

**SUKUPUOLEN VAIKUTUS TOISTOMAKSIMIIN JA SARJOJEN MÄÄRÄÄN
UUPUMUKSEEN ASTI TEHDYISSÄ VOIMAKUORMITUKSISSA**

Inka Kolho

Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2022

TIIVISTELMÄ

Kolho, I. 2022. Sukupuolen vaikutus toistomaksimiin ja sarjojen määrään uupumukseen asti tehdyissä voimakuormituksissa. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 40 s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sukupuolen mahdollisia vaikutuksia toistomaksimiin ja sarjojen määrään uupumukseen asti tehdyissä voimakuormituksissa. Tutkimus suoritettiin osana Jyväskylän yliopiston laajempaa voimatutkimusta.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 39 perustervettä aikuista, joista naisia oli 19 ja miehiä 20. Tutkittavat olivat iältään 20–40-vuotiaita. Tutkittavat jaettiin harjoitustaustan mukaan aloittelijoihin (n=14), voimailijoihin (n=12) tai fitnessurheilijoihin (n=13). Tutkimusasetelmana oli poikittaistutkimus, eli kaikki tutkittavat tulivat tutkimusmittauksiin yhden päivän ajaksi. Tutkimus tapahtui Jyväskylässä liikuntalaboratorion tiloissa.

Tarkasteltavina liikkeinä olivat hauiskääntö ja yhden jalan jalkaprässi. Jokaiselta tutkittavalta testattiin yhden toiston maksimit molemmissa liikkeissä. Lisäksi molemmissa liikkeissä suoritettiin toistomaksimi- ja sarjakuormitustesti. Sarjakuormituksessa tutkittavat suorittivat kahdeksan toiston sarjoja uupumukseen asti 30–90 sekunnin palautusajoilla. Toistomaksimi- ja sarjakuormituksissa käytettiin 50 % 1RM kuormaa hauiskäännössä ja 75 % 1RM kuormaa yhden jalan jalkaprässissä.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että sukupuolieroja voidaan havaita sarjakuormituksessa harjoitustaustasta riippumatta, vaikka toistomaksimissa ei olisikaan eroja. Merkittävin sukupuoliero oli yhden jalan jalkaprässin sarjakuormituksessa, jossa naiset suorittivat keskimäärin yhteensä 41,5 toistoa ja miehet 22 toistoa ($p < 0,001$). Hauiskäännön sarjakuormituksessa sukupuolieroja ei sen sijaan havaittu ($p = 0,351$). Tulosten perusteella ei kuitenkaan voida yksiselitteisesti sanoa, miksi sukupuolieroja havaittiin jalkaprässin sarjakuormituksessa mutta ei hauiskäännön. Tähän saattoi vaikuttaa esimerkiksi eri liike, töitä tekevän lihasmassan suuruus tai käytetty kuorma. Näyttäisi kuitenkin siltä, että erityisesti yhden jalan jalkaprässissä 75 % 1RM kuormalla naisilla olisi parempi kyky ylläpitää suorituskyykyä usean sarjan kuormituksessa.

Asiasanat: sukupuoli, toistomaksimi, suorituskyyky, lihasväsymys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 SUORITUSKYVYN LASKU VOIMAKUORMITUKSESSA.....	2
2.1 Mekanismit suorituskyvyn laskun taustalla.....	3
2.2 Toistomaksimikuormitus	5
2.3 Sarjakuormitus.....	7
2.4 Kuorman määrittäminen voimakuormituksessa	9
3 POTENTIAALISET SELITTÄVÄT TEKIJÄT SUKUPUOLIEROIHIN	10
3.1 Lihaskoko ja verenkierto	10
3.2 Lihassolutyypit	11
3.3 Tahdonalainen aktivaatio.....	12
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEJÄT	14
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	15
5.1 Tutkittavat.....	15
5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu	17
5.3 Tilastolliset analyysit.....	19
6 TULOKSET.....	20
7 POHDINTA.....	25
7.1 Toistomaksimi	26
7.2 Sarjakuormitus.....	27
7.3 Virhelähteet	30
7.4 Yhteenveto.....	31
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Lihaskeskeisyys ja -kestävyys ovat tärkeitä ominaisuuksia niin urheilusuorituksessa kuin jokapäiväisissä askareissakin. Voimaharjoittelu on tehokas keino kasvattaa lihasvoimaa, ja erilaisia metodeja sekä tekniikoita lihasvoiman kasvattamiseen on tutkittu paljon. Sopivan harjoituskuorman määrittäminen on yksi tärkeimmistä tekijöistä voimaharjoitusta suunniteltaessa. Harjoituskuorman määrittäminen edellyttää tarkkaa tietoa toistojen määrästä, joka voidaan suorittaa tietyllä prosenttiosuudella yhden toiston maksimista. Toistojen määrä tietyllä prosenttiosuudella ei kuitenkaan ole vakio, vaan siihen vaikuttavat monet tekijät lihaskestävyyden taustalla. Esimerkiksi 80 % kuormalla yhden toiston maksimista harjoittelemattomat miehet voivat jalkaprässissä suorittaa 15 toistoa, kun taas voimanostajat 22 toistoa (Kraemer ym. 1999). Lisäksi toistojen määrä voi vaihdella runsaasti myös henkilöillä, joilla harjoitustausta on samankaltainen (Shimano ym. 2006).

Toistojen määrän ja intensiteetin välistä suhdetta on tutkittu paljon. Toistomaksimit ja tietyt prosenttiosuudet yhden toiston maksimista (% 1RM, one repetition maximum) ovat yleisimpiä ja helpoimpia tapoja määrittää vastusharjoittelun intensiteetti. Toistomaksimiin tietyllä kuormalla vaikuttaa kuitenkin moni muuttuja, kuten harjoitustausta, suoritettava liike, liikenopeus ja osallistuva lihasmassa. (Arazi & Asadi 2011) Joka tapauksessa harjoitteluohjelman tavoitteena on lisätä luurankolihasien toimintaa, ja näin ollen vaikuttaa maksimaalisen lihasvoiman lisäksi myös lihaskestävyyteen ja kykyyn ylläpitää voimantuottoa. Lihaskeskeisyys on lihaksen kykyä ylläpitää toimintaansa useiden supistusten aikana ja sitä voidaan tarkastella voiman vähenemisenä, joka on seurausta suorituskyvyn laskusta harjoituksen aikana.

Suurin osa voimaharjoitteluohjelmien toteuttamisen kulmakivistä ei ota huomioon sukupuolta, vaikka sukupuolella saattaa olla merkitystä voimaharjoittelun aiheuttamiin vasteisiin ja siihen adaptoitumiseen. Tähän asti tehdyissä tutkimuksissa on ollut tukittavina pääosin ainoastaan miehiä, joten nykyiset ohjenuorat voimaharjoitteluun eivät välttämättä ole optimaalisia naisille. Jos miesten ja naisten väsymisessä ja palautumisessa voimaharjoituksen aikana on eroja, voi optimaalisen harjoitusvolyymien määrä vaihdella sukupuolten välillä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä havaitsemaan mahdollisia sukupuolieroja normaalia voimaharjoitusta jäljittelevässä protokollassa ja tarkastella, onko sukupuolten välillä eroja toistomaksimissa tai usean sarjan kuormituksessa.

2 SUORITUSKYVYN LASKU VOIMAKUORMITUKSESSA

Suorituskyvyn lasku on usein peräisin lihasväsymyksestä (Wan ym. 2017). Tässä tutkimuksessa väsymyksellä viitataan voimantuoton laskuun. Väsymys voi olla peräisin sentraalisista tai perifeerisistä tekijöistä. Keskushermostosta peräisin oleva sentraalinen väsymys heikentää lihakseen menevien hermoimpulssien kulkua vähentäen näin luurankolihasien aktivaatiota. Perifeerinen väsymys sen sijaan syntyy muun muassa muutoksista hermolihaskuituksessa ja aiheuttaa voimantuoton heikentymistä. Perifeeristä väsymystä aiheuttavat aineenvaihduntatuotteet, kuten protonit ja epäorgaaninen fosfaatti sekä energiavarastojen hiipuminen. Erityisesti aineenvaihdunnalliset tekijät ja heikentynyt kyky tuottaa lihassupistus vaikuttavat lihasväsymykseen. (Wan ym. 2017)

Suorituskyvyn laskuun ja väsymykseen liittyvät aiemmin tehdyt tutkimukset koskevat tyypillisesti miehiä eikä eroja sukupuolten välillä ole tutkittu kovinkaan paljon. Naisten ja sukupuolierojen vähäisempi tutkiminen voivat aliarvioida tutkimustuloksissa nähtäviä sukupuolten välisiä eroja väsymyksessä ja suorituskyvyssä. Tähän mennessä tehtyjen tutkimusten perusteella sukupuolella on kuitenkin havaittu olevan merkitystä suorituskyvyn laskuun voimaharjoituksen aikana. Naisten on havaittu väsyvän hitaammin kuin miesten tietyllä kuormitustasolla. Esimerkiksi ylläpidettäessä samaa intensiteetiltään matalaa tai kohtalaista suhteellista supistusta kyynärpäähän koukistajalihaksissa, naisilla havaittiin pidempi aika uupumukseen kuin miehillä, jotka olivat vahvempia (Hunter ym. 2004).

Sukupuolten välisiä eroja suorituskyvyn laskussa on kuitenkin tutkittu verrattain paljon isometrisissä suorituksissa, eivätkä erot dynaamisten suoritusten osalta ole yhtä selkeitä. On myös huomioitava, että suorituksen väsyttävyyteen todennäköisesti vaikuttavat lihastyötavan lisäksi suoritusnopeus, lihassupistuksen intensiteetti sekä liikkeeseen osallistuvat lihakset. (Hunter 2014) Dynaamisia suorituksia onkin siis syytä tutkia enemmän ja erityisesti protokollia, jotka jäljittelevät normaalia voimaharjoittelua.

2.1 Mekanismit suorituskyvyn laskun taustalla

Voimaharjoituksen aikana tapahtuvan suorituskyvyn laskun mekanismit eivät ole täysin selvillä. Suorituskyvyn laskun ja lihasväsymyksen syinä voidaan pitää useita tekijöitä motoneuronialtaan aktivaation heikentymisestä aina poikkisiltojen muodostumisen heikentymiseen (Hunter 2016). On jo pitkään oletettu, että hapen saatavuus lihaksissa kuormituksen yhteydessä vaikuttaa muun muassa lihaksen fosfokreatiinivarastojen täydentymiseen (Haseler ym. 1999; Sahlin ym. 1979) sekä anaerobisten metaboliittien konsentraatioihin (Linnarsson ym. 1974), mikä voi vaikuttaa suorituskykyyn, lihasväsymykseen ja akuuttiin palautumiseen. Perinteisesti lihasväsymystä selitetään laktaatti- ja vetyionien kertymisellä, joka aiheuttaa lihaksen supistuvien proteiinien toimintahäiriöitä. (Allen ym. 2008; Wan ym. 2017) Lihassupistukset aktivoivat adenosiinitrifosfaateja (ATPaasi) ja edistävät glykolyysiä, mikä johtaa solunsisäisten metaboliittien lisääntymiseen. Lihaksen verenkierto vaikuttaa voimaharjoittelun aikaiseen väsymiseen, ja voimakkaat lihassupistukset voivat osittain tukkia valtimot rajoittaen näin verenkiertoa ja hapensaantia. Hapensaannin estyessä glykolyysissä syntynyt pyruvaatti pelkistyy maitohapoksi, joka hajoaa laktaatti- ja vetyioneiksi. Riittämätön hapensaanti ei kuitenkaan aina ole laktaatin tuotannon pääsyy. (Theofilidis ym. 2018)

Vetyionien kertyminen laskee pH-arvoa, mikä mahdollisesti heikentää kalsiumionien vapautumista sarkoplasmisesta kalvosta ja poikkisiltojen muodostumista. Tämä heikentää kykyä tuottaa voimaa. (Allen & Trajanovska 2012; Wan ym. 2017) Laktaatin kertyminen ja pH:n lasku riippuvat lihassoluista vapautuvien protonien ja laktaatti-ionien määrän lisäksi solunsisäisistä puskurointimekanismeista ja laktaatin poistosta. Messonnier ym. (2007) tarkastelivat pH:n säätelyn ja laktaatti- sekä vetyionien kertymisen vaikutusta lihastyöhön submaksimaalisessa kuormituksessa. Tutkimuksessa havaittiin, että pH:n lasku ja laktaatin kertyminen heikensivät suorituskykyä. Tämä viittaisi siihen, että lihaksen happamoitumisella olisi vaikutus suorituskyvyn laskuun. Tiedetään kuitenkin, että näiden ionien kertyminen ja lihaksen happamoituminen eivät yksinään selitä väsymystä, vaan monet erilaiset mekanismit johtavat väsymykseen.

Aktiivisen lihasmassan määrän on myöskin havaittu vaikuttavan hermolihaskäytön ja suorituskyvyn laskuun. Rossman ym. (2014) mittasivat aikaa uupumukseen liikkeissä, joissa käytettiin joko kokonaisvaltaisesti jalkojen lihasmassaa tai ainoastaan

polvenojentajalihaksia. Pienemmän aktiivisen lihasmassan liikkeissä aika uupumukseen oli pidempi ja perifeerinen väsymys suurempaa. Suorituskyvyn laskua voimaharjoituksessa on vertailtu myös yhden ja kahden raajan liikkeiden välillä. Matkowski ym. (2011) tutkivat erosivatko yhdellä ja kahdella jalalla uupumukseen asti tehdyt isometriset supistukset toisistaan. Tutkimuksessa raportoitiin pidempi aika uupumukseen yhdellä jalalla tehdessä. Koralin ym. (2020) tutkimuksessa sen sijaan havaittiin, että perifeerinen väsymys ei eronnut yhden ja kahden jalan polvenojennuksissa, vaikka hermostollinen aktiivisuus olikin alhaisempaa kahdella jalalla tehdessä.

On muistettava, että harjoitustaustallakin on suuri merkitys väsymyksen siedossa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että kestävyysurheilutaustaiset henkilöt kykenevät suorittamaan enemmän toistoja samalla suhteellisella kuormalla kuin voimalajien urheilijat. Richens ja Cleather (2014) havaitsivat tutkimuksessaan, että kestävyysurheilijat kykenivät suorittamaan jalkaprässissä keskimäärin 39,9 toistoa 70 % 1RM kuormalla ja 19,8 toistoa 75 % 1RM kuormalla. Voimalajien urheilijoille samaiset tulokset olivat 17,9 ja 11,9 toistoa. Voiman laskun pitkäaikaisen isometrisen supistuksen aikana on havaittu olevan yhteydessä laktaattikynnykseen (Morris ym. 2008). Tämä viittaisi siihen, että vähentynyt anaerobinen aineenvaihdunta auttaa sietämään väsymystä voimaharjoituksen aikana. Taustalla voi kuitenkin olla myös muita erilaisia adaptaatioita kestävyys- ja voimaharjoitteluun.

Myös harjoittelussa käytettyjen toistoalueiden on havaittu vaikuttavan väsymyksen sietoon. Campos ym. (2002) tutkivat harjoituksissa käytettyjen toistoalueiden merkitystä lihasadaptaatioihin. Tutkimuksessa 32 harjoittelematonta miestä jaettiin neljään ryhmään, ja jokaisen ryhmän 8 viikon voimaharjoitusohjelma erosi toistojen ja sarjojen määrässä sekä käytetyssä kuormassa. Alhaisimman toistomäärän ryhmä teki neljä 3–5 toiston sarjaa ja korkeimman toistomäärän ryhmä teki kaksi 20–28 toiston sarjaa. Maksimivoima kehittyi eniten alhaisimman toistomäärän ryhmällä, mutta toistomaksimi 60 % 1RM kuormalla sen sijaan kehittyi eniten korkeimman toistomäärän ryhmällä. (Campos ym. 2002) Panissan ym. (2013) tutkimuksessa selvitettiin EMG:n avulla harjoitustaustan vaikutusta kykyyn sietää hermolihasarjestelmän väsymystä. Tutkimuksessa vertailtiin kestävyysharjoitteluita, voima- ja kestävyysharjoitteluita sekä voimaharjoitteluita. Tutkittavat suorittivat neljä sarjaa 80 % 1RM kuormalla puolikykyssä kahden minuutin sarjapalautuksella. Kestävyysharjoitelleet suorittivat jokaisessa sarjassa enemmän toistoja kuin kaksi muuta ryhmää. Huolimatta havaituista eroista suorituskyvyssä, eroja hermolihasarjestelmän toiminnassa ei kuitenkaan

havaittu. Erot saattoivatkin johtua enemmän perifeeristä tekijöistä, kuten kapillaaritiheydestä, mikä tukee Terzisin ym. (2008) tuloksia.

2.2 Toistomaksimikuormitus

Harjoittelun intensiteetin ja volyymin määrittäminen on keskeinen asia voimaharjoitteluohjelmaa suunniteltaessa. Yksi lähestymistapa on määrittää maksimaalinen toistojen lukumäärä, joka suoritetaan tietyllä prosentiosuudella yhden toiston maksimista. Aiemmat tutkimukset ovat kuitenkin herättäneet epäilyksiä tämän menetelmän tarkkuudesta, sillä eri prosentiosuuksilla yhden toiston maksimista suoritettujen toistojen määrä voi vaihdella merkittävästi (Shimano ym. 2006; Douris ym. 2006; Terzis ym. 2008). Toistojen määrään voi vaikuttaa moni asia, mutta ainakin paikallisten lihaskestävyysominaisuuksien on havaittu vaikuttavan merkittävästi toistomaksimiin (Douris ym. 2006; Terzis ym. 2008).

Paikallinen lihaskestävyys määritellään lihaksen tai lihasryhmän kyvyksi jatkaa supistumista kuormituksessa tietyn ajan tai toistomäärän verran (Pekünlü & Atalağ 2013). Kuorman suuruuden on havaittu olevan selkeästi negatiivisesti yhteydessä toistomaksimiin harjoitustaustasta riippumatta (Shimano ym. 2006; Arazi & Asadi 2011). Toistojen määrä riippuu kuitenkin merkittävästi myös liikkeestä ja töitä tekevästä lihaksista. Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksessa havaittiin, että esimerkiksi 75 % 1RM kuormalla keskimääräinen toistomaksimi oli takakyykyssä 16,5, penkkipunnerruksessa 14 ja hauiskäännössä 12. Tämän tutkimuksen perusteella toistomaksimi siis näyttäisi kasvavan liikkeissä, joissa työskentelevä lihasmassa on suurempi. Nämä tulokset tukevat myös Shimanon ym. (2006) tutkimusta, jossa havaittiin, että jalkaprässissä toistomaksimi oli merkittävästi suurempi kuin esimerkiksi polvien koukistuksessa. Tästä syystä kuorman arvioinnissa yhden toiston maksimiin perustuen tulisi aina ottaa huomioon liike ja lihasmassa. Arazin ja Asadin (2011) sekä Shimanon ym. (2006) saamat tulokset ovat kuitenkin ristiriidassa Rossmannin ym. (2014) tekemien havaintojen kanssa, joiden mukaan pienemmän aktiivisen lihasmassan liikkeissä aika uupumukseen oli pidempi. Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksessa havaittiin myös, että kuormasta ja liikkeestä riippumatta voimalla ja toistomaksimilla ei näyttäisi olevan yhteyttä, kun voima on suhteutettu kehonpainoon.

Toistomaksimia on joissain tutkimuksissa käytetty apuna lihassolujakauman arvioimisessa. Esimerkiksi Hallin ym. (2021) tutkimuksessa tutkittiin 80 % 1RM kuormalla suoritettujen toistojen määrän yhteyttä tyypin II lihassoluihin vastus lateraliksessa. Tutkittavat olivat aktiivisia naisia ja miehiä. Ennen toistomaksimin määrittystä tutkittavilta määritettiin yhden toiston maksimi takakykyssä. Tutkimuksessa havaittiin, että henkilöillä, joiden toistomaksimi 80 % 1RM kuormalla takakykyssä oli 5–8 toistoa, oli huomattavasti enemmän tyypin II lihassoluja kuin henkilöillä, joilla toistomaksimi oli 11–15 toistoa. Niillä, joiden toistomaksimi oli 9–10 toistoa, tyypin I ja II lihassolujen määrä oli suunnilleen sama. Toistomaksimin ja lihassolujakauman yhteys ei liittynyt sukupuoleen, ikään, yhden toiston maksimiin, harjoitustaustaan tai tyypin II lihassolujen poikkipinta-alaan. (Hall ym. 2021)

Sukupuolieroja toistomaksimissa on tutkittu melko vähän dynaamisissa kuormituksissa ja tulokset ovat olleet ristiriitaisia. Hoeger ym. (1990) tutkivat sukupuolen vaikutusta toistomaksimiin erilaisilla kuormilla. Taulukosta 1 nähdään, että esimerkiksi kahden jalan jalkaprässissä sekä 60 % että 80 % 1RM kuormalla harjoitelleet naiset suorittivat keskimäärin enemmän toistoja kuin harjoitelleet miehet. Sen sijaan hauiskäännössä miesten toistomaksimi oli suurempi molemmilla kuormilla. Pinciveron ym. (2004) tutkimuksessa ei havaittu sukupuolten välisiä eroja toistomaksimissa 50 % 1RM kuormalla suoritettussa polven ojennuksessa. Samankaltaisia tuloksia havaittiin myös Clarkin ym. (2003) tutkimuksessa, jossa tehtiin toistomaksimi selänojennuksissa 50 % 1RM kuormalla maksimaalisesta tahdonalaisesta supistuksesta eikä tuloksissa havaittu sukupuolten välisiä eroja.

TAULUKKO 1. Harjoitelleiden naisten ja miesten keskimääräinen toistomaksimi 60 % ja 80 % 1RM kuormilla kahden jalan jalkaprässissä, penkkipunnerruksessa, polvenojennuksessa ja hauiskäännössä (mukailtu Hoeger ym. 1990).

Kuorma (% 1RM)	60 % toistomaksimi (keskiarvo)		80 % toistomaksimi (keskiarvo)	
	Naiset (n=26)	Miehet (n=25)	Naiset (n=26)	Miehet (n=25)
Jalkaprässi	57,3	45,5	22,4	19,3
Penkkipunnerrus	27,9	22,6	14,3	12,2
Polvenojennus	16,5	18,3	9,4	11,6
Hauiskääntö	16,3	21,3	6,9	11,4

2.3 Sarjakuormitus

Kun tehdään useita sarjoja, suoritukseen vaikuttaa myös kyky palautua, joka saattaa olla naisilla tehokkaampaa kuin miehillä. Sukupuolten välisiä eroja on havaittu miesten ja naisten akuuteissa korkean intensiteetin harjoitusvasteissa. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että naisilla on alhaisempi voiman heikkeneminen ja nopeampi palautumiskyky kohtalaisen tai korkean intensiteetin harjoituksen aikana kuin miehillä (Häkkinen 1993; Fulco ym. 1999; Sayers & Clarkson 2001; Laurent ym. 2010). Naisilla on osoitettu alempi veren laktaatti- ja adrenaliinipitoisuus (Laurent ym. 2010), vähäisempi ATP-varastojen ehtyminen, nopeampi ATP:n palautuminen ja vähäisempi glykokeenin hajoaminen tyypin I lihassoluissa (Esbjörnsson-Liljedahl ym. 2002) kuin miehillä maksimaalisen sprinttiharjoituksen seurauksena. Celes ym. (2010) osoittivat, että harjoittelemattomat naiset toipuvat nopeammin kuin miehet polvenojennuksessa kolmesta 10 toiston sarjasta palautusajan ollessa 60 – 120 sekuntia. Willardsonin ym. (2010) tutkimuksessa tarkasteltiin sukupuolten välisiä eroja harjoitelleilla takakyykystä palautumisessa. Kuormitusprotokollassa toistojen määrä pidettiin vakiona, mutta kuormaa kevennettiin tarvittaessa sarjojen palautuksien ollessa 60 sekuntia. Tutkimuksessa havaittiin, että miesten kuormia täytyi keventää 15 % toistomäärän säilyttämiseksi, kun taas naisten kuormia vain 10 %. Näyttäisi siis siltä, että naisilla väsymys on alhaisempaa ja palautuminen nopeampaa verrattuna miehiin, mutta lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan. (Willardson ym. 2010)

Sukupuolieroja suorituskyvyn laskussa on havaittu erityisesti lyhyillä palautusajoilla. Ratamess ym. (2012) tarkastelivat sukupuolieroja ylävartalokuormituksessa. Kuormituksessa suoritettiin kolme penkkipunnerrussarjaa 60 sekunnin palautusajalla. Naiset suorittivat keskimäärin 10 toistoa ensimmäisessä sarjassa, 9 toistoa toisessa sarjassa ja 8 toistoa kolmannessa sarjassa. Miehillä vastaavat toistomäärät sen sijaan olivat 10, 7 ja 4. (Ratamess ym. 2012) Samankaltaisia tuloksia saatiin myös eräässä hiljattain tehdyssä tutkimuksessa, kun naisten havaittiin pystyvän suurempaan harjoitusvolyymiin penkkipunnerruksessa submaksimaalisilla kuormilla tehdyssä dynaamisessa kuormituksessa (Nuckols 2019). Kyseisessä kuormitusprotokollassa tehtiin viiden toiston sarjoja 75 % 1RM kuormalla 90 sekunnin palautusajalla, kunnes viiden toiston tavoite ei enää täyttynyt. Naiset tekivät tuplasti enemmän toistoja miehiin verrattuna, vaikka yksittäisen sarjan toistomaksimissa ei ollut sukupuolten välisiä eroja. Tutkittavat olivat nuoria harjoitelleita miehiä ja naisia. (Nuckols 2019)

Useita sarjoja sisältävässä kuormituksessa sukupuolten välisiä eroja suorituskyvyn laskussa on havaittu erityisesti alhaisilla kuormilla tehdessä (Maughan ym. 1986; Hickson ym. 1994), ja onkin ollut epäselvää vaikuttaako sukupuoli myös yli 70 % 1RM kuormilla. Salvador ym. (2005) tutkivat miesten ja naisten välisiä eroja usean sarjan voimaharjoituksessa eri liikkeillä. Tutkittavat olivat aktiivisia nuoria ja liikkeinä olivat penkkipunnerrus, takakyykky ja hauiskääntö. Yhden toiston maksimin lisäksi tutkittavat suorittivat neljä sarjaa uupumukseen asti 75 % 1RM kuormalla kahden minuutin sarjapalautuksilla. Kyseisessä tutkimuksessa suorituskyvyn laskua arvioitiin väsymysindeksin avulla (väsymysindeksi = (ensimmäisen sarjan kuorma*toistot - viimeisen sarjan kuorma*toistot) / ensimmäisen sarjan kuorma*toistot). Naisilla väsymysindeksi oli pienempi jokaisen liikkeen osalta. Samoin toistojen määrä oli naisilla hieman suurempi joka sarjassa, mutta ainoastaan hauiskäännössä havaittiin merkitsevä ero toistojen määrässä verrattuna miehiin. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siis siltä, että miehillä ja naisilla on eroa usean sarjan kuormituksessa, ja naisilla suorituskyvyn lasku on vähäisempää erityisesti hauiskäännössä. Myös kunkin liikkeen ensimmäisissä sarjoissa tehtyjen toistojen määrä ja neljän sarjan aikana tehtyjen toistojen kokonaismäärä näyttäisi vaihtelevan sukupuolen mukaan. (Salvador ym. 2005)

Mendoncan ym. (2018) tutkimuksessa ei sen sijaan havaittu sukupuolten välisiä eroja suorituskyvyn ylläpidossa neljän sarjan kuormituksessa hauiskäännössä 75 % 1RM kuormalla. Yhdessä aiemmin tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että kokonaisessa voimaharjoituksessa naisten väsymys saattaa olla jopa suurempaa kuin miesten (Monteiro ym. 2017). Tutkittavina oli harjoitelleita miehiä ja naisia. Tutkimusprotokolla sisälsi neljä sarjaa uupumukseen asti penkkipunnerruksessa ja jalkaprässissä. Miehillä toistomäärän lasku ensimmäisen ja neljännen sarjan välillä oli penkkipunnerruksessa 25,5 % ja jalkaprässissä 24,5 % alhaisempaa kuin naisilla.

Merkittäviä sukupuolieroja lihaksen toiminnassa ja suorituskyvyssä voidaan havaita väsyttävästä harjoituksesta palautumisen aikana, vaikka väsymyksessä voimaharjoituksen aikana ei välttämättä olisikaan sukupuolieroja. Mekanismit voiman palautumiseen väsyttävän harjoituksen jälkeen voivat vaihdella miehillä ja naisilla, mutta tarvitaan lisää tutkimuksia, jotta ymmärretään akuuttia palautumista ja siihen vaikuttavia mekanismeja miehillä ja naisilla. (Hunter 2016) Eroja väsymykseen liittyen on tärkeä ymmärtää, jotta voitaisiin hahmottaa suorituskyvyn rajoja sukupuolittain sekä tarvittaessa optimoida harjoittelua.

2.4 Kuorman määritys voimakuormituksessa

Voimaharjoitusta suunniteltaessa kuorman määritys on tärkeässä roolissa. Lähes aina kuorma määritetään tietynä prosenttiosuutena yhden toiston maksimista. Selvitettäessä toistomaksimia tai maksimaalista sarjojen määrää haasteeksi tulee kuitenkin yhden toiston maksimitestin perusteella valitun kuorman todenmukaisuus. Mikäli testattu yhden toiston maksimi jää todellista maksimia alhaisemmaksi, ei esimerkiksi 70 % 1RM kuormalla tehty toistomaksimitesti tai sarjojen määrä ole todenmukainen. Erityisesti käytännön harjoittelussa ja testaamisessa yhden toiston maksimi on kuitenkin hyvä keino selvittää maksimaalista lihasvoimaa ja sitä pidetäänkin kultaisena standardina maksimaalisen lihasvoiman kenttätestauksessa (Levinger ym. 2009).

Yhden toiston maksimitestin on useissa tutkimuksissa todettu olevan luotettava tapa selvittää maksimaalista lihasvoimaa. Guedes ym. (2011) selvittivät fyysisen kunnan tason merkitystä yhden toiston maksimin todenmukaisuuteen. Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea ryhmää; passiiviset, fyysisesti aktiiviset ja voimaharjoitelleet. Tutkimuksen mukaan fyysinen kunto ei näyttäisi vaikuttavan yhden toiston maksimin luotettavuuteen. Levinger ym. (2009) sen sijaan selvittivät yhden toiston maksimitestin luotettavuutta harjoittelemattomilla henkilöillä. Myös tämä tutkimus tuki yhden toiston maksimitestin luotettavuutta ottaen huomioon, että tutkittavat olivat saaneet ensin kokeilla testattavaa liikettä. Samankaltaisia tuloksia saatiin myös Seon ym. (2012) tekemässä tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin lihasryhmän ja sukupuolen vaikutusta yhden toiston maksimitestin luotettavuuteen. Tutkimuksessa ei havaittu eroja luotettavuudessa lihasryhmien tai sukupuolten välillä. Myös Grgicin ym. (2020) tekemässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa yhden toiston maksimitestin luotettavuutta pidettiin kymmenien tutkimusten perusteella hyvänä tai erinomaisena riippumatta harjoitustaustasta, totuttelemiskertojen määrästä, lihasryhmästä, liikkeestä, sukupuolesta tai iästä.

3 POTENTIAALISET SELITTÄVÄT TEKIJÄT SUKUPUOLIEROIHIN

Huolimatta siitä, että miehet ovat keskimäärin voimakkaampia kuin naiset, useissa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa naisten on havaittu kykenevän ylläpitämään suorituskykyä paremmin kuin miesten (Fulco ym. 1999; Russ & Kent-Braun 2003; Hunter ym. 2004; Russ ym. 2005). Eroja suorituskyvyn laskussa sukupuolten välillä on selitetty muun muassa lihaksen koolla ja verenkierrolla, lihassolutyypillä, energiantuottomekanismeilla sekä tahdonalaisella aktivaatiolla.

3.1 Lihaskoko ja verenkierto

Tyypillisesti miehillä lihasten suurempi koko verrattuna naisten lihaskokoon voi osaltaan aiheuttaa suorituskyvyn laskua, sillä isommat lihakset tuottavat enemmän voimaa ja aiheuttavat näin enemmän veren virtauksen laskua sekä metaboliittien kertymistä. Joidenkin lihasryhmien ja lihastyötapojen kohdalla on havaittu, että miesten suurempi suorituskyvyn lasku verrattuna naisiin on seurausta siitä, että miehet käyttävät suurempaa absoluuttista voimaa lihassupistuksen aikana. (Hunter 2014) Toisaalta on kuitenkin huomattu, että miehillä suorituskyvyn lasku toistuvassa submaksimaalisessa isometrisessä supistuksessa ei ole riippuvaista maksimaalisesta voimasta (Hunter ym. 2004; Gonzales & Scheuermann 2006).

Clarkin ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin, että submaksimaalisessa polven ojennuksessa uupumus tuli naisilla myöhemmin miehiin verrattuna lihaksen verenkierron ollessa normaalia. Kun verenkiertoa kuitenkin estettiin iskemian kaltaisesti, eroja ei huomattu sukupuolten välillä. Näin ollen voidaan ajatella, että vähentynyt veren virtaus aktiivisille lihaksille saattaa johtaa nopeampaan uupumukseen, koska lihaksen hapensaanti heikkenee ja metaboliittien nopeampi kertyminen häiritsee lihaksen supistumista. Lihaksen verenkierron merkitystä sukupuolierojen taustalla on kuitenkin myös kyseenalaistettu. Wüstin ym. (2008) tutkimuksessa eroja verenkierrossa tai oksidatiivisessa fosforylaatioissa pidettiin epätodennäköisenä selittävänä tekijänä sukupuolten välillä. Kyseissä tutkimuksissa havaittiin, että suorituskyvyn lasku oli miehillä suurempaa kuin naisilla myös silloin, kun lihaksen verenkiertoa estettiin. Sen sijaan todennäköisempänä syynä pidettiin lihaksen ominaisuuksia, kuten supistumisnopeutta ja ATP:n tuottomekanismeja.

Naisilla suonten suurempi vasodilaatio ja kapillaarien määrä voivat myös edesauttaa verenvirtauksen parempaa säilymistä. Parkerin ym. (2007) mukaan esimerkiksi reisivaltimon vasodilatoivat vasteet polven ojennuksen aikana olivat naisilla suuremmat kuin miehillä. Nämä vasteet eivät olleet riippuvaisia voimasta. Suonten suurempi vasodilaatio voisi mahdollisesti lisätä naisilla lihasten perfuusiota, mikä vähentäisi metaboliittien kertymistä ja mahdollisesti kompensoisi lihasväsymystä miehiin verrattuna. Roepstorff ym. (2006) havaitsivat lihasten biopsioista tehtyjen mittausten avulla, että naisilla kapillaarien tiheys luurankolihasen yksikköä kohden oli vastus lateraliksessa suurempi kuin miehillä johtuen tyypin I lihassolujen suuremmasta suhteellisesta pinta-alasta.

3.2 Lihassolutyyppi

Se väsykö lihas vai ei, riippuu pitkälti tasapainosta lihassupistuksen aiheuttaman ATP:n kulutuksen ja ATP-synteesin välillä. Eri lihassolutyypit eroavat toisistaan, sillä tyypin II lihassolut vaativat enemmän energiaa, mutta niillä on pienempi oksidatiivinen kapasiteetti verrattuna tyypin I lihassoluihin. Tämän takia lihassolujakauma voi vaikuttaa kykyyn ylläpitää suorituskykyä. (Russ ym. 2005)

Pienemmän lihaskoon lisäksi naisilla on usein enemmän tyypin I lihassoluja. Tyypin I lihassolut sopivat hyvin aerobiseen, toistuvaan ja submaksimaaliseen kuormitukseen. Suuremman tyypin I lihassolujen määrän ansiosta joudutaan turvautumaan energiantuotollisesti vähemmän glykolyysiin, mikä auttaa sietämään väsymystä paremmin. (Hunter 2014) Vaikka tyypin I lihassolujen prosentuaalinen määrä ei välttämättä eroaisikaan miesten ja naisten välillä (Larsson ym. 2006), naisilla tyypin I lihassolujen suhteellinen pinta-ala on usein suurempi (Hunter 2016). Osittain näistä eroista johtuen koko kehon kohtalaisen tai korkean intensiteetin harjoituksen aikana naiset myös käyttävät enemmän rasvoja kuin hiilihydraatteja miehiin verrattuna (Roepstorff ym. 2006). Tuoreessa Canon ym. (2022) meta-analyysissä kuitenkin todetaan, että kyseistä ilmiötä ei välttämättä esiinny urheilijoilla.

Miehillä on havaittu olevan suurempi glykolyyttinen kapasiteetti kuin naisilla ja naisilla sen sijaan suurempi oksidatiivinen kapasiteetti (Russ ym. 2005) johtuen erilaisesta lihassolujakaumasta. Anaerobisella glykolyysillä on keskeinen merkitys lihasten väsymyksessä glukoosimolekyylin hajotessa laktaatti-ioneiksi ja protoneiksi aiheuttaen pH:n laskua (Allen

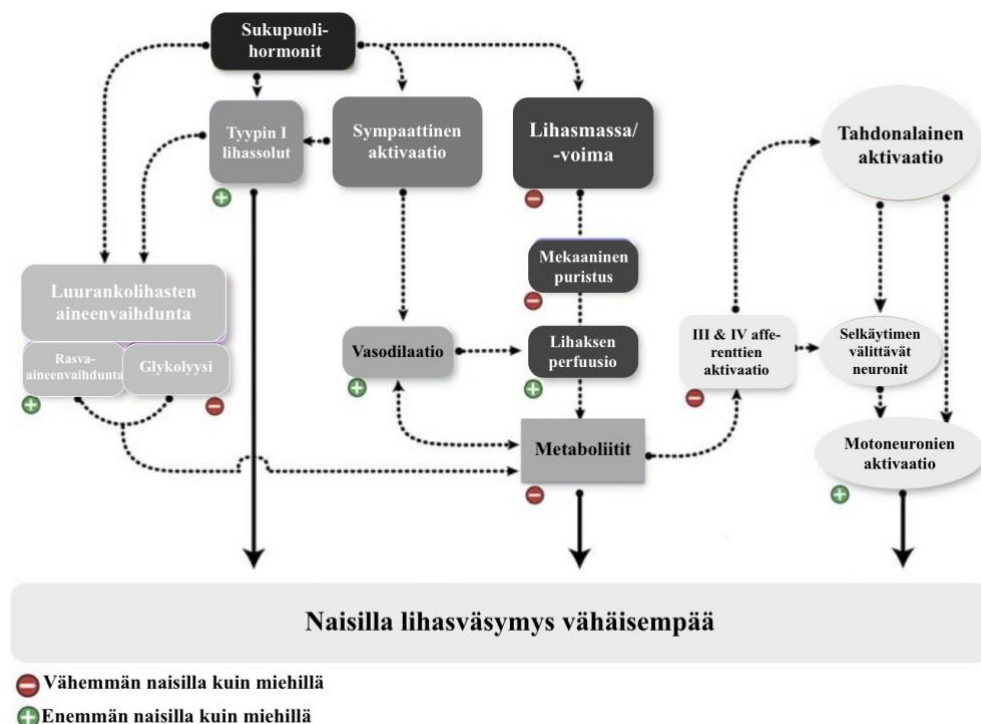
ym. 2008). Laktaatin tuotannon on havaittu olevan suurempaa tyyppin II lihassoluissa (Wirtz ym. 2014), mikä saattaa osaltaan selittää mahdollisia sukupuolten välisiä eroja veren laktaattipitoisuudessa. Naisilla veren laktaattipitoisuuden onkin havaittu nousevan vähemmän miehiin verrattuna, vaikka suoritettujen toistojen määrä olisikin naisilla huomattavasti korkeampi (Nuckols 2019).

Lihassolutyypin merkitys sukupuolieroissa näyttäisi kuitenkin olevan riippuvaista kuorman suuruudesta. Hickson ym. (1994) havaitsivat tutkimuksessaan, että tyyppin I lihassolujen määrä vaikutti merkittävästi toistojen määrään takakykyssä 40 % ja 60 % kuormilla yhden toiston maksimista, mutta ei 80 % kuormalla. Samankaltaisia tuloksia havaittiin myös hauiskääntöä tutkittaessa, kun harjoittelemattomat naiset saivat huomattavasti enemmän toistoja miehiin verrattuna kuorman ollessa 50–70 % yhden toiston maksimista, mutta ei 80–90 % kuormilla (Maughan ym. 1986). Terzisin ym. (2008) tekemän tutkimuksen mukaan näyttäisi kuitenkin siltä, että lihassolutyypin ei olisi tärkein muuttuja submaksimaalisessa toistomaksimitestissä suoritettujen toistojen määrässä. Sen sijaan kyseisen tutkimuksen mukaan lihasten kapillaarien tiheydellä näyttäisi olevan suurempi merkitys lihaskestävyysuorituskykyyn. Erot lihaskestävyydessä tulisi ottaa huomioon voimaharjoitteluohjelmia suunniteltaessa, jotta kuormien yli- ja aliarvioimisilta vältyttäisiin.

3.3 Tahdonalainen aktivaatio

Väsyttävän kuormituksen aikana on haasteena ylläpitää riittävä ja optimaalinen tahdonalainen aktivaatio. Alaraajojen maksimaalisessa kuormituksessa miehillä on havaittu suurempaa tahdonalaisen aktivaation vähenemistä naisiin verrattuna (Russ & Kent-Braun 2003). Esimerkiksi polven ojennusvoima väheni miehillä 24 % jatkuvan maksimaalisen supistuksen aikana (100 s), kun taas naisilla vain 16 %. Tämä ero liittyi miesten tahdonalaisen aktivaation suurempaan vähenemiseen. (Martin & Rattey 2007) Ei kuitenkaan voida sanoa, päteekö havaittu ero myös dynaamisissa suorituksissa. Alentunut tahdonalainen aktivaatio liittyy sentraaliseen väsymykseen, joka on osa keskushermoston väsymistä (Gandevia 2001). Erityisesti raskaassa kuormituksessa III ja IV afferentit voivat aiheuttaa sentraalista väsymystä (Sidhu ym. 2017). Keskushermostolle välittyy tietoa aktiivisten lihasten aineenvaihdunnallisten tilasta III ja IV afferenttien kautta, mikä voi vähentää motoristen yksiköiden aktivointia (Hunter 2014).

Senefeld ym. (2018) selvittivät tutkimuksessaan, vaikuttaako sentraalinen väsymys sukupuolten välisiin eroihin polven ojentajalihasten väsymisessä ja palautumisessa. Tutkittavat suorittivat jatkuvan maksimaalisen 60 sekunnin isometrisen supistuksen ja dynaamisen suurella nopeudella tehdyn supistuksen. Tutkimuksessa havaittiin, että useat eri mekanismit lisäsivät maksimaalisen voiman suurempaa väsymystä ja hitaampaa palautumista miehillä naisiin verrattuna isometrisen ja dynaamisen polven ojennuksen jälkeen. Maksimaalisen voimanpalautuminen isometrisen supistuksen jälkeen oli miehillä hitaampaa suuremman sentraalisen väsymyksen vuoksi. Sen sijaan dynaamisen suorituksen jälkeen merkittävimmät tekijät maksimaalisen voiman palautumiselle olivat lihaksen supistumismekanismit. Erot ja mekanismit harjoituksesta palautumiseen sukupuolten välillä riippuvat siis merkittävästi lihastyötavasta ja lihasryhmästä. (Senefeld ym. 2018) Esimerkiksi Hunterin ym. (2004) tekemässä tutkimuksessa ei sen sijaan huomattu eroa sentraalisessa väsymyksessä miesten ja naisten välillä suorittaessa toistuvia maksimaalisia hauiskääntöjä. Tässäkin tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että miehillä maksimaalinen tahdonalainen supistuminen väheni enemmän kuin naisilla. Kuvassa 1 on tiivistettynä potentiaalisia tekijöitä sukupuolierojen taustalla.



KUVA 1. Potentiaalisia tekijöitä sukupuolierojen taustalla lihasväsymyksessä ja suorituskyvyn laskussa (mukailtu Hunter ym. 2014).

4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella sukupuolen vaikutusta toistomaksimiin ja sarjojen määrään uupumukseen asti tehdyissä voimakuormituksissa. Tarkasteltavina liikkeinä olivat hauiskääntö ja yhden jalan jalkaprässi.

Tutkimusongelmat:

1. Vaikuttaako sukupuoli toistojen määrään toistomaksimitestissä jalkaprässissä ja/tai hauiskäännössä?
2. Vaikuttaako sukupuoli sarjojen määrään usean sarjan kuormitustestissä jalkaprässissä ja/tai hauiskäännössä?

Hypoteesit:

1. Ei. Useiden tutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että harjoitustausta (Richens & Cleather 2014; Campos ym. 2002), lihastyötapa (Flanagan ym. 2014) kuorman suuruus, liike ja töitä tekevät lihakset (Arazi & Asadi 2011; Shimano ym. 2006) vaikuttaisivat toistomaksimiin enemmän kuin sukupuoli.
2. Kyllä. On saatu paljon viitteitä siitä, että usean sarjan voimaharjoituskuormituksessa naiset kykenevät ylläpitämään suorituskykyä paremmin kuin miehet (Hunter 2014). Kovaintensiteetisessä kuormituksessa miesten on arveltu nojaavan enemmän anaerobiseen energiantuottoon (Russ ym. 2005). Toisaalta tästä sekä myös lihassolutyypeistä johtuen anaerobisten metaboliittien kertyminen voi erota sukupuolten välillä. Näiden tekijöiden johdosta miesten väsymys naisiin verrattuna voi olla suurempaa (Hunter 2014; Allen & Trajanovska 2012). Kun otetaan huomioon lisäksi hapen saatavuuden vaikutukset palautumiseen (Haseler ym. 1999; Sahlin ym. 1979), vaikuttaisi edelleen oletettavammalta, että verenvirtauksen suurempi estyminen miehillä aiheuttaisi enemmän väsymystä. Nuckolsin (2019) tekemässä tutkimuksessa naiset tekivät tuplasti enemmän toistoja penkkipunnerruksessa, vaikka yksittäisen sarjan toistomaksimissa ei ollut sukupuolten välillä eroja.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin osana Jyväskylän yliopiston laajempaa voimatutkimusta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sukupuolen mahdollisia vaikutuksia toistomaksimiin ja sarjojen määrään uupumukseen asti tehdyissä voimakuormituksissa hauiskäännössä sekä yhden jalan jalkaprässissä.

5.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistuneet tutkittavat olivat terveitä 20–40-vuotiaita miehiä ja naisia. Tutkittavien alaikäraja oli 20 vuotta, jotta fyysisen kehitystason vaikutusta tutkimustuloksiin voitiin vähentää. Tutkimukseen osallistuminen edellytti, että tutkittava oli terve, harrasti voimailu- (voimanosto, painonnosto ja kehonrakennus) tai fitnesslajeja SM-tasolla tai oli voimaharjoittelun suhteen aloittelija, mutta muuten aktiivinen liikkuja. Tutkittavien miesten pituus tuli olla 165–190 cm ja paino alle 120 kg. Naisilla vastaavat kriteerit olivat 150–180 cm ja alle 90 kg.

Tutkittavien rekrytointi tapahtui sähköpostin, sosiaalisen median, liikuntatieteellisen tiedekunnan, liikuntabiologian tieteenalan sekä urheiluseurojen ja valmentajien tiedotuskanavien kautta. Tutkittaviksi pyrittiin rekrytoimaan Suomen parhaimpia voimanostajia, painonnostajia ja fitnessurheilijoita (fitness- ja kehonrakennuslajit). Tälle joukolle rekrytoitiin lisäksi terveitä samankokoisia ja -ikäisiä voimaharjoittelun suhteen harjoittelemattomia tai hyvin vähän voimaharjoittelua harrastaneita fyysisesti melko aktiivisia tai aktiivisia verrokkeja.

Tutkittava ei voinut osallistua tutkimukseen, jos hänellä oli aikaisempaa historiaa urheilussa kiellettyjen aineiden tai menetelmien käytöstä, akuutti sairastuminen tai sairaus, joka voisi rajoittaa tutkittavan kyvykkyyttä suoriutua raskaasta fyysisestä kuormituksesta (esimerkiksi diabetes, hoitamaton verenpainetauti, niveltulehdukset ja reuma). Lisäksi tuki- ja liikuntaelimestön vammat ja sairaudet, säännöllinen tupakointi, tulehduskipulääkkeiden säännöllinen ja aktiivinen käyttö, tulehdussairaudet sekä hengitys- ja verenkiertoelimestön sairaudet, jotka haittaavat fyysistä kuormitusta, estivät tutkimukseen osallistumisen. Myös tutkijan ja tutkittavan yhteistyötä haittaava tutkittavan psykiatrinen sairaus tai säännöllinen

päihteiden käyttö olivat esteenä tutkimukseen osallistumisessa. Edellä mainittujen lisäksi tutkimuksesta vastaava lääkäri pystyi tarvittaessa evätä tutkittavan osallistumisen sairausperusteisesti.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 39 tutkittavaa, jotka jaettiin harjoitustaustan perusteella joko voimailija-, fitness- tai aloittelijaryhmään. Voimailijaryhmässä oli 12 tutkittavaa, fitnessryhmässä 13 ja aloittelijaryhmässä 14. Erot ryhmäko'issa johtuivat sopivien tutkittavien rekrytoinnin haasteista. Kaikki voimailija- tai fitnessryhmään kuuluvat urheilijat voitiin luokitella eliittuurheilijoihin (McKay ym. 2022). Taulukossa 2 on koottuna tutkittavien perustietojen (ikä, paino, pituus) keskiarvot ja keskihajonnat sukupuolittain sekä ryhmittäin.

TAULUKKO 2. Tutkittavien perustiedot sukupuolittain ja ryhmittäin.

	Aloittelijat		Fitness		Voimailijat	
	Miehet (n=7)	Naiset (n=7)	Miehet (n=7)	Naiset (n=6)	Miehet (n=6)	Naiset (n=6)
Ikä (v)	29,0 ± 5,2	31,9 ± 7,0	30,6 ± 5,1	33,3 ± 6,1	27,6 ± 5,7	28,0 ± 5,9
Pituus (cm)	183,2 ± 5,7	165,8 ± 4,9	176 ± 5,3	165,7 ± 4,2	174,5 ± 6,4	158,5 ± 3,6
Paino (kg)	82,8 ± 15,6	58,2 ± 5,1	91,4 ± 11,2	67,7 ± 5,3	101,1 ± 13,8	68,3 ± 11,6

Kaikille tutkittaville kerrottiin yksityiskohtaisesti kaikki tiedot tutkimuksen kulusta, mittauksista sekä tutkimukseen liittyvistä mahdollisista riskeistä ja epämukavuutta aiheuttavista tekijöistä. Lisäksi tutkittaville kerrottiin heidän oikeudestaan lopettaa tutkimus omasta tahdostaan ja milloin tahansa ilman seuraamuksia. Tämän jälkeen tutkittaville annettiin tiedote- ja suostumuslomake, joihin he perehtyivät ennen antamaansa allekirjoitettua suostumustaan tutkimukseen. Tutkimusryhmä päätti jokaisen tutkittavan kohdalla heidän osallistumisestaan tutkimukseen. Päätöksessä arvioitiin tutkittavan motivaatiota tutkimusta kohtaan, hänen kykyään suoriutua tutkimuksen mittauksista ja kuormituksista sekä tutkittavan terveydentilaa. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään harjoittelua 48 tuntia ennen kuormituksia.

5.2 Tutkimusasetelma ja aineistonkeruu

Tutkimusasetelmana oli poikittaistutkimus eli kaikki tutkittavat tulivat tutkimusmittauksiin yhden päivän ajaksi. Tutkimus tapahtui Jyväskylässä liikuntalaboratorion tiloissa. Ennen tässä tutkimuksessa tarkasteltavia voimakuormituksia tutkittavilta mitattiin antropometriset tiedot ja kuvattiin ultraäänellä vastus lateralis sekä biceps brachii. Näiden jälkeen tutkittavilta testattiin myös isometrinen polvenojennus ja kevennyshyppy sekä staattinen hyppy voimalevyllä.

Voimakuormitukset. Tutkimuksessa tehtiin samat voimakuormitukset hauiskäännössä ja yhden jalan jalkaprässissä. Ensin suoritettiin kaikki hauiskäännön kuormitukset, jonka jälkeen siirryttiin jalkaprässin kuormituksiin. Molemmissa liikkeissä tehtiin ensin lämmittely- ja lähestymisarjoja, joiden jälkeen määritettiin yhden toiston maksimi, toistomaksimi ja sarjojen määrä uupumukseen asti tehdyssä kuormituksessa. Tutkittava sai käyttää vapaavalintaisia kenkiä ja halutessaan polvenlämmitintä. Vettä sai juoda oman tuntemuksen mukaan.

Kyynärvarren koukistus (hauiskääntö) tehtiin suoralla tangolla. Suoritus alkoi kädet suorana ja päättyi samaiseen asentoon. Liike tehtiin seisten pylvääseen nojaten niin, että selkä ja takapuoli pysyi koko suorituksen ajan pylväässä kiinni. Polvien tuli olla koko suorituksen ajan lähes suorana, ja kantapäiden maksimissaan 20 senttimetrin päässä pylväästä.

Yhden jalan jalkaprässi suoritettiin vaakaprässissä. Tutkittava sai itse valita jalan, jolla kuormitukset tehtiin. Polvikulmaksi määritettiin 70–75 astetta ja suoritus alkoi jalka suorana. Kuormituksen alkaessa kuorman sai nostaa kahdella jalalla ylös ja vastaavasti kuormituksen päätyttyä prässin sai laskea kahdella jalalla alas. Liike tuli suorittaa hallitulla liikenopeudella. Liikkeen ala-asennosta kuormaa sai alkaa työntämään mittajaan antamasta merkistä niin, että alhaalla tuli selkeä pysähdys eikä painoa ollut mahdollista pompauttaa ylös. Toisto hylättiin, mikäli tutkittava ei odottanut mittajaan antamaa merkkiä.

Lämmittely. Ennen voimakuormituksia tutkittavat suorittivat vakioidun lämmittelyn. Lämmittely alkoi kolmen minuutin polkupyöräergometrillä, jonka jälkeen tehtiin jalanheilautuksia, lonkanpyöryksiä, erilaisia kyykkyjä kehonpainolla sekä olkapäiden lämmittelyä vastuskuminauhalla. Näiden lisäksi tutkittava sai tehdä omia lämmittäviä liikkeitä, mikäli koki sen tarpeelliseksi. Lämmittelyn jälkeen tutkittavat suorittivat kolme

kevennyshyppyä, kolme staattista hyppyä ja 1–3 maksimaalista isometristä polvenojennusta. Näiden tuloksia ei kuitenkaan tarkastella tässä tutkimuksessa.

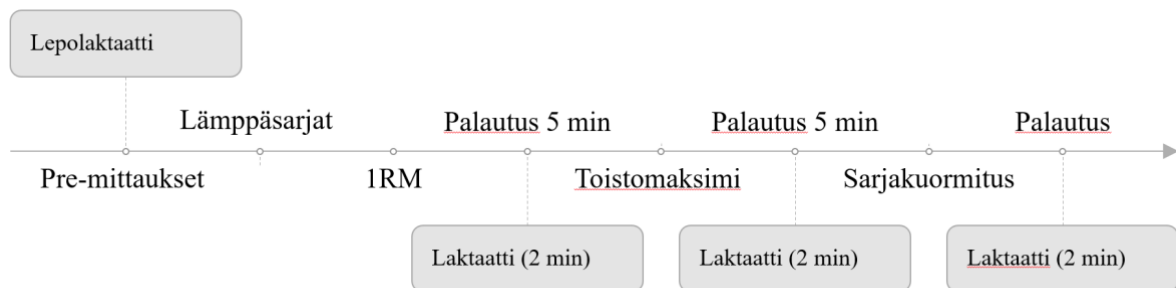
Lämmittely- ja lähestymissarjat. Ennen hauis- ja jalkaprässikuormituksia tehtiin kolme lämmittelysarjaa, joiden aikana tutkittava tutustui samalla suoritettavaan liikkeeseen ja sen suoritustekniikkaan. Lämmittelysarjoja tehtiin kuormaa lisäten. Ensimmäisessä sarjassa tehtiin 8–10 toistoa, toisessa 5–8 toistoa ja kolmannessa 2–5 toistoa. Lämmittelysarjojen välissä oli noin yhden minuutin palautukset. Lämmittelysarjojen jälkeen määritettiin tutkittavan yhden toiston maksimi, johon pyrittiin pääsemään 3–7 lähestymissarjan avulla. Lähestymissarjojen välissä oli 2–2,5 minuutin palautukset tutkittavan oman tuntemuksen mukaan. Kuormaa lisättiin, kunnes tutkittava ei enää saanut suoritettua liikettä vaaditulla tekniikalla ja yhden toiston maksimi oli löytynyt.

Toistomaksimitesti. Yhden toiston maksimin määrittämisen jälkeen pidettiin noin viiden minuutin palautus, jonka jälkeen hauiskäännössä tehtiin toistomaksimitesti 50 % 1RM kuormalla. Yhden jalan jalkaprässissä tehtiin vastaavasti toistomaksimitesti 75 % 1RM kuormalla. Suoritus päättyi, kun tutkittava ei enää saanut suoritettua toistoa vaadituin kriteerein. Tutkittavaa ohjeistettiin tekemään toistot tasaisella rytmillä ilman taukoja toistojen välissä. Jalkaprässissä kuorman piti pysähtyä pakkaan ala-asennossa ja tutkittava sai alkaa työntämään vasta mittaaajan merkistä. Toistomaksimitestin jälkeen oli jälleen noin viiden minuutin palautus.

