

**ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN JA KEHONKOOSTUMUKSEN YHTEYS  
KEVENNYSHYPYN KORKEUTEEN JA VOIMA-NOPEUSPROFIILIIN  
NAISPALLOILJOILLA**

Sanni Toivola

Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma  
Liikuntatieteellinen tiedekunta  
Jyväskylän yliopisto  
Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Toivola, S. 2024. Isometrisen maksimivoiman ja kehonkoostumuksen yhteys kevennyshypyn korkeuteen ja voima-nopeusprofiiliin naispaloilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 36 s.

Urheilijoiden ominaisuuksien testaamiseen ja kehityksen seurantaan on olemassa lukuisia erilaisia tapoja. Hyppysuorituskyvyn testaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi kevennyshyppyä tai voima-nopeusprofiilia. Tuloksia voidaan hyödyntää harjoittelun ohjelmoinnissa optimaaliseksi kullekin urheilijalle. Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on tarkastella isometrisen maksimivoiman ja kehonkoostumuksen yhteyttä kevennyshypyn korkeuteen ja voima-nopeusprofiiliin. Tutkielma painottuu kuitenkin voima-nopeusprofiiliin ja sen tulosten pohdintaan. Koska profiilista ja sen yhteydestä kehonkoostumukseen ja maksimivoimaan on toistaiseksi hyvin rajallisesti tutkimustietoa, tarkastellaan tutkielmassa myös näiden muuttujien yhteyttä kevennyshyppyyn. Aiemman tutkimustiedon perusteella sekä kehonkoostumus että maksimivoima vaikuttaisi olevan yhteydessä kevennyshypyn korkeuteen. Voima-nopeusprofiilin osalta aiemmat tutkimustulokset ovat ristiriitaisia.

Tutkimus toteutettiin poikkileikkausasetelmalla. Tutkittavina toimi 60 perustervettä naispaloilijaa (ikä  $22 \pm 4,4$  vuotta) kolmesta eri palloilulajista (jäähkiekko  $n=28$ , koripallo  $n=14$ , futsal  $n=18$ ). Mittaukset sisälsivät kehonkoostumusmittauksen (DXA) ja suorituskykytestin. Suorituskykytestissä tutkittavat suorittivat sarjan kevennyshyppyjä, sekä isometrisen maksimivoimatestin jalkaprässillä. Lopuksi mitattiin alaraajojen pituudet kahdella eri polvikulmalla. Hyppykorkeuksien ja mitattujen alaraajojen pituuksien avulla laskettiin voima-nopeusprofiili. Profiilin muuttujista tarkasteltiin todellisen ja optimaalisen voima-nopeusprofiilin välistä eroa.

Tutkittavien kehon painolla suoritettujen kevennyshypyn korkeus oli  $29,4 \pm 4,8$  cm, isometrinen maksimivoima  $334 \pm 87$  kg ja voima-nopeusprofiilin tulos  $55 \pm 29$ . Kevennyshyppytuloksen havaittiin olevan yhteydessä rasvaprosenttiin ( $r=-0,727$ ,  $p<0,001$ ), rasvamassaan ( $r=-0,533$ ,  $p<0,001$ ) ja rasvattomaan massaan ( $r=0,386$ ,  $p=0,002$ ). Myös voima-nopeusprofiilin ja rasvattoman massan välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $r=0,453$ ,  $p<0,001$ ). Muut kehonkoostumusmuuttujat eivät olleet yhteydessä voima-nopeusprofiiliin. Isometrisen maksimivoiman ei havaittu olevan yhteