

**NAISPALLOILIJOIDEN ALARAAJOJEN LIHASMASSAN JA -VOIMAN  
PUOLIEROT LIHASTASAPAINON ARVIOINNISSA**

Emilia Korkonen

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma  
Liikuntatieteellinen tiedekunta  
Jyväskylän yliopisto  
Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Korkonen, E. 2024. Naispalloilijoiden alaraajojen lihastasapainon arvioiminen vertaamalla lihasmassan ja -voiman puolieroja. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 38 s., 1 liite.

Tämän tutkielman tavoitteena on tutkia, ovatko naispalloilijoiden alaraajojen puolierot keskenään samankaltaisia lihasmassassa sekä -voimassa, vertaamalla kyseisten ominaisuuksien raajojen välisiä puolieroja, ja näin pohtia, onko lihastasapainoa tutkiessa tarpeellista mitata molempia ominaisuuksia. Aihetta on tarpeellista tutkia, sillä nykytiedon mukaan puolieroilla saattaa mahdollisesti olla negatiivisia vaikutuksia urheilijoiden suorituskykyyn ja loukkaantumisiin. Vahvoja johtopäätöksiä ei kuitenkaan voida tehdä, sillä tutkimustuloksia on saatu puolesta sekä vastaan, eivätkä tutkimusasetelmat ja mittausmenetelmät ole yhdenmukaisia.

Tämän kandidaatintutkielman aineisto on kerätty poikkileikkausasetelmana vuoden 2023 aikana, osana kahta eri Jyväskylän yliopistossa tehtyä tutkimusta. Tutkimusjoukko koostui 53:sta eri pallolajien parissa tavoitteellisesti urheilevasta naisesta, joiden lajeja olivat futsal, amerikkalainen jalkapallo, rugby ja jääkiekko. Tutkittavilta mitattiin alaraajojen lihaskokoa lihasmassana (g) kaksiennergiaisella röntgenabsorptiometrialla (DXA) ja voimaa (kg) maksimaalisella isometrisellä (MVIC) jalkaprässillä. Aineisto jaettiin voiman suhteen dominoivan (VD) raajan ja ei-dominoivan (VED) raajan tuloksiin, sekä VD-raajan ja VED-raajan välisiin absoluuttisiin ja prosentuaalisiin eroihin. Lisäksi aineisto jaettiin kahteen ryhmään voiman prosentuaalisen eron mukaan: puoliero voimassa  $\geq 10\%$  ( $n = 18$ ) vs. puoliero voimassa  $< 10\%$  ( $n = 35$ ).

Lihasmassan ja -voiman välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita VD-raajassa tai VED-raajassa. Myöskään raajojen välisten lihasmassan ja -voiman absoluuttisten tai prosentuaalisten erojen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Verrattaessa lihasvoiman prosentuaalisen puolieron mukaan jaettuja ryhmiä ( $\geq 10\%$  vs.  $< 10\%$ ) keskenään, ei ryhmien lihasmassan absoluuttisten ( $125\text{ g} \pm 240,4$  vs.  $89,6\text{ g} \pm 261,6$ ,  $p = 0,634$ ) tai prosentuaalisten ( $1,5\% \pm 3,1$  vs.  $1,0\% \pm 3,2$ ,  $p = 0,599$ ) erojen keskiarvoissa löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja. Huomionarvoista on kuitenkin se, että joillain yksilöillä lihasmassan suhteen dominoiva raaja oli eri raaja kuin lihasvoiman suhteen dominoiva raaja ( $n = 20$  vs.  $n = 33$ ), vaikka keskiarvoisesti sekä lihasmassa että -voima olivat VD-raajassa suurempia VED-raajaan verrattuna.

Tulosten perusteella lihasmassan ja -voiman puolierot eivät aina ole keskenään samankaltaisia, vaikka lihaksen koon onkin todettu olevan merkittävä voimantuottoon vaikuttava tekijä. Tästä syystä lihastasapainon tilasta saadaan luotettavampaa ja kattavampaa informaatiota, jos mitataan yhden sijasta molempia: lihaskokoa ja -voimaa. Lihastasapainon tutkimiseen käytettäviä tutkimusasetelmia ja mittausmenetelmiä on kuitenkin tutkittava tulevaisuudessa vielä lisää, jotta niitä voitaisiin yhdenmukaistaa aiheeseen liittyvien tutkimusten kesken. Näin voitaisiin parantaa tutkimustulosten ja niistä tehtävien johtopäätösten luotettavuutta, sekä hyödyntää lihastasapainon mittaamista urheilijoiden apuna nykyistä paremmin.

Asiasanat: lihasmassa, lihasvoima, lihastasapaino, lihasepätasapaino, puoliero

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LIHASTASAPAINO.....	2
2.1 Syyt puolierojen syntymiseen.....	2
2.2 Puolierojen vaikutukset .....	4
2.3 Alaraajojen puolierot naispallolijoilla .....	7
3 LIHASTASAPAINON MITTAAMINEN .....	9
3.1 Mittausmenetelmät urheilijoiden lihastasapainoa tutkittaessa .....	9
3.2 Lihaksen koon ja voimantuoton mittaaminen .....	12
3.3 Lihaksen koon ja voimantuoton välinen yhteys .....	14
3.4 Isometrinen maksimivoima ja DXA.....	16
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	17
5 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	18
6 TULOKSET .....	22
7 POHDINTA.....	26
7.1 Hypoteesien toteutuminen .....	26
7.2 Aiheen tutkimisen tarpeellisuus.....	27
7.3 Tutkielman vahvuudet ja heikkoudet .....	29
7.4 Yhteenveto.....	31
LÄHTEET .....	33

## LIITTEET

Liite 1: Tilastollisissa analyyseissä käytetyt ryhmäjaot.

# 1 JOHDANTO

Kun puhutaan tavoitteellisesta urheilusta, varmasti jokainen urheilija pyrkii saavuttamaan oman suorituskykynsä huipun ja välttymään loukkaantumisilta. Urheilijoiden kanssa yhteistyössä toimivien valmentajien, fysioterapeuttien ja muiden toimijoiden tehtävänä puolestaan on auttaa urheilijaa saavuttamaan huippunsa ja välttämään loukkaantumisia. Mutta jos loukkaantumisia kuitenkin tapahtuu, on heidän tehtävänsä myös auttaa urheilijaa kuntoutumaan niistä takaisin kohti suorituskykynsä huippua. Jotta kyseiset toimijat voisivat auttaa urheilijoitaan parhaalla mahdollisella tavalla, erilaisia työssä käytettäviä apukeinoja tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti.

Eräs tutkimusten kohteena oleva aihe on lihastasapaino, tai vielä tarkemmin sanottuna lihasten epätasapaino, ja sen mittaamisen hyödyntäminen urheilijoiden apuna. Tällä hetkellä saatavilla olevat lihastasapainoon liittyvät tutkimukset kuitenkin keskittyvät vielä enimmäkseen selvittämään, millaisia vaikutuksia erilaisilla epätasapainoilla on urheilijoiden suorituskykyyn (Bell ym. 2014; Bishop ym. 2018, 2021; Hart ym. 2014; Lockie ym. 2012; Maloney 2019), tai kuinka paljon erilaisilla epätasapainoilla on vaikutusta loukkaantumisiin (Baumhauer ym. 1995; Guan ym. 2022; Helme ym. 2021; Markovic ym. 2020; Murphy ym. 2003; Söderman ym. 2001). Myös loukkaantumisista ja niihin liittyvistä operaatioista aiheutuvia epätasapainoja on tutkittu (Jordan ym. 2015; King ym. 2019; Krishnan & Williams 2011; Palmieri-Smith ym. 2008; Read ym. 2020; G. N. Williams ym. 2005; Xergia ym. 2013), kuten myös millaisilla keinoilla epätasapainoja voidaan vähentää (Bishop ym. 2023). Vielä verrattain vähän on kuitenkin tutkittu erilaisten epätasapainojen yhteyttä toisiinsa, eri lihastasapainon tutkimisessa käytettäviä testausasetelmia ja -menetelmiä sekä niiden luotettavuutta (Akagi ym. 2014; Denadai ym. 2016; Kellis ym. 2022).

Lihastasapainoon liittyvät tutkimukset voivat siis antaa urheilijoille ja heidän kanssaan toimiville paljon tärkeää tietoa siitä, millaisia vaikutuksia niillä saattaa olla urheilijalle. Pelkkä tutkimustieto ei kuitenkaan vielä auta urheilijaa, vaan saatua tietoa on osattava hyödyntää käytännössä. Erilaisia lihasepätasapainoja on kuitenkin paljon erilaisia, ja niiden löytämiseksi on paljon erilaisia menetelmiä. Jotta urheilijat voisivat hyötyä tutkimuksista saadusta tiedosta, olisi heidän kanssaan toimivien tiedettävä, minkälaisia lihastasapainoja ja millä keinoilla urheilijoilta tulisi mitata, mitä epätasapainot kertovat ja miten niihin on reagoitava käytännössä. Tämän tutkielman tarkoituksena on vastata tähän tarpeeseen tutkimalla lihaskoon ja -voiman epätasapainojen keskinäistä yhteyttä sekä niiden mittaamisen tarpeellisuutta.

## 2 LIHASTASAPAINO

Lihastasapainolla tarkoitetaan yleensä joko lihaksen koon, sen voimantuottokyvyn, tehontuottokyvyn tai toimintakyvyn tasapainoa tiettyjen lihasten tai raajojen välillä. Sitä voidaan tarkastella joko kahden vastakkaisen raajan välillä (vahvempi/heikompi, vasen/oikea, dominoiva/ei-dominoiva, loukkaantunut/ei-loukkaantunut) tai yhden raajan vastakkaisten lihasten tai lihasryhmien välillä (esim. ojentajat/koukistajat). (Baroni ym. 2020; Bishop ym. 2018; Guan ym. 2022; Helme ym. 2021, 2021; Lukaski & Raymond-Pope 2021; Maloney 2019; Murphy ym. 2003) Kyseisiin lihasten ominaisuuksiin vaikuttavat useat eri tekijät (Avela ym. 2016; Häkkinen & Ahtiainen 2016; McArdle ym. 2015, 528–535). Lähtökohtaisesti lihaksen koon, voiman ja tehontuoton taso on suurelta osin kiinni lihaksen mekaanisen kuormituksen määrästä ja tyyppistä eli käytännössä harjoittelusta. Yhdessä kyseiset ominaisuudet ja niiden kuormitus taas määrittävät mikä on toimintakyvyn taso. Harjoittelun sisällöllä, määrällä ja intensiteetillä määritetään mitä lihaksia ja ominaisuuksia pyritään kehittämään. Sisältö, määrä ja intensiteetti puolestaan ohjautuvat kyseessä olevan lajin ja sen fysiologisten sekä lajitekniisten vaatimusten perusteella. (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 250–264; Isolehto 2016, 265–271; McArdle ym. 2015, 509–527)

Kun tarkasteltavien lihasten koon, voiman, tehontuoton tai toimintakyvyn välillä ei ole eroja tai erot ovat pieniä, lihastasapaino on hyvä. Hyvä lihastasapaino on suositeltava tila, mutta silti jonkinasteista pientä lihasepätasapainoa pidetään normaalina. (Lukaski & Raymond-Pope 2021) Epätasapaino tarkoittaa siis tilannetta, jossa tarkastelun kohteena oleva ominaisuus ei ole tasapainossa, vaan tarkasteltavien lihasten välillä mitatussa ominaisuudessa on selkeä ero eli puoliero. Kynnysarvoista, joiden ylittyessä puoliero alkaa aiheuttaa negatiivisia vaikutuksia, ei kuitenkaan ole vielä yksiselitteistä tutkimustietoa, mutta usein negatiivisia vaikutuksia aiheuttavana rajana pidetään eroa joka on 10 % tai enemmän (Bell ym. 2014; Bishop ym. 2021; Guan ym. 2022; Lukaski & Raymond-Pope 2021). Seuraavissa luvuissa käsitellään, mitkä tekijät saattavat aiheuttaa urheilijoille puolieroja, sekä millaisia vaikutuksia niillä voi olla.

### 2.1 Syyt puolierojen syntymiseen

Urheilussa puolierojen syntymisen syynä on jatkuva lihasten epätasainen kuormittuminen, joko raajojen dominoinnin tai lajikohtaisen harjoittelun seurauksena (Baumhauer ym. 1995; Lukaski

& Raymond-Pope 2021; Maloney 2019; Murphy ym. 2003). Raajojen dominointi tarkoittaa sitä, että urheilijalla on raaja, jonka käyttäminen lajisuorituksessa on hänelle luontaisempaa samaan tapaan kuin kirjoittaminen oikealla tai vasemmalla kädellä. Esimerkiksi jalkapalloilija potkaisee yleensä palloa määrällisesti useammin hänelle luontevammalta tuntuvalla eli dominoivalla jalalla (Hart ym. 2014; Lukaski & Raymond-Pope 2021), tai tenniksessä urheilija tyyppillisesti pitää mailaa dominoivassa kädessään, jolloin hän käyttää dominoivaa mailakättä lajisuorituksissa enemmän (Rogowski ym. 2008). Tällaisissa tilanteissa dominoiva raaja kuormittuu määrällisesti enemmän, ja tämä saattaa pitkällä aikavälillä aiheuttaa puolieroa vastakkaisten raajojen välille.

Lajikohtainen harjoittelu puolestaan tarkoittaa sitä, kuinka lajin vaatimuksiin pohjautuva lajiharjoittelu aiheuttaa epätasaisen määrän kuormitusta eri raajoille, lihaksille tai urheilijoille. Esimerkiksi baseballissa syöttöä harjoitellaan yleensä ainoastaan toisella kädellä (Czeck ym. 2019). Maahockeyssä mailan ja pallon käsittely tapahtuu lähes aina kehon vasemmalla puolella (Krzykała & Leszczyński 2015). Tai joukkuelajeissa lihasten kuormitus voi olla erilaista eri pelipaikkojen urheilijoilla, koska jollain pelipaikalla lajisuoritukset toistuvat useammin toiselle raajalle (Markou & Vagenas 2006). Näin myös lajiharjoittelun seurauksena tapahtuvat epätasaiset kuormitukset voivat pitkään jatkuessaan lopulta aiheuttaa puolieroja vastakkaisten raajojen välille. Raajojen välisten puolierojen lisäksi lajiharjoittelu voi aiheuttaa myös vastakkaisten lihasten välisiä puolieroja. Esimerkiksi jalkapalloon olennaisesti kuuluvat suoritukset, kuten juokseminen ja potkaiseminen, vaativat erityisesti etureiden lihasten konsentrista voimantuottoa, jota takareiden lihasten eksentrisen voimantuotto ainoastaan tukee, jolloin kuormitus ei jakaudu näille vastakkaisille lihasryhmille tasaisesti (Baroni ym. 2020). Etureisien ja takareisien välisten puolierojen tutkiminen urheilijoilla onkin yksi yleinen tutkimuskohde lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa (Baroni ym. 2020; Kellis ym. 2022).

Puolieroja niin vastakkaisten raajojen kuin lihastenkin välille voivat lisäksi aiheuttaa myös loukkaantumiset ja niistä aiheutuvat leikkaukset. Niiden seurauksena kuormitus muuttuu epätasaiseksi, lihakseen rakenteessa tapahtuu muutoksia tai lihaksen hermotuksen toimintaan heikenee (Krishnan & Williams 2011), ja siksi puolieroja saattaa syntyä. Esimerkiksi eturistisidemmasta (ACL) kärsivän jalan etureiden voimatasot laskevat vammautumisen jälkeen huomattavasti (Williams ym. 2005), jolloin puolieroa aiheutuu sekä raajojen välille että saman raajan takareiteen verrattuna. ACL-vammasta seuranneita puolieroja on havaittavissa vielä 6–9 kuukautta korjausleikkauksen jälkeen, ja ne ovat suurempia kuin verrokeilla ilman vastaavaa

vammaa (Jordan ym. 2015; King ym. 2019; Read ym. 2020; Xergia ym. 2013). Vajavuuksia etureiden voimassa voi joillain yksilöillä ilmetä jopa vielä kaksi vuotta korjausleikkauksen jälkeenkin (Palmieri-Smith ym. 2008).

## 2.2 Puolierojen vaikutukset

Puolierot on yleisesti yhdistetty vaikuttavan negatiivisesti suorituskykyyn ja kasvattavan urheiluvammojen riskiä. Aiheisiin liittyvien tutkimustulosten perusteella ei kumpaakaan väitettä kuitenkaan voida sanoa täysin varmaksi. Lukaski ja Raymond-Pope (2021) mainitsevat artikkelissaan, että yli 10 % puolierojen on yhdistetty vaikuttavan negatiivisesti suorituskykyyn. He kuitenkin toteavat myös, että epäselviäkkin tuloksia on havaittu. Maloney (2019) katsauksessa, jossa tutkittiin yhteyttä puolierojen ja suorituskyvyn välillä, todetaan ettei selkeää yhteyttä pystytä määrittämään tämänhetkisen tutkimustiedon perusteella. Puolestaan Murphy ym. (2003) listaavat kirjallisuuskatsauksessaan alaraajojen vammojen riskitekijöitä, ja mainitsevat puolierot (dominoiva vs. ei-dominoiva raaja sekä lihasvoima vastakkaisten raajojen ja lihasten välillä) yhdeksi mahdolliseksi riskitekijäksi. Helme ym. (2021) raportoivat oman katsauksensa lopputuloksena, että he havaitsivat jonkinasteisia todisteita toimintakyvyn puolierojen yhteydestä loukkaantumisriskiin. Kuitenkin sekä Murphy ym. (2003) että Helme ym. (2021) korostavat, että heidän käsittelemiensä tutkimusten kesken, tuloksia yhteyksistä oli sekä puolesta että vastaan.

*Suorituskyky.* Hartin ym. (2014) tutkimuksessa selvitettiin, onko vähärasvaisen massan ja lihasvoiman puolieroilla vaikutusta jalkapalloilijoiden potkutarkkuuteen. Tutkimuksessa raportoitiin, että epätarkemman potkutarkkuuden omaavat yksilöt osoittivat suurempaa epäsymmetriaa vähärasvaisessa massassa sekä lihasvoimassa, verrattuna tarkemman potkutarkkuuden pelaajiin. Bishop ym. (2021) tutkivat muun muassa yhden jalan vertikaalihypyn hyppykorkeuden yhteyttä eri mittaisiin sprintteihin sekä suunnanmuutostestiin ja näistä saamiensa tulosten perusteella raportoivat, että jo 5–10 % puolierot ovat yhteydessä heikompaan urheilulliseen suorituskykyyn. Maloney (2019) mainitsee katsauksessaan Sannicandron ym. (2011) tutkimukseen viitaten, että tutkimuksessa mitattiin yhden jalan vertikaalihypyn korkeuden yhteyttä 10 metrin sprinttinopeuteen ja tulokset osoittivat, että vertikaalihypyn puolieroilla oli sprinttinopeuteen negatiivinen vaikutus.

Toisaalta on saatu myös tutkimustuloksia, joiden perusteella puolierojen negatiivinen vaikutus suorituskykyyn ei ehkä olekaan niin selkeä. Bell ym. (2014) raportoivat tutkimuksensa keskeisenä löytönä, kuinka yli 10 % puoliero vertikaalihypyn tehontuotossa johti 0,09 metriä matalampaan hyppykorkeuteen. On kuitenkin huomioitava, kuten Maloney (2019) katsauksessaan nostaa esille, että kyseinen tulos saatiin vertailemalla kahta hyvin erikokoista ryhmää keskenään. Vain yhdeksää henkilöä, joilta mitattiin yli 10 % puoliero tehontuotossa, verrattiin 158 henkilöön, joilla tehontuoton puoliero oli alle 10 %. Tutkimuksessa löydettiin myös 34 henkilöä, joilta mitattiin yli 10 % puoliero vertikaalihypyn voimantuotossa, mutta heidän hyppytuloksiaan ei vertailtu laisinkaan. Näistä syistä kyseisen tutkimuksen raportoimiin puolierojen negatiivisiin vaikutuksiin tulisi suhtautua kriittisesti. Lockie ym. (2012) tutkivat polven ojentajien ja koukistajien voimien puolierojen yhteyttä sprintti- sekä suunnanmuutosnopeuteen. Voimia mitattiin isokineettisesti: konsentrista voimaa kolmella eri kulmanopeudella ja eksentristä voimaa yhdellä kulmanopeudella. Tutkimuksessa raportoitiin, että polven ojentajien konsentrisen voiman puolierot  $240^{\circ}/s$  kulmanopeudella olivat nopeimmilla urheilijoilla muita suuremmat. Toisaalta polven koukistajien eksentrisen voiman pienemmät puolierot liitettiin nopeampiin sprinttiaikoihin. Toisin sanoen nopeammat sprinttiaijat olivat yhteydessä sekä suurempiin että pienempiin puolieroihin riippuen lihasryhmästä, voimantuottotavasta ja kulmanopeudesta.

Aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa on siis käytetty paljon hyvinkin erilaisia tutkimusasetelmia ja niissä on raportoitu tuloksia negatiivisen vaikutuksen puolesta sekä sitä vastaan. Näin ollen ei voida varmuudella sanoa, että puolieroilla on negatiivinen vaikutus suorituskykyyn. Lisäksi tutkimusasetelmat ovat hyvin vaihtelevia, ja siksi niitä on haastavaa vertailla keskenään. Juuri tätä seikkaa myös Bishop ym. (2023), korostivat melko tuoreessa katsauksessaan. He tiivistivät katsaukseen nykyisen tutkimustiedon koskien urheilijoiden yhden raajan vastakkaisten lihasten voiman ja tehon puolierojen mittaus- ja arviointimenetelmistä, tulosten analysoinnista, nykyisistä tutkimustuloksista ja käytännötoiminnan suosituksista. Heidän mukaansa aiheista (yhden raajan vastakkaisten lihasten voiman ja tehon puolierojen vaikutukset suorituskykyyn sekä loukkaantumisriskiin) tällä hetkellä saatavilla olevan tutkimustiedon määrä ja laatu ovat liian rajalliset, jotta tuloksista voitaisiin tehdä luotettavia johtopäätöksiä. Siksi heidän kantansa on, että aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, olisi tutkimustulosten validoimiseksi tulevaisuudessa kiinnitettävä suurempaa huomiota tutkimuksissa käytettyihin menetelmiin sekä tulosten analysointiin ja tulkintaan. Bishop ym. (2023) ovat siis sitä mieltä, että nykytutkimuksissa ei ole yhtenäistä ja optimaalista linjaa siitä, miten urheilijoiden vastakkaisten lihasten välisiä voiman



ja tehon puolieroja tulisi mitata, analysoida ja vähentää. Toisaalta Maloney (2019) sanoo katsauksessaan, että nykytutkimustieto osoittaa, että harjoittelulla voidaan vähentää puolieroja ja parantaa suorituskykyä, mutta ongelma on, että näitä tuloksia osoittavat tutkimukset eivät ole arvioineet missä määrin suorituskyvyn kehittyminen on ollut seurausta juuri puolierojen pieneemisestä. Yhteenvedona suorituskyvyn osalta on siis todettava, että puolieroilla saattaa olla siihen negatiivinen vaikutus. Yhteydestä ei kuitenkaan voida nykytiedon pohjalta olla varmoja, ja siksi tutkimusmenetelmiä tulisi tarkentaa ja yhtenäistää.

*Loukkaantumisriski.* Baumhauer ym. (1995) tutkivat nilkkavammojen riskitekijöitä mittaamalla urheilijoita kauden alussa ja vertaamalla mittausten tuloksia kauden aikana loukkaantuneiden ja loukkaantumattomien välillä kauden lopussa. Tulosten mukaan nilkan loukkaantumisista kärsineillä urheilijoilla nilkan voimissa (eversio vs. inversio ja dorsifleksio vs. plantaarifleksio) oli suurempia puolieroja verrattuna loukkaantumattomiin verrokkeihin. Lisäksi, kun he vertasivat loukkaantuneiden dorsifleksion ja plantaarifleksion huippuvääntömomentteja nilkkojen kesken, tuotti ei-loukkaantunut nilkka plantaarifleksiossa suurempia huippuvääntömomentteja. Näin ollen kyseisen tutkimuksen mukaan voimien puolieroilla oli vaikutusta nilkkojen vammautumiseen. Markovic ym. (2020) tutkivat samantapaisesti loukkaantuneiden ja loukkaantumattomien testituloksia vertailemalla, nivusvammojen riskin yhteyttä lonkan lähentäjien voimaan ja voiman puolieroon ammattijalkapalloilijoilla. Heidän tutkimusjoukostaan jokaisella loukkaantuneella oli loukkaantumattomia suurempi raajojen välinen puoliero lähentäjien voimassa, vaikkakaan puolieron yhteys nivusvamman riskiin ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Söderman ym. (2001) tutkivat naisjalkapalloilijoiden alaraajavammojen riskitekijöitä. He raportoivat yhdeksi merkittävästi alaraajavammojen riskiä lisääväksi tekijäksi hamstring/quadriceps-suhteen (H:Q-suhde eli takareisi/etureisi puoliero), sillä kaikilla kauden aikana ACL-vamman saaneilla urheilijoilla oli mitattu (ennen loukkaantumista) pienempi H:Q-suhde loukkaantuneessa jalassa verrattuna ei-loukkaantuneeseen jalkaan.

Kellis ym. (2022) tutkivat katsauksessaan onko nykytutkimusten perusteella H:Q-suhteen mittaaminen toimiva tapa ennustaa mahdollisia ACL- ja takareisivammoja. Heidän mukaansa H:Q-suhdetta ei voida pitää riskitekijänä kummallekaan vammalle, sillä katsaukseen sisällytetyistä tutkimuksista, luotettavimmiksi luokitelluista 15 tutkimuksesta, vain kolmen mukaan suhteella oli yhteyttä takareisivammoihin, ja yksikään ei todennut yhteyttä ACL-vammoihin. Myös Guan ym. (2022) tulivat katsauksessaan alaraajojen toimintakyvyn puolierojen yhteydestä urheiluvammojen riskiin samansuuntaisiin tuloksiin. Heidän mukaansa katsaukseen mukaan otettujen

tutkimusten raportoimat menetelmät sekä havainnot ovat hyvin epäyhtenäisiä, eikä siksi voida täysin varmaksi sanoa, että alaraajojen toimintakyvyn ja urheiluvammojen välillä olisi selkeä yhteys, vaikka yleisesti niin usein ajatellaankin. Lisäksi aiemmin mainittu Bishopin ym. (2023) katsauksen lopputulema tutkimusmenetelmien sekä tulosten analysoinnin ja tulkinnan kehittämisen tarpeesta, koskevat suorituskvyn tapaan myös loukkaantumisriskiin liittyviä puoliero-tutkimuksia.

Puolierojen ja loukkaantumisten yhteydestä on aiheeseen liittyvien tutkimusten perusteella tehtävä samankaltainen yhteenveto kuin suorituskvyn suhteen. Tutkimuksien tutkimusasetelmat ovat hyvin erilaisia ja tuloksia on saatu kumpaankin suuntaa, ja siksi tuloksia ei ole täysin luotettavaa verrata keskenään. Tutkimusasetelmat sisältävät paljon eri vammatyyppejä, niissä on mitattu useita eri puolieroja ja käytetty useita eri mittausmenetelmiä. Suorituskvyn tapaan puolierojen vaikutuksista urheiluvammojen riskiin on siis saatu tutkimustuloksia niin puolesta kuin vastaan, eivät tutkimusmenetelmät ole yhtenäisiä, ja siksi ei voida suoraan sanoa onko niillä yhteyttä vai ei. Näin ollen on todettava, että puolieroilla saattaa olla urheiluvammojen riskiä lisäävä vaikutus.

### **2.3 Alaraajojen puolierot naispallolijoilla**

Pyrkimys yltää parhaaseen mahdolliseen suorituskvyn sekä välttää loukkaantumisia ovat osa jokaisen urheilijan ja valmentajan uraa. Mutta kuten todettua, puolierot saattavat vaikuttaa negatiivisesti urheilijan suorituskvyn tiettyihin osa-alueisiin, sekä loukkaantumisriski saattaa olla suurempi urheilijoilla, joilla on puolieroja. Suuri osa palloilulajeista sisältää paljon esimerkiksi sprinttejä ja suunnanmuutoksia, joihin puolierot saattavat negatiivisesti vaikuttaa (Bishop ym. 2021; Hart ym. 2014; Sannicardo ym. 2011, Maloney 2019 mukaan) sekä useissa palloilulajeissa alaraajavammat kuuluvat yleisimpiin vammoihin (Cattaneo ym. 2024; DiStefano ym. 2018; Fortington & Finch 2016; S. Williams ym. 2013). Kuitenkin lajiominaisuudet ja -harjoittelu voivat olla monissa palloilulajeissa juurikin alaraajojen puolierojen syntymistä edistäviä (Baroni ym. 2020; Hart ym. 2014; Krzykała & Leszczyński 2015; Lukaski & Raymond-Pope 2021; Markou & Vagenas 2006).

Terminä alaraajavamma kattaa useita erityyppisiä vammoja ja eri urheilulajien lisäksi esimerkiksi sukupuolien välillä on hieman eroja siinä, mitkä vammatyypit ovat kaikkein yleisimpiä.

Sukupuolten väliset erot anatomisissa, hormonaalisissa ja hermolihasjärjestelmään liittyvissä tekijöissä uskotaan olevan vaikuttavina tekijöinä näihin eroihin (Hewett 2007). Esimerkiksi naisilla esiintyy nilkkavammoja ja vakavia polvivammoja miehiä enemmän (Larruskain ym. 2018; Murphy ym. 2003). Naisten vakavista polvivammoista ACL-vammat ovat yleisiä, ja naisjalkapalloilijoilla onkin mies kollegoitaan selkeästi suurempi ACL-vamman riski (Arendt & Dick 1995; Larruskain ym. 2018). ACL-vammojen riskitekijöitä on tutkittu paljon ja eri puolieroista H:Q-suhteen on joissain tutkimuksissa todettu mahdollisesti kasvattavan kyseisen vamman riskiä (Knapik ym. 1991; Myer ym. 2009). Sen lisäksi, että puolieroilla saattaa olla vaikutusta ACL-vammojen syntymiseen, aiheutuu itse vamman tai sen korjausleikkauksen seurauksena urheilijalle puolieroja (Jordan ym. 2015; King ym. 2019; Read ym. 2020; G. N. Williams ym. 2005; Xergia ym. 2013).

Yhteenvetona voidaan todeta, että alaraajojen puolierot ovat siis olennainen asia ottaa huomioon naispallolijoiden harjoittelussa sekä testauksessa. Kun lajiharjoittelu on tasapuolisesti kuormittavaa ja raajojen dominoinnin huomioon ottavaa, puolierojen syntymistä pystytään estämään ja puolieroja löydettyä tasoittamaan niitä. Tällöin lasketaan riskiä puolierojen negatiivisten vaikutusten ilmenemiseen ja toisaalta pystytään tehostamaan esimerkiksi vammoista ja niiden aiheuttamista puolieroista kuntoutumista, kun ollaan tietoisia puolierojen tasosta.