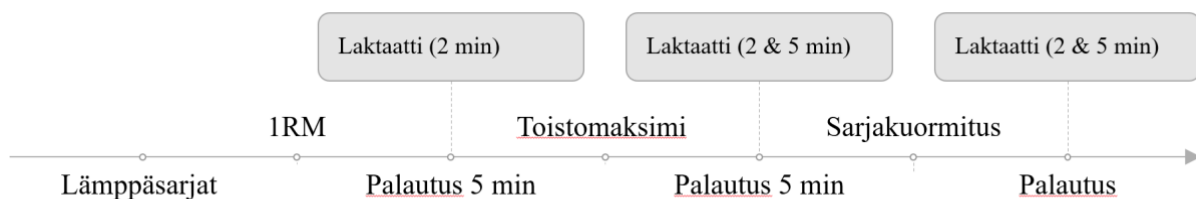
Sarjakuormitus. Palautuksen jälkeen hauiskäännössä tehtiin 50 % 1RM kuormalla kahdeksan toiston sarjoja uupumukseen asti. Sarjojen 1–5 välillä palautus oli 1,5 minuuttia, sarjojen 6–10 välillä 1 minuuttia ja sarjojen 11–15 välillä 30 sekuntia. Hauiskäännössä tanko laskettiin maahan palautuksien ajaksi. Yhden jalan jalkaprässissä tehtiin vastaavasti 75 % 1RM kuormalla kahdeksan toiston sarjoja uupumukseen asti. Kuten hauiskäännössäkin, sarjojen 1–5 välillä palautus oli 1,5 minuuttia, sarjojen 6–10 välillä 1 minuuttia ja sarjojen 11–15 välillä 30 sekuntia. Palautuksien aikana tutkittavaa ohjeistettiin pysymään paikoillaan. Kuormitus päättyi, kun tutkittava ei enää saanut suoritettua sarjaa loppuun vaadituin kriteerein.

Laktaattipitoisuudet. Tutkittavien veren laktaattipitoisuuksia mitattiin sormenpääverinäytteillä. Ennen kuormituksen alkua mitattiin laktaatin lepoarvo. Laktaattipitoisuudet mitattiin yhden toiston maksimin, toistomaksimitestin ja sarjakuormituksen jälkeen. Laktaatti mitattiin kaksi minuuttia kuormituksen jälkeen. Yhden jalan jalkaprässin toistomaksimi- ja sarjakuormitusten

jälkeen laktaatti mitattiin myös viiden minuutin kuluttua. Laktaattipitoisuudet analysoitiin EKF Diagnostics:n Biosen C-Line Lactate analyzer -laitteella. Tutkimuksessa käytetyt protokollat on havainnollistettu kuvissa 2 ja 3.



KUVA 2. Hauiskäännön kuormitusprotokolla.



KUVA 3. Yhden jalan jalkaprässin kuormitusprotokolla.

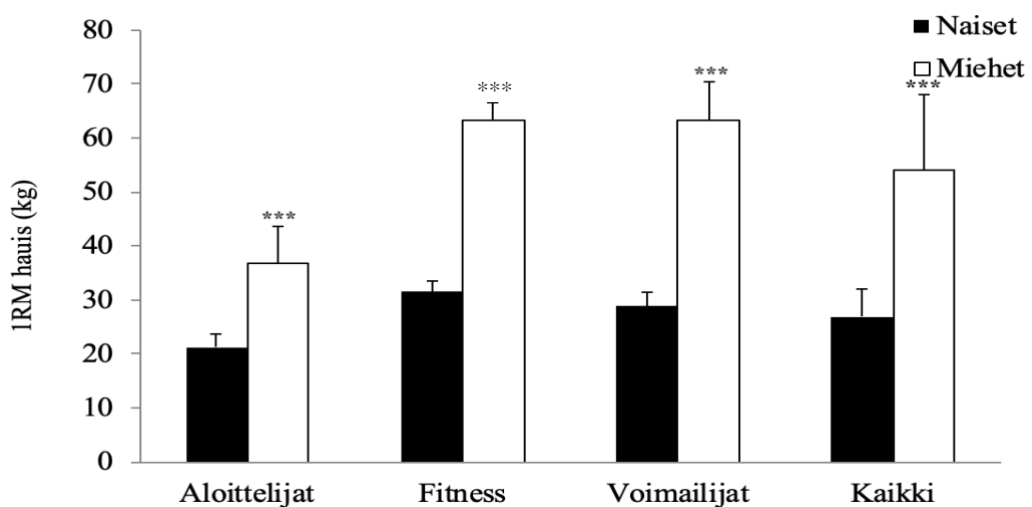
5.3 Tilastolliset analyysit

Tulokset analysoitiin Microsoft Excel 2018 ja IBM SPSS Statistics 27.0 ohjelmistojen avulla. Muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Osa muuttujista ei ollut normaalisti jakautuneita, joten muuttujien analysointiin käytettiin Mann-Whitney U-testiä.

Testattavat muuttujat olivat hauiskäännön ja yhden jalan jalkaprässin yhden toiston maksimit, toistomaksimi, sarjoissa tehtyjen toistojen kokonaismäärä sekä jokaisen kuormituksen jälkeen mitatut laktaattipitoisuudet. Mann-Whitney U-testillä testattiin merkitsevyyksiä sukupuolivertailussa ryhmittäin sekä koko tutkimusjoukossa. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

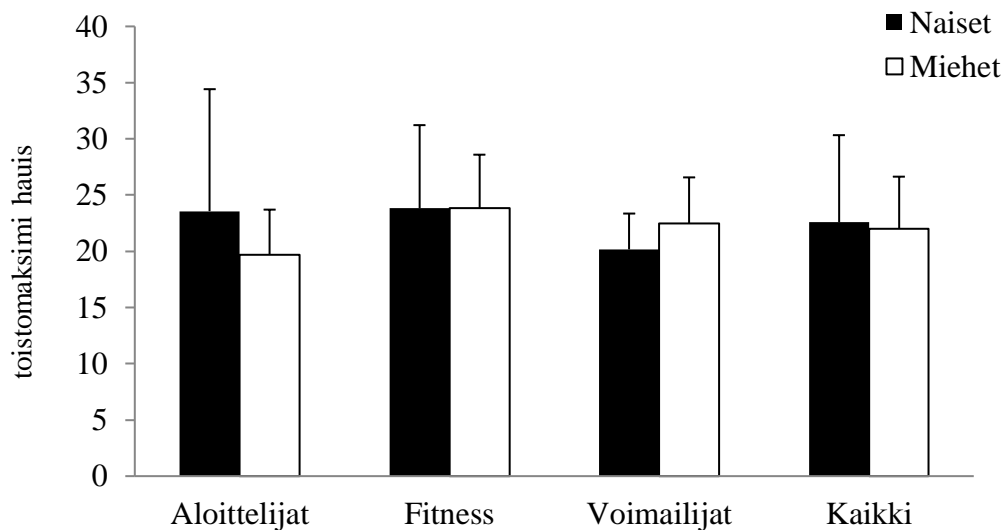
6 TULOKSET

Hauiskäännön yhden toiston maksimin tuloksista (kuva 4) nähdään, että miehillä tulos oli korkeampi jokaisessa ryhmässä naisiin verrattuna. Koko tutkimusjoukossa miesten yhden toiston maksimin keskiarvo oli kaksi kertaa korkeampi kuin naisten. Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Ryhmittäin tarkasteltuna tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja sukupuolten välillä oli kaikissa ryhmissä ($p < 0,001$). Alhaisimmat yhden toiston maksimit olivat aloittelijanaisilla.



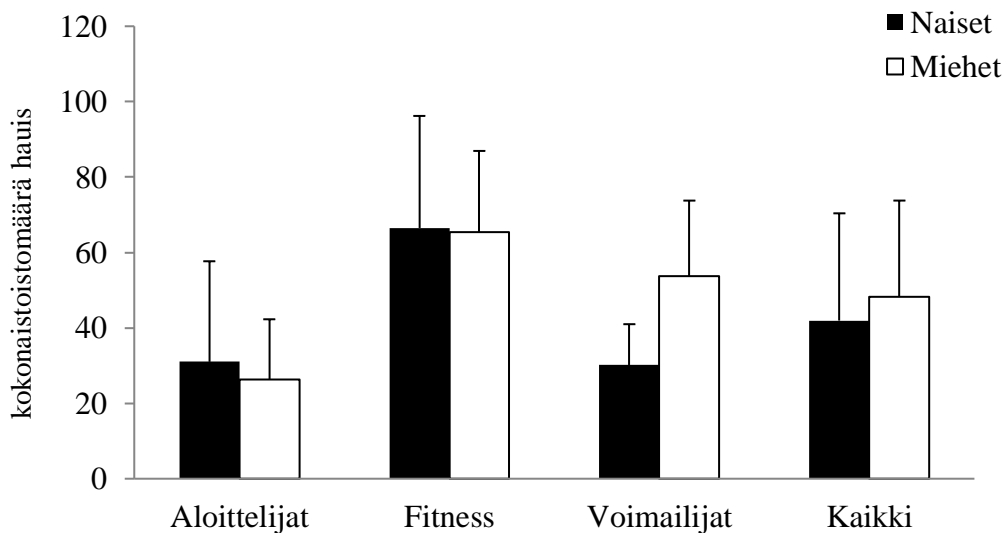
KUVA 4. Hauiskäännön yhden toiston maksimin tulokset keskiarvoina (kg) sukupuolittain ja ryhmittäin. Merkitsevyydet sukupuolivertailussa: *** $p < 0,001$.

Hauiskäännön toistomaksimissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja sukupuolten välillä tarkasteltaessa koko tutkimusjoukkoa tai ryhmiä. Naisten toistomaksimin keskiarvo oli 22,5 toistoa ja miesten 22 toistoa ($p = 0,728$). Tarkasteltaessa sukupuolieroja ryhmien sisällä (kuva 5) huomataan, että fitnessryhmässä miehet ja naiset suorittivat lähes saman määrän toistoja ($p = 0,836$). Aloittelijaryhmässä naiset suorittivat keskimäärin hieman enemmän toistoja kuin miehet (23,6 vs. 19,7; $p = 0,805$), kun taas voimailijaryhmässä miesten toistomaksimi oli keskimäärin korkeampi kuin naisten (19,4 toistoa vs. 22,5; $p = 0,394$).



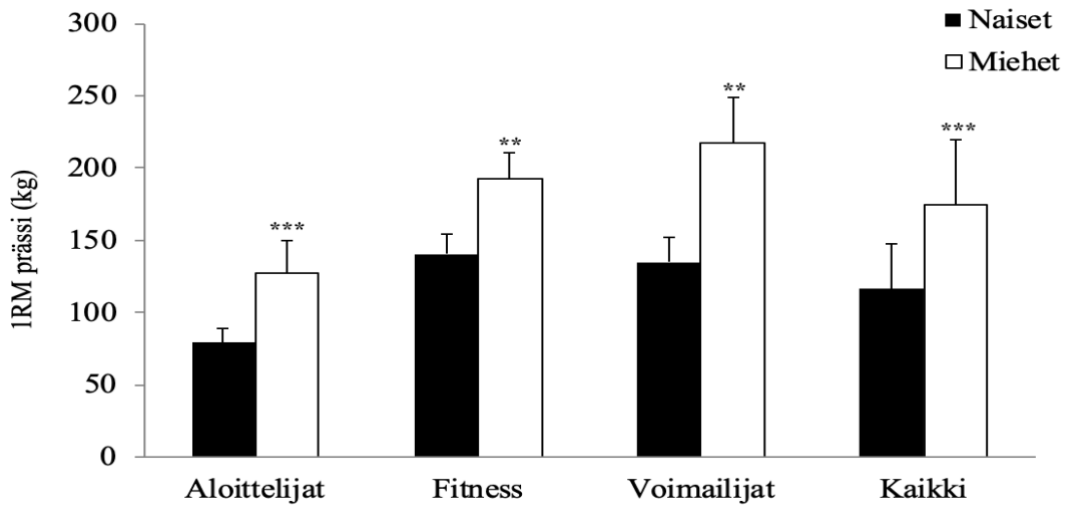
KUVA 5. Hauiskäännön toistomaksimitestin tulokset keskiarvoina sukupuolittain ja ryhmittäin. Sukupuolivertailussa ei tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kuvassa 6 on esitetty hauiskäännön sarjakuormituksen kokonaistoistomäärät. Naiset suorittivat keskimäärin yhteensä 42 toistoa (noin 5 sarjaa) ja miehet 48,2 toistoa (noin 6 sarjaa). Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,351$). Aloittelijanaiset suorittivat keskimäärin viisi toistoa enemmän kuin aloittelijamiehet. Fitnessryhmässä eroja sukupuolten välillä ei juuri ollut. Huomattavin sukupuoliero sarjakuormituksissa havaittiin voimailijoilla, sillä miesten kokonaistoistomäärä oli noin 46 % suurempi kuin naisten. Tämäkin ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,093$).



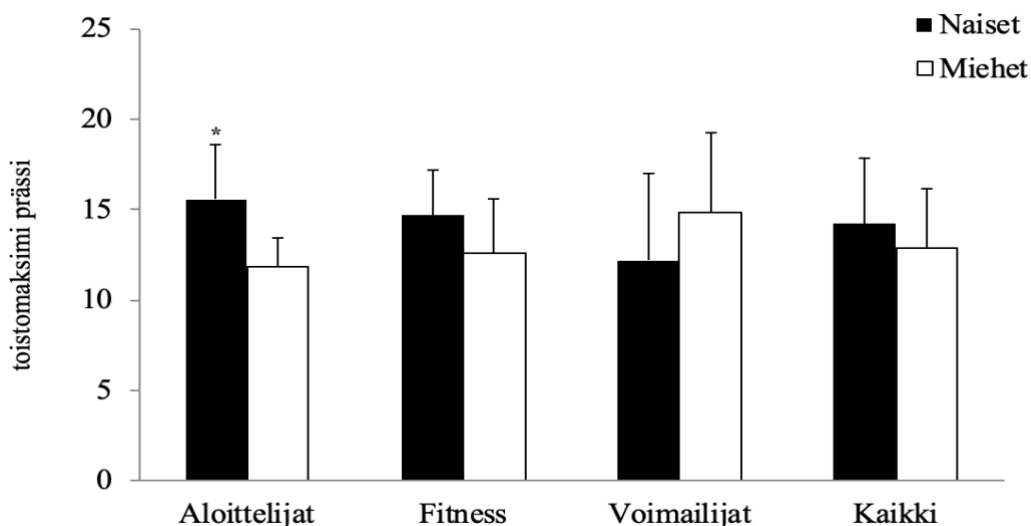
KUVA 6. Hauiskäännön sarjakuormituksen kokonaistoistomäärä sukupuolittain ja ryhmittäin. Sukupuolivertailussa ei tilastollisesti merkitseviä eroja.

