raskasketjujen isoformien mukaan. Ne eroavat toisistaan aineenvaihdunnallisesti sekä supistumisominaisuuksiltaan. Tyypin I lihassolut kestävät väsymystä hyvin, koska ne käyttävät aerobista energiantuotantoa. Ne supistuvat ja relaksoituvat hitaasti. Tyypin II (nopeat)lihassolut on tyypillisesti jaettu kahteen ryhmään. Iia lihassolut voivat tuottaa energiaa sekä aerobisesti että anaerobisesti, ja ne sietävät väsymystä kohtuullisen hyvin. Tyypin IIb lihassolut sen sijaan ovat nopeita, mutta ne tuottavat pääasiassa energiaa glykolyysin kautta ja väsyvät nopeasti. (McArdle 2015, 371–376) Tutkimusten mukaan näiden lihassolutyypien väliin asettuu vielä kolmas ryhmä; tyyppi Iix (Spangenburg & Booth 2000). Väsymyksen sieto liittyy myosiini ATPaasi-entsyymien aktiivisuuteen happamissa olosuhteissa. Esimerkiksi I-tyypin lihassolut pystyvät hyödyntämään entsyymejä happamissa olosuhteissa, mutta menettävät sen toiminnan emäksisissä. (McArdle 2015, 374)

Nopeat lihassolut. Tyypin II lihassoluilla on korkea lihassolun laatu eli spesifi tensio (Thorstensson ym. 1976; Cormie ym. 2011 mukaan). Tämä kertoo suuremmasta kapasiteetistä tuottaa voimaa (F_{max}) poikkileikkausyksikköä (CSA) kohden. II tyypin lihassoluille on tunnusomaista

korkea sarkoplasminen retikulumi sekä ATPaasin aktiivisuus erityisesti happamissa olosuhteissa. Tämä tarkoittaa, että lihassolu varastoi itseensä tehokkaasti kalsiumioneja. Hermoimpulssin saatuaan ionit vapautetaan solun sytoplasmaan ja motorinen yksikkö supistuu, mikäli ATP:tä on käytettävissä. (McArdle 2015, 371–373)

II-tyypin lihassolujen on huomattu kasvavan I-tyypin soluja nopeammin voimaharjoittelun aikana (Häkkinen ym. 1981). Tästä syystä monissa lyhyemmän intervention (6–10 viikkoa) tutkimuksissa on havaittu vain II-tyypin lihassolujen hypertrofiaa (Folland & Williams 2007). Dons ym. (1979) havaitsivat tutkimuksessaan II-tyypin lihassolujen määrän korreloivan maksimivoiman kehittymisen kanssa 7-viikon harjoitusjakson aikana. Kuitenkin Frontera ym. (1988) havaitsivat miehille toteutetussa tutkimuksessaan, että 12-viikon voimaharjoittelujakson jälkeen lihassolujakaumalla ei ollut yhteyttä maksimivoimantuottoon.

Lihaksen koostumus eli lihassolutyypien suhteellinen osuus vaikuttaa supistumisnopeuteen ja voiman tuottoon (Cormie ym. 2011). Luurankoli hasten lihassolujakauma voi vaihdella suuresti yksilöiden välillä. Tämä vaihtelu johtuu suurelta osin perimästä. Simoneau'n ja Bouchard (1995) tutkimuksen mukaan noin 45 % lihassolujen jakaumasta johtuu perimästä ja 40 % ympäristötekijöitä, kuten fyysisestä harjoittelusta. Lihaksen supistuva komponentti mukautuu ympäristötekijöihin niiden vaatimalla tavalla. Esimerkiksi hypertrofisen voimaharjoittelun seurauksena tyypin IIX lihassolut voivat vähentyä, kun taas IIA lihassolut lisääntyä. Adaptaatio johtuu IIA -lihassolujen taloudellisemmasta poikittaissiltasyklistä (eli hapetuskapasiteetistä), mikä mahdollistaa jatkuvan tehontuotannon pidemmissä kuormituksissa. Kyseinen muutos tyypin II isoformien jakaumassa voi olla hetkellisesti haitallista Pmax -arvolle. Sitä kuitenkin kompensoi osaltaan lihashypertrofia. (Brooks ym. 1999; Cormie ym. 2011 mukaan)

2.2.2 Lihaksen poikkipinta-ala

”CSA” lihaksen mittaamisessa tarkoittaa lihaksen poikkipinta-alaa (Cross-sectional area). Tämä mittari kertoo lihaksen koosta. Poikkileikkauspinta-ala voidaan määrittää esimerkiksi magneettikuvantamisella (MRI) tai tietokonetomografialla (CT), jotka tarjoavat tietoja lihaksen rakenteesta ja koosta. (Cormie ym. 2011) Lihaksen poikkipinta-ala eroaa yksilöiden välillä ja siihen vaikuttavat esimerkiksi sukupuoli, genetiikka, ikä, harjoittelutausta sekä lihas-

ryhmä (Folland & Williams 2007). Lihaksen poikkipinta-alan kasvua kutsutaan lihashypertrofiaksi, joka on voimaharjoittelun adaptaatio. Lihashypertrofiaa voi seurata lihassolujen hypertrofiasta tai lihassolujen lukumäärän lisääntymisestä, hyperplasiasta. Lihassolujen kasvua esiintyy suuremmissa määrin II-tyyppin lihassoluissa, mutta myös I-tyyppin lihassoluissa. Lihashypertrofian suuruuteen vaikuttavat harjoittelun volyymi, intensiteetti ja frekvenssi. (Cormie ym. 2011)

Yksittäisen lihassolun poikkipinta-ala on suoraan verrannollinen potentiaaliin tuottaa maksimi-voimaa. Lihaksen koko ei kuitenkaan suoraan selitä maksimivoiman suuruutta (Gollnick ym 1986, Cormie ym. 2011 mukaan). Lihassolujen kasvu johtuu myofibrillien määrän sekä koon kasvusta. Tällöin myöskin lihassolun supistumisesta vastaavien komponenttien, myofilamenttien määrä kasvaa. Teoriassa tämä mahdollistaisi suuremman voimantuoton, mutta voimantuotoon vaikuttavat lisäksi useat muut tekijät, kuten hermoston toiminta, myosiini-isoformien toiminnalliset muutokset sekä lihaksen arkkitehtuuri, kuten pennaatiokulmat. (Reggiano & Schiaffino 2020)

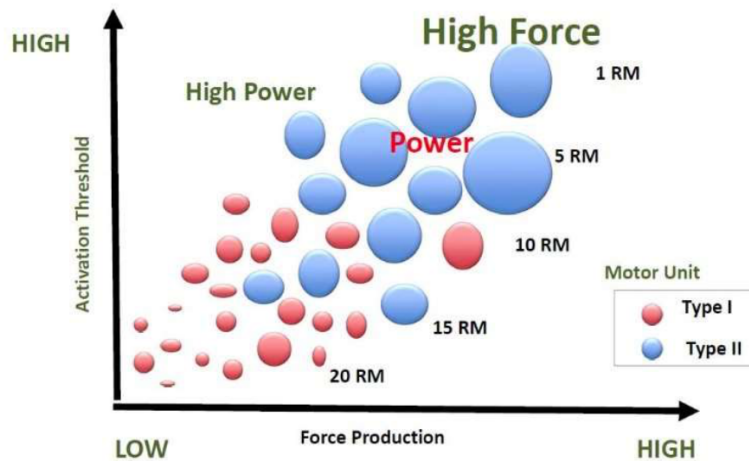
Lihaskoko selittää dynaamisesta maksimivoimasta noin 50–60 % harjoittelemattomilla henkilöillä (Trezise & Blazevich 2019). On selvää, että lihaksen poikkipinta-ala korreloi maksimaalisen voimantuoton kanssa (Trezise ym. 2016; Erskine ym. 2009). On kuitenkin huomattu, että voimaharjoittelu aiheuttaa yksilöiden välillä vaihtelevia muutoksia lihaskoossa sekä voimassa. Erityisesti harjoittelemattomilla henkilöillä lihaskoon kasvu selittää voiman kasvua vain muutamia prosentteja. (Erskine ym. 2009) Mikäli voimantuotto kasvaa suhteessa enemmän, kuin lihaksen poikki-pinta-ala, voidaan puhua lihaksen spesifin jännityksen lisääntymisestä (Folland & Williams 2007). Kirjallisuuden mukaan lihas pystyy sukupuolesta riippumatta tuottamaan konsentrisesti keskimäärin 30 N voimaa yhtä lihaksen poikkipinta-alan neliösenttimetriä kohden. (McArdle ym. 2015, 375)

2.3 Voimantuottoon vaikuttavat hermostolliset tekijät

Voimaharjoittelu aiheuttaa muutoksia hermolihaskäytännön rakenteisiin ja toimintaan. Tämä vaikuttaa tuotettuun maksimivoimaan erityisesti dynaamisissa 1 RM-suorituksissa, joissa hermostollista oppimista voidaan pitää merkittävänä tekijänä. (Rutherford ym.1986) Lihaskäytännön

tyksen tasoon voidaan vaikuttaa kahdella pääperiaatteella: motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssiä lisäämällä tai rekrytoimalla enemmän motorisia yksiköitä. Motoriset yksiköt rekrytoidaan kokoperiaatteen mukaisesti vaadittavan voiman kasvaessa (KUVA 2). (Cormie ym. 2011)

Neural Activation: Size Principle



KUVA 2. Motoristen yksiköiden rekrytointijärjestys kuorman kasvaessa (Henneman ym. 1964).

Aktiopotentiaali kulkeutuu motoneuroneja pitkin lihakseen. Ne voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan; alfa-, beeta- ja gammamotoneuroneihin ja niiden alaluokkiin. Yhteensä motoneurontyypppejä on seitsemän. Ne eroavat aksonin koossa sekä väsymyksen ja aktiopotentiaalijohdonopeudessa. Alfamotoneuroneita on kolme tyyppiä (fast fatigable, fast fatigue resistant, slow) ja ne eroavat aksonin koossa, sekä väsymyksen siedossa ja aktiopotentiaalijohdonopeudessa. Ne hermottavat tahdonalaisia luustolihasia. Alfamotoneuronien aksonit ovat muita motoneurontyypppejä paksumpia, joten aksonin ympärille muodostuvan myeliinitupen tilavuus on suurempaa. Myeliinituppi nopeuttaa sähköisen impulssin kulkua, minkä seurauksena α -motoneuroni vie aktiopotentiaalijohdon nopeasti luurankolihaselle ja on siksi merkittävä osa maksimaalista voimantuottoa. (Manuel & Zytnicki 2011) Gammamotoneuroneita on kahta tyyppiä (static, dynamic). Ne hermottavat lihassolujen venytysreseptoreja, lihaskäamejä ja osallistuvat tasapainon säätelyyn. Myöskin beetamotoneuronit jaetaan dynaamisiin ja staattisiin. Ne hermottavat sekä tahdonalaisesti luurankolihasoluja että lihaskäamejä. (Nienstedt ym. 1991, 544–546)

Alfamotoneuronit hermottavat I-tyypin lihassoluja, mikäli vaadittava voima ei ylitä suurempien motoristen yksiköiden syttymiskynnystä. Kun vaadittavan voiman määrä kasvaa, yhä useampi

α -motoneuroni aktivoituu rekrytoimaan motorisia yksiköitä ja tuotetun voiman määrä kasvaa, jos energiaa on saatavilla. (Guyton & Hall 2021, 88–90). Voimaharjoittelun seurauksena motoristen yksiköiden syttymiskynnys alentuu, jolloin korkean kynnyksen motoriset yksiköt on mahdollista aktivoida nopeammin. Tämä lisää voimantuoton pääsuorittajalihaksen (agonistin) aktivaatiota ja parantaa lihaksen tehontuotantoa. (Cormie ym. 2011)

Voimaharjoittelun seurauksena agonistin toiminta voi tehostua motoristen yksiköiden käyttöönoton ja niiden syttymistiheyden kasvun myötä. Motoristen yksiköiden käyttöönotto näkyy lihaksen EMG-aktiivisuuden kasvuna. (Folland & Williams 2007) Esimerkiksi Häkkinen ym. (1996) huomasivat agonistilihaksen EMG-aktiivisuuden lisääntyvän harjoittelun myötä erityisesti ensimmäisten 3–4 viikon aikana, mikä on teoretisoitu johtuvan lihaksen hermostollisen voiman muutoksista. Motoristen yksiköiden suuri syttymistiheys kertoo lihassoluihin välittyvien hermoimpulssien nopeudesta. Tämä näkyy sekä kykynä nopeaan voimantuottoon (RFD) että syntyvän voiman suuruutena. (Cormie ym. 2011)

Erityisesti harjoittelemattomilla henkilöillä voimaharjoituksen adaptaatiot kohdistuvat aluksi hermolihasjärjestelmän toimintaan (Moritani & Devries 1979). Adaptaatio johtuu mm. motoristen yksiköiden synkronisaation eli motoristen yksiköiden samanaikaisen syttymisen lisääntymisestä. Tällöin puhutaan hermoston aktivointikyvyn sijasta oppimisesta, mikä lisää motoristen yksiköiden tahdonalaisen hermotuksen määrää. Tämä lisää lihaksen tuottamaa maksimivoimaa ilman, että lihaksen hypertrofiset muutokset kasvaisivat merkittävästi (Häkkinen 1990). Semmler & Nordstrom (1998) havaitsivat tutkimuksessaan motoristen yksiköiden synkronisaation olevan suurempaa voimaharjoitelleilla painonnostajilla verrattuna harjoittelemattomiin verrokkeihin.

3 SUKUPUOLTEN VÄLISET EROT MAKSIMIVOIMAN KEHITTÄMISESSÄ

Ennen murrosikää poikien ja tyttöjen välillä ei ole merkittäviä voimantuotollisia eroja. Noin 14 vuoden iässä sukupuolten väliset eroavaisuudet kasvavat ja poikien on huomattu tuottavan tyttöjä enemmän absoluuttista voimaa. (Barber-Westin ym. 2006; Hubal ym. 2005) Eroja maksimivoiman tuotossa onkin selitetty mm. hormonaalisella toiminnalla, lihaksen rakenteellisilla eroavaisuuksilla ja geeniperimällä. Samoilla sukupuolten välisillä eroavaisuuksilla voidaan selittää myöskin maksimivoiman kehittymistä. Tutkimuksissa (Ahtiainen ym. 2016; Hubal ym. 2005) on huomattu naisten maksimivoiman kehittyvän suhteellisesti miehiä enemmän, mutta absoluuttisesti vähemmän. Erot eivät suhteellisen maksimivoiman kehittämisessä eivät ole kuitenkaan olleet suuria tai eroja ei ole havaittu (Abe ym. 2000; Lemmer ym. 1999; Walts ym. 2005). Osaltaan taas miesten suhteellisen maksimivoiman on nähty kehittyvän naisia enemmän (Bamman ym. 2003). Näiden tutkimusten tuloksia voiman suhteellisessa muutoksessa on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Maksimivoiman muutokset tutkimuksissa eri sukupuolilla. Muutosprosentti laskettu alkumittauksen ja loppumittauksen muutoksesta. JP = jalkaprässi, RP = rintaprässi, PO = polven ojennus, HK = hauiskääntö, F= naiset, M = miehet

Kirjoit- taja, vuosi	Tutkitta- vat (n).	Ikä (v)	Interven- tiojakson pituus (vk// pv/vk)	Voiman mittaus		RM muu- osprosentti aisilla (ka.) (+%)	1 RM muu- tosprosentti miehillä (ka.) (+%)
Abe 2000	y1 17 (M) 20 (F)	25–50	12 // 3	RP, PO		27, 19	19 19
Ahtiainen ym. 2016	183 (M) 104 (F)	19–78	20–24 // 2	JP		24,2	19,4
Bamman ym. 2003	9 (M) 5 (F)	61–77	26// 3	PO		58	82
Church- ward- Venne ym. 2015	66 (M) 44 (F)	>65	12 // 2–3	JP, PO		JP: 27, PO: 26	JP: 20, PO: 29
Hubal ym. 2005	243 (M) 342 (F)	18–40	12 // 3	HK		64,1	39,8
Lemmer ym. 1999	22 (M) 19 (F)	18 (20–30) 23 (65–75)	9 // 3	PO (yksi jalka)		nuoret: 39,4 vanhat: 29,4	nuoret: 31,5 vanhat: 27,3
Roth ym. 2001	17 (M) 16 (F)	14 (20–30) 19 (65–75)	26 // 3	JP, RP		nuoret: 33,3 33,4 vanhat: 27,4 16,0	nuoret: 24,5 24,4 vanhat: 12,0 17,3
Walts ym. 2005	82 (M) 99 (F)	60–65	10 // 3	PO		27,8	23,5

Taulukossa 1 esitetyistä kuudesta tutkimuksesta vain yhdessä havaitaan suurempi suhteellinen maksimivoiman nousu miehillä. Jokaisessa tutkimuksessa kuitenkin miesten lähtöpainot yhden toiston maksimiin ovat olleet keskimääräisesti suurempia. Absoluuttiset muutokset sukupuolten välillä kyseisistä tutkimuksista on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Yhden toiston maksimin absoluuttiset muutokset tutkimuksissa.

Kirjoittaja, vuosi	Voiman mittaus	Absoluuttinen muutos naisilla (+kg), (ka.)	Absoluuttinen muutos miehillä (+kg), (ka.)
Abe ym. 2000	RP, PO	37,5 22,4	23,6 42,7
Ahtiainen ym. 2016	JP	25,9 ± 17,1	28 ± 16
Churchward-Venne ym. 2015	JP, PO	31 ± 4; 14 ± 2	34 ± 2 24 ± 1
Hubal ym. 2005	HK	3,6 ± 0,1	4,3 ± 0,1
Lemmer ym. 1999	PO (yksi jalka)	nuoret: 23 vanhat: 13	nuoret: 25 vanhat: 20
Walts ym. 2005	PO	5 ± 1	8 ± 1

3.1 Hormonaaliset erot

Hormonit ovat kehon kemiallisia signaaleja, jotka erittyvät umpirauhasista verenkiertoon. Verenkierron kautta ne voivat kulkeutua kaikkialle kehoon, mutta vaikuttavat vain tiettyihin kohdesoluihin reseptoriensa kautta. Hormonien eritystä säädelään pääasiassa keskushermoston hypotalamuksen ja aivolisäkkeen kautta negatiivisen palautussäätelyjärjestelmän avulla. Tästä kehon homeostaasia säätelevästä järjestelmästä käytetään nimeä endokriininen säätelyjärjestelmä. (Guyton & Hall 2021, 915–923) Hormonit voivat vaikuttaa elimistön aineenvaihduntaan rakentavasti (anabolisesti) tai hajottavasti (katabolisesti). Anabolisia hormoneja ovat esimerkiksi sukupuolihormonit, kasvuhormonit ja insuliini. Kortisoli, glukokortikoidit ja kilpirauhashormonit kuuluvat katabolisten hormonien ryhmään. (Nienstedt ym. 1991, 413)

Testosteroni on androgeenien eli miessukupuolihormonien ryhmään kuuluva hormoni. Sitä kuitenkin tuotetaan myös pienemmissä määrin naisten elimistössä munasarjoissa ja lisämunuuaisissa (Nienstedt ym. 1991, 436). Sen anabolisuus perustuu kykyyn kasvattaa luiden mineraalitiheyttä (Snyder ym. 2000; Finkelstein ym. 1987), hematokriitti- ja hemoglobiinipitoisuutta (Snyder ym. 2000) sekä lihasmassaa (Snyder ym. 2000). Testosteronin leposeerumipitoisuus on miehillä 10–40 kertaa korkeampi kuin naisilla (Kraemer & Ratamess 2005). Miehillä on myös huomattu voimaharjoittelun nostavan akuutisti veren testosteronipitoisuutta, kun taas naisilla pitoisuus ei noussut merkittävästi (Häkkinen & Pakarinen 1995). Tutkimukset (Bhasin ym. 1996; Storer ym. 2003) ovat osoittaneet, että myös synteettinen testosteroni annosteltuna elimistöön nostaa 1 RM-tuloksia harjoitusjakson jälkeen huomattavasti enemmän verrattuna placebo-ryhmään. Bhasin ym. (1996) kuntosaliharjoittelijoita koskevassa tutkimuksessa placebo-ryhmä paransi kyykkytulostaan keskiarvollisesti 20 %, kun taas testosteronia saaneella ryhmällä tulos oli keskimäärin 38 %.

Estrogeeni on yleisnimitys usealle eri naissukupuolihormonille, kuten estradioli, estrioli ja estroni. Ne vaikuttavat mm. lisääntymiseen, kuukautiskiertoon ja rintarauhasiin (Nienstedt ym. 1991, 445). Estrogeeniä erittyy pääasiassa munasarjoista ja näitä hormoneja on naisilla noin neljä kertaa miehiä enemmän ennen vaihdevuosisia (Hansen & Kjaer 2014). Estrogeenin nähdään vähentävän erityisesti vaihdevuosien aikaista lihaskatoa, sillä se pystyy vaimentamaan myofibrillaaristen proteiinien hajoamista, mitä tapahtuu vaihdevuosien aikana (Pöllänen ym. 2007). Lisäksi estrogeenireseptoreja on löydetty luustolihas kudoksesta, jänteistä ja nivelsiteistä. Niiden uskotaan lisäävän herkkyyttä voimaharjoittelun vasteille, mutta myös vähentävän jänteiden jäykkyyttä lisäten loukkaantumisriskejä. (Hansen & Kjaer 2014)

Kasvuhormoni (GH) on aivolisäkkeen etulohkosta erittyvä hormoni. Se on keskeinen moniin kehon aineenvaihduntaan liittyvissä prosesseissa, kuten rasvojen hajottamisessa, proteiinisynteesissä ja luuston uusiutumisessa. (Kraemer ym. 2010) Naisilla on raportoitu miehiä suurempaa kasvuhormonin lepoeritystä, erityistä harjoituksen aikana ja nopeampaa huippupitoisuuden saavuttamista (Pritzlaff-Roy ym. 2002). On lähes kiistatonta, että kasvuhormonipitoisuudet vaikuttavat maksimivoiman kehittymiseen (Widdowson & Gibney 2010)

Useilla hormoneilla on nähty akuutteja ja kroonisia vasteita voimaharjoittelun jälkeen naisilla. IGF-1 on proteiinihormoni, joka osallistuu kasvuun, kehitykseen ja aineenvaihdunnan säätelyyn elimistössä. GH:lla ja IGF-1:llä näyttää olevan testosteronia kompensoiva vaikutus naisilla,

sillä naisten lihasten poikki-pinta-ala kasvaa merkittävästi, vaikka testosteronitasot olisivat alhaiset. (Kraemer ym. 2010) Riechman ym. (2004) tutkimuksessa testosteronin esiaste, dehydroepiandrosteronisulfaatti (DHEA-S) -tasot nousivat akuutisti voimaharjoittelun jälkeen sekä naisilla että miehillä. Aizawa ym. (2003) mukaan 8 viikon voimaharjoitteluohjelma lisäsi merkittävästi naisten lepo-DHEA-S-tasoa, kun taas muutosta ei havaittu miehillä. Lisäksi naisilla DHEA-S tasot korreloivat positiivisesti jalkojen ojentajavoiman kanssa ($p < 0,001$), mutta korrelaatiota ei havaittu miehillä. (Aizawa ym. 2006).

3.2 Lihaskoko ja lihassolutyppi

Useissa tutkimuksissa (Bamman ym. 2003; Ivey ym. 2000; Lemmer ym. 2000) on havaittu miesten suurempaa absoluuttista ja suhteellista lihashypertrofiaa vastusharjoittelun seurauksena. Myös miesten absoluuttinen lihasmassa on ollut ennen ja jälkeen harjoitusinterventioiden suurempaa (Abe ym. 2000; Ahtiainen ym. 2015; Clarkson ym. 2005; Hubal ym. 2005; Lemmer ym. 1999; Walts ym. 2008). Lisäksi miehet olivat naisia vahvempia suhteessa rasvattomaan massaan erityisesti ylävartalon 1 RM liikkeessä (Miller ym. 1993). Toisaalta Roth ym. (2001) tutkimuksessa naisten ja miesten suhteelliset lihasmassan muutokset eivät ole eronneet merkittävästi sukupuolten välillä.

Delmonico ym. (2005) havaitsivat tutkimuksessaan miesten alavartalon voimaharjoitusohjelmoinnin vaikuttavan lihashypertrofiaan naisia enemmän, vaikka suhteelliset muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkittävästi toisistaan. He päättelivät tulosten johtuvan naisten tehokkaammasta hermostollisesta mukautumisesta voimaharjoitteluun. Myöskin Roth ym. (2001) tutkivat lihashypertrofian sukupuolen ja iän välisiä eroavaisuuksia ja havaitsivat naisilla hitaamman lihasmassan kasvun miehiin verrattuna. Tulokset olivat linjassa myös Ivey ym. (2000) tutkimuksen kanssa, jossa naisten lihashypertrofia oli miehiä vähäisempää, mutta suhteellinen maksimivoiman kasvu suurempaa.

Lihassolutyypin jakauma on yksilöllistä. Siihen vaikuttavat erityisesti harjoitustausta, sekä genetiikka (Guyton & Hall 2021, 1078). Vaikka naisten ja miesten välillä lihastyypin suhteellinen lukumäärä ei juuri eroa toisistaan (Larsson 2006), naisten II-tyyppin lihassolut ovat pienempiä. Näin siis keskimääräisesti naisten lihaksissa suurempi suhteellinen pinta-ala on I-tyyppin lihassolua (Hunter 2016). Bamman ym. (2003) ja Miller ym. (1993) huomasivat miesten

suuremman lihashypertrofian selittyvän lihassolujen kasvulla (I & II-tyypit). Tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota lihassolujen koon ja yhden toiston maksimin kanssa kummallakaan sukupuolella. Lihassolun spesifin tension on huomattu olevan miehillä naisia suurempi erityisesti I-, sekä IIA- tyyppin lihassoluissa (Trappe ym. 2001).

ACTN-3 on genotyyppi, joka vaikuttaa suoraan lihaksen voimantuottoon koodaamalla lihaskuitujen Z-levyn proteiinia (Yang ym. 2003, Clarkson ym. 2005 mukaan). Myöhemmässä tutkimuksessa (Clarkson ym. 2005) naisilla havaittiin kolme muuttujaa, jotka liittyivät ACTN3-genotyyppiin; lähtötilanteen MVC, absoluuttinen sekä suhteellinen ero voimassa (1 RM). Lähtötason MVC-voimakkuus oli merkittävästi suurempi geenin heterotsygoottisilla yksilöillä verrattuna homotsygoottisiin. Hauiskäännön 1 RM kasvu suhteellisesti ja absoluuttisesti oli merkittävästi suurempi genotyypin homotsygoottisilla henkilöillä. ACTN-3 genotyyppi siis vaikuttaa voimaharjoittelun adaptaatioihin naisurheilijoilla ja harjoittelemattomilla naisilla, mutta muutosta miehillä ei havaittu.

4 IÄN VAIKUTUS MAKSIMIVOIMAN KEHITTYMISEEN

Ikä vaikuttaa luustolihasen toimintaan sekä rakenteellisten että hermostollisten tekijöiden kautta. Kronologinen ikääntyminen viittaa fysiologiseen vanhenemiseen, jota tarkastellaan ajan funktiona. Biologinen ikääntyminen taas viittaa epigeneettisiin muutoksiin ja ilmaisee, kuinka nopeasti solujen toiminta muuttuu riippuen yksilön geeniperimästä, elämäntapatekijöistä ja fyysisestä harjoittelusta. (Sillanpää ym. 2019) Maksimivoima on huipussaan 25–30-vuotiaana. Maksimivoimatasojen asteittaista laskua alkaa tapahtua viimeistään 40-vuotiaana voimatasoista ja harjoittelutaustasta huolimatta. (McArdle ym. 2015, 849) Vaikka maksimivoimatasot alkavat laskea, nähdään harjoittelemattomilla aikuisilla voimatasojen nousua vastusharjoittelun seurauksena.

Mikäli vastusharjoittelua ei tehdä, lihaksessa tapahtuu surkastumista, sarkopeniaa. Tätä selittävät useat solutason muutokset. Ikääntyvässä lihaksessa proteiinisynteesi, motoristen yksiköiden, α -motoneuronien ja satelliittisolujen määrä laskevat. (Boldrin ym. 2010, Viecelli & Ewald 2022 mukaan). Tämä solujen vanheneminen muuttaa soluproteiinien ilmentymistä ja erityistä (sekretomia). Senescentit eli jakautumiskykynsä menettäneet solut erittävät sytokiineja, proteaaseja, kasvutekijöitä, sekä kemokiinejä. Näiden molekyylien erittyminen voi edistää tulehdusreaktioiden syntymistä ja heikentää maksimivoiman kehittymistä (Schaap ym. 2006, Viecelli & Ewald 2022 mukaan). Myös useiden signaalintireittien (Viecelli & Ewald 2022) on huomattu edistävän solusyklin estäjien muodostumista ja siten luustolihasosojen vanhenemista (Viecelli & Ewald 2022).

Häkkisen ym. (1996) tutkimuksessa vertailtiin 50-vuotiaiden ja 70-vuotiaiden tutkittavien lihaskokoa, maksimaalista voimaa, voima-aikakäyriä ja lihasten elektromyografista aktiivisuutta. Nuoremmat ryhmät pystyivät tuottamaan enemmän voimaa lyhyemmässä ajassa. Nopea voimantuotto erosi eniten ikäryhmien välillä, mikä voi viitata neurologisiin muutoksiin, kuten syttymistiheyden alenemiseen (Häkkinen ym. 1996). EMG:n tulokset eivät kuitenkaan eronneet merkittävästi ikäryhmien välillä, joten yksi mahdollinen mekanismi voisi olla tyypin II-lihassolujen määrän ja koon väheneminen vanhetessa (Häkkinen ym. 1996; Lexell ym. 1995). Tuloksissa havaittiin myös maksimaalisen voiman ja lihaksen CSA:n korrelaation vähenevän ikääntymisen myötä (Häkkinen ym. 1996).

Useassa tutkimuksessa huomataan dynaamisen maksimivoiman kehittymisen heikkeneminen vanhemmalla iällä (62–75-vuotiailla) (Frontera ym. 1988; Ivey ym. 2000; Lemmer ym. 2000; Welle ym. 1996). Tutkimusten mukaan vanhempien lihashypertrofia näyttäisi olevan nuoria vähäisempää vastusharjoittelun jälkeen (Frontera ym. 1988; Ivey ym. 2000; Welle ym. 1996), mikä viittaa lihaksen laadun paranemiseen. Ikääntymisen myötä motoristen hermosolujen määrä vähenee progressiivisesti (Enoka 2008, 436). Motoristen hermosolujen vähenemisen myötä myös toimivien motoristen yksiköiden määrä vähenee (McNeil ym. 2005, Enoka 2008, 437 mukaan). Esimerkiksi etummaisen säärilihaksen keskimääräisen hermotusmäärän perusteella toimivien motoristen yksiköiden määrän lasku nuorten miesten 150:stä vanhojen miesten (80–89 v) 59:ään vastaisi 50 960 lihassolun hermotuksen menettämisestä (Enoka 2008, 436). Näin myös potentiaali kehittää maksimivoimaa heikkenee ikääntymisen myötä.

Kirjallisuudessa on myös raportoitu hormonaalisia muutoksia vanhetessa, mikä voi vaikuttaa maksimivoiman kehittymiseen (Kraemer & Ratamess 2005). Kraemer ym. (1999) tutkivat testosteronipitoisuuksia nuorilla (30-vuotiailla) ja vanhoilla (60-vuotiailla) miehillä ennen ja jälkeen harjoitusjakson. He havaitsivat molempien ryhmien testosteronipitoisuuksien nousua sekä akuutisti harjoitusten aikana myöhemmin levossa. Nuorilla miehillä nousu oli kuitenkin suurempaa. (Kraemer ym. 1999) Vastaavasti on huomattu nuorten naisten (40-vuotiaiden) testosteronipitoisuuksien nousua akuutisti voimaharjoittelun jälkeen, mutta vanhempien naisten (70-vuotiaiden) ryhmässä testosteronipitoisuus ei noussut (Häkkinen ym. 2000). Naisten estrogeenitasojen ja voimaharjoittelun yhteydestä toteutetut tutkimukset ovat havainneet estrogeenin vaikuttavan negatiivisesti sarkopeniaan lisäämällä lihaksen spesifiä tensiota.

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella koehenkilöiden kehon vastetta voimaharjoitteluun 12 viikon interventiojakson aikana. Tutkimuskysymysten pohjalta tarkasteltava muuttuja on jalkaprässin yhden toiston maksimi ja sen suhde tutkittavan ikään sekä sukupuoleen.

Tutkimuskysymykset:

1. Vaikuttaako sukupuoli suhteelliseen muutokseen jalkaprässin yhden toiston maksimissa?
2. Onko ikäryhmillä eroja yhden toiston maksimin suhteellisissa ja absoluutteisissa muutoksissa?
3. Onko ikäryhmällä vaikutusta jalkaprässin yhden toiston maksimin muutoksen sukupuolieroihin?

Hypoteesit:

1. Ei. On näyttöä siitä, että naiset kehittävät harjoitusintervention aikana suhteellista 1 RM muutosta miehiä enemmän (Ahtiainen ym. 2016; Hubal ym. 2005) tai tilastollisesti merkitsevää eroa sukupuolten välillä ei ole (Abe ym. 2000; Lemmer ym. 1999; Walts ym. 2005). Jos huomioidaan vain absoluuttiset muutokset, kehittyvät miehet enemmän (Abe ym. 2000; Hubal ym. 2005; Lemmer ym. 1999; Walts ym. 2005).
2. On. Ikääntyminen vaikuttaa negatiivisesti 1 RM tapahtuvaan kasvun suuruuteen (Häkkinen ym. 1996; Ivey ym. 2000; Welle ym. 1996). Ei ole selvää, missä ikäryhmässä tapahtuu suurin kasvu yhden toiston maksimiin, mutta koska maksimivoima on huipussaan 25–30-vuotiaana (McArdle ym. 2015), on kyseisessä iässä parhaimmat fysiologiset edellytykset voiman tuottoon. Voidaan olettaa, että tällöin 1 RM kasvu on suurin.
3. Ei. Miesten voimatasot laskevat ikääntymisen myötä naisia hitaammin (McArdle ym. 2015, 849). Voidaan olettaa vanhempien miesten ikäryhmien kasvattavan yhden toiston maksimiaan absoluuttisesti ja suhteellisesti vastaavaa naisten ikäryhmää enemmän. Muita merkittäviä eroja ei ole havaittu.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä kandidaatintutkielma toteutettiin osana laajempaa Jyväskylän yliopiston voimaharjoitus-tutkimusta. Mittaukset ja harjoitukset pidettiin liikuntatieteellisessä tiedekunnassa 2023 kevään ja syksyn aikana. Tutkimuksessa selvitettiin eri muuttujien yhteyttä voimaharjoittelun tuottamiin vasteisiin. Tämän tutkielman tarkoituksena oli tarkastella iän ja sukupuolen vaikutusta jalkaprässin yhden toiston maksimin muutokseen.

6.1 Tutkittavat

Osallistujat rekrytoitiin tutkimukseen sosiaalisen median ja sanomalehtien ilmoituksilla. Osallistuminen oli täysin vapaaehtoista ja osallistujille annettiin tietoa osallistumiseen liittyvistä eduista ja mahdollisista riskeistä. He saivat keskeyttää tutkimuksen milloin tahansa ilman syytä, ja he antoivat tietoisesti suostumuksensa tutkimukseen.

Tutkimukseen osallistui 18–45-vuotiaita harjoittelemattomia tutkittavia. Osallistuakseen heidän tuli olla perusterveitä (ei sydän- ja verisuonisairauksia tai harjoitteluun vaikuttavia tuki- ja liikuntaelinsairauksia tai lääkityksiä). Poissulkukriteereinä olivat lisäksi vastusharjoittelun vasteisiin vaikuttavat tekijät, kuten kehon massaindeksi (BMI) ja säännöllinen harjoittelu viimeisen kuuden kuukauden aikana. Yhteensä 204 osallistujaa aloitti tutkimuksen, joista kesken lopettaneiden jälkeen jäi 174 tutkittavaa. Tutkimuksessa jätettiin huomiotta tutkittavat, joilla oli interventiojakson aikana suorituskykyä heikentäviä tekijöitä, kuten sairastelua, yli 6 kg painon laskua tai harjoitukseen osallistuminen oli alle 85 %. Tutkittavia jäi jäljelle 168. Heistä 114 oli naisia ja 54 miehiä. Tässä tutkielmassa tutkittavat jaettiin myös alle 40- ja yli 40-vuotiaiden ryhmiin. Alle 40-vuotiaita naisia oli 81 ja miehiä 35. Yli 40-vuotiaita naisia oli 33 ja miehiä 19. Taulukossa 3 on koottuna tutkittavien perustiedot (ikä, pituus, paino, rasvaprosentti ja painoindeksi).

TAULUKKO 3. Tutkittavien perustiedot sukupuolittain

	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasvaprosentti (%)	Painoindeksi (kg/m ²)
Naiset (n=117)	36,2 ± 6,3	165,5 ± 6,4	70,8 ± 14,0	32,2 ± 8,4	25,8 ± 4,5
Miehet (n=57)	36,2 ± 6,6	178,9 ± 6,8	86,2 ± 12,9	24,3 ± 6,4	26,9 ± 3,2

6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin interventiotutkimuksena. Kaikki tutkittavat suorittivat alkutestit, joiden jälkeen he osallistuivat 12 viikon voimaharjoittelujaksolle. Jakson aikana harjoiteltiin kaksi kertaa viikossa noin tunnin verran. Jakson jälkeen alkutestien muuttujat mitattiin lopputesteissä. Mittaukset toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorion tiloissa ja voimaharjoitukset tehtiin liikuntatieteellisen tiedekunnan kuntosalilla. Alku- ja loppumittauksiin sisältyivät paastomittaukset mukaan lukien kehonkoostumus ja verinäyte, joiden jälkeen vastus lateraliksen koon (ultraääni) ja voiman (kevennyshyppy, jalkaprässi, puristusvoima) mittaukset. Loppumittaukset suoritettiin 4–7 päivää viimeisen harjoittelun jälkeen. Osallistujia kehoitettiin olemaan tekemättä rasittavaa liikuntaa paria päivää ennen mittauksia.

Lämmittely. Ennen voimamittauksia ja harjoituksia, osallistujat suorittivat vakioidun lämmittelyn. Lämmittely aloitettiin kolmen minuutin polkupyöräergometrillä, jonka jälkeen suoritettiin ilmakyykkyjä, askelkyykkyjä, mittarimatoja ja polvennostoja. Harjoituksissa näiden lisäksi tehtiin ylävartalon lämmittelyliikkeitä, joita ei toteutettu alku- ja loppumittauksissa.

Jalkaprässi. Polvi- ja lonkkanivelten ojentajienmaksimivoima testattiin lämmittelyn ja kevennyshyppyjen jälkeen DAVID 201-nimisellä horisontaalisella jalkaprässillä. Lämmittelysarjoihin kuuluivat 10 toistoa ja 5 toistoa kevyemmällä kuormilla. Testissä tutkija veti jalkaprässin kuorman ensin ylös niin, että tutkittavan polvet ojentuivat. Tästä asennosta tutkittava suoritti kontrolloidun eksentrisen vaiheen, joka valmisti tutkittavaa suoritukseen. Liike pysäytettiin sekunnin ajaksi ennen konsentrista vaihetta, jonka sai aloittaa tutkijan käskystä. Kuormaa lisättiin asteittain, kunnes tutkittava ei pystynyt suorittamaan onnistunutta toistoa. Maksimikuorma määritettiin 2,5 kg:n tarkkuudella. Lopputesteissä painojen määrittäminen aloitettiin alkutestien painolla, jota lisättiin progressiivisesti.

Vastusharjoittelujakso. Harjoituksissa toteutetut liikkeet koostuivat jalkaprässistä, jalkojen ojennuksesta, penkkipunnerruksesta, hauiskäännöistä ja kulmasoudusta. Lämmittelysarjan jälkeen jokaisessa liikkeessä suoritettiin kolme sarjaa kahden minuutin tauoilla sarjojen ja liikkeiden välissä. Jokaisen sarjan tavoitteena oli 8–12 toistoa, mutta viimeinen sarja tehtiin epäonnistumiseen asti. Kuormitus lisääntyi progressiivisesti koko intervention ajan, jos osallistujat pystyivät suorittamaan toistoja enemmän kuin tavoitealue. Kuormitus väheni, jos toistot eivät

yltäneet tavoitealueeseen. Kaikki harjoitukset olivat ohjattuja eikä ohjelmoinnin ulkopuolista harjoittelua sallittu.

6.3 Tilastolliset analyysit

Tulosten analysoinnissa käytettiin IBM SPSS Statistics 27.0 ja Microsoft Excel 2018 laskenta-ohjelmistoja. Tutkittavat jaettiin sukupuolen mukaan ja alle ja yli 40-vuotiaiden ryhmiin perustuen ikään testien alkaessa. Kaikkien muuttujien; jalkaprässin alku- ja loppuarvot sekä suhteelliset ja absoluuttiset muutokset, sekä ikäryhmien ja sukupuolten normaalijakautuneisuus testattiin. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$. Ainoastaan alle 40-vuotiaiden tulokset erosivat hieman normaalijakaumasta, mutta koska otoskoko oli suuri ($n=116$) parametrisiä testejä käytettiin korrelaation ja keskiarvojen testaamiseen.

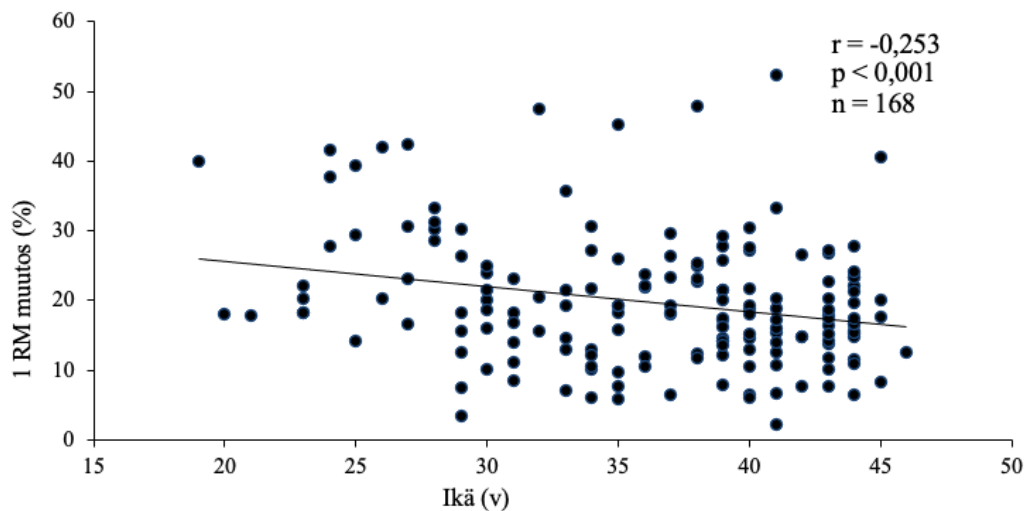
Iän ja jalkaprässin suhteellisen muutoksen tarkasteluun käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tutkimusjoukko jaettiin ensin sukupuolen mukaan ja jalkaprässin yhden toiston maksimin absoluuttista muutosta testattiin käyttämällä riippumattomien otosten t-testiä. Riippumattomien otosten t-testiä käytettiin myös muuttujakohtaisesti jaettuna tutkimusjoukko lisäksi ikäryhmiin (alle ja yli 40-vuotiaat). Ikä- ja sukupuoliryhmien pre- ja post-interventiojakson jalkaprässin tulosten keskiarvojen eroavaisuutta tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä. Sukupuolen vaikutusta suhteellisen muutoksen merkitsevyyden testaamisessa eri ikäryhmillä käytettiin kaksisuuntaista ANOVA:a.

7 TULOKSET

Tarkasteltavina muuttujina ovat jalkaprässin yhden toiston maksimit ennen (pre), sekä jälkeen (post) voimaharjoittelujakson. Lisäksi tarkastellaan jalkaprässin yhden toiston maksimin absoluuttista ja suhteellista muutosta naisilla ja miehillä alle ja yli 40-vuotiaiden ryhmissä. Korrelaatiota tarkastellaan koko tutkimusjoukon iän ja suhteellisten muutosten perusteella.

7.1 Muuttujien väliset korrelaatiot

Kuvassa 3 on jalkaprässin suhteellista muutosta ja ikää havainnollistava korrelaatiokuvaaja. Suhteellinen muutos yhden toiston maksimissa ja ikä kaikki tutkittavat huomioiden korreloivat negatiivisesti ($r = -0,253$). Tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$).

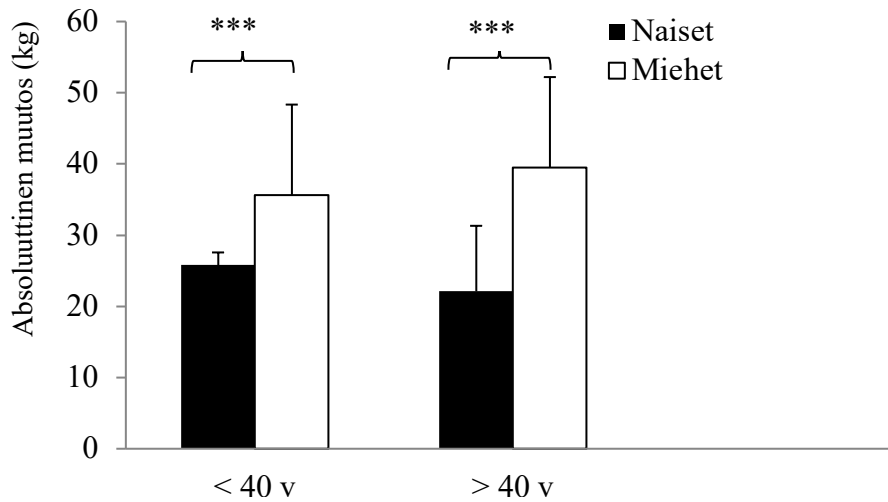


KUVA 3. Jalkaprässin suhteellisen muutoksen ja iän korrelaatio koko tutkimusjoukossa.

7.2 Muuttujien keskiarvojen vertailu

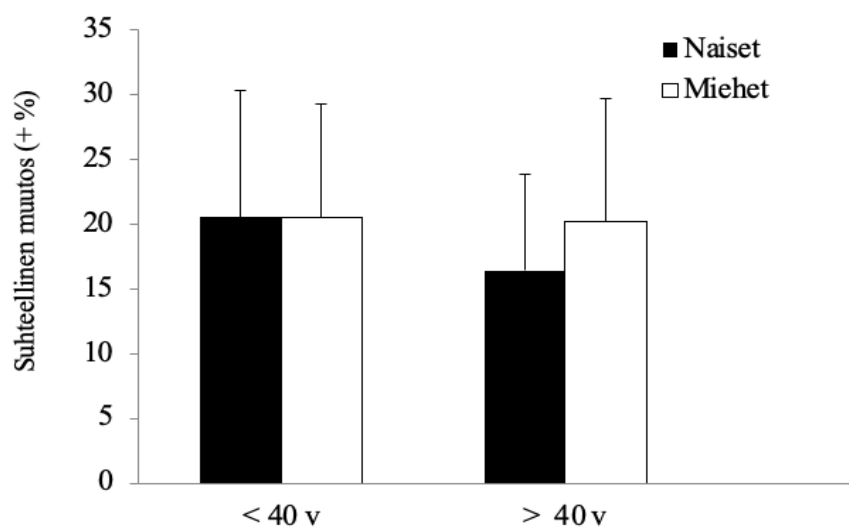
Jalkaprässin yhden toiston maksimin absoluuttisissa muutoksissa naisten ja miesten välillä nähtiin tilastollisesti merkitseviä eroja (24,7 kg vs. 37,0 kg), ($p < 0,001$). Ikäryhmien eroavaisuuksien selvittämiseksi tutkittavat jaettiin ikäryhmiin, joissa havaitaan taas tilastollisesti merkitsevät eroavaisuudet sukupuolten välillä ($p < 0,001$), mutta ei ikäryhmien välillä sukupuolen sisällä (KUVA 4). Alle 40-vuotiailla naisilla muutokset olivat 25,8 kg vs. yli 40-vuotiailla 22,1

kg. Miehillä muutokset olivat 35,6 kg vs. 39,5 kg. Alle ja yli 40-vuotiaiden naisten ($p = 0,075$) sekä alle ja yli 40-vuotiaiden miesten absoluuttisissa muutoksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.