### 3 LIHASTASAPAINON MITTAAMINEN

Lihastasapainon mittaaminen ja mahdollisten puolierojen etsiminen voi olla urheilijoille ja heidän valmennukselleen hyödyllistä. Erilaisilla lihastasapainoa mittaavilla testeillä voidaan: 1) arvioida, onko harjoitus- tai kuntoutusohjelma saanut lihaksissa aikaan toivottuja vasteita, 2) löytää mahdollisesti suorituskykyä rajoittavia tai vammaisriskiä lisääviä puolieroja sekä 3) arvioida loukkaantumisesta kuntoutuvan urheilijan valmiutta palata takaisin normaalin harjoitteluun. (Lukaski & Raymond-Pope 2021) Mittausten toteuttaminen ja tulosten perusteella johtopäätösten tekeminen ei kuitenkaan ole aivan yksinkertaista.

Lihaksen koko, voiman- ja tehontuotto sekä toimintakyky ovat kaikki yhteydessä toisiinsa: lihaksen koko vaikuttaa sen voimatasoihin, voimatasot puolestaan tehontuottoon ja nämä kaikki yhdessä lihaksen toimintakykyyn ja lihakset edelleen raajojen toimintakykyyn. Sen lisäksi, että niillä on vaikutusta toisiinsa, vaikuttaa jokaiseen useita rakenteellisia ja hermostollisia tekijöitä. (Avela ym. 2016, 92–109; Häkkinen & Ahtiainen 2016, 250–251; McArdle ym. 2015, 509–535) Kaiken tämän lisäksi on muistettava, että jokaisessa mittausmenetelmässä on omat heikkoutensa tulosten luotettavuuden suhteen. Näin ollen, kun halutaan mitata urheilijan lihastasapainoa, on ensin mietittävä, mitä mittauksilla halutaan saavuttaa ja sen perusteella pohtia mitä ominaisuuksia on tarpeellista mitata. Tämän jälkeen on pohdittava millainen testiasetus ja mitkä mittausmenetelmät sopivat tilanteeseen parhaiten. Lopuksi, kun mittaustulokset on saatu, on myös niitä tulkittaessa otettava huomioon muut mitattuun ominaisuuteen vaikuttavat tekijät.

Urheilijoiden lihastasapainoon liittyviä tutkimuksia on paljon erilaisia yhteyksistä monien eri muuttujien välillä. Lisäksi niissä on myös päädytty käyttämään hyvin monia erilaisia tutkimusasetelmia ja mittausmenetelmiä. Seuraavissa luvuissa käsitellään näiden toteutustapojen laaja-alaisuutta sekä syvennytään tarkemmin, millaisilla menetelmillä erityisesti lihaskokoa ja -voimaa sekä niiden välistä yhteyttä yleensä tutkitaan.

#### 3.1 Mittausmenetelmät urheilijoiden lihastasapainoa tutkittaessa

Vastakkaisten raajojen välisten puolierojen yhteyttä on tutkittu erityisesti liittyen sekä suorituskykyyn (Bell ym. 2014; Bishop ym. 2021; Hart ym. 2014; Lockie ym. 2012; Maloney 2019) että urheiluvammoihin (Baumhauer ym. 1995; Guan ym. 2022; Helme ym. 2021; Murphy ym.

2003). Vastakkaisten lihasten välisten puolierojen yhteyttä puolestaan on tutkittu enemmän urheiluvammoihin liittyen (Baumhauer ym. 1995; Helme ym. 2021; Kellis ym. 2022; Söderman ym. 2001). Puolieroja on mitattu kaikkiin eri yhteyksiin liittyen niin lihaksen koossa, sen voiman- ja tehontuotossa kuin toimintakyvyssäkin. Joissain tutkimuksissa on mitattu puolieroita vain yhdessä ominaisuudessa ja joissain tutkimuksissa kahdessa tai useammassa. Toimintakyvyn puolierojen tutkiminen on erityisesti urheiluvammoihin liittyvissä tutkimuksissa yleistä (Guan ym. 2022; Helme ym. 2021). Erilaisten puoliero ja muuttuja yhdistelmien lisäksi, puolierojen sekä tutkittavan muuttujan mittaamiseen käytetyt mittaamenetelmät vaihtelevat paljon eri tutkimuksissa (taulukko 1). Suorituskykyä on esimerkiksi tutkittu mittaamalla muun muassa kahden jalan kevennyshypyillä, yhden jalan kevennyshypyillä, staattisella vertikaalihypyillä, sprinttiajoilla sekä suunnanmuutos nopeudella (Bell ym. 2014; Bishop ym. 2018, 2021; Hart ym. 2014; Lockie ym. 2012; Maloney 2019).

Puolierojen ja urheiluvammojen yhteyttä tutkittaessa tutkimusasetelma on yleensä melko samankaltainen: tutkimusjakson alussa testataan haluttuja muuttujia, ja jakson lopussa analysoidaan, miten jakson aikana loukkaantuneiden alkutestien tulokset poikkesivat niiden tuloksista, jotka eivät loukkaantuneet. Suurimmat eroavaisuudet löytyvät kuitenkin mitatuista puolieroista, mittaamenetelmistä sekä aikaisempien vammojen huomioimisesta. Baumhauer ym. (1995) jättivät tutkimusjoukosta kokonaan pois ne, joilla oli taustalla nilkan vamma tai leikkaus, jolla saattaisi olla vaikutusta tuloksiin. Markovicin ym. (2020) tutkimuksessa tiedusteltiin aikaisemmista nivusvammoista viimeisen 12 kk ajalta, ja raportoitiin myös niiden yhteydestä nivusvammariikkiin. Söderman ym. (2001) puolestaan tiedustelivat aikaisempia vammoja vain viimeisen kolmen kuukauden ajalta. Myös he raportoivat saamia tuloksia vanhan ja uuden vamman keskinäisestä yhteydestä. Puolierojen ja urheiluvammojen yhteyden lisäksi on tutkittu paljon urheiluvammojen tai niiden korjausleikkausten aiheuttamia puolieroja (Jordan ym. 2015; King ym. 2019; Krishnan & Williams 2011; Palmieri-Smith ym. 2008; Read ym. 2020; Williams ym. 2005; Xergia ym. 2013). Edellisten tapaan, myös näissä tutkimuksissa on mitattu useita eri puolieroja, ja käytetty paljon eri tutkimusasetelmia sekä mittaamenetelmiä (taulukko 2).

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty edellä mainittujen tutkimusasetelmien ja mittaamenetelmien laaja-alaisuutta. Taulukot havainnollistavat, miten lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa ei ole yleisesti vakiintuneita käytänteitä siitä, millaisilla tutkimusasetelmilla ja mittaamenetelmillä mitätään yhteyksiä, puolieroja ja muuttujia tutkitaan.

TAULUKKO 1. Erilaisia tutkimusasetelmia ja mittaamenetelmiä, joita on käytetty urheilijoiden lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa.

Puoliero ja muuttuja	Tutkimus	Tutkimusasetelma	Puolieron mittaaminen	Muuttujan mittaaminen
Vastakkaisten raajojen puolierojen yhteys suorituskykyyn	Bell ym. (2014)	Lihasmassan puolieron vaikutus voiman- ja tehontuoton tasapainoon ja niiden puolierojen vaikutus hyppykorkeuteen	DXA (lihaskoko), voimalevyllä kevennyshypystä (voiman- ja tehontuotto)	Kevennyshypyn hyppykorkeus (suorituskyky)
	Bishop ym. (2021)	Yhden sekä kahden jalan kevennyshypyn hyppykorkeuden yhteys suorituskykyyn	Yhden jalan kevennyshypyn korkeus (toimintakyky)	5, 10 ja 20 m sprintit & suunnanmuutos juoksutesti: 505-testi (suorituskyky)
	Hart ym. (2014)	Lihassoiman ja -massan puolierojen vaikutus potkutarkkuuteen	DXA (lihaskoko), yhden jalan MVIC takakyky 140° polvikulmalla (lihasvoima)	Potkutarkkuus testi (suorituskyky)
	Lockie ym. (2012)	Lihassoiman puolierojen vaikutus suorituskykyyn	Isokineettinen polven ekstensio ja fleksio: konsentrisen liikesuuntaa kolmella ja eksentrisen yhdellä kulmanopeudella (lihasvoima)	40 m sprinti & suunnanmuutos juoksutesti: t-testi (suorituskyky)
Vastakkaisten raajojen puolierojen yhteys loukkaantumisiin	Baumhauer ym. (1995)	Nilkkavamman riskitekijöiden selvittäminen: mittaukset kauden alussa, tulosten tarkkailu kauden lopussa	Isokineettinen nilkan DF ja PF & inversio ja evertio (lihasvoima)	Kauden aikana nilkkavamman saaneiden mittaustulosten vertaaminen loukkaantumattomiin (loukkaantumisriski)
	Markovic ym. (2020)	Lonkan lähentäjien voiman ja voiman puolieron yhteys nivusvammarisikkiin	MVIC lonkan lähennys molemmilla jaloilla yhtä aikaa suoritettuna (lihasvoima)	Kauden aikana nivusvamman saaneiden mittaustulosten vertaaminen loukkaantumattomiin (loukkaantumisriski)
Vastakkaisten lihasten puolierojen yhteys loukkaantumisiin	Baumhauer ym. (1995)	Nilkkavammojen riskitekijöiden selvittäminen: mittaukset kauden alussa, tulosten tarkkailu kauden lopussa	Isokineettinen nilkan DF ja PF & inversio ja evertio (lihasvoima)	Kauden aikana nilkkavamman saaneiden agonisti/antagonisti-voimasuhteiden vertaaminen loukatun ja loukkaamattoman nilkan välillä (loukkaantumisriski)
	Söderman ym. (2001)	Naisjalkapalloilijoiden alaraajavammojen riskitekijöiden tutkiminen: mittaukset kauden alussa, tulosten tarkkailu kauden lopussa	Isokineettinen polven ekstensio ja fleksio 90° kulmanopeudella: konsentrisen sekä eksentrisen liikesuuntaan (lihasvoima)	Kauden aikana alaraajavamman saaneiden H:Q-voimasuhteiden vertaaminen loukatun ja loukkaamattoman jalan välillä (loukkaantumisriski)

DXA, kaksienenergiainen röntgenabsorptiometria; MVIC, maksimaalinen tahdonalainen isometrisen supistus; DF, dorsifleksio; PF, plantaarifleksio; H:Q, hamstring:quadriceps.

TAULUKKO 2. Erilaisia tutkimusasetelmia ja mittausmenetelmiä, joita on käytetty urheilijoille loukkaantumisten ja leikkausten seurauksena aiheutuneisiin puolieroihin liittyvissä tutkimuksissa.

Tutkimus	Tutkimusasetelma	Puolierojen mittaaminen
Jordan ym. (2015)	Alaraajojen puolierot ACL-rekonstruktion käyneillä vs. ei käyneillä hiihtäjillä	Kevennyshypystä & staattisesta vertikaalihypystä voimalevyllä: tuotetut voimat (lihasvoima) & eksentrisen ja konsentrisen vaiheen nopeudet (toimintakyky), DXA (lihaskoko)
King ym. (2019)	Biomekaanisten ja toiminnalliset muuttujien puolierojen vertailu ACL-rekonstruktion käyneillä vs. loukkaantumattomilla	3D-liikeanalyysi (toimintakyky) ja voimalevy (lihasvoima): kahden sekä yhden jalan pudotushyppy, yhden jalan pituushyppy & ennakoitu ja ennakoimaton suunnanmuutos: tuotetut reaktiovoimat, massakeskipisteen, nilkan, lonkan ja polven liikkeet sekä lonkka-, polvi- ja nilkkakulmat
Read ym. (2020)	Toiminnallisten puolierojen vertailu terveiden ammattijalkapalloilijoiden ja ACL-rekonstruktion jälkeisen kuntoutuksen eri vaiheissa olevien välillä	Kevennyshypyn korkeus (toimintakyky), kevennyshypyssä tuotetut voimat molemmista jaloista yhtä aikaa erillisillä voimalevyillä mitattuna (lihasvoima)
Williams ym. (2005)	Selvittä loukkaantuneen vs. ei-loukkaantuneen raajan etureiden lihasten voimatasojen, surkastumisen ja aktivointi vaikeuksien tasoa täydellisen ACL-repeämän jälkeen, todennäköisesti loukkaantumisesta heikosti palautuvilla yksilöillä	MVIC polven ekstensio (lihasvoima), jonka aikana lihaksen sähköinen stimulointi pulssimaisesti aktiivaatiotason testaamiseksi (toimintakyky), MRI (lihaskoko)
Xergia ym. (2013)	Toiminnallisten muuttujien ja voiman puolierojen vertailu terveillä vs. ACL-rekonstruktion jälkeisen kuntoutuksen eri vaiheissa olevilla	Polvinivelen 90° fleksiosta isokineettinen täydellinen polven ekstensio kolmella eri kulmanopeudella (lihasvoima), kolme erilaista yhden jalan eteenpäin loikkaa: pituus, ponnistus- ja laskeutumisvaiheet (toiminnallinen)

ACL, eturistiside; DXA, kaksienenergiainen röntgenabsorptiometria; MVIC, maksimaalinen tahdonalainen isometrinen supistus; MRI, magneettikuvaus.

### 3.2 Lihaksen koon ja voimantuoton mittaaminen

Taulukot 1 ja 2 osoittavat, että erityisesti lihasvoiman, mutta myös lihaskoon puolierojen mittaaminen ovat hyvin yleisiä lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa. Lihaksen koko ja voimantuotto ovat perusta lihaksen tehontuotolle ja toimintakyvylle (McArdle ym. 2015, 509–535). Näin ollen esimerkiksi mittaamalla pelkkää toimintakykyä, ei voida varmuudella tietää, ilmeneekö puolieroa vain toimintakyvyssä vai esimerkiksi myös voimassa, jonka puoliero ilmenee toimintakyvyn puolierona. Siksi on ymmärrettävää, että lihaskokoa ja -voimaa usein mitataan puolieroihin liittyvissä tutkimuksissa. Taulukko 3 havainnollistaa, että lihaskoon ja voiman mittaamiseen käytetyt menetelmät kuitenkin vaihtelevat paljon tutkimuksien välillä, kuten muillakin muuttujilla (taulukot 1 ja 2).

TAULUKKO 3. Erilaisia lihaskoon ja -voimantuoton puolierojen mittaamiseen käytettyjä mittausten menetelmiä urheilijoiden lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa.

Tutkimus	Tutkimusasetelma	Lihaksen voimantuoton mittaustenetelmä	Lihaskoon mittaustenetelmä
Akagi ym. (2012)	Alaraajojen agonisti/antagonisti lihasryhmien (eturaidet/takareidet sekä nilkan ojentajat/koukistajat) voima- ja kokosuhteet sekä niiden yhteys toisiinsa	MVIC (polven ekstensio ja fleksio & nilkan DF ja PF)	Lihaksen tilavuus (MRI)
Akagi ym. (2014)	Alaraajojen agonisti/antagonisti lihasryhmien (eturaidet/takareidet sekä nilkan ojentajat/koukistajat) voima- ja kokosuhteet sekä niiden yhteys toisiinsa jalkapalloilijoilla vs. ei-jalkapalloilijoilla	MVIC (polven ekstensio ja fleksio & nilkan DF ja PF)	Lihaksen tilavuus (MRI)
Baumhauer ym. (1995)	Nilkkavamman riskitekijöiden selvittäminen: mittaukset kauden alussa, tulosten tarkkailu kauden lopussa	Isokineettinen (nilkan DF ja PF & inversio ja eversio)	-
Bell ym. (2014)	Lihasmassan puolieron vaikutus voiman- ja tehontuoton tasapainoon ja niiden puolierojen vaikutus hyppykorkeuteen	Toiminnallinen (kevennyshypyistä voimalevyllä)	Lihasmassa (DXA)
Denadai ym. (2016)	H:Q-voima- ja poikkipinta-alasuhteen välinen korrelaation H:Q-voimasuhteen epätasapainoa omaavilla miesjalkapalloilijoilla	Isokineettisesti (polven ekstensio ja fleksio 60° kulmanopeudella ja 70° liikelaajuudella: konsentriseen liikesuuntaan)	Lihaksen poikkipinta-ala (MRI)
Hart ym. (2014)	Lihassoiman ja -massan puolierojen vaikutus potkutarkkuuteen	MVIC (yhden jalan takakyykky 140° polvikulmalla)	Lihasmassa (DXA)
Jordan ym. (2015)	Alaraajojen puolierot ACL-rekonstruktion käyneillä vs. ei käyneillä hiihtäjillä	Toiminnallinen (kevennyshypyssä & staattisessa vertikaalihypyssä tuotetut voimat voimalevyllä)	Lihasmassa (DXA)
King ym. (2019)	Biomekaanisten ja suorituskymyymuuttujien puolierojen vertailu ACL-rekonstruktion käyneillä vs. loukkaantumattomilla	Toiminnallinen (kahden sekä yhden jalan pudotushypyistä, yhden jalan pituushypyistä & ennakoitusta ja ennakoimattomasta suunnanmuutoksista voimalevyllä)	-
Lockie ym. (2012)	Lihassoiman puolierojen vaikutus suorituskyykyyn	Isokineettinen (polven ekstensio ja fleksio: konsentrisen liikesuunta kolmella ja eksentrisen yhdellä kulmanopeudella)	-
Markovic ym. (2020)	Lonkan lähentäjien voiman ja voiman puolieron yhteys nivusvammarisktiin	MVIC (lonkan lähennys molemmilla raajoilla samanaikaisesti, mittausanturit molemmissa jaloissa erikseen)	-
Read ym. (2020)	Toiminnallisten puolierojen vertailu terveiden ammattijalkapalloilijoiden ja ACL-rekonstruktion jälkeisen kuntoutuksen eri vaiheissa olevien välillä	Toiminnallinen (kahden jalan kevennyshypyssä tuotetut voimat molemmista jaloista yhtä aikaa erillisillä voimalevyillä mitattuna)	-
Söderman ym. (2001)	Naisjalkapalloilijoiden alaraajavammojen riskitekijöiden tutkiminen: mittaukset kauden alussa, tulosten tarkkailu kauden lopussa	Isokineettinen (polven ekstensio ja fleksio 90° kulmanopeudella: konsentriseen sekä eksentriseen liikesuuntaan)	-
Williams ym. (2005)	Selvittä loukkaantuneen vs. ei-loukkaantuneen raajan etureiden lihasten voimatasojen, surkastumisen ja aktiivointi vaikeuksien tasoa täydellisen ACL-repeämän jälkeen, todennäköisesti loukkaantumisesta heikosti palautuvilla yksilöillä	MVIC (polven ekstensio, jonka aikana lihaksen stimuloiti pulssimaisilla sähköimpulsseilla)	Lihaksen tilavuus ja poikkipinta-ala (MRI)
Xergia ym. (2013)	Toiminnallisten muuttujien ja voiman puolierojen vertailu terveillä vs. ACL-rekonstruktion jälkeisen kuntoutuksen eri vaiheissa olevilla	Isokineettinen (polvinivelen 90° flexiosista isokineettinen täydellinen polven ekstensio kolmella eri kulmanopeudella)	-

MVIC, maksimaalinen tahdonalainen isometrinen supistus; DF, dorsifleksio; PF, plantaarfleksio; MRI, magneettikuvaus; DXA, kaksienenergiainen röntgenabsorptiometria; H:Q, hamstring:quadriceps; ACL, eturistiside.



Lukaskin & Raymond-Popen (2021) mukaan tutkittaessa nimenomaan lihaksen koon ja sen voimantuoton välistä suhdetta, ovat tutkimuksissa pitkälti käytetyimmät tavat seuraavat: lihas-koon mittaaminen lihaksen poikkipinta-alana, tilavuutena tai massana ja lihasvoiman mittaaminen isokineettisesti, isometrisesti tai toiminnallisesti esimerkiksi mittaamalla vertikaalilyhyessä tuotettua voimaa. Sama tilanne on havaittavissa taulukkoa 3 katsoessa, myös lihastasa-painoon liittyvien tutkimuksien osalta.

### **3.3 Lihaksen koon ja voimantuoton välinen yhteys**

Useiden tutkimusten mukaan lihaksen koko on merkittävä lihaksen voimantuottoon vaikuttava tekijä, ja siksi yleensä ajatellaankin, että lihaksen koko korreloi sen voimantuoton kanssa. Akagi ym. (2012) mittasivat tutkimuksessaan reiden sekä säären ja pohkeen alueen lihasryhmiä, ja tutkivat vaikuttaako lihaksen kokosuhteen tasapaino lihaksen voimasuhteen tasapainoon. Tutkimuksessa saatujen mittaustulosten perusteella raportoitiin muun muassa, että lihaksen tilavuus oli merkittävästi isokineettisesti mitattua nivelen vääntömomenttia määrittävä tekijä kaikissa mitatuissa lihasryhmissä. Fukunagan ym. (2001) mukaan lihasvoiman ja lihaksen fysiologisen poikkipinta-alan välillä on lineaarinen yhteys, ja heidän tutkimuksensa tavoitteena oli testata tätä, tutkimalla lihaksen fysiologisen ja anatomisen poikkipinta-alan sekä lihaksen tilavuuden suhteita nivelen vääntömomenttiin. Lopputuloksena oli, että kaikilla kolmella oli lineaarinen yhteys lihasvoimaan, mutta erityisesti lihaksen tilavuuden ja fysiologisen poikkipinta-alan korrelaatiot nivelen vääntömomentin kanssa olivat merkittäviä. Näin ollen myös heidän mukaansa lihaksen koko vaikuttaa merkittävästi sen voimantuottoon. Kaikkien muiden tavoin, myös jo Maughan ym. (1983) ovat aikoinaan saaneet tutkimuksessaan lihaksen koon ja voiman yhteyttä puoltavia tuloksia. He tutkivat luurankolihasen voiman ja poikkipinta-alan yhteyttä, ja tulosten mukaan korrelaatio lihasvoiman ja poikkipinta-alan välillä on merkittävä, vaikkakin sukupuolten välillä on eroa siinä, kuinka merkittävä.

Useiden toisiaan puoltavien tulosten perusteella, on siis selvää, että yleinen ajatus lihaskoon ja -voiman yhteydestä pitää jossain määrin paikkansa. On kuitenkin huomioitava, että molempiin vaikuttavat osin samat, mutta osittain myös useat eri anatomiset, fysiologiset ja hermoston toimintaan liittyvät tekijät (Avela ym. 2016, 92–109; Häkkinen & Ahtiainen 2016, 250–251;

McArdle ym. 2015, 528–535). Trezise ym. (2016) tutkivat erilaisten anatomisten ja hermolihasjärjestelmällisten tekijöiden vaikutuksia isometriseen ja isokineettiseen voimantuottoon. Tulosten perusteella lihaskoko, pennaatiokulma sekä lihasaktivaation taso vaikuttivat maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon eniten. Kun taas lihaksen aktivaatiota tärkeämpiä maksimaalista konsentrista vääntömomenttia ennustavia tekijöitä olivat lihaskoko, pennaatiokulma sekä momenttivarsi. Tutkimuksen mukaan lihaskoko olisi siis yksi lihaksen voimantuottoon vaikuttavista tekijöistä, mutta ei kuitenkaan ainoa. Näin ollen kirjallisuuden ja tutkimustulosten perusteella, lihaskoon lisäksi on myös useita muita voimantuottoon vaikuttavia tekijöitä. Niinpä lihaskoon ja -voiman, ja siten myöskään niiden puolierojen, välistä yhteyttä ei ehkä voidakaan pitää täysin lineaarisena.

Denadai ym. (2016) ovat raportoineet tutkimustuloksia, joiden perusteella lihaskoon ja -voiman välisen yhteyden merkittävyyteen tulisi suhtautua harkiten. He selvittivät pitääkö hypoteesi H:Q-voimasuhteen ja H:Q-poikkipinta-alasuhteen välisestä suorasta yhteydestä paikkansa H:Q-suhteen epätasapainoa omaavilla miesjalkapalloilijoilla. He mittasivat lihasryhmien voimantuottoa isokineettisesti ja lihaskokoa poikkipinta-alana magneettikuvauksella (MRI). Tulosten perusteella voimasuhteen ja poikkipinta-alasuhteen välinen korrelaatio ei ollut tilastollisesti merkitsevä, eli tutkimustulokset eivät tukeneet hypoteesia. Tästä syystä he nostivat esille, että poikkipinta-alasuhteen lisäksi muita voimantuottoon vaikuttavia hermolihasjärjestelmällisiä tekijöitä, jotka voisivat olla kyseisten miesjalkapalloilijoiden H:Q-suhteen puoliero mahdollisesti selittäviä tekijöitä, tulisi tutkia lisää.

Samankaltaisesti kuin Denadai ym. (2016), myös Akagi ym. (2014) raportoivat tuloksia, joiden perusteella vastakkaisten lihasten voimasuhde ei ole riippuvainen niiden kokosuhteesta. Akagi ym. (2014) tutkivat alaraajojen agonisti/antagonisti lihasryhmien (etureidet/takareidet sekä nilkan ojentajat/koukistajat) voima- ja kokosuhteita sekä niiden yhteyttä toisiinsa jalkapalloilijoilla ja ei-jalkapalloilijoilla. He mittasivat etu- ja takareisien voimantuottoa isometrisellä polven ekstensiolla ja fleksiolla, ja nilkan ojentajien ja koukistajien voimantuottoa isometrisellä nilkan ekstensiolla ja fleksiolla. Lihasryhmien koot selvitettiin MRI-kuvauksella, mittaamalla lihasten tilavuutta. Lihaksen tilavuus- ja voimasuhteiden välillä ei löydetty merkitsevää korrelaatiota etu- ja takareisissä jalkapalloilijoilla eikä ei-jalkapalloilijoilla. Myöskään nilkan ojentajien ja koukistajien tilavuus- ja voimasuhteiden välillä ei ollut merkitsevää korrelaatiota jalkapalloilijoilla, mutta ei-jalkapalloilijoilla merkitsevä korrelaatio löytyi. Näin ollen Akagi ym.

(2014) raportoivat, että heidän tutkimustulostensa mukaan, ainakaan jalkapalloilijoiden kohdalla alaraajojen lihasvoimasuhde ei ole suuresti riippuvainen lihaslavuuden suhteesta. Tästä syystä Denadain ym. (2016) tapaan, hekin nostivat esille muut voimantuottoon vaikuttavat hermolihaskäytännölliset tekijät ja niiden mahdolliset vaikutukset tuloksiin. Tämän tutkimuksen tulokset eivät siis olleet täysin linjassa samojen tekijöiden aikaisemman tutkimuksen tulosten kanssa (Akagi ym. 2012).

### **3.4 Isometrinen maksimivoima ja DXA**

Tässä tutkielmassa lihaksen koon ja voimantuoton välistä suhdetta tutkitaan vastakkaisten raajojen lihasmassan ja isometrisesti tuotetun voiman välillä. Maksimaalisella tahdonalaisella isometrisellä voimantuottotestillä (MVIC) pystytään mittaamaan isometrisesti suoritetusta liikkeestä (esimerkiksi kahden jalan jalkaprässi) useita voimantuotto ominaisuuksia, joista yksi on työskentelevien lihasten tuottaman maksimaalisen voiman suuruus (Lum ym. 2020). MVIC:n käyttö mittausmenetelmänä on helppoa ja luotettavaa, ja siksi yleinen tapa arvioida halutun raajan tai raajojen voimantuottoa (Drake ym. 2017; Lum ym. 2020).

Lihasmassaa voidaan arvioida muun muassa kaksiennergiaisella röntgenabsorptiometrialla (DXA), jonka käyttö esimerkiksi kehonkoostumusmittauksissa on yleistymässä. DXA:lla ei kuitenkaan pystytä arvioimaan täysin pelkkää lihasmassan määrää. DXA:lla kehonkoostumusta mitattaessa kehon massa voidaan jakaa kolmeen osaan: rasvamassaan, luumassaan ja vähärasvaiseen pehmytkudosmassaan. (Lukaski & Raymond-Pope 2021) Vähärasvainen pehmytkudosmassa käsittää kehon lihasmassan, ja sen lisäksi myös lihasten ulkopuolisen vesi-, proteiini- ja hiilihydraattimassan sekä rasvattomat lipidit ja pehmytkudosmineraalit (Prado & Heymsfield 2014). Usein kuitenkin puhuttaessa vähärasvaisesta pehmytkudosmassasta, käytetään termiä ”lihasmassa” kuvaamaan samaa asiaa (Lukaski & Raymond-Pope 2021).

#### 4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Lajiharjoittelu ja raajojen dominointi sekä naispalloilijoille tyypilliset urheiluvammat voivat aiheuttaa urheilijoille puolieroja, ja puolieroilla puolestaan saattaa olla negatiivisia vaikutuksia suorituskykyyn ja loukkaantumisriskiin. Siksi lihastasapainon mittaamiseen käytettäviä menetelmiä on tarpeellista tutkia. Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia ovatko puolierot naispalloilijoiden alaraajojen lihaskoossa ja -voimassa keskenään samankaltaiset. Vertaamalla raajojen välisiä puolieroja lihasmassassa ja isometrisessä maksimivoimassa pohditaan, onko puolieroja tutkiessa tarpeellista mitata molempia ominaisuuksia.

**Tutkimuskysymys 1:** Ovatko naispalloilijoiden vastakkaisten alaraajojen lihastasapainot lihasmassassa ja maksimivoimassa keskenään samankaltaisia?

**Hypoteesi ja perustelut:** Puolierot lihasmassassa ja isometrisessä maksimivoimassa eivät välttämättä ole keskenään samankaltaisia, vaan puolieroissa voi olla eroja. Lihaksen koko on merkittävä lihaksen voimantuottoon vaikuttava tekijä (Akagi ym. 2012; Fukunaga ym. 2001; Maughan ym. 1983; Trezise ym. 2016). Se ei kuitenkaan ole ainut tekijä, sillä voimantuottoon vaikuttaa useita muitakin anatomisia, fysiologisia ja hermoston toimintaa liittyviä tekijöitä (Avela ym. 2016; Häkkinen & Ahtiainen 2016; McArdle ym. 2015; Trezise ym. 2016). On myös saatu tutkimusnäyttö siitä, että ainakaan vastakkaisten lihasryhmien kokosuhde ei ole merkittävästi niiden voimasuhdetta määrittävä tekijä (Akagi ym. 2014; Denadai ym. 2016), joten on mahdollista, että sama pätee myös raajojen välillä mitattuihin lihaskoon ja -voiman puolieroihin. Näin ollen puolierot eivät välttämättä ole samankaltaisia lihasmassan ja isometrisen maksimivoiman kesken, eli lihaskoon ja -voiman puolierot eivät ole aina samankaltaisia keskenään.

**Tutkimuskysymys 2:** Onko lihastasapainoa tutkittaessa riittävää mitata vain lihaskokoa tai -voimaa?

**Hypoteesi ja perustelut:** Ei ole. Jos lihaskoko ja -voima eivät välttämättä olekaan keskenään samankaltaisia, saadaan lihastasapainon tilasta kattavampaa informaatiota mittaamalla molempia ominaisuuksia.