Yhden jalan jalkaprässissä miehillä oli keskimäärin korkeampi yhden toiston maksimi naisiin verrattuna, kuten kuvasta 7 nähdään. Tilastollisesti hyvin tai erittäin merkitseviä eroja havaittiin jokaisessa ryhmässä, ja koko tutkimusjoukossa sukupuoliero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Keskimäärin korkeimmat yhden toiston maksimit olivat voimailijamiehillä.



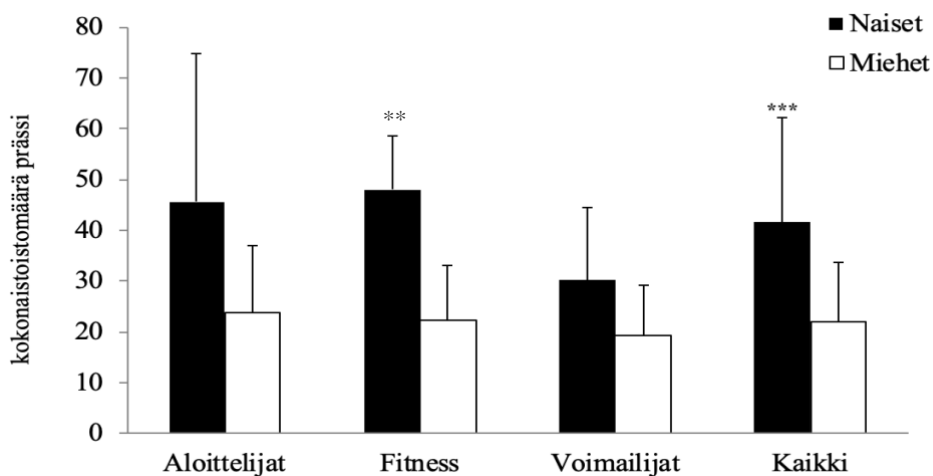
KUVA 7. Yhden jalan jalkaprässin yhden toiston maksimin tulokset keskiarvoina (kg) sukupuolittain ja ryhmittäin. Merkitsevyydet sukupuolivertailussa: ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Toistomaksimi oli yhden jalan jalkaprässissä koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa naisilla korkeampi kuin miehillä, mutta ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,181$). Ryhmittäin tarkasteltaessa ainoastaan voimailijoissa miehet suorittivat enemmän toistoja kuin naiset (kuva 8). Suurin ero miesten ja naisten välillä oli aloittelijaryhmässä, jossa naiset suorittivat keskimäärin 15,6 toistoa ja miehet 11,9 toistoa. Ainoastaan aloittelijaryhmässä havaittiin sukupuolten välillä tilastollisesti merkitsevä ero ($p = 0,017$).



KUVA 8. Yhden jalan jalkaprässin toistomaksimitestin tulokset sukupuolittain ja ryhmittäin. Merkitsevyydet sukupuolivertailussa: * $p < 0,05$.

Yhden jalan jalkaprässin sarjakuormituksen kokonaistoistomäärissä nähdään selkeitä eroja naisten ja miesten välillä (kuva 9). Koko tutkimusjoukossa naiset suorittivat keskimäärin yhteensä 41,5 toistoa (yli 5 sarjaa) ja miehet 22 toistoa (alle 3 sarjaa). Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Myös ryhmittäin tarkasteltaessa huomataan, että naisilla kokonaistoistomäärä oli jokaisessa ryhmässä suurempi kuin miehillä. Ainoastaan fitnessryhmässä ero oli tilastollisesti hyvin merkitsevä ($p = 0,008$), mutta samanlainen trendi sukupuolten välillä nähdään kuitenkin ryhmästä riippumatta. Kuvasta 9 nähdään myös, että erityisesti aloittelijanaissilla oli suurta vaihtelua kokonaistoistomäärässä.



KUVA 9. Yhden jalan jalkaprässin sarjakuormituksen kokonaistoistomäärä sukupuolittain ja ryhmittäin. Merkitsevyydet sukupuolivertailussa: ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Taulukkoon 3 on koottu mitattujen laktaattipitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat sukupuolittain ja ryhmittäin. Jalkaprässin toistomaksimi- ja sarjakuormituksissa tarkasteluun valittiin suurin mitattu arvo. Lähes kaikissa kuormituksissa ryhmästä riippumatta miesten laktaattiarvot olivat keskimäärin korkeampia kuin naisten. Ainoastaan jalkaprässin sarjakuormituksessa fitnessryhmässä laktaatti nousi naisilla keskimäärin korkeammalle kuin miehillä. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,836$). Tilastollisesti merkitseviä eroja havaittiin prässin sarjakuormituksessa aloittelijaryhmässä ja hauiskäännön toistomaksimi- sekä sarjakuormituksissa voimailijaryhmässä. Fitnessryhmässä oli tilastollisesti hyvin merkitsevä ero hauiskäännön sarjakuormituksen laktaattipitoisuudessa ($p < 0,002$). Myös koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa hauiskäännön toistomaksimi- ja sarjakuormituksissa havaittiin hyvin merkitsevät erot laktaattipitoisuuksissa.

TAULUKKO 3. Mitattujen laktaattipitoisuuksien (mmol/l) keskiarvot ja keskihajonnat sukupuolittain ja ryhmittäin. Merkitsevyydet sukupuolivertailussa: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

	Aloittelijat		Fitness		Voimailijat	
	Miehet (n=7)	Naiset (n=7)	Miehet (n=7)	Naiset (n=6)	Miehet (n=6*)	Naiset (n=6)
Toistomaksimi hauis	4,1 ± 1,8	2,9 ± 1,3	5,6 ± 1,6	4,7 ± 0,9	5,1 ± 1,9*	2,9 ± 1,3
Sarjakuormitus hauis	4,1 ± 1,7	3,3 ± 1,3	6,8 ± 2,2**	4,3 ± 0,9	5,0 ± 2,3*	2,5 ± 1,5
Toistomaksimi prässi	5,6 ± 1,4	4,3 ± 1,5	6,7 ± 1,9	7,0 ± 0,9	7,6 ± 1,9	5,4 ± 1,1
Sarjakuormitus prässi	7,0 ± 1,5*	4,7 ± 2,3	7,9 ± 2,2	8,7 ± 1,6	7,7 ± 1,8	6,7 ± 1,7

* Voimailijaryhmässä miesten n=5 jalkaprässin kuormituksissa.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sukupuolen vaikutusta toistomaksimiin ja sarjojen määrään uupumukseen asti tehdyissä voimakuormituksissa. Tutkittavina oli voimaharjoittelun suhteen aloittelijoita, voimailijoita ja fitnessurheilijoita, jotka suorittivat yhden mittauskerran aikana samat kuormitukset. Tutkittavat oli jaettu kolmeen ryhmään harjoitustaustan perusteella, ja jokaisessa ryhmässä oli sekä miehiä että naisia. Tutkittavilta testattiin yhden toiston maksimit hauiskäännössä ja yhden jalan jalkaprässissä, joiden lisäksi tutkittavat suorittivat kyseisissä liikkeissä toistomaksimitestin ja sarjakuormituksen. Sukupuolen vaikutusta arvioitiin koko tutkimusjoukossa ja eri ryhmien välillä.

Käytännön voimaharjoittelussa liikkeet suoritetaan yleensä dynaamisesti. Suurimmassa osassa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on kuitenkin tarkasteltu sukupuolieroja isometrisissä suorituksissa. Lisäksi niissä harvoissa tutkimuksissa, joissa liikkeet on suoritettu dynaamisesti, on tehty jokainen sarja uupumukseen saakka. (Hunter 2014) Tämäkään protokolla ei ole optimi käytännön harjoittelun kannalta, sillä tiedetään, että uupumukseen asti harjoittelu ei näyttäisi edistävän voiman kehittymistä (Davies ym. 2016) ja voi kasvattaa loukkaantumiseriskiä (Nóbrega & Libardi 2016). Tämä tutkimus tarjoaakin arvokasta tietoa sukupuolieroista käytännön harjoitteluun normaalia voimaharjoittelua mallintavissa dynaamisissa kuormituksissa.

Aiemmissä tutkimuksissa miehillä on havaittu olevan korkeammat voimatasot ala- ja ylävartalossa (Monteiro ym. 2016). Samankaltaisia tuloksia saatiin myös tässä tutkimuksessa, sillä miesten voimatasot olivat korkeammat kuin naisilla sekä hauiskäännössä että jalkaprässissä. Miesten yhden toiston maksimi oli keskimäärin noin 50 % korkeampi hauiskäännössä ja noin 34 % korkeampi jalkaprässissä kuin naisilla. Naisilla alavartalon voimatasojen on havaittu olevan korkeampia kuin ylävartalon voimatasojen kehonpainoon suhteutettuna (Monteiro ym. 2016; Roberts ym. 2020), mikä selittänee suurempia sukupuolieroja hauiskäännön maksimissa verrattuna jalkaprässin maksimiin.

7.1 Toistomaksimi

Koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa toistomaksimitesteissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja sukupuolten välillä kummassakaan liikkeessä, mikä vastasi myös hypoteesia. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös aiemmassa tutkimuksessa, jossa ei havaittu sukupuolten välisiä eroja polvenojennuksen toistomaksimissa 50 % 1RM kuormalla (Pincivero ym. 2004). Samaisessa tutkimuksessa kuitenkin tarkasteltiin sukupuolieroja myös isometrisessä selänojenuksessa, jossa naisilla aika uupumukseen oli pidempi kuin miehillä. Useiden aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella näyttäisikin siltä, että harjoitustausta (Richens & Cleather 2014; Campos ym. 2002), lihastyötapaa (Pincivero ym. 2004; Flanagan ym. 2014) kuorman suuruus, liike ja töitä tekevät lihakset (Arazi & Asadi 2011; Shimano ym. 2006) vaikuttaisivat toistomaksimiin enemmän kuin sukupuoli.

Harjoitustaustan merkitys näkyi varmastikin myös tässä tutkimuksessa. Vaikkakaan tilastollisesti merkitseviä eroja ei juurikaan havaittu, ryhmäkohtaisia eroja oli kuitenkin nähtävissä. Aloittelijanaisten hauiskäännön toistomaksimi oli korkeampi kuin miesten, kun taas voimailijaryhmässä miesten toistomaksimi oli korkeampi. Nämä erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Samankaltaisia havaintoja voidaan nähdä myös jalkaprässin osalta. Jalkaprässissä naisten toistomaksimi oli korkeampi kuin miesten fitness- ja aloittelijaryhmässä, mutta voimailijaryhmässä tulokset olivat päinvastaisia. Tosin tässäkin tapauksessa erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ainoastaan aloittelijaryhmässä ero oli tilastollisesti merkitsevä jalkaprässin toistomaksimissa.

Tutkimuksessa käytettiin hyvin alhaista polvikulmaa (noin 70 astetta), joka saattoi jo itsessään aiheuttaa eroja ryhmien ja yksilöiden välillä. On kuitenkin muistettava, että ryhmittäin tarkasteltaessa tutkittavien määrä oli melko pieni, joten pienet erot ryhmien välillä saattavat johtua myös sattumasta. Koko tutkimusjoukon tuloksia tarkasteltaessa voidaan kuitenkin todeta, että toistomaksimissa ei ollut sukupuolieroja liikkeestä riippumatta. Lisäksi näyttäisi, että kuormalla ei olisi vaikutusta sukupuolieroihin toistomaksimissa, sillä sukupuolieroja ei havaittu hauiskäännön 50 % 1RM kuormalla eikä jalkaprässin 75 % 1RM kuormalla.

Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia liikkeen merkityksestä sukupuolieroihin. Joissain tutkimuksissa liikkeen ja töitä tekevän lihasmassan suuruuden on havaittu vaikuttavan sukupuolieroihin toistomaksimissa. Esimerkiksi Hoegerin ym. (1990)

tutkimuksessa harjoitelleet naiset suorittivat kahden jalan jalkaprässissä keskimäärin enemmän toistoja kuin harjoitelleet miehet, mutta hauiskäännössä miesten toistomaksimi oli suurempi. Arazin ja Asadin (2011) tutkimuksessa havaittiin, että toistomaksimi näyttäisi kasvavan liikkeissä, joissa työskentelevä lihasmassa on suurempi. Rossmannin ym. (2014) tutkimuksessa sen sijaan pienemmän aktiivisen lihasmassan liikkeissä aika uupumukseen oli pidempi. Tässä tutkimuksessa liikkeiden toistomaksimeja ei voi suoraan verrata toisiinsa, sillä hauiskäännön kuorma oli 50 % 1RM ja jalkaprässin 75 % 1RM.

7.2 Sarjakuormitus

Sarjakuormituksen tulokset vastasivat hypoteesia jalkaprässin osalta. Tässä tutkimuksessa käytetty sarjakuormitusprotokolla poikkesi aiemmin tehdyistä tutkimuksista, sillä samankaltaisissa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on yleensä vakioitu sarjojen määrä ja suoritettu kaikki sarjat uupumukseen asti (Pincivero ym. 2004; Clark ym. 2003; Maughan ym. 1986; Flanagan ym. 2014; Monteiro ym. 2017; Salvador ym. 2005). Joissain tutkimuksissa naiset suorittivat enemmän toistoja kuin miehet uupumukseen asti tehdyissä sarjoissa (Senefeld ym. 2018; Maughan ym. 1986; Flanagan ym. 2014; Salvador ym. 2005), osassa ei havaittu sukupuolieroja (Pincivero ym. 2004; Clark ym. 2003; Mendonca ym. 2018; Maughan ym. 1986; Flanagan ym. 2014) ja muutamassa tutkimuksessa miehet suorittivat enemmän toistoja kuin naiset (Flanagan ym. 2014; Monteiro ym. 2017). Näyttäisi siis siltä, että myös pidemmissä sarjakuormituksissa sukupuoli ei ole ainoa eroja selittävä tekijä yksilöiden välillä.

Tässäkin tutkimuksessa saatiin erilaisia tuloksia riippuen liikkeestä, sillä hauiskäännön sarjakuormituksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä sukupuolieroja koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa, mutta jalkaprässissä havaittiin erittäin merkitseviä. Hauiskäännön tulos on ristiriidassa aiemmin tehdyn tutkimuksen tuloksiin, jossa havaittiin, että 80 % 1RM kuormalla tehdessä naisten suorituskyvyn lasku oli hauiskäännössä vähäisempää kuin miehillä (Salvador ym. 2005). Tässä tutkimuksessa hauiskäännön sarjakuormitustestissä havaittiin kuitenkin ryhmäkohtaisia eroja, sillä voimailijamiesten kokonaistoistomäärä oli noin 44 % korkeampi kuin naisten, kun taas muissa ryhmissä naiset suorittivat muutaman toiston enemmän tai saman verran toistoja kuin miehet. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,093$). Jälleen voidaan siis ajatella, olisiko harjoitustaustalla suurempi merkitys kuin esimerkiksi

sukupuolella. Salvadorin ym. (2005) tutkimuksessa käytetty kuorma oli myöskin suurempi, mikä saattaa osaltaan vaikuttaa eriäviin tuloksiin tämän tutkimuksen tuloksiin verrattuna.

Liikkeen ja kuorman merkitystä sukupuolieroihin voidaan tarkastella fitnessryhmäläisten tuloksista. Fitnessryhmässä miehillä ja naisilla oli keskenään lähes samat toistomäärät hauiskäännön toistomaksimitestissä sekä sarjakuormituksessa. Myös yhden jalan jalkaprässin toistomaksimi oli miehillä ja naisilla lähes sama, mutta sarjakuormituksessa naiset suorittivat tuplasti enemmän toistoja kuin miehet. Sukupuolieroja ei siis havaittu kummankaan liikkeen toistomaksimissa eikä hauiskäännön sarjakuormituksessa 50 % 1RM kuormalla, mutta jalkaprässin sarjakuormituksessa 75 % 1RM kuormalla ero oli huomattava. Aiemman tutkimustiedon valossa näyttäisi siltä, että sukupuolten välisiä eroja suorituskyvyn laskussa havaittaisiin erityisesti alhaisilla kuormilla tehdessä (Maughan ym. 1986; Hickson ym. 1994), ja on ollut epäselvää vaikuttaako sukupuoli myös yli 70 % 1RM kuormilla. Tässä tutkimuksessa eroja kuitenkin havaittiin nimenomaan korkeammilla kuormilla. On kuitenkin mahdotonta sanoa, johtuiko jalkaprässin sarjakuormituksen suuremmat sukupuolierot verrattuna hauiskääntöön liikkeestä vai kuorman suuruudesta. Koko tutkimusjoukkoa ja eri ryhmiä tarkasteltaessa selvää kuitenkin on, että sukupuolieroja voidaan havaita sarjakuormituksessa harjoitustaustasta riippumatta, vaikka toistomaksimissa ei olisikaan eroja.

Syitä siihen, miksi sukupuolieroja havaittiin yhden jalan jalkaprässin sarjakuormituksessa mutta ei hauiskäännössä, voidaan mahdollisesti selittää myös lihaskoolla, verenvirtauksella ja veren hapettumisella. Isometrisessä, kovaintensiteettisessä suorituksessa miesten on arveltu nojaavan enemmän anaerobiseen energiantuottoon (Russ ym. 2005), ja näin on epäilty mahdollisesti olevan dynaamisessakin voimailusuorituksessa (Nuckols 2019). Eroavaisuuksia voi mahdollisesti olla myös siinä, miten hapellinen veri virtaa kuormituksessa esimerkiksi lihaskoon vaikutuksesta. Suurempi ja vahvempi lihas työskennellessään etenkin kovilla intensiteeteillä kompressoii suonia enemmän, jolloin virtausta on vähemmän. Toisaalta tästä sekä myös lihassolutyypeistä johtuen anaerobisten metaboliittien kertyminen voi erota tutkittavilla. Näiden tekijöiden johdosta miesten väsymys voi olla suurempaa. (Hunter 2014)

Anaerobisen metabolian kasvun suorituksessa on ajateltu olevan yhtenä selittävänä tekijänä väsymyksessä (Allen & Trajanovska 2012). Kun otetaan huomioon lisäksi hapen saatavuuden vaikutukset palautumiseen (Haseler ym. 1999; Sahlin ym. 1979), vaikuttaisi edelleen oletettavammalta, että verenvirtauksen suurempi estyminen miehillä aiheuttaisi enemmän

väsymystä, josta onkin viitteitä tuoreen isometrisen kuormitustutkimuksen perusteella (Ansdell ym. 2019). On myös huomattu, että verenkierron täyden estämisen seurauksena sukupuolierot väsymyksessä näyttäisivät katoavan, jolloin ehdotuksena on, että yksi suuri eroavaisuuksiin vaikuttaja olisi nimenomaan verenvirtaus (Russ & Kent-Braun 2003). Oletettavasti jalkaprässin sarjakuormituksessa verenvirtaus heikkeni enemmän kuin hauiskäännössä johtuen suuremmista ja vahvemmissa lihaksista, mikä saattaa selittää miesten alhaisempaa toistomäärää naisiin verrattuna jalkaprässin usean sarjan kuormituksessa.

Naiset suorittivat tässä tutkimuksessa tuplasti enemmän toistoja jalkaprässin sarjakuormituksessa miehiin verrattuna, joka on huomattavasti suurempi sukupuoliero kuin aiempien tutkimusten sarjakuormituksissa on havaittu. Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa yhtä suuria sukupuolieroja on havaittu vain Nuckolsin (2019) tutkimuksessa, jossa naiset suorittivat penkkipunnerruksessa 75 % 1RM kuormalla niin ikään tuplasti enemmän toistoja miehiin verrattuna sarjakuormituksessa, vaikka toistomaksimitestissä ei ollut sukupuolten välisiä eroja. Tämän tutkimuksen tuloksista nähdään, että fitness- ja aloittelijaryhmässä naiset suorittivat jalkaprässin toistomaksimitestissä keskimäärin vain muutaman toiston enemmän kuin miehet, mutta sarjakuormituksessa naisten kokonaistoistomäärä oli tuplasti korkeampi. Voimailijaryhmässä miesten toistomaksimi oli keskimäärin jopa hieman korkeampi kuin naisten, vaikka sarjakuormituksessa naiset suorittivat keskimäärin 33 % enemmän toistoja miehiin verrattuna.

On mahdollisesti olemassa muutamia selittäviä tekijöitä, miksi tässä tutkimuksessa havaittiin niin suuria sukupuolieroja jalkaprässin sarjakuormituksessa. Ensinnäkin voi olla, että naisilla olisi miehiin verrattuna parempi kyky vastustaa väsymystä ja ylläpitää suorituskyykyä pitkissä sarjakuormituksissa. Tämä mahdollistaisi suuria eroja toistojen kokonaismäärässä, kun jokaista sarjaa ei viedä uupumukseen asti eikä suoritettavien sarjojen määrää ole ennalta määrätty. Käyttämällä protokollaa, joissa toistojen määrä sarjassa on vakioitu mutta sarjojen määrä ei, naiset voivat hyödyntää parempaa palautumistaan lyhyillä palautusajoilla. Protokollassa, jota käytettiin tässä tutkimuksessa, korostuu erityisesti kyky palautua sarjojen välillä. Kenties tästä syystä sukupuolieroja ei juurikaan havaittu toistomaksimitesteissä, mutta sarjakuormituksissa havaittiin.

Mikäli naiset palautuvat sarjojen välillä nopeammin kuin miehet, yksi selittävä tekijä saattaa liittyä laktaatti- ja vetyionien kertymiseen kuormituksessa. Vaikka tiedetäänkin, että näiden

ionien kertyminen ja lihaksen happamoituminen eivät yksinään selitä väsymystä, on niillä kuitenkin heikentävä vaikutus voimantuottoon (Messonnier ym. 2007; Allen & Trajanovska 2012; Wan ym. 2017). Naisilla veren laktaattipitoisuuden on havaittu nousevan vähemmän miehiin verrattuna, vaikka suoritettujen toistojen määrä olisikin naisilla huomattavasti korkeampi (Nuckols 2019). Myös tässä tutkimuksessa havaittiin osittain samankaltaisia tuloksia kuin Nuckolsin (2019) tutkimuksessa. Esimerkiksi aloittelijaryhmässä naisilla oli jalkaprässin sarjakuormituksessa keskimäärin tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi veren laktaattipitoisuus, vaikka naiset suorittavat tuplasti enemmän toistoja kuin miehet. Tämä voi viitata siihen, että naisten ei tarvitsisi turvautua niin paljoa anaerobiseen glykolyysiin. Sukupuolierot laktaattipitoisuuksissa voivat kuitenkin johtua myös tehokkaammasta laktaatinpoistosta naisilla.

7.3 Virhelähteet

Tutkimuksissa, joissa kuorma määritetään yhden toiston maksimin perusteella, tulee ottaa huomioon mahdollinen virhelähde yhden toiston maksimin luotettavuudessa. Aiemman tutkimustiedon perusteella yhden toiston maksimitestin on kuitenkin todettu olevan luotettava tapa selvittää maksimaalista lihasvoimaa (Levinger ym. 2009; Guedes ym. 2011; Seo ym. 2012; Grgic ym. 2020). Luotettavuus saattaa kärsiä erityisesti harjoittelemattomilla, mutta tässä tutkimuksessa mahdollinen virhelähde pyrittiin minimoimaan huolellisen lämmittelyn, riittävän monen yrityskerran ja kannustamisen avulla. Myös toistomaksimitestissä ja sarjakuormituksissa suoritustekniikka käytiin huolellisesti läpi jokaisen tutkittavan kanssa, ja sitä pyrittiin tarvittaessa kehittämään optimaaliseksi, jotta jokainen tutkittava pääsisi omaan todelliseen maksimiinsa. Erityisesti aloittelijoilla saattoi kuitenkin olla haastavaa päästä todelliseen maksimiin ja uupumukseen saakka kokemattomuudesta johtuen.

Tuloksista huomataan, että hauiskäännön toistomaksimi- ja sarjakuormituksissa sekä jalkaprässin toistomaksimissa voimailijaryhmä poikkeaa kahdesta muusta ryhmästä sukupuolierojen suhteen. Tämä saattaa johtua siitä, että voimailijaryhmän tutkittaviksi saatiin ainoastaan kuusi naista ja kuusi miestä. Lisäksi yksi voimailijamies ei kyennyt tekemään jalkaprässin kuormituksia. Voikin siis olla, että tulokset olisivat olleet erilaisia, jos voimailijaryhmässäkin olisi ollut enemmän tutkittavia ja kaikki tutkittavat olisivat pystyneet suorittamaan kuormitukset.

Tutkittavat saivat käyttää mittauksissa vapaavalintaisia kenkiä ja halutessaan polvenlämmittintä. Yleisesti ottaen ryhmien sisällä käytettiin usein samankaltaisia kenkiä, mikä saattoi vaikuttaa ryhmien välisiin eroihin. Huolimatta siitä, että tutkittavia ohjeistettiin välttämään harjoittelua ennen kuormituksia, eri tutkittavien vireystila ja fyysinen sekä psyykkinen palautuneisuus saattoivat kuitenkin poiketa toisistaan mittauspäivänä.

Muuttujat päädyttiin analysoimaan ei-parametrisella testillä, koska kaikki muuttujat eivät olleet täysin normaalijakautuneita molemmilla sukupuolilla. Muuttujat analysoitiin kuitenkin myös parametrisella testillä, jotta voitiin nähdä, muuttuvatko merkitsevyydet eri testiä käytettäessä. Tilastolliset merkitsevyydet olivat kuitenkin täysin samat sekä ei-parametrisella Mann-Whitney U-testillä että parametrisella riippumattomien otosten t-testillä. Tämä lisää tulosten luotettavuutta, sillä merkitsevyydet eivät olleet riippuvaisia käytetystä tilastomenetelmästä.

7.4 Yhteenveto

Aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella tiedetään, että merkittäviä sukupuolieroja lihaksen toiminnassa ja suorituskyvyssä voidaan havaita niin voimaharjoituksen kuin siitä palautumisenkin aikana (Hunter 2016). Mekanismit voiman palautumiseen väsyttävän harjoituksen aikana ja jälkeen voivat vaihdella sukupuolittain, eikä kaikkia siihen vaikuttavia tekijöitä vielä tunneta. Eroja suorituskyvyn laskussa sukupuolten välillä on kuitenkin selitetty muun muassa lihaksen koolla ja energiantuottomekanismeilla (Hunter 2014), lihassolutyypillä (Russ ym. 2005), lihaksen verenkierrolla (Clark ym. 2005; Parker ym. 2007) sekä tahdonalaisella aktivaatiolla (Russ & Kent-Braun 2003; Martin & Rattey 2007). Käytännön valmennuksen kannalta eroja väsymykseen liittyen olisi tärkeä ymmärtää, jotta voitaisiin hahmottaa suorituskyvyn rajoja sukupuolittain sekä tarvittaessa optimoida harjoittelua.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että sukupuolieroja voidaan havaita sarjakuormituksessa harjoitustaustasta riippumatta, vaikka toistomaksimissa ei olisikaan eroja. Sukupuolieroja havaittiin erityisesti yhden jalan jalkaprässin sarjakuormituksessa, jossa suoritettiin kahdeksan toiston sarjoja lyhyillä palautusajoilla uupumukseen asti. Tulosten perusteella ei kuitenkaan voida yksiselitteisesti sanoa, miksi sukupuolieroja havaittiin jalkaprässin sarjakuormituksessa mutta ei hauiskäännön. Tähän saattoi vaikuttaa esimerkiksi

eri liike, töitä tekevän lihasmassan suuruus tai käytetty kuorma. Näyttäisi kuitenkin siltä, että erityisesti yhden jalan jalkaprässissä 75 % 1RM kuormalla naisilla olisi parempi kyky ylläpitää suorituskykyä usean sarjan kuormituksessa.

LÄHTEET

- Allen, D. G., Lamb, G. D. & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiological Reviews* 88 (1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007.
- Allen, D. G. & Trajanovska, S. (2012). The multiple roles of phosphate in muscle fatigue. *Frontiers in Physiology* 3, 463. doi:10.3389/fphys.2012.00463.
- Ansdell, P., Brownstein, C. G., Škarabot, J., Hicks, K. M., Howatson, G., Thomas, K., Hunter, S. K. & Goodall, S. (2019). Sex differences in fatigability and recovery relative to the intensity-duration relationship. *The Journal of physiology*, 597 (23), 5577–5595. doi:10.1113/JP278699.
- Arazi, H. & Asadi, A. (2011). The relationship between the selected percentages of one repetition maximum and the number of repetitions in trained and untrained males. *Facta Universitatis Physical Education and Sport* 9. doi: 10.1519/R-18195.1.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J. & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology* 88 (1), 50-60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6.
- Cano, A., Ventura, L., Martinez, G., Cugusi, L., Caria, M., Deriu, F. & Manca, A. (2022). Analysis of sex-based differences in energy substrate utilization during moderate-intensity aerobic exercise. *European journal of applied physiology*, 122 (1), 29–70. doi:10.1007/s00421-021-04802-5.
- Celes, R., Brown, L. E., Pereira, M. C., Schwartz, F. P., Junior, V. A. & Bottaro, M. (2010). Gender muscle recovery during isokinetic exercise. *International Journal of Sports Medicine* 31 (12), 866-869. doi:10.1055/s-0030-1254156.
- Clark, B. C., Collier, S. R., Manini, T. M. & Ploutz-Snyder, L. L. (2005). Sex differences in muscle fatigability and activation patterns of the human quadriceps femoris. *European Journal of Applied Physiology* 94 (1-2), 196-206. doi: 10.1007/s00421-004-1293-0.
- Clark, B. C., Manini, T. M., Thé, D. J., Doldo, N. A. & Ploutz-Snyder, L. L. (2003). Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *Journal of Applied Physiology* 94 (6), 2263-2272. doi:00926.2002.