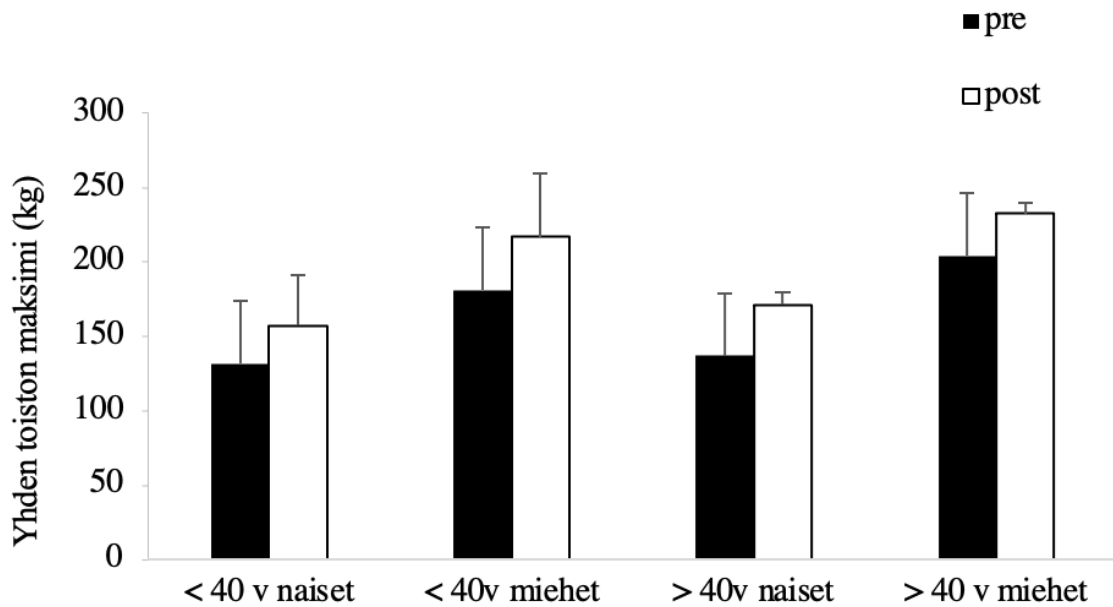
KUVA 4. Jalkaprässin yhden toiston maksimin absoluuttisen muutoksen (kg) keskiarvot ja keskihajonnat sukupuolittain sekä ikäryhmittäin. *** = sukupuolierot tilastollisesti merkitseviä

Jalkaprässin yhden toiston maksimin suhteelliset muutokset esitetty kuvassa 5. Tulokset eivät osoittaneet tilastollisesti merkitseviä eroja sukupuolten- tai ikäryhmien välillä. Keskimääräiset suhteelliset muutokset kaikki tutkittavat huomioiden olivat 19,7 %. Naisilla keskimääräinen kasvu oli 19,3 % ja miehillä 20,4 %.



KUVA 5. Jalkaprässin yhden toiston maksimin prosentuaalisten muutosten (%) keskiarvot ja keskihajonnat ikäryhmittäin sekä sukupuolittain.

Yhden toiston maksimi nousi jokaisella tutkittavalla. Ennen- ja jälkeen interventiojaksoa saadut tulokset on esitetty kuvassa 6. Ennen ja jälkeen- tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä jokaisessa ryhmässä ($p < 0,001$). Miesten 1 RM oli naisia suurempi tutkimuksen alussa (189,3 kg vs. 133,1 kg ($p < 0,001$)).



KUVA 6. Jalkaprässin yhden toiston maksimien ennen- ja jälkeen interventiojakson keskiarvot ja keskihajonnat ikäryhmittäin sekä sukupuolittain.

8 POHDINTA

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää sukupuolen ja iän vaikutusta jalkaprässin yhden toiston maksimin muutokseen 12 viikon interventiojakson aikana. Tutkittavat eivät olleet aikaisemmin tehneet säännöllistä kuntosaliharjoittelua. He aloittivat tutkimukseen osallistumisensa alkumittauksilla Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriossa. Tämän jälkeen he toteuttivat valvottua kuntosaliharjoittelua kaksi kertaa viikossa 12 viikon ajan. Jakson päätyttyä alkumittaukset toistettiin. Jalkaprässi sisältyi kuntosaliohjelmaan, mutta yhden toiston maksimia testattiin vain mittauksissa.

Jalkaprässin yhden toiston maksimi kasvoi jokaisella tutkittavalla hypoteesien mukaisesti. Jalkaprässin absoluuttinen kehitys erosi ikä- ja sukupuoliryhmittäin niin, että vanhemmat sekä miehet kehittivät 1 RM tuloksiaan enemmän. Tilastollisesti merkitsevää eroavaisuutta absoluutteisissa muutoksissa ikäryhmien välillä ei kuitenkaan ollut, kun jaettiin tutkittavat sukupuolittain. Suhteellinen kehitys korreloi negatiivisesti iän kanssa, mutta muuten tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia ei havaittu. Tässä osiossa käsitellään yhden toiston maksimin kasvua liittyen sukupuolen ja ikäryhmien välisiin eroihin ja verrataan niitä aiempaan tutkimusnäyttöön. Lisäksi pohditaan erilaisia tekijöitä, jotka ovat saattaneet vaikuttaa tuloksiin. Lopuksi tiivistetään yhteen tutkimuksen keskeiset havainnot ja pohditaan niiden sovelluksia sekä jatkotutkimuksen tarpeita.

8.1 Sukupuoli yhden toiston maksimin muutoksen selittäjänä

Jalkaprässin yhden toiston maksimin absoluuttinen kasvu oli hypoteesien mukaisesti miehillä tilastollisesti merkitsevästi suurempaa kuin naisilla (24,7 kg vs. 37,0 kg). Naisten lihassolujen, lihaksen poikkipinta-alan ja voimantuoton määrä on yleisesti 20–40 % pienempi kuin miesten. Jo naisten pienempi koko ja lihasmassan määrä vaikuttavat negatiivisesti maksimivoiman potentiaaliin kehittyä interventiojakson aikana. (Folland & Williams 2007) Naisten alhaisempien veren androgeenitasojen on myös oletettu aiheuttavan vähemmän suhteellista lihashypertrofiaa (Folland & Williams 2007), mikä vaikuttaa osaltaan (50–60 %) maksimivoiman kehittymiseen (Trezise & Blazevich 2019). Miesten suurempaa maksimivoiman kehittymistä on selitetty useilla tekijöillä, kuten hormonitoiminnalla ja lihasten rakenteellisilla eroavaisuuksilla. Testosteronin leposeerumipitoisuus on miehillä 10–40 kertaa korkeampi kuin naisilla (Kraemer &

Ratamess 2005). Testosteronin vaikutuksista erityisesti lihasmassaan on raportoitu (Snyder ym. 2000), mikä vaikuttaa suoraan myöskin maksimivoiman kehittymiseen.

Absoluuttisessa 1 RM kasvussa huomattiin tilastollisesti merkitseviä sukupuolten välisiä eroavaisuuksia myöskin ikäryhmiin jaettuna. Tämä viittaa siihen, ettei sukupuolten väliset eroavaisuudet maksimivoiman kehityksessä muutu ikääntyessä. Naisten vanhempi ryhmä kehitti keskiarvollisesti 1 RM tulostaan nuorempaa ryhmää vähemmän ja miehet nuorempaa ryhmää enemmän, vaikkei tilastollista merkitsevyyttä havaittu. Hypoteesien mukaan vanhemmat miehet saattaisivat kehittää absoluuttista maksimivoimaansa enemmän kuin vastaavan ikäryhmän naiset johtuen hitaammin laskevista maksimivoimatasoista. Toisaalta on havaittu, että naisten maksimivoimatasojen asteittainen lasku tapahtuu miehiä hieman myöhemmin. (McArdle ym. 2015, 849)

Yhden toiston maksimin suhteellisen muutoksen kasvussa ei huomattu tilastollisesti merkitseviä eroja sukupuolten välillä kummassakaan ikäryhmässä. Tämä oli hypoteesien mukaista, sillä suurta eroa ei aikaisemmissa tutkimuksissa ole havaittu. Erityisesti alavartalon voimaliikkeiden 1 RM kasvussa naisilla ja miehillä ei ole huomattu merkittävää eroavaisuutta (Abe ym. 2000; Häkkinen ym. 1996; Lexell ym. 1995; Roth ym. 2001). Maksimivoiman suhteelliseen muutokseen vaikuttaa merkittävästi lähtötaso. Yhden toiston maksimin ollessa pieni lähtötalanteessa, prosentuaalinen muutos kasvaa huomattavasti selkeämmin pienemmillä absoluuttisilla muutoksilla. Miehet olivat tutkimuksen alussa vahvempia kuin naiset. Miesten jalkaprässin keskimääräinen tulos ennen harjoitusjakson alkua oli 189,4 kg, kun taas naisilla 133,1 kg. Tämä selittää tilastollisesti merkitsevän suuremman absoluuttisen kehityksen miesten ryhmällä, jota ei havaita suhteellisessa kehityksessä.

Suhteelliset 1 RM muutokset ylävartalon liikkeissä ovat olleet joissain tutkimuksissa naisilla suurempia (Folland & Williams 2007). Tämän on esitetty johtuvan miesten keskimääräisesti jo valmiiksi vahvemmassa ylävartalon lihaksistosta, johon voi vaikuttaa mm. androgeenireseptorien suurempi määrä ylävartalossa (Kadi ym. 2000). Delmonico ym. (2005) tutkivat lihaksen laadun muutosta sukupuolen yhteydessä ja havaitsivat samanlaisen suhteellisen maksimivoiman muutoksen, mutta miesten suuremman hypertrofian, mikä tukisi myöskin Ivey ym. (2000) väitettä naisten tehokkaammasta hermostollisesta mukautumisesta. Lemmer ym. (2000) pohtivat, että naisten tehokas hermostollinen mukautuminen voimaharjoitteluun voisi johtua motoristen yksiköiden erilaisista rekrytointimalleista.

8.2 Ikäryhmä yhden toiston maksimin muutoksen selittäjänä

Tilastollisia merkitsevyyksiä ei huomattu ikäryhmittäisessä vertailussa. Aikaisemmissa tutkimuksissa alle 40-vuotiaat ovat kehittäneet sekä absoluuttisia että suhteellisia 1 RM tuloksiaan enemmän (Ivey ym. 2000; Welle ym. 1996). Useissa tutkimuksissa kuitenkin ikääntyneemmät ryhmät ovat olleet huomattavasti vanhempia (n. 60–80-vuotiaita). Ryhmät jaettiin niin, että yli 40-vuotiaissa vanhimmat tutkittavat olivat 45-vuotiaita. Voidaan olettaa, ettei vanheneminen näkynyt ryhmien keskiarvoillisessa vertailussa. Myöskään Ahtiainen ym. (2016) eivät havainneet ikäryhmien (alle 45- ja yli 60-vuotiaat) välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Aiemmissä tutkimuksissa ei olla vertailtu ikäryhmiä, jotka ovat hyvin lähellä toisiaan tämän tutkimuksen tavoin.