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän kandidaatintutkielman aineisto kerättiin osana kahta eri Jyväskylän yliopistossa keväällä 2021 alkanutta tutkimusta. Toisessa tutkimuksessa selvitettiin kuumaan perustuvien palautumismenetelmien hyötyjä akuuttiin palautumiseen, sekä vaikutuksia suorituskyvyn kehittymiseen. Toisessa tutkimuksessa selvitettiin urheilijoilla ilmenevän suhteellisen energiavajeen yleisyyttä, seurauksia ja ennaltaehkäisyä. Tässä tutkielmassa käytettiin lihasmassan ja -voiman puolierojen vertailuun aineistoja, jotka oli kerätty osana kyseisiä tutkimuksia. Molemmille tutkimuksille oli myönnetty Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan suostumus.

*Tutkittavat.* Tutkittavat rekrytoitiin ottamalla yhteyttä lajiliittoihin sekä suoraan joukkueiden valmennukseen tai joukkueenjohtoon. Tutkimuksiin osallistuakseen tuli olla perusterve, eikä mittausten aikaan saanut olla loukkaantumisia. Alun perin tämän tutkielman tutkimusjoukkoon kuului 54 tutkittavaa. Yksi jouduttiin poistamaan aineistosta, koska hänen lihasmassaansa ei pystytty mittaamaan molemmista alaraajoista erikseen, joten lihasmassan mahdollisia puolieroja ei pystytty hänen tuloksistaan tarkkailemaan. Lopullisissa analyyseissa tutkimusjoukkoon kuului siis yhteensä 53, iältään 16–38-vuotiasta, tavoitteellisesti urheilevaa naispalloilijaa neljästä eri pallolajista. Heidän lajejaan olivat futsal (n = 12), amerikkalainen jalkapallo (n = 3), rugby (n = 16) ja jääkiekko (n = 22). Rugbya sekä jääkiekkoa pelaavat osallistuivat suhteellista energiavajetta tutkivaan tutkimukseen, ja futsalia sekä amerikkalaista jalkapalloa pelaavat osallistuivat kuumaan perustuviin palautumismenetelmiin liittyvään tutkimukseen. Tutkittavien pituudet jakautuivat välille 156–181 cm ja kehonpainot välille 54,4–101,5 kg. Tutkittavien taustatiedot on esitetty taulukossa 4.

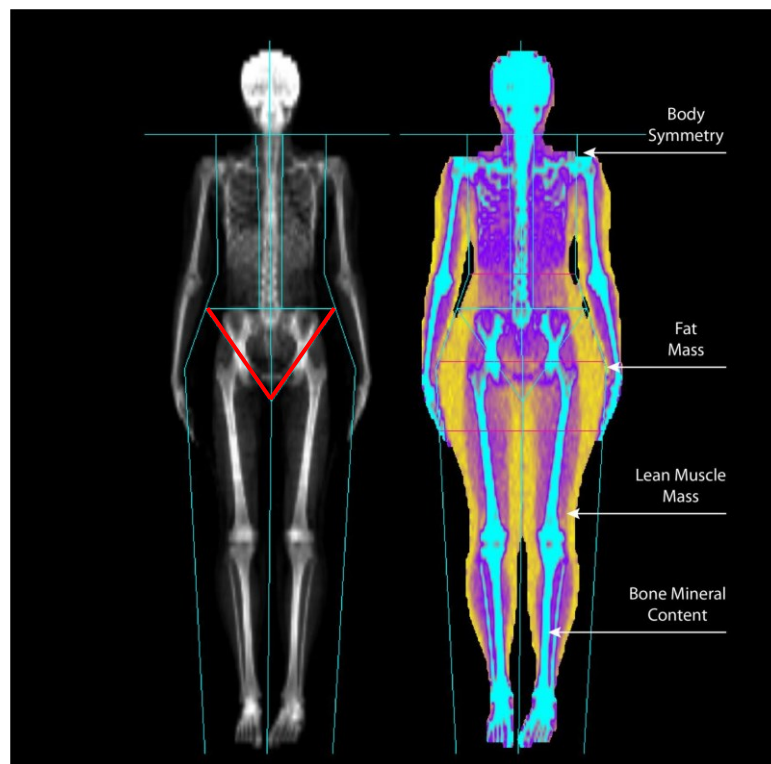
TAULUKKO 4. Tutkittavien taustatiedot. Tulokset ovat muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

	Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)
n = 53	24,3 $\pm$ 5,6	167,0 $\pm$ 5,4	69,2 $\pm$ 10,6

*Aineistonkeruu.* Tämän tutkielman tutkimusasetelmana oli poikkileikkaustutkimus, jonka aineistot kerättiin Jyväskylän yliopistolla vuoden 2023 aikana. Aineisto sisälsi tutkittavien alaraajojen vähärasvaisten pehmytkudosmassojen määrät sekä alaraajojen isometrisesti mitatut maksimivoimat. Näiden lisäksi molemmissa tutkimuksissa mitattiin myös useita muita muuttujia, joita ei ole otettu mukaan tämän tutkielman aineistoon. Mittaukset suoritettiin molemmissa tutkimuksissa samoilla laitteilla ja enimmäkseen samoilla protokollilla. Joitain eroja kuitenkin

oli. Ennen voimamittausta suoritettut lämmittelyt eivät olleet samanlaiset tutkimusten kesken. Lisäksi sitä, mitä muita mittauksia tutkittaville tehtiin ennen tämän tutkielman aineiston mittauksia tai niiden välissä, ei ole vakioitu tutkittavien kesken. Myöskään sitä, suoritettiin ko molemmat mittaukset samana vai peräkkäisinä päivinä, ei ole vakioitu. Kaikki tutkittavat täyttivät suostumus- ja terveystietolomakkeet.

*Lihasmassan mittaaminen.* Tässä tutkielmassa lihasmassalla viitataan vähärasvaiseen pehmytkudosmassaan. Alaraajojen lihasmassat mitattiin osana koko kehon kehonkoostumuksen mittaamista. Kehonkoostumuksien mittaamiseen käytettiin Lunar Prodigy Advance (GE Medical Systems, Madison, USA) merkkistä DXA-laitetta. Tutkittavat saapuivat DXA-mittaukseen aamulla, yön ajan paastonneina. Alaraajan lihasmassa sisälsi kuvan 1 mukaisesta, lonkanivelen kohdalla olevasta, leikkauskohdasta alaspäin kaiken alaraajan vähärasvaisen pehmytkudosmassan. Toisin sanoen pieni osa lähentäjien sekä pakaroiden ylimmistä osista eivät sisälly tuloksiin. Lihasmassan määrä laskettiin erikseen oikeasta ja vasemmasta alaraajasta.



KUVA 1. Kuvassa vasemmalla DXA-mittauksessa käytetyt segmentit. Punaiset viivat kuvaavat leikkauskohtia, joiden alapuolelta lihasmassat mitattiin. (Accurate Imaging Diagnostics 2024 mukailen)

*Maksimivoiman mittaaminen.* Lihassoimat mitattiin maksimaalisella isometrisellä (MVIC) kahden jalan jalkaprässillä Jyväskylän yliopistossa valmistetulla laitteella. Jalkaprässi säädettiin niin, että tutkittavan polvikulma oli  $107^\circ$ . Liike suoritettiin molemmilla jaloilla yhtä aikaa, mutta laitteessa oli erilliset voimalevyt molemmille jaloille. Näin tuotetut voimat saatiin mitattua erikseen molemmista jaloista. Ennen mittauksia tutkittavat lämmittelivät. Itse suorituksessa tutkittavia ohjeistettiin pitämään selkä kiinni selkänojassa ja takapuoli kiinni penkissä, sekä pitämään kiinni laitteen käsikahvoista. Tutkittavat tekivät kolme noin 3–5 sekunnin mittaista MVIC suoritusta, joiden välissä oli 1–2 minuutin pituiset palautukset. Jos kolmannella suorituksella mittaustulos parani huomattavasti kahdesta edellisestä, suoritettiin vielä neljäs mittaus. Lopulliseksi tulokseksi kirjattiin tulos, jossa oli tuotettu suurin maksimivoima. Tutkittavia kannustettiin suoritusten aikana.

*Tilastolliset analyysit.* Aineiston analysointiin käytettiin Microsoft Excel versio 16.81 taulukkolaskentaohjelmaa (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Yhdysvallat) sekä SPSS Statistics 28.0-ohjelmistoa (IBM Corporation, Armonk, New York, Yhdysvallat). Aineisto jaettiin maksimivoimien perusteella seuraavasti:

- 1) voiman suhteen dominoivien alaraajojen maksimivoimat,
- 2) voiman suhteen ei-dominoivien alaraajojen maksimivoimat,
- 3) voiman suhteen dominoivien alaraajojen lihasmassat,
- 4) voiman suhteen ei-dominoivien alaraajojen lihasmassat,
- 5) alaraajojen väliset absoluuttiset erot lihasvoimassa,
- 6) alaraajojen väliset prosentuaaliset erot lihasvoimassa,
- 7) alaraajojen väliset absoluuttiset erot lihasmassassa ja
- 8) alaraajojen väliset prosentuaaliset erot lihasmassassa.

Alaraajojen väliset absoluuttiset ja prosentuaaliset erot laskettiin vähentämällä voiman suhteen dominoivan (VD) alaraajan maksimivoimasta/lihasmassasta, voiman suhteen ei-dominoivan (VED) alaraajan maksimivoima/lihasmassa. Näin ollen myös lihasmassan absoluuttisten ja prosentuaalisten puolierojen keskiarvot ja keskihajonnat laskettiin ryhmistä, jotka oli jaettu VD-raajan mukaan, ja siksi osa lihasmassojen eroista oli negatiivisia. Liitteessä 1 on havainnollistettu, millaisessa asetelmassa tuloksia käsiteltiin. Kaikki ryhmät sisälsivät koko tutkimusjoukon ( $n = 53$ ), ja niiden normaalijakaumat testattiin Kolmogorov-Smirnov-testillä.

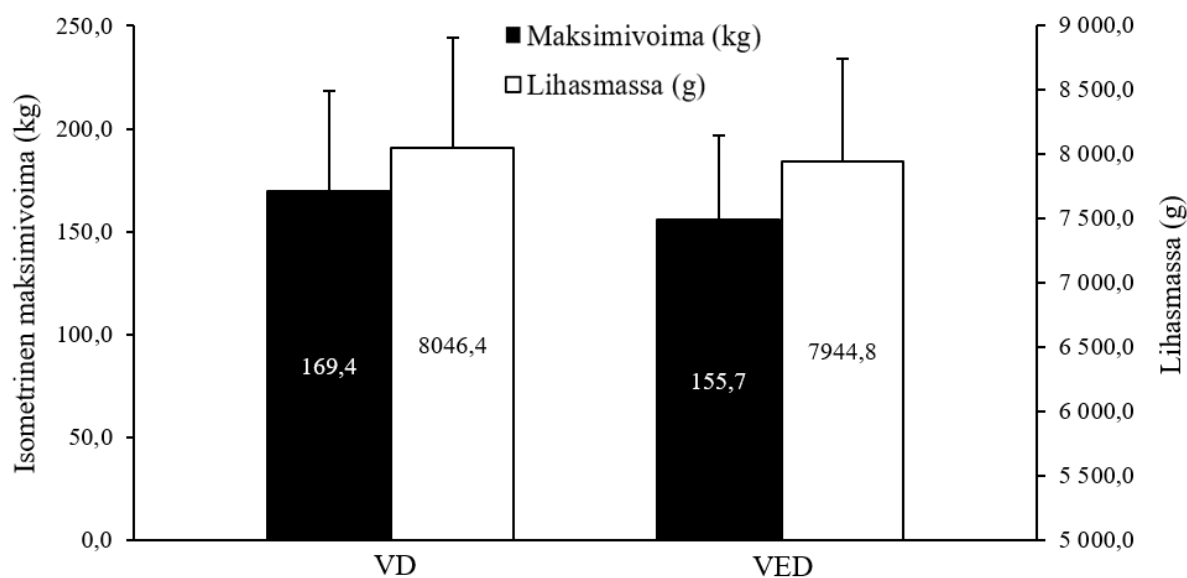
Edellä mainittujen ryhmien lisäksi tutkimusjoukko jaettiin vielä erikseen kahteen ryhmään maksimivoiman prosentuaalisen eron mukaan: tutkittavat, joiden puoliero maksimivoimassa oli  $< 10\%$  ( $n = 35$ ) ja tutkittavat, joiden puoliero maksimivoimassa oli  $\geq 10\%$  ( $n = 18$ ). Ryhmäjaon raja-arvoksi asetettiin  $10\%$ , koska se on puolieroihin liittyvissä tutkimuksissa yleisesti käytetty raja-arvo sille, milloin puoliero muuttuu niin suureksi, että se saattaa nostaa vammaariskia tai heikentää suorituskykyä (Bell ym. 2014; Bishop ym. 2021; Lukaski & Raymond-Pope 2021). Näiden ryhmien normaalijakaumat testattiin Shapiro-Wilki-testillä.

Maksimivoiman ja lihasmassan keskiarvojen eroja alaraajojen välillä, sekä lihasmassojen absoluuttisten ja prosentuaalisten erojen keskiarvojen eroja maksimivoiman eron mukaan jaettujen ryhmien ( $< 10\%$  vs.  $\geq 10\%$ ) välillä testattiin riippumattoman otoksen t-testillä. Korrelaatiot testattiin normaalijakautuneissa ryhmissä Pearsonin korrelaatiokertoimella, ja ryhmät, jotka eivät noudattaneet normaalijakaumaa testattiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. Kaikkien tilastollisten testien merkitsevyyden p-arvon rajana pidettiin  $p = \leq 0,05$ .



## 6 TULOKSET

Kuvassa 2 on esitetty lihasvoiman ja -massan keskiarvot ja keskihajonnat sekä niiden eroja alaraajojen välillä. Erot VD-raajan ja VED-raajan välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä maksimivoimassa ( $p = 0,123$ ) eivätkä lihasmassassa ( $p = 0,529$ ). Taulukossa 5 on esitetty maksimivoiman sekä lihasmassan raajojen välisten absoluuttisten sekä prosentuaalisten erojen keskiarvot ja keskihajonnat. Raajojen välisissä eroissa oli suuria vaihteluita tutkittavien välillä. Maksimivoimassa absoluuttiset erot jakautuivat välille 0-68 kg, ja prosentuaaliset erot välille 0-21,3 %. Lihasmassassa absoluuttiset erot jakautuivat välille 4,3-653,1 g, ja prosentuaaliset erot välille 0,1-8,1 %.