- Davies, T., Orr, R., Halaki, M. & Hackett, D. (2016) Effect of Training Leading to Repetition Failure on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 46 (4):487-502. doi:10.1007/s40279-015-0451-3.
- Douris, P. C., White, B. P., Cullen, R. R., Keltz, W. E., Meli, J., Mondiello, D. M. & Wenger, D. (2006). The relationship between maximal repetition performance and muscle fiber type as estimated by noninvasive technique in the quadriceps of untrained women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20 (3), 699-703. doi:10.1519/17204.1.
- Esbjörnsson-Liljedahl, M., Bodin, K. & Jansson, E. (2002). Smaller muscle ATP reduction in women than in men by repeated bouts of sprint exercise. *Journal of Applied Physiology* 93 (3), 1075-1083. doi:10.1152/jappphysiol.00732.1999.
- Flanagan, S. D., Mills, M. D., Sterczala, A. J., Mala, J., Comstock, B. A., Szivak, T. K., DuPont, W. H., Looney, D. P., McDermott, D. M., Hooper, D. R., White, M. T., Dunn-Lewis, C., Volek, J. S., Maresh, C. M. & Kraemer, W. J. (2014). The relationship between muscle action and repetition maximum on the squat and bench press in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (9), 2437-2442. doi:10.1519/JSC.0000000000000337.
- Fulco, C. S., Rock, P. B., Muza, S. R., Lammi, E., Cymerman, A., Butterfield, G., Moore, L. G., Braun, B. & Lewis, S. F. (1999). Slower fatigue and faster recovery of the adductor pollicis muscle in women matched for strength with men. *Acta Physiologica Scandinavica* 167 (3), 233-239. doi:10.1046/j.1365-201x.1999.00613.x.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews* 81 (4), 1725-1789. doi:10.1152/physrev.2001.81.4.1725.
- Gonzales, J. U. & Scheuermann, B. W. (2006). Gender differences in the fatigability of the inspiratory muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38 (3), 472-479. doi:00005768-200603000-00011.
- Grgic, J., Lazineca, B., Schoenfeld, B. J. & Pedisic, Z. (2020). Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: A systematic review. *Sports Medicine - Open* 6 (1), 31-z. doi:10.1186/s40798-020-00260-z.
- Guedes, M., Bgeginski, R., Pinto, R. & Krueel, L. (2011). The reliability of the one maximum repetition in sedentary, active and strength-trained subjects. *Motriz.Revista De Educação Física* 17 (4), 700-707. doi:10.1590/S1980-65742011000400015.
- Hall, E. C. R., Lysenko, E. A., Semenova, E. A., Borisov, O. V., Andryushchenko, O. N., Andryushchenko, L. B., Vepkhvadze, T. F., Lednev, E. M., Zmijewski, P., Popov, D. V., Generozov, E. V. & Ahmetov, I. I. (2021). Prediction of muscle fiber composition

- using multiple repetition testing. *Biology of Sport* 38 (2), 277-283. doi:10.5114/biolsport.2021.99705.
- Haseler, L. J., Hogan, M. C. & Richardson, R. S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *Journal of Applied Physiology* 86 (6), 2013-2018. doi:10.1152/jappl.1999.86.6.2013.
- Hickson, R. C., Hidaka, K. & Foster, C. (1994). Skeletal muscle fiber type, resistance training, and strength-related performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26 (5), 593-598.
- Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S. L. & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 4 (2). doi: 10.1519/R-18195.1.
- Hunter, S. K., Critchlow, A., Shin, I. S. & Enoka, R. M. (2004). Fatigability of the elbow flexor muscles for a sustained submaximal contraction is similar in men and women matched for strength. *Journal of Applied Physiology* 96 (1), 195-202. doi:00893.2003.
- 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.
- Hunter, S. K. (2016). The relevance of sex differences in performance fatigability. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48 (11). doi:10.1249/MSS.0000000000000928.
- Häkkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine* 14 (2), 53-59. doi:10.1055/s-2007-1021146.
- Koral, J., Oranchuk, D. J., Wrightson, J. G., Twomey, R. & Millet, G. Y. (2020). Mechanisms of neuromuscular fatigue and recovery in unilateral versus bilateral maximal voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology* 128 (4), 785-794. doi:10.1152/jappphysiol.00651.2019.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Maresh, C. M., Ratamess, N. A., Gordon, S. E., Goetz, K. L., Harman, E. A., Frykman, P. N., Volek, J. S., Mazzetti, S. A., Fry, A. C., Marchitelli, L. J. & Patton, J. F. (1999). Acute hormonal responses to a single bout of heavy resistance exercise in trained power lifters and untrained men. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24 (6), 524-537. doi:10.1139/h99-034.
- Larsson, B., Kadi, F., Lindvall, B. & Gerdle, B. (2006). Surface electromyography and peak torque of repetitive maximum isokinetic plantar flexions in relation to aspects of muscle morphology. *Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the*

- International Society of Electrophysiological Kinesiology 16 (3), 281-290. doi:S1050-6411(05)00094-5.
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjökvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T. & Curtner-Smith, M. (2010). Effect of gender on fatigue and recovery following maximal intensity repeated sprint performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 50 (3), 243-253. doi: R40102963.
- 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. doi: S1440-2440(07)00257-5.
- Linnarsson, D., Karlsson, J., Fagraeus, L. & Saltin, B. (1974). Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *Journal of Applied Physiology* 36 (4), 399-402. doi:10.1152/jappl.1974.36.4.399.
- Martin, P. G. & Rattey, J. (2007). Central fatigue explains sex differences in muscle fatigue and contralateral cross-over effects of maximal contractions. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* 454 (6), 957. doi:10.1007/s00424-007-0243-1.
- Matkowski, B., Place, N., Martin, A. & Lepers, R. (2011). Neuromuscular fatigue differs following unilateral vs bilateral sustained submaximal contractions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21 (2), 268-276. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01040.x.
- Maughan, R. J., Harmon, M., Leiper, J. B., Sale, D. & Delman, A. (1986). Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 55 (4), 395-400. doi:10.1007/BF00422739.
- 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.
- Mendonca, G. V., Borges, A., Teodósio, C., Matos, P., Correia, J., Vila-Chã, C., Mil-Homens, P. & Pezarat-Correia, P. (2018). Muscle fatigue in response to low-load blood flow-restricted elbow-flexion exercise: Are there any sex differences? *European Journal of Applied Physiology* 118 (10), 2089-2096. doi:10.1007/s00421-018-3940-x.
- Messonnier, L., Kristensen, M., Juel, C. & Denis, C. (2007). Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* 102 (5), 1936-1944. doi:00691.2006.

- Monteiro E.R., Brown A.F., Bigio L., Palma A., dos Santos L.G., Cavanaugh M.T., Behm D.G. & Correa Neto V. (2016). Male relative muscle strength exceeds females for bench press and back squat. *Journal of Exercise Physiology Online* 19, 79–86.
- Monteiro, E. R., Steele, J., Novaes, J. S., Brown, A. F., Cavanaugh, M. T., Vingren, J. L. & Behm, D. G. (2017). Men exhibit greater fatigue resistance than women in alternated bench press and leg press exercises. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 59 (2), 238-245. doi:10.23736/S0022-4707.17.08062-8.
- Morris, M. G., Dawes, H., Howells, K., Scott, O. M. & Cramp, M. (2008). Relationships between muscle fatigue characteristics and markers of endurance performance. *Journal of Sports Science & Medicine* 7 (4), 431-436. doi: jssm-07-431.
- Nóbrega, S. R., & Libardi, C. A. (2016). Is Resistance Training to Muscular Failure Necessary? *Frontiers in physiology* 7 (10). doi:10.3389/fphys.2016.00010
- Nuckols, G. L. (2019). The Effects Of Biological Sex On Fatigue During And Recovery From Resistance Exercise. MSc thesis.
- Panissa, V. L. G., Azevedo, N. R. M., Julio, U. F., Andreato, L. V., Pinto E Silva, C. M., Hardt, F. & Franchini, E. (2013). Maximum number of repetitions, total weight lifted and neuromuscular fatigue in individuals with different training backgrounds. *Biology of Sport* 30 (2), 131-136. doi:10.5604/20831862.1044458.
- Parker, B. A., Smithmyer, S. L., Pelberg, J. A., Mishkin, A. D., Herr, M. D. & Proctor, D. N. (2007). Sex differences in leg vasodilation during graded knee extensor exercise in young adults. *Journal of Applied Physiology* 103 (5), 1583-1591. doi: 10.1152/jappphysiol.00662.2007.
- Pekünlü, E. & Atalag, O. (2013). Relationship between fatigue index and number of repetition maxima with sub-maximal loads in biceps curl. *Journal of Human Kinetics* 38, 169-81. doi:10.2478/hukin-2013-0057. doi:10.2478/hukin-2013-0057.
- Pincivero, D. M., Coelho, A. J. & Campy, R. M. (2004). Gender differences in perceived exertion during fatiguing knee extensions. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36 (1), 109-117. doi:00005768-200401000-00020.
- Ratamess, N., Chiarello, C., Sacco, A., Hoffman, J., Faigenbaum, A., Ross, R. & Kang, J. (2012). The effects of rest interval length on acute bench press performance: The influence of gender and muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (7), 1817-1826. doi:10.1519/JSC.0b013e31825bb492.

- Richens, B. & Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biology of Sport* 31 (2), 157-161. doi:10.5604/20831862.1099047.
- Roberts B.M., Nuckols G. & Krieger J.W. (2020). Sex Differences in Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34 (5), 1448–1460. doi: 10.1519/JSC.0000000000003521.
- Roepstorff, C., Thiele, M., Hillig, T., Pilegaard, H., Richter, E. A., Wojtaszewski, J. F. P. & Kiens, B. (2006). Higher skeletal muscle alpha2AMPK activation and lower energy charge and fat oxidation in men than in women during submaximal exercise. *Journal of Physiology* 574 (Pt 1), 125-138. doi:10.1113/jphysiol.2006.108720.
- Rossman, M. J., Garten, R. S., Venturelli, M., Amann, M. & Richardson, R. S. (2014). The role of active muscle mass in determining the magnitude of peripheral fatigue during dynamic exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 306 (12), R934-R940. doi:10.1152/ajpregu.00043.2014.
- Russ, D. W. & Kent-Braun, J. A. (2003). Sex differences in human skeletal muscle fatigue are eliminated under ischemic conditions. *Journal of Applied Physiology* 94 (6), 2414. doi:10.1152/jappphysiol.01145.
- Russ, D. W., Lanza, I. R., Rothman, D. & Kent-Braun, J. A. (2005). Sex differences in glycolysis during brief, intense isometric contractions. *Muscle & Nerve* 32 (5), 647-655. doi:10.1002/mus.20396.
- Sahlin, K., Harris, R. C. & Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 39 (6), 551-558. doi:10.3109/00365517909108833.
- Salvador, E. S., Cyrino, E. S., Gurjão, A.L. D., Dias, M. R. R., Nakamura F.Y. & Ramos De Oliveira, A. (2005). A comparison of motor performance between men and women in multiple sets of weight exercises. *Revista Brasileira Medicina Esporte* 11 (5), 257-261. doi:10.1590/S1517-86922005000500002.
- Sayers, S. P. & Clarkson, P. M. (2001). Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European Journal of Applied Physiology* 84 (1-2), 122-126. doi:10.1007/s004210000346.
- Senefeld, J., Pereira, H. M., Elliott, N., Yoon, T. & Hunter, S. K. (2018). Sex differences in mechanisms of recovery after isometric and dynamic fatiguing tasks. *Medicine &*

- Science in Sports & Exercise 50 (5), 1070-1083. doi: 10.1249/MSS.0000000000001537.
- Seo, D., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., Thiebaud, R., Sherk, V. D., Loenneke, J. P., Kim, D., Lee, M., Choi, K., Bemben, D. A., Bemben, M. G. & So, W. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *Journal of Sports Science & Medicine* 11 (2), 221-225.
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Maresh, C. M., Fleck, S. J., Newton, R. U., Spreuwenberg, L. P. & Häkkinen, K. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20 (4), 819-823. doi: R-18195.
- Sidhu, S. K., Weavil, J. C., Mangum, T. S., Jessop, J. E., Richardson, R. S., Morgan, D. E. & Amann, M. (2017). Group III/IV locomotor muscle afferents alter motor cortical and corticospinal excitability and promote central fatigue during cycling exercise. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 128 (1), 44-55. S1388-2457(16)30555-7. doi:10.1016/j.clinph.2016.10.008.
- Terzis, G., Spengos, K., Manta, P., Sarris, N. & Georgiadis, G. (2008). Fiber type composition and capillary density in relation to submaximal number of repetitions in resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (3), 845-850. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5ee4.
- Theofilidis, G., Bogdanis, G. C., Koutedakis, Y. & Karatzaferi, C. (2018). Monitoring exercise-induced muscle fatigue and adaptations: Making sense of popular or emerging indices and biomarkers. *Sports Basel, Switzerland* 6 (4), 153. doi:10.3390/sports6040153.
- Wan, J., Qin, Z., Wang, P., Sun, Y. & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: General understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine* 49 (10), e384. doi:10.1038/emm.2017.194.
- Willardson, J. M., Kattenbraker, M. S., Khairallah, M. & Fontana, F. E. (2010). Research note: Effect of load reductions over consecutive sets on repetition performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (3), 879-884. doi:10.1519/JSC.0b013e3181aeb0ea.
- Wirtz, N., Wahl, P., Kleinöder, H. & Mester, J. (2014). Lactate kinetics during multiple set resistance exercise. *Journal of Sports Science & Medicine* 13 (1), 73-77.

Wüst, R. C. I., Morse, C. I., De Haan, A., Jones, D. A. & Degens, H. (2008). Sex differences in contractile properties and fatigue resistance of human skeletal muscle. *Experimental Physiology* 93 (7), 843-850. doi:10.1113/expphysiol.2007.041764.