Hypoteesien mukaisesti ikä ja jalkaprässin suhteellinen muutos korreloivat negatiivisesti ($r=-0,253$). Korrelaatio ei ollut suurta, mutta hypoteesien mukaista, sillä maksimivoiman kehittymisen on todettu vähenevän ikääntymisen myötä. Tällöin motoristen hermosolujen määrä vähenee progressiivisesti (Enoka 2008, 436). Motoristen hermosolujen vähenemisen myötä myös toimivien motoristen yksiköiden määrä vähenee (McNeil ym. 2005, Enoka 2008, 437 mukaan). Ikääntyminen vähentää myöskin testosteronipitoisuutta akuutisti harjoituksen aikana sekä myöhemmin harjoituksen jälkeen (Häkkinen ym. 2000; Kraemer ym. 1999). Vaikka iässä havaittiin negatiivista korrelaatiota suhteelliseen muutokseen, ei ikäryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia. Tähän voi vaikuttaa se, että 20–30-vuotiaissa oli yli puolet n. 40 % tai enemmän maksimivoimaansa kasvattaneista tutkittavista (KUVA 3). Myöskään 18–28-vuotiaissa ei ollut tutkittavia, joilla 1 RM olisi kasvanut alle 10 %. Alle 40-vuotiaiden ryhmässä on kuitenkin mukana 30–40-vuotiaat, joten keskiarvotestien tulokset jäävät hieman alemmaksi.

Maksimivoiman suuruus riippuu merkittävästi hermoston toiminnasta (Manuel & Zytnicki 2011). Vanhemmilla tutkittavilla on huomattu lihaksen laadun paranevan nuorempaa ryhmää tehokkaammin (Häkkinen ym. 1996, Ivey ym. 2000, Welle ym. 1996), mikä viittaa hermostoliisiin adaptaatioihin. Lihaksen laadun paraneminen viittaa myös siihen, että vanhemmilla ryhmillä lihashypertrofia ei ole ollut voimaharjoittelujakson jälkeen yhtä suurta, kun nuorilla. Vaikka hermoston toiminnan on huomattu heikkenevän ikääntymisen myötä (Häkkinen ym.

1996) sen heikkeneminen alkaa tapahtua mahdollisesti myöhemmin, kuin lihashypertrofian väheneminen. Mikäli testeissä olisi testattu esimerkiksi usean toiston maksimia, saattaisi kehitys olla tilastollisesti merkitsevästi vähäisempää.

Mikäli tutkittavilta olisi mitattu hermostollisia tekijöitä ja hormonipitoisuuksia, olisi selittäviä tekijöitä voinut löytää. Iän vaikutuksia hormonaalisiin muutoksiin, kuten testosteronin ja kasvuhormonin pitoisuuksiin voimaharjoittelun yhteydessä on havaittu erityisesti nuorilla ja keski-ikäisillä tutkittavilla (Häkkinen ym. 2000). Samassa tutkimuksessa havaittiin testosteronin pitoisuuden korreloivan maksimivoiman kehityksen kanssa naisilla. Mikäli tämän tutkimuksen vanhempi ryhmä olisi ollut huomattavasti keski-ikää vanhempaa, olisi voitu olettaa maksimivoiman kehittymisen vähenevän selkeämmin.

8.3 Virhelähteet

Tutkimuksessa testattiin maksimivoimaa yhden toiston maksimin avulla, jolloin testin luotettavuus vaikuttaa merkittävästi tutkimuksen reliabiliteettiin. Yhden toiston maksimi on arvioitu luotettavaksi tavaksi testata maksimivoimaa (Levinger ym. 2009). Testin luotettavuus saattaa kärsiä harjoittelemattomilla ja niillä, jotka eivät ole koskaan aikaisemmin tehneet jalkaprässiä. Tämä saattoi näkyä erityisesti alkumittauksissa ennen voimaharjoittelujaksoa, jolloin oppimisella on ollut vaikutusta yhden toiston maksimin muutokseen. Liike ei ollut täysin sama kuin harjoitusohjelmassa, sillä maksimaalista konsentrista supistusta edelsi lyhyt pysäytys ja hidastettu eksentrisen vaihe. Voi siis olla, että liikkeen uusi suoritustapa vaikeutti loppumittaustenkin suorittamista.

Osa tutkittavista ei päässeet käyttämään tiettyä jalkaprässiä, vaan he suorittivat osan interventiojaksosta harjoitellen yhden jalan jalkaprässillä molemmilla jaloilla vuorotellen. On näyttöä siitä, että kahdella raajalla harjoittelu parantaa maksimivoimasuoritusta enemmän kuin yhden raajan harjoittelu (Liao ym. 2022). Tämän vaikutus ei kuitenkaan todennäköisesti ole tulosten kannalta suuri. Zhang ym. (2023) meta-analyysissä tilastollisesti merkitseviä eroja yhden/kahden raajan vastusharjoittelussa ei havaittu.

Tutkimukseen osallistui suuri määrä tutkittavia eikä kaikkien harjoitustaustoja voitu kontrolloida. Tutkimukseen osallistujien tuli olla tekemättä säännöllistä kuntosaliharjoittelua 6 kuu-

kauteen, tätä ei kuitenkaan valvottu ja tutkittavien harjoitustaustoissa saattoi olla eroavaisuuksia. Mittauksia edeltävinä päivinä tutkittavia kehoitettiin välttämään fyysistä raskautta, mutta heidän fyysisessä ja psyykkisessä vireystilassaan on mahdollisesti ollut eroavaisuuksia. Osa tutkittavista sairastui tai loukkaantui interventiojakson aikana, ja he joutuivat jättämään harjoituksia tekemättä, mikä voi vaikuttaa tuloksiin. Tutkittavien palautumista, kuten nukkumista ja ravintoa ei kontrolloitu.

Tutkimuksessa ikä- ja sukupuolijakaumat eivät olleet samansuuruisia keskenään. Naisia oli tutkimuksessa enemmän, mikä voi vaikuttaa tuloksiin. Myöskin ikäryhmien ko'issa oli eroavaisuuksia. Ryhmäjoista johtuvien virhelähteiden minimoimiseksi tilastolliset testit toteutettiin käyttämällä ikäryhmien rajana myös 37-vuotiaita. Tälläkään ikäryhmien jaoilla ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

8.4 Yhteenveto

Harjoitusohjelman tavoitteena oli parantaa aiemmin harjoittelemattomien osallistujien lihasvoimaa, lihasmassaa sekä edistää heidän terveyttään ja hyvinvointiaan. Samalla tutkittiin vastusharjoittelun aiheuttamia muutoksia lihasvoimassa ja -massassa. Kyseinen voimaharjoitusohjelma johti keskimääräisesti noin 20 % maksimivoiman kasvuun. Maksimivoimassa havaittiin kuitenkin selvää yksilöllistä vaihtelua. Jokaisen tutkittavan maksimivoima nousi, joten voidaan todeta, että voimaharjoittelusta on hyötyä lähes kaikille yksilöille. Tutkimus osoitti myös, että voimaharjoittelun vasteiden yksilöllistä vaihtelua esiintyy kaikissa ikä- ja sukupuoliryhmissä. Vaikka yhden toiston maksimin suhteellinen kehitys olisi suurta, absoluuttinen voimantuotto voi silti olla vähäistä. Tutkittavat olivat harjoittelemattomia, joten heidän yksilölliset tavoitteensa kuuluvat todennäköisimmin terveydellisiin hyötyihin ja oman tuloksen kehittämiseen. Tällöin suhteellisen kehityksen tarkastelu voi olla oleellisempaa ja heillä tulokset näkyvät suhteellisessa kehityksessä selkeämmin, kun harjoitelleilla yksilöillä.

Tulokset olivat pääosin hypoteesien mukaisia, sillä suhteellinen 1 RM muutos ei eronnut sukupuolten välillä, eikä ikäryhmillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia. Absoluuttiset muutokset olivat miehillä suuremmat, mikä on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Su-

kupuolten välisiä eroavaisuuksia voimaharjoittelussa ei vielä tunneta täysin, mutta niitä on selitetty muun muassa lihaksen rakenteellisilla tekijöillä, neuraalisilla muutoksilla sekä hormonaalisella toiminnalla. Tulevaisuudessa selittäviä tekijöitä tulisi tutkia enemmän.

LÄHTEET

- Abe, T., DeHoyos, D., Pollock, M. & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol* **81**, 174–180. doi: 10.1007/s004210050027.
- Ahtiainen, J. (2014). Maksimi- ja nopeusvoiman kehittäminen tukee tehokasta ja taloudellista lajisuoritusta. *Liikunta ja tiede* 51(2–3), 61–65.
- 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 1–13.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations, and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European journal of applied physiology*, 89, 555-563.
- Aizawa, K., Akimoto, T., Inoue, H., Kimura, F., Joo, M., Murai, F. & Mesaki, N. (2003). Resting serum dehydroepiandrosterone sulfate level increases after 8-week resistance training among young females. *European journal of applied physiology* 90 (5-6), 575–580. doi:10.1007/s00421-003-0912-5.
- Berger, R.A. (1962). Optimum repetitions for the development of strength. *Res.* Q33,34-348.
- Bhasin, S., Storer, T. W., Berman, N., Callegari, C., Clevenger, B., Phillips, J., Bunnell, T. J., Tricker, R., Shirazi, A. & Casaburi, R. (1996). The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *New England Journal of Medicine* 335(1), 1-7.
- Barber-Westin, S. D., Noyes, F. R. & Galloway, M. (2006). Jump-land characteristics and muscle strength development in young athletes: a gender comparison of 1140 athletes 9 to 17 years of age. *The American journal of sport medicine* 34 (3), 375-384.
- Churchward-Venne, T., Tieland, M., Verdijk, L. B., Leenders, M., Dirks, M. L., de Groot, L. C. & van Loon, L. J. C. (2015). There Are No Nonresponders to Resistance-Type Exercise Training in Older Men and Women. *Journal of the American Medical Directors Association* 16(5), 400-411. doi: 10.1016/j.jamda.2015.01.071.
- Cornie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41 (1), 17–38. doi: 10.2165/11537690-000000000-00000.

- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D.W. & McElhannon, F. M. (1988). Muscle hypertrophy in men. *Med Sci Sports Exercise* 20, 338-344.
- Delmonico, M. J., Kostek, M. C., Doldo, N. A., Hand, B. D., Bailey, J. A., Rabon-Stith, K. M., Conway, J. M., Carignan, C. R., Lang, J., & Hurley, B. F. (2005). Effects of moderate-velocity strength training on peak muscle power and movement velocity: do women respond differently than men? *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. 1985), 99(5), 1712–1718. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01204.2004>
- Enoka, R. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. 4. painos. Champaign, IL: Sheridan Books. 397.
- Erskine, R. M., Jones, D. A., Maganaris, C. N. & Degens, H. (2009). In vivo specific tension of the human quadriceps femoris muscle. *European journal of applied physiology* 106, 827-838.
- Fisher, J., Steele, J., Bruce-Low, S. & Smith, D. (2011). Evidence based resistance training recommendations. *Medicina Sportiva* 15(3), 147-162.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G. & Evans, W. J. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of applied physiology* 64(3), 1038-1044.
- Grgic, J., Lazinica, B. & Schoenfeld, B. J. (2020). Test–Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: a Systematic Review. *Sports Med* 6 (31) doi: 10.1186/s40798-020-00260-z.
- Hall, J. & Guyton, A. (2021). *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Hubal, M., Gordish-Dressman, H., Thompson, P., Price, T., Hoffman, E., Angelopoulos, T., Gordon, P., Moyna, N., Pescatello, L., Visich, P., Zoeller, R., Seip, R. & Clarkson, P. (2005). Variability in Muscle Size and Strength Gain after Unilateral Resistance Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(6), 964-972. doi: 10.1249.01.mss.0000170469.90461.5f.
- Hunter, S. K. (2014). Sex differences in human fatigability: Mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiologica* 210 (4), 768–789. doi:10.1111/apha.12234.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U. M., Newton, R. U., Kraemer, W. J. (1996). Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 158, 77–88.

- Häkkinen, K., Komi, P. & Tesch, P. (1981). Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand J Sports Sci* 3, 50–8.
- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. (1995). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med* 16, 507–13.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. (2000). Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences* 55(2), B95.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kyröläinen, H., Cheng, S., Kim, D. H. & Komi, P. V. (1990). Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *International Journal of Sports Medicine* 11(02), 91-98.
- 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, 987-994.
- Kadi, F., Bonnerud, P., Eriksson, A., & Thornell, L. E. (2000). The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic-anabolic steroids. *Histochemistry and cell biology*, 113(1), 25–29. <https://doi.org/10.1007/s004180050003>
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics* 33 (10), 1197–1206. doi: 10.1016/S0021-9290(00)00064–6.
- Kraemer, W. J., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Thomas, G. A., Clark, J. E. & Nindl, B. C. (2010). Growth hormone, exercise, and athletic performance: a continued evolution of complexity. *Current sports medicine reports* 9(4), 242–252.
- Kraemer, W. J., Gordon S. E., Fleck S. J., Marchitelli L. J., Mello R., Dziados J. E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A. C. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int. J. Sports Med.* 12, 228–235. doi: 10.1055/s-2007-1024673.
- Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Newton, R. U., Bradley, C. N., Jeff, S. V., McCormick, M., Lincoln, A., Gordon, S. S., Fleck, S. J., Campbell, W. W., Putukian, M. & Evans, W. J. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs older men. *J Appl Physiol* 87, 982–92.

- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35, 339–361. doi: 10.2165/00007256-200535040-00004.
- Lemmer, J. T., Hurlbut, D. E., Martel, G. F., Tracy, B. L., Ivey, E. J., Metter, E. J., Fozard, J. L., & Hurley, B. F. (2000). Age and gender responses to strength training and detraining. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(8), 1505-1512.
- Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D. & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of science and medicine in sport* 12(2), 310-316.
- Lowe, D. A., Baltgalvis, K. A., & Greising, S. M. (2010). Mechanisms behind estrogen's beneficial effect on muscle strength in females. *Exercise and sport sciences reviews*, 38(2), 61-67.
- Lexell, J., Downham, D. Y., Larsson, Y., Bruhn, E. & Morsing, B. (1995). Heavy-resistance training in older Scandinavian men and women: short-and long-term effects on arm and leg muscles. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 5(6), 329-341.
- Liao, K. F., Nassis, G. P., Bishop, C., Yang, W., Bian, C., & Li, Y. M. (2022). Effects of unilateral vs. bilateral resistance training interventions on measures of strength, jump, linear and change of direction speed: a systematic review and meta-analysis. *Biology of sport*, 39(3), 485–497. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.107024>.
- Manuel, M., & Zytnicki, D. (2011). Alpha, beta and gamma motoneurons: functional diversity in the motor system's final pathway. *Journal of integrative neuroscience*, 10(03), 243-276.
- Martini, F. & Nath, J. L. (2009). *Fundamentals of anatomy & physiology*. 8. painos. Boston, Mass. Addison-Wesley.
- Widdowson, M. W., & Gibney, J. (2010). The effect of growth hormone (GH) replacement on muscle strength in patients with GH-deficiency: a meta-analysis. *Clinical endocrinology*, 72(6), 787-792.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. 8. painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Miller, A. E. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Europ. J. Appl. Physiol* 66, 254–262. doi: 10.1007/BF00235103.
- Moilanen, P. (2008). *Biomekaniikka 1. Luentomateriaali*. Jyväskylän Yliopisto. 15.11. 2023.

- Moritani, T. & DeVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American journal of physical medicine & rehabilitation* 58(3), 115-130.
- 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.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A., Björkqvist, S. E. (1991). *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. 7. painos. WSOY.
- Pritzlaff-Roy, C. J., Widemen, L., Weltman, J. Y., Abbott, R., Gutgesell, M., Hartman, M. L., Weldhuis, J. D. & Weltman, A. (2002). Gender governs the relationship between exercise intensity and growth hormone release in young adults. *Journal of applied physiology*, 92(5), 2053–2060.
- Pöllänen, E., Ronkainen, P., Suominen, H., Takala, T., Koskinen, S., Puolakka, J., Sipilä, S. & Kovanen, V. (2007). Muscular transcriptome in postmenopausal women with or without hormone replacement. *Rejuvenation research* 10(4), 485-500.
- Reggiani, C. & Schiaffino, S. (2020). Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *European journal of translational myology* 30(3).
- Riechman, S. E., Fabian, T. J., Kroboth, P. D. & Ferrell, R. E. (2004). Steroid sulfatase gene variation and DHEA responsiveness to resistance exercise in MERET, *Physiol Genomics*. American Physiological Society 17, 300–306.
- Roth, S. M., Ivey, F. M., Martel, G. F., Lemmer, J. T., Hurlbut, D. E., Siegel, E. L., Metter, E.J., Fleg, J.L., Fozard, J.L., Kostek, M. C., Wernick, D. M. & Hurley, B. F. (2001). Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *Journal of the American Geriatrics Society* 49(11), 1428-1433.
- Rutherford, O. M. & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55, 100-105.
- Sale, D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exercise*.
- Sillanpää, E., Ollikainen, M., Kaprio, J., Wang, X., Leskinen, T., Kujala, U. M. & Törmäkangas, T. (2019). Leisure-time physical activity and DNA methylation age - a twin study. *Clin. Epigenetics* 11, 12–18. doi: 10.1186/s13148-019-0613-5.
- Simoneau, J. A. & Bouchard, C. (1995). Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *The FASEB journal* 9(11), 1091-1095.

- Snyder, J., Peachey, H., Berlin, J. A., Hannoush, P., Haddad, G., Dlewati, A., Santanna, J., Loh, L., Lenrow, D. A., Holmes, J. H., Kapoor, S., Atkinson, L. E. & Strom, B. L. (2000). Effects of Testosterone Replacement in Hypogonadal Men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 85(8), 2670–2677, doi:/10.1210/jcem.85.8.6731.
- Spangenburg, E & Booth, F. (2000) Molecular regulation of individual skeletal muscle fibre types. *Acta Physiol Scand*, 178-413.
- Stone, M. H. (1993). Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exercise* 41(3), 687–708.
- Storer, T. W., Magliano, L., Woodhouse, L., Lee, M. L., Dzekov, C., Dzekov, J., Casaburi, R. & Bhasin, S. (2003). Testosterone dose-dependently increases maximal voluntary strength and leg power but does not affect fatigability or specific tension. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 88(4), 1478-1485.
- Trappe, S., Godard, M., Gallagher, P., Carroll, C., Rowden, G. & Porter, D. (2001). Resistance training improves single muscle fiber contractile function in older women. *Am J Physiol Cell Physiology*.
- Trezise, J. & Blazevich, A. J. (2019). Anatomical and neuromuscular determinants of strength change in previously untrained men following heavy strength training. *Frontiers in Physiology* 10, 1001.
- Trezise, J., Collier, N. & Blazevich, A. J. (2016). Anatomical and neuromuscular variables strongly predict maximum knee extension torque in healthy men. *European journal of applied physiology* 116, 1159-1177.
- Viecelli, C. & Ewald, C. Y. (2022). The non-modifiable factors age, gender, and genetics influence resistance exercise. *Frontiers in Aging* 97.
- Walt, C. T., Hanson, E. D., Delmonico, M. J., Yao, L., Wang, M. Q. & Hurley, B. F. (2008). Do sex or race differences influence strength training effects on muscle or fat?. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(4), 669.
- Welle, S., Totterman, S. & Thornton, C. (1996). Effect of age on muscle hypertrophy induced by resistance training. *J Gerontol Med Sci* 51, M270-M275.
- Zhang, W., Chen, X., Xu, K., Xie, H., Li, D., Ding, S., & Sun, J. (2023). Effect of unilateral training and bilateral training on physical performance: A meta-analysis. *Frontiers in physiology*, 14, 1128250.