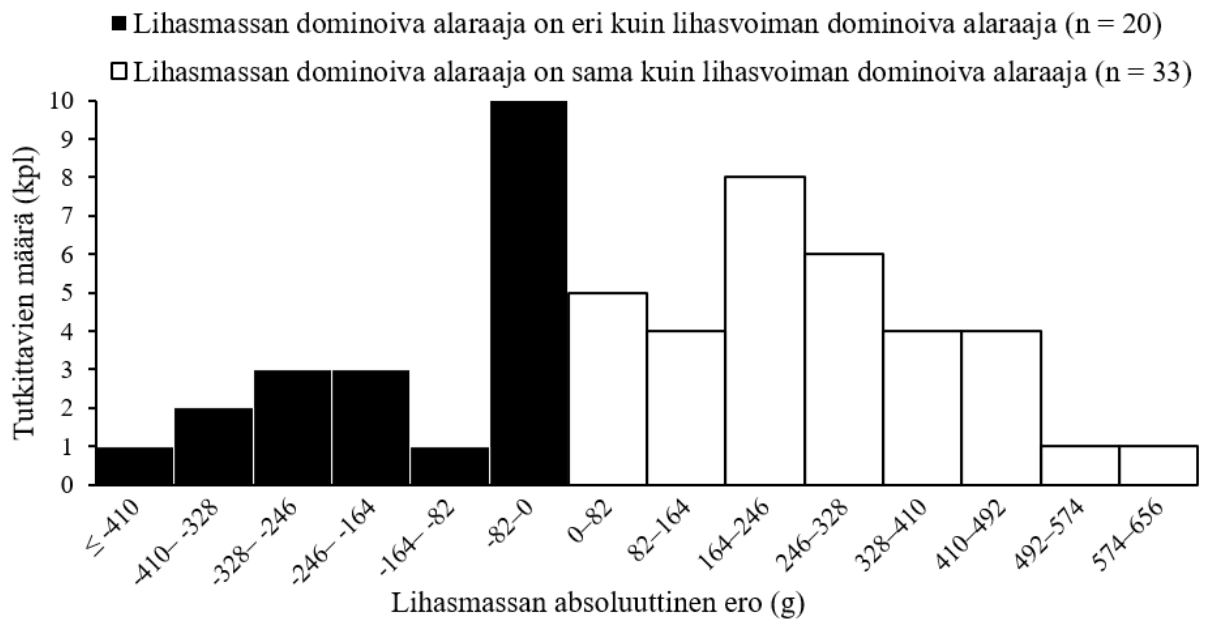


KUVA 2. Molempien alaraajojen isometrisen maksimivoiman sekä lihasmassan keskiarvot ja keskihajonnat voiman suhteen dominoivissa alaraajoissa (VD) sekä voiman suhteen ei-dominoivissa alaraajoissa (VED).

TAULUKKO 5. Alaraajojen väliset absoluuttiset sekä prosentuaaliset erot isometrisessä maksimivoimassa ja lihasmassassa. Tulokset ovat muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

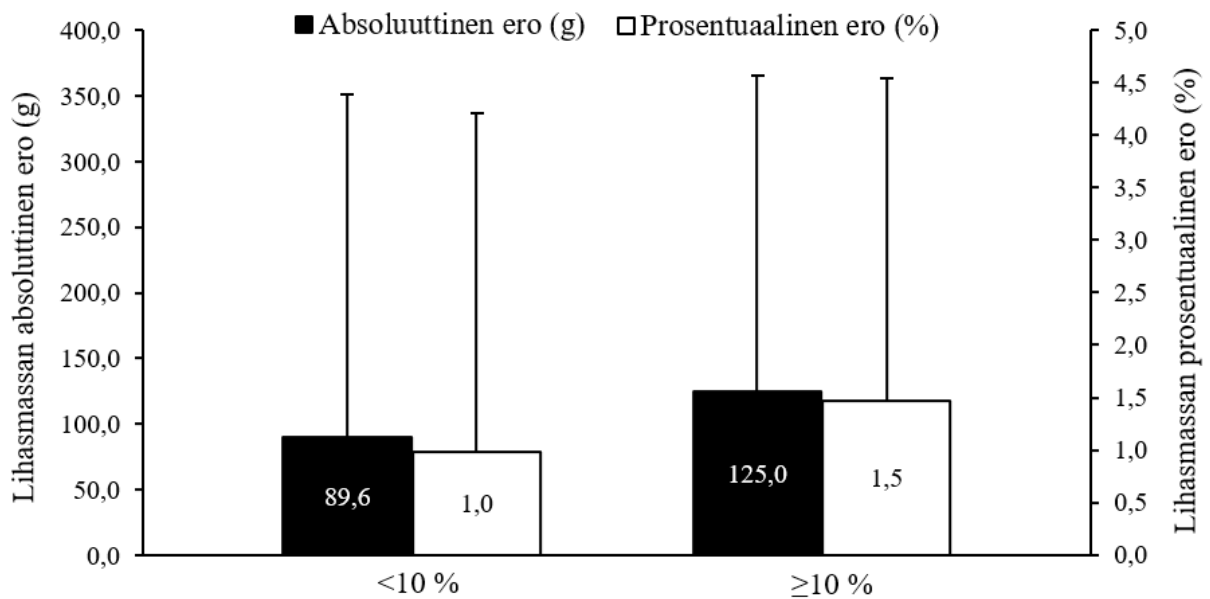
	Absoluuttinen ero	Prosentuaalinen ero (%)
Maksimivoima (kg)	13,7 $\pm$ 14,3	7,4 $\pm$ 6,5
Lihasmassa (g)	101,6 $\pm$ 252,9	1,1 $\pm$ 3,2

VD-raajojen maksimivoimien keskiarvo oli VED-raajoja suurempi, koska ryhmät jaettiin voiman suhteen dominovan raajan perusteella ( $169,4 \text{ kg} \pm 49,1$  vs.  $155,7 \pm 41,3 \text{ kg}$ ). Myös lihasmassassa keskiarvo oli VD-raajassa suurempi ( $8046,4 \text{ g} \pm 858,4$  vs.  $7944,8 \text{ g} \pm 796,9$ ), mutta on myös huomioitava, että kaikkien yksilöiden kohdalla tilanne ei ollut sama. Joidenkin tutkittavien kohdalla dominoiva raaja voimassa ei ollutkaan dominoiva raaja massassa ( $n = 20$  vs.  $n = 33$ ). Kuvassa 3 on esitetty tutkimusjoukon jakautuminen ryhmiin lihasmassan absoluuttisen eron mukaan, ja näin havainnollistettu, miten osalla tutkittavista dominoiva raaja ei ollut sama molemmissa muuttujissa.



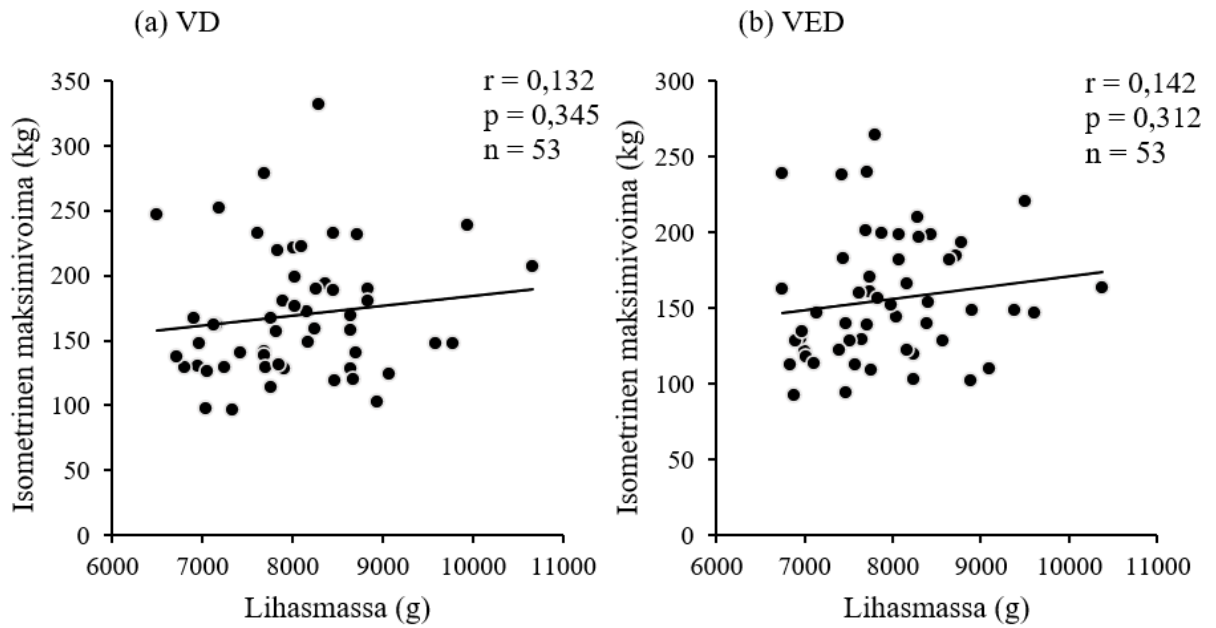
KUVA 3. Tutkimusjoukon jakautuminen alaraajojen lihasmassan absoluuttisen eron mukaan jaettuihin luokkiin. Erot on laskettu vähentämällä voiman suhteen dominoivan alaraajan lihasmassasta voiman suhteen ei-dominoivan alaraajan lihasmassa. Tutkittavilla, joilla lihasmassan absoluuttinen ero on negatiivinen, dominoiva alaraaja lihasmassassa on eri kuin dominoiva alaraaja lihasvoimassa.

Kuvassa 4 on esitetty, miten lihasmassan puolierot jakautuivat maksimivoiman prosentuaalisen eron suuruuden mukaan jaetuissa ryhmissä. Erot ryhmien keskiarvojen välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Sekä absoluuttisten erojen keskiarvo ( $125,0 \text{ g} \pm 240,4$  vs.  $89,6 \text{ g} \pm 261,6$ ,  $p = 0,634$ ) että prosentuaalisten erojen keskiarvo ( $1,5 \% \pm 3,1$  vs.  $1,0 \% \pm 3,2$ ,  $p = 0,599$ ) olivat suuremmat niillä, joilla lihasmassan prosentuaalinen puoliero oli  $\geq 10 \%$ , verrattuna niihin, joilla vastaava puoliero oli  $< 10 \%$ . Eli niillä, joilla oli suurempi puoliero voimassa, oli keskimäärin suurempi puoliero myös massassa.

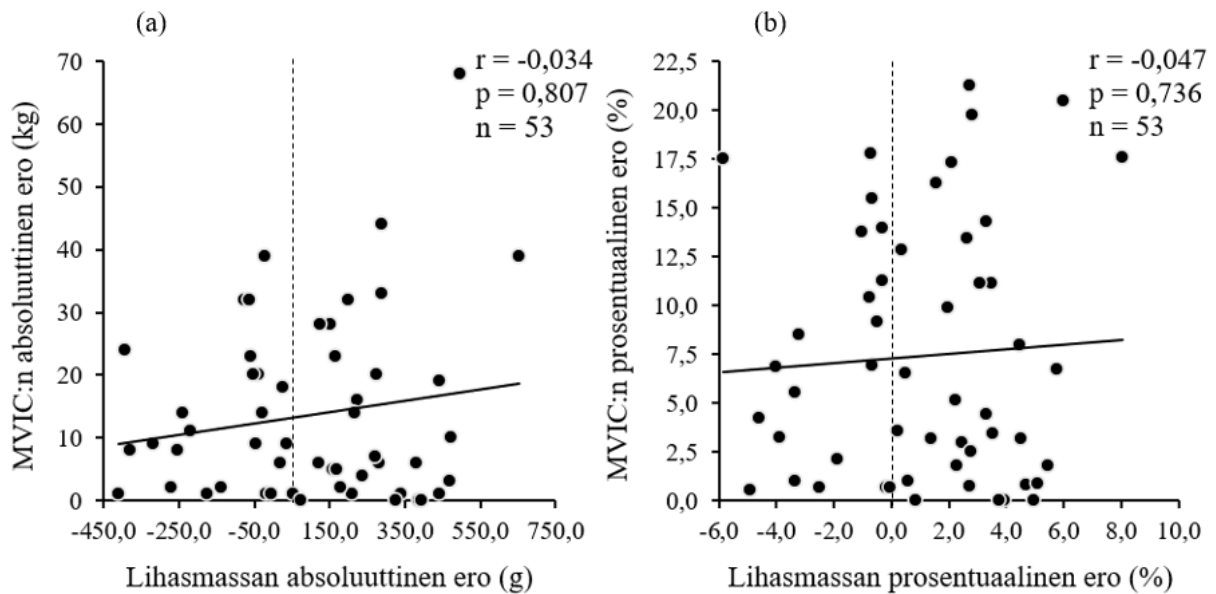


KUVA 4. Lihasmassan alaraajojen väliset absoluuttiset erot sekä prosentuaaliset erot niillä, joilla maksimivoimassa oli alaraajojen välistä prosentuaalista eroa < 10 %, verrattuna niihin, joilla maksimivoimassa oli alaraajojen välistä prosentuaalista eroa ≥ 10 %.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty maksimivoiman ja lihasmassan, sekä niiden absoluuttisten ja prosentuaalisten erojen keskinäisiä korrelaatioita. Maksimivoiman ja lihasmassan välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota VD-raajassa ( $r = 0,132$ ,  $p = 0,345$ ) eikä VED-raajassa ( $r = 0,142$ ,  $p = 0,312$ ) (kuva 5). Myöskään maksimivoiman ja lihasmassan raajojen välisten absoluuttisten erojen ( $r = -0,034$ ,  $p = 0,807$ ) tai prosentuaalisten erojen ( $r = -0,047$ ,  $p = 0,736$ ) välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita (kuva 6).



KUVA 5. Isometrisen maksimivoiman ja lihasmassan väliset korrelaatiot (a) voiman suhteen dominoivassa alaraajassa (VD), ja (b) voiman suhteen ei-dominoivassa alaraajassa (VED).



KUVA 6. Voiman suhteen dominoivan ja voiman suhteen ei-dominoivan alaraajan välisen (a) isometrisen maksimivoiman (MVIC) ja lihasmassan absoluuttisten erojen välinen korrelaatio sekä (b) isometrisen maksimivoiman ja lihasmassan prosentuaalisten erojen välinen korrelaatio. Katkoviiva merkitsee x-akselin nollakohtaa.

## 7 POHDINTA

Tämän tutkielman tavoitteena oli tutkia, ovatko naispallolijoiden alaraajojen puolierot samankaltaisia lihaskoossa sekä lihasvoimassa ja näin pohtia onko lihastasapainoa tutkittaessa tarpeellista mitata molempia ominaisuuksia. Lihaskokoa mitattiin lihasmassana DXA-mittauksella, ja lihasvoimaa mitattiin kahden jalan MVIC jalkaprässillä, jossa molemmille jaloille oli omat voimalevyt. Puolierojen samankaltaisuutta tutkittiin vertaamalla lihasmassan ja maksimivoiman alaraajojen välisiä puolieroja keskenään.

Tutkielman tulosten mukaan lihasmassan keskiarvoilla tai lihasvoiman keskiarvoilla ei kummallakaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, kun keskiarvoja vertailtiin VD- ja VED-raajojen kesken (kuva 2). Tilastollisesti tutkimusjoukosta ei siis löytynyt puolieroja, mutta yksilötasolla tarkasteltuna joillain puolierot olivat melko suuriakin (voima: 0-68 kg ja 0-21,3 %, massa: 4,3-653,1 g ja 0,1-8,1 %). Kummankaan alaraajan lihasmassan- ja voiman (kuva 5) tai niiden alaraajojen välisten absoluuttisten ja prosentuaalisten erojen (kuva 6) välillä ei löydetty tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Myöskään verrattaessa yksilöitä, joilla oli  $\geq 10$  %:n puoliero lihasvoimassa, yksilöihin, joilla vastaava ero oli  $< 10$  %, ei löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien lihasmassojen keskiarvojen välillä (kuva 4). Näiden lisäksi on huomionarvoista, että vaikka sekä lihasmassan että -voiman keskiarvot olivat suuremmat VD-raajassa, niin silti 53:sta tutkittavasta 20:llä dominoiva raaja ei ollut sama raaja sekä lihasmassassa että -voimassa (kuva 3).

Seuraavissa luvuissa pohditaan saatujen tulosten pohjalta lihaskoon ja -voiman mittaamisen tarpeellisuutta lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa. Lisäksi pohditaan, mitä johtopäätöksiä tutkielman perusteella voitaisiin tehdä, millaisia jatkotutkimus tarpeita aiheeseen liittyä sekä mitkä ovat tutkielman heikkouksia ja vahvuuksia.

### 7.1 Hypoteesien toteutuminen

Tämän tutkielman tulosten perusteella lihasmassan ja -voiman puolierot alaraajojen välillä eivät välttämättä ole samankaltaisia keskenään. Tämä lopputulos on samansuuntainen kuin mihin myös aikaisemmat samankaltaiset tutkimukset ovat päätyneet (Akagi ym. 2014; Denadai ym. 2016). Lihasmassan ja isometrisen maksimivoiman puolierojen välillä ei löydetty tilastollisesti

merkitseviä korrelaatioita, eivätkä lihasmassojen erot voiman puolieron suuruuden mukaan jaettujen ryhmien välillä olleet tilastollisesti merkitseviä. Lisäksi joillain yksilöillä dominoiva raaja oli lihasmassassa eri raaja kuin lihasvoimassa, eikä tällainen tilanne olisi mahdollinen, jos lihaskoon ja -voiman puolierot olisivat aina keskenään samankaltaiset. Näin ollen hypoteesi lihaskoon ja -voiman puolierojen eroavaisuuksista piti tulosten perusteella paikkansa. Koska tulosten perusteella lihaskoon ja -voiman puolierot eivät aina ole samankaltaisia, piti myös hypoteesi yhden ominaisuuden mittaamisen riittämättömyydestä paikkansa. Voidaan siis todeta, että alaraajojen lihasapainoa tutkittaessa, on tämän tutkielman tulosten perusteella tarkoituksenmukaisempaa mitata molempia: lihakkoa ja -voimaa.

Kun halutaan selvittää alaraajojen välisen lihasapainon tilaa, voi saatujen tulosten perusteella pelkän voiman tai pelkän massan mittaaminen (myös tehontuoton ja/tai toimintakyvyn rinnalla mitattuna) antaa väärän kuvan lihasapainon tilasta ja näin johtaa mahdollisesti väärin johtopäätöksiin. Esimerkiksi, jos yksilöltä, jolla dominoiva raaja voimassa olisi eri kuin dominoiva raaja massassa, mitattaisiin ainoastaan lihasmassaa, olisi tuloksista helppo vahingossa päätellä, että dominoiva raaja voimassa olisi sama kuin massassa. Näin ollen, jos tuloksen perusteella tämän yksilön harjoitteluun tehtäisiin muutoksia, joilla pyrittäisiin kasvattamaan massan suhteen ei-dominoivan raajan voimatasoja, saatettaisiin harjoittelulla vahingossa vain kasvattaa voiman puolieroä, vaikka pyrkimys olisi vähentää sitä. Näin ollen mittaamalla molempia, pystytään paremmin päättämään, millä keinoilla puolieroä voitaisiin mahdollisesti vähentää. Mitä parempi ymmärrys puolieron tilasta on, sitä paremmin harjoittelua voidaan suunnata oikeisiin asioihin, ja siten sillä voidaan saada haluttuja tuloksia aikaan.

## **7.2 Aiheen tutkimisen tarpeellisuus**

Lihastasapainon tutkimiseen käytettäviä tutkimusasetelmia ja mittausmenetelmiä olisi tutkittava tulevaisuudessa lisää. Tämänhetkiset aiheeseen liittyvät tutkimukset keskittyvät enimmäkseen selvittämään puolierojen vaikutuksia suorituskykyyn ja loukkaantumisriskiin (taulukko 1), tai selvittämään millaisia puoleroja urheiluvammat tai niihin liittyvät operaatiot saattavat aiheuttaa (taulukko 2). Tutkimuksien perusteella minkäänlaisten varmoina pidettävien yhteenve-tojen tekeminen on kuitenkin haasteellista, sillä aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa käytettävät tutkimusasetelmat ja -menetelmät eivät ole yhdenmukaisia (taulukot 1, 2 ja 3) tai tutkimustu-

lokset saman suuntaisia. Eri tutkimuksissa käytetyt asetelmat ja menetelmät eroavat lähes poikkeuksetta toisistaan, välillä hyvin paljonkin. Esimerkiksi puolierojen negatiivisista vaikutuksista suorituskykyyn tai loukkaantumisriskiin ei voida suoraan tehdä varmoja johtopäätöksiä (Bishop ym. 2023; Kellis ym. 2022; Maloney 2019), sillä tutkimustuloksia on paljon sekä puolesta että vastaan, eivätkä tutkimuksien asetelmat ja menetelmät ole lähes koskaan samankaltaisia (Helme ym. 2021; Maloney 2019; Murphy ym. 2003; Bishop ym. 2023).

Puolierot kuitenkin saattavat aiheuttaa urheilijoille paljonkin negatiivisia vaikutuksia (Baumhauer ym. 1995; Bishop ym. 2021; Hart ym. 2014; Markovic ym. 2020; Sannicandro ym. 2011, Maloney 2019 mukaan; Söderman ym. 2001), ja siksi niiden mittaaminen olisi hyvä apuväline urheilijoille ja heidän kanssaan yhteistyössä työskenteleville (valmentajat, fysioterapeutit jne.) (Lukaski & Raymond-Pope 2021). Esimerkiksi tämän tutkielman kohderyhmälle, eli naispallolijoille, alaraajojen puolierot voivat mahdollisesti olla suureksi haitaksi loukkaantumisten kannalta. Pallolajien sisältämät nopeat vauhdin ja suunnan muutokset saattavat aiheuttaa muun muassa ACL-vammoja, joiden yhtenä riskitekijänä pidetään puolieroja H:Q-suhteessa (Knapik ym. 1991; Myer ym. 2009). Puolierojen mittaamista voitaisiin siis käyttää apuna muun muassa ennaltaehkäisemään ACL-vammojen syntymistä.

Jotta puolierojen mittaamista voitaisiin hyödyntää tehokkaasti urheilijoiden uran aikana loukkaantumisten ennaltaehkäisemiseen, niistä kuntoutumiseen sekä harjoittelun toimivuuden arviointiin, tulisi tutkimuksissa käytettäviä asetelmia ja menetelmiä yhdenmukaistaa. Näin lihastasapainoon liittyvien tutkimusten tutkimustuloksista saataisiin luotettavampia, ja niistä voitaisiin tehdä varmempia johtopäätöksiä. Silloin myös urheilijoille testejä tekeville olisi selkeämpää, mitä menetelmiä heidän tulisi käyttää missäkin tilanteissa saadakseen lihastasapainon tilasta kaikkein luotettavimmin ja kattavammin tarvitsemaansa tietoa. Myös Bishop ym. (2023) korostivat katsauksessaan tarvetta selventää optimaalisia tutkimusmenetelmiä sekä tapoja arvioida ja analysoida puolierotutkimusten tuloksia, jotta tulevaisuudessa voitaisiin tehdä luotettavampia johtopäätöksiä puolierojen vaikutuksista sekä keinoista vähentää niitä. Jotta tähän tilanteeseen voitaisiin päästä, eli tutkimusmenetelmiä yhdenmukaistaa ja luotettavampia tutkimustuloksia saada, olisi nimenomaan lihastasapainon tutkimiseen käytettävistä asetelmista ja menetelmistä tehtävä lisää tutkimusta.

Tämän tutkielman tavoitteena oli vastata tähän tarpeeseen lihaskoon ja -voiman puolierojen osalta. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että ainakin lihasmassan ja isometrisen maksimivoiman kohdalla olisi kannattavampaa mitata yhden sijasta molempia tarkempien tulosten saamiseksi. Molemmilla ominaisuuksilla on kuitenkin vaikutusta tehontuottoon sekä toimintakykyyn, ja molempiin ominaisuuksiin myös vaikuttaa useita eri tekijöitä (Avela ym. 2016, 92-109; Häkkinen & Ahtiainen 2016, 250-251; McArdle ym. 2015, 509-535). Siksi olisi lisäksi tarpeellista tutkia sekä lihaskoon ja -voiman puolierojen vaikutuksia muihin ominaisuuksiin (tehontuotto ja toimintakyky) että myös muita niihin vaikuttavia tekijöitä (anatomiset, fysiologiset ja hermoston toimintaa vaikuttavat tekijät). Tätä mieltä olivat myös Akagi ym. (2014) ja Denadai ym. (2016) omissa tutkimuksissaan. Tutkimustuloksista voitaisiin saada luotettavampaa ja kattavampaa tietoa, jos olisi tutkittu, mitä ominaisuuksia missäkin tutkimusasetelmissä tulisi mitata ja mitkä ovat luotettavimmat mittausten menetelmät kyseisessä asetelmassa. Ja jos tämän lisäksi tutkijoilla sekä tutkimuksia tulkitsevilla olisi entistäkin kattavampaa tietoa lihaskoon lisäksi muistakin voimantuottoon ja sitä kautta tehontuottoon ja toimintakykyyn vaikuttavista tekijöistä, lihastasapainoon liittyvistä tutkimuksista sekä urheilijoiden lihastasapainon mittaamisesta saataisiin vieläkin enemmän, kattavampaa ja luotettavampaa tutkimustietoa.

### **7.3 Tutkielman vahvuudet ja heikkoudet**

*Tutkielman vahvuudet.* Useissa tutkimuksissa on raportoitu, että lihasmassa on merkittävä lihasvoimaan vaikuttava tekijä (Akagi ym. 2012; Fukunaga ym. 2001; Maughan ym. 1983; Trezise ym. 2016). Tämän perusteella olisi mahdollista päätellä, että lihasmassan puolierot vaikuttavat merkittävästi myös lihasvoiman puolieroihin. Siitä huolimatta muun muassa Akagi ym. (2014) sekä Denadai ym. (2016) eivät löytäneet vastakkaisten lihasten/lihasryhmien puolieroja tutkiessaan lihasten kokosuhteen ja voimasuhteen välillä tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Molemmat tutkimukset myös nostivat esille, että lihasmassan lisäksi myös muita voimantuottoon, kuten tehontuottoon ja toimintakykyyn vaikuttavia tekijöitä tulisi tutkia enemmän. Molemmat tutkimukset siis tukevat tämän tutkielman lopputuloksia.

Sen lisäksi, että myös aikaisemmat tutkimukset ovat tulleet tämän tutkielman lopputuloksia vastaaviin johtopäätöksiin, olivat tässä tutkielmassa lihaskoon ja -voima määrittämiseen käytetyt mittausten menetelmät tutkimusten mukaan luotettavia menetelmiä. MVIC on testinä stabiili, jonka vuoksi ensikertalaisenkin on helppo suorittaa testi alusta asti oikein. Draken ym. (2017)



ja Lumin ym. (2020) mukaan MVIC onkin mittausten menetelmänä tutkittaville helppo, mutta lisäksi myös tuloksien suhteen luotettava, ja siksi se on yleinen tapa arvioida voimantuottoa. DXA puolestaan on Lukaskin & Raymond-Popen (2021) mukaan hyvin suosittu kehonkoostumuksen mittaamiseen käytetty menetelmä nimenomaan sen tarkkuuden ja luotettavuuden vuoksi. Näin ollen lihaskoon mittaamista DXA:lla lihasmassana voi pitää melko luotettavana mittausten menetelmänä.

*Tutkielman heikkoudet.* Koska lihaskokoa ja -voimaa on puolieroihin liittyvissä tutkimuksissa mitattu useilla eri menetelmillä, eikä käytettävistä menetelmistä ole yhtenäistä linjaa (taulukko 3), eivät aiheeseen liittyvien tutkimustulosten perusteella tehtävät yhteenvedot kuitenkaan ole täysin luotettavia. Tämänkin tutkielman tuloksiin on hyvinkin saattanut vaikuttaa valitut mittausmenetelmät. On mahdotonta tietää, olisivatko tulokset lihaskoon ja -voiman puolieroista olleet samansuuntaisia, jos kyseisiä ominaisuuksia olisikin mitattu eri menetelmillä. Toisaalta taas Akagi ym. (2012) sekä Denadai ym. (2016) käyttivät tutkimuksissaan mittausmenetelmiä, jotka olivat erilaisia sekä keskenään että tähän tutkimukseen verrattuna, mutta tulokset olivat silti samansuuntaisia kuin tässä tutkielmassa. Tässä tutkielmassa lihaskokoa arvioitiin mittaamalla lihasmassan määrää DXA:lla ja lihaksen voimantuottoa määrittämällä MVIC jalkaprässin aikana tuotettu maksimivoima. Akagi ym. (2014) käyttivät lihaskoon määrittämiseen magneettikuvausta (MRI), jolla mitattiin lihaksen tilavuutta, ja lihaksen voimantuottoa he mittaivat MVIC polven ojennuksen ja koukistuksen aikana tuotetuilla maksimivoimilla. Denadai ym. (2016) puolestaan määrittivät lihaskoon mittaamalla lihaksen poikkipinta-alaa MRI kuvista, ja lihaksen voimantuoton määrittämiseen he käyttivät isokineettistä mittausta.

Sen lisäksi, että edellä mainittujen tutkimusten ja tämän tutkielman mittausmenetelmät poikkesivat toisistaan, poikkesivat myös niiden tutkimusasetelmat keskenään. Tässä tutkielmassa tutkittiin naispallolijoiden alaraajojen välisiä puolieroja, kun taas Akagi ym. (2014) ja Denadai ym. (2016) tutkivat miesjalkapalloilijoiden saman raajan vastakkaisten lihasryhmien puolieroja. Lisäksi tässä tutkielmassa mitattiin reiden ja pakaralan alueen kaikkia lihaksia, kun Akagin ym. (2014) ja Denadain ym. (2016) tutkimuksissa mitattiin koukistajalihasia ja ojentajalihasia erikseen. Ottaen huomioon tämän tutkielman ja näiden kahden tutkimuksen keskenään erilaiset tutkimusasetelmat (useat pallolajit vs. jalkapallo, naiset vs. miehet, useiden lihasryhmien kaikki lihakset vs. koukistajat ja ojentajat) sekä mittausmenetelmät (lihasmassa vs. lihaksen poikkipinta-ala vs. lihaksen tilavuus, MVIC jalkaprässi vs. isokineettinen vs. MVIC polven ojennus ja koukistus) on tutkimustuloksista tehtyihin johtopäätöksiin suhtauduttava kriittisesti.

Jopa tutkimusasetelmaltaan lähempänä toisiaan olevat Akagin ym. (2014) ja Denadain ym. (2016) tutkimukset ovat käyttäneet erilaisia mittausten menetelmiä lihaskoon ja lihaksen voimantuoton määrittämiseen.

Tässä tutkielmassa käytetty tutkimusasetelma sekä käytetyt mittausmenetelmät ovat siis voineet aiheuttaa tuloksiin virhelähteitä. Sen lisäksi mittausmenetelmistä on huomioitava myös se, että lihasmassa on mitattu tietyltä alueelta (kuva 1), mutta maksimivoimaa mittaavassa MVIC jalkaprässissä ei voitu rajata mitä lihaksia tutkittava testin aikana käyttää. Niinpä voimantuottoon on saatettu käyttää muitakin lihaksia apuna kuin vain niitä, joiden massaa mitattiin. Virhelähteitä on saattanut aiheuttaa myös se, että tutkimusaineisto koostui kahdessa eri tutkimuksessa kerätyistä aineistoista. Alkulämmittelyä, mittauspäiviä tai lihasmassa ja -voimamittausten lisäksi suoritettujen muiden mittausten järjestys ei ollut vakio tutkimusten kesken. Mahdollisesti erilaiset alkulämmittelyt ennen voimamittauksia sekä DXA:n ja MVIC jalkaprässin välissä mahdollisesti tehdyt muut testit tai niiden mittaaminen eri päivinä ovat voineet vaikuttaa siihen millaisia tuloksia MVIC jalkaprässistä on saatu. Jotkut tutkittavista ovat saattaneet joutua tekemään voimatestit kuormittuneemmassa tilassa kuin toiset, jolloin testissä ei välttämättä ole saavutettu täyttä maksimivoimaa.

Kaikkien edellä mainittujen seikkojen lisäksi on otettava huomioon, että lihasmassan- ja voiman keskiarvoissa ei raajojen välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, eli keskiarvoisesti tutkimusjoukolta ei löytynyt puolieroja massassa tai voimassa (kuva 2). Jos tutkimusjoukon lihasmassoissa ja/tai -voimissa olisi ollut raajojen välillä tilastollisesti merkitseviä eroja, olisi tutkielman lopputuloskin saattanut olla erilainen. Esimerkiksi voiman puolieron suuruuden mukaan jaettuja ryhmiä vertailtaessa tulokset osoittivat siihen suuntaan, että keskiarvoisesti isompi puoliero voimassa merkitsisi myös isompaa puoliero massassa, mutta tulos ei vain ollut tilastollisesti merkitsevä.

#### **7.4 Yhteenveto**

Yhteenvetona voidaan todeta, että tämän tutkielman tulosten perusteella, sekä myös joidenkin aikaisempien tutkimusten tulosten perusteella on mahdollista, että palloilijoiden alaraajojen lihas koko ja lihasvoima eivät ole lineaarisessa yhteydessä toisiinsa, eivätkä siten puolierot niissä ole aina samankaltaisia. Tästä syystä lihastasapainosta saadaan luotettavampaa ja kattavampaa

informaatiota, jos sitä tutkittaessa mitataan sekä lihaskokoa että -voimaa sen sijaan, että vain toista ominaisuutta mitattaisiin. Tutkimusta lihaskoon ja -voiman puolierojen mittaamisesta on kuitenkin tehtävä lisää, jotta aiheeseen liittyviä tutkimusmenetelmiä voitaisiin yhdenmukaistaa, ja siten tutkimustuloksien luotettavuutta parantaa. Lihaskoon ja -voiman lisäksi myös tehontuoton ja toimintakyvyn puolieroja sekä muita näihin neljään ominaisuuteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittava lisää, jotta urheilijoiden lihastasapainoa mitattaessa tulosten pohjalta voitaisiin harjoitteluun tehdä entistä tarkemmin oikeisiin tekijöihin vaikuttavia muutoksia.

Tällä hetkellä tutkimusta erilaisiin puolierojen mahdollisiin vaikutuksiin löytyy huomattavasti enemmän kuin tutkimusta eri puolierojen yhteyksistä ja mittaamisesta sekä niiden mittaamisen käyttämisestä hyödyksi urheilijoilla. Jos tutkimusmenetelmät lihastasapainoon liittyvissä tutkimuksissa olisivat yhdenmukaisemmat, voitaisiin myös puolierojen mahdollisista vaikutuksista saada luotettavampaa informaatiota. Tämänhetkisen tutkimustiedon mukaan, ei nimittäin voida vielä luotettavasti sanoa heikentävätkö puolierot todella suorituskykyä tai kasvattavatko ne todella loukkaantumiseriskiä. Myös lihastasapainon mittaamisen käyttäminen urheilijoilla olisi hyödyllisempää, kun olisi tiedossa jokaiselle ominaisuudelle luotettavimmat mittausmenetelmät, sekä mahdollisesti haittoja aiheuttavat riskirajat eri puolieroille. Tämänhetkisen tiedon pohjalta lihastasapainon mittaamisen hyödyntäminen luotettavasti urheilijoilla on vaikeaa, kun ei tiedetä mitä mittausmenetelmiä olisi kannattavinta missäkin tilanteessa käyttää, mitkä kaikki tekijät todellisuudessa saatuihin tuloksiin vaikuttavat, millaisia johtopäätöksiä tuloksista voidaan varmuudella tehdä ja mitä minkäkin suuruiset puolierot kertovat mahdollisista riskeistä.

## LÄHTEET

- Accurate Imaging Diagnostics. (2024). DEXA Body Composition Scan. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2024. <https://accurateimagingdiagnostics.com/dexa-body-composition-scan/>.
- Akagi, R., Tohdoh, Y. & Takahashi, H. (2012). Muscle Strength and Size Balances between Reciprocal Muscle Groups in the Thigh and Lower Leg for Young Men. *International Journal of Sports Medicine* 33 (05), 386–389. doi:10.1055/s-0031-1299700.
- Akagi, R., Tohdoh, Y. & Takahashi, H. (2014). Strength and size ratios between reciprocal muscle groups in the thigh and lower leg of male collegiate soccer players. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 34 (2), 121–125. doi:10.1111/cpf.12073.
- Arendt, E. & Dick, R. (1995). Knee Injury Patterns Among Men and Women in Collegiate Basketball and Soccer: NCAA Data and Review of Literature. *The American Journal of Sports Medicine* 23 (6), 694–701. doi:10.1177/036354659502300611.
- Avela, J., Mero, A. & Kyröläinen, H. (2016). Hermo-lihasjärjestelmän rakenne ja toiminta. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvallmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 109–112.
- Baroni, B. M., Ruas, C. V., Ribeiro-Alvares, J. B. & Pinto, R. S. (2020). Hamstring-to-Quadriceps Torque Ratios of Professional Male Soccer Players: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34 (1), 281–293. doi:10.1519/JSC.0000000000002609.
- Baumhauer, J. F., Alosa, D. M., Renström, P. A. F. H., Trevino, S. & Beynon, B. (1995). A Prospective Study of Ankle Injury Risk Factors. *The American Journal of Sports Medicine* 23 (5), 564–570. doi:10.1177/036354659502300508.
- Bell, D. R., Sanfilippo, J. L., Binkley, N. & Heiderscheit, B. C. (2014). Lean Mass Asymmetry Influences Force and Power Asymmetry During Jumping in Collegiate Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (4), 884–891. doi:10.1519/JSC.0000000000000367.
- Bishop, C., Brashill, C., Abbott, W., Read, P., Lake, J. & Turner, A. (2021). Jumping Asymmetries Are Associated With Speed, Change of Direction Speed, and Jump Performance in Elite Academy Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (7), 1841–1847. doi:10.1519/JSC.00000000000003058.
- Bishop, C., De Keijzer, K. L., Turner, A. N. & Beato, M. (2023). Measuring Interlimb Asymmetry for Strength and Power: A Brief Review of Assessment Methods, Data

- Analysis, Current Evidence, and Practical Recommendations. *Journal of Strength and Conditioning Research* 37 (3), 745–750. doi:10.1519/JSC.0000000000004384.
- Bishop, C., Turner, A. & Read, P. (2018). Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: a systematic review. *Journal of Sports Sciences* 36 (10), 1135–1144. doi:10.1080/02640414.2017.1361894.
- Cattaneo, M., Ramponi, C. & Thorborg, K. (2024). What is the Injury Incidence and Profile in Professional Male Ice Hockey? A Systematic Review. *International Journal of Sports Physical Therapy* 19 (1). doi:10.26603/001c.90591.
- Czeck, M. A., Raymond-Pope, C. J., Bosch, T. A., Bach, C. W., Oliver, J. M., Carbuhn, A., Stanforth, P. R. & Dengel, D. R. (2019). Total and Regional Body Composition of NCAA Division I Collegiate Baseball Athletes. *International Journal of Sports Medicine* 40 (7), 447–452. doi:10.1055/a-0881-2905.
- Denadai, B. S., de Oliveira, F. B. D., Camarda, S. R. de A., Ribeiro, L. & Greco, C. C. (2016). Hamstrings-to-quadriceps strength and size ratios of male professional soccer players with muscle imbalance. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 36 (2), 159–164. doi:10.1111/cpf.12209.
- DiStefano, L. J., Dann, C. L., Chang, C. J., Putukian, M., Pierpoint, L. A., Currie, D. W., Knowles, S. B., Wasserman, E. B., Dompier, T. P., Comstock, R. D., Marshall, S. W. & Kerr, Z. Y. (2018). The First Decade of Web-Based Sports Injury Surveillance: Descriptive Epidemiology of Injuries in US High School Girls' Soccer (2005–2006 Through 2013–2014) and National Collegiate Athletic Association Women's Soccer (2004–2005 Through 2013–2014). *Journal of Athletic Training* 53 (9), 880–892. doi:10.4085/1062-6050-156-17.
- Drake, D., Kennedy, R. & Wallace, E. (2017). The Validity and Responsiveness of Isometric Lower Body Multi-Joint Tests of Muscular Strength: a Systematic Review. *Sports Medicine - Open* 3 (1), 23. doi:10.1186/s40798-017-0091-2.
- Fortington, L. V. & Finch, C. F. (2016). Priorities for injury prevention in women's Australian football: a compilation of national data from different sources. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2 (1), e000101. doi:10.1136/bmjsem-2015-000101.
- Fukunaga, T., Miyatani, M., Tachi, M., Kouzaki, M., Kawakami, Y. & Kanehisa, H. (2001). Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 172 (4), 249–255. doi:10.1046/j.1365-201x.2001.00867.x.
- Guan, Y., Bredin, S., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, N. & Warburton, D. (2022). Association between Inter-Limb Asymmetries in Lower-Limb Functional Performance and Sport

- Injury: A Systematic Review of Prospective Cohort Studies. *Journal of Clinical Medicine* 11 (2), 360. doi:10.3390/jcm11020360.
- Hart, N. H., Nimphius, S., Spiteri, T. & Newton, R. U. (2014). Leg Strength and Lean Mass Symmetry Influences Kicking Performance in Australian Football. *Journal of Sports Science & Medicine* 13 (1), 157–165.
- Helme, M., Tee, J., Emmonds, S. & Low, C. (2021). Does lower-limb asymmetry increase injury risk in sport? A systematic review. *Physical Therapy in Sport* 49, 204–213. doi:10.1016/j.ptsp.2021.03.001.
- Hewett, T. E. (2007). An Introduction to Understanding and Preventing ACL Injury. Teoksessa T. E. Hewett, S. J. Shultz & L. Y. Griffin (toim.) *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. Champaign, IL: Human Kinetics cop., xxi-xxviii.
- Häkkinen, K. & Ahtiainen, J. (2016). Maksimivoimaharjoittelu. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 250–264.
- Isolehto, J. (2016). Nopeusvoimaharjoittelu. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 265–271.
- Jordan, M. J., Aagaard, P. & Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25 (3), e301–e309. doi:10.1111/sms.12314.
- Kellis, E., Sahinis, C. & Baltzopoulos, V. (2022). Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *Journal of Sport and Health Science*, S2095254622000175. doi:10.1016/j.jshs.2022.01.002.
- King, E., Richter, C., Franklyn-Miller, A., Wadey, R., Moran, R. & Strike, S. (2019). Back to Normal Symmetry? Biomechanical Variables Remain More Asymmetrical Than Normal During Jump and Change-of-Direction Testing 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine* 47 (5), 1175–1185. doi:10.1177/0363546519830656.
- Knapik, J. J., Bauman, C. L., Jones, B. H., Harris, J. McA. & Vaughan, L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine* 19 (1), 76–81. doi:10.1177/036354659101900113.

- Krishnan, C. & Williams, G. N. (2011). Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research* 29 (5), 633–640. doi:10.1002/jor.21316.
- Krzykała, M. & Leszczyński, P. (2015). Asymmetry in body composition in female hockey players. *HOMO* 66 (4), 379–386. doi:10.1016/j.jchb.2015.02.008.
- Larruskain, J., Lekue, J. A., Diaz, N., Odriozola, A. & Gil, S. M. (2018). A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 28 (1), 237–245. doi:10.1111/sms.12860.
- Lockie, R. G., Schultz, A. B., Jeffriess, M. D. & Callaghan, S. J. (2012). The relationship between bilateral differences of knee flexor and extensor isokinetic strength and multi-directional speed. *Isokinetics and Exercise Science* 20 (3), 211–219. doi:10.3233/IES-2012-0461.
- Lukaski, H. & Raymond-Pope, C. J. (2021). New Frontiers of Body Composition in Sport. *International Journal of Sports Medicine* 42 (07), 588–601. doi:10.1055/a-1373-5881.
- Lum, D., Haff, G. G. & Barbosa, T. M. (2020). The Relationship between Isometric Force-Time Characteristics and Dynamic Performance: A Systematic Review. *Sports* 8 (5), 63. doi:10.3390/sports8050063.
- Maloney, S. J. (2019). The Relationship Between Asymmetry and Athletic Performance: A Critical Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 33 (9), 2579–2593. doi:10.1519/JSC.0000000000002608.
- Markou, S. & Vagenas, G. (2006). Multivariate isokinetic asymmetry of the knee and shoulder in elite volleyball players. *European Journal of Sport Science* 6 (1), 71–80. doi:10.1080/17461390500533147.
- Markovic, G., Šarabon, N., Pausic, J. & Hadžić, V. (2020). Adductor Muscles Strength and Strength Asymmetry as Risk Factors for Groin Injuries among Professional Soccer Players: A Prospective Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (14), 4946. doi:10.3390/ijerph17144946.
- Maughan, R. J., Watson, J. S. & Weir, J. (1983). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *The Journal of Physiology* 338 (1), 37–49. doi:10.1113/jphysiol.1983.sp014658.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance* (Eighth edition). Wolters Kluwer.

- Murphy, D. F., Connolly, D. A. J. & Beynon, B. D. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *British Journal of Sports Medicine* 37 (1), 13–29. doi:10.1136/bjism.37.1.13.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Barber Foss, K. D., Liu, C., Nick, T. G. & Hewett, T. E. (2009). The Relationship of Hamstrings and Quadriceps Strength to Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine* 19 (1), 3–8. doi:10.1097/JSM.0b013e318190bddd.
- Palmieri-Smith, R. M., Thomas, A. C. & Wojtys, E. M. (2008). Maximizing Quadriceps Strength After ACL Reconstruction. *Clinics in Sports Medicine* 27 (3), 405–424. doi:10.1016/j.csm.2008.02.001.
- Prado, C. M. M. & Heymsfield, S. B. (2014). Lean Tissue Imaging: A New Era for Nutritional Assessment and Intervention. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 38 (8), 940–953. doi:10.1177/0148607114550189.
- Read, P. J., Michael Auliffe, S., Wilson, M. G. & Graham-Smith, P. (2020). Lower Limb Kinetic Asymmetries in Professional Soccer Players With and Without Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Nine Months Is Not Enough Time to Restore “Functional” Symmetry or Return to Performance. *The American Journal of Sports Medicine* 48 (6), 1365–1373. doi:10.1177/0363546520912218.
- Rogowski, I., Ducher, G., Brosseau, O. & Hautier, C. (2008). Asymmetry in Volume between Dominant and Nondominant Upper Limbs in Young Tennis Players. *Pediatric Exercise Science* 20 (3), 263–272. doi:10.1123/pes.20.3.263.
- Söderman, K., Alfredson, H., Pietilä, T. & Werner, S. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 9 (5), 313–321. doi:10.1007/s001670100228.
- 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 (6), 1159–1177. doi:10.1007/s00421-016-3352-8.
- Williams, G. N., Buchanan, T. S., Barrance, P. J., Axe, M. J. & Snyder-Mackler, L. (2005). Quadriceps Weakness, Atrophy, and Activation Failure in Predicted Noncopers after Anterior Cruciate Ligament Injury. *The American Journal of Sports Medicine* 33 (3), 402–407. doi:10.1177/0363546504268042.



- Williams, S., Trewartha, G., Kemp, S. & Stokes, K. (2013). A Meta-Analysis of Injuries in Senior Men's Professional Rugby Union. *Sports Medicine* 43 (10), 1043–1055. doi:10.1007/s40279-013-0078-1.
- Xergia, S. A., Pappas, E., Zampeli, F., Georgiou, S. & Georgoulis, A. D. (2013). Asymmetries in Functional Hop Tests, Lower Extremity Kinematics, and Isokinetic Strength Persist 6 to 9 Months Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 43 (3), 154–162. doi:10.2519/jospt.2013.3967.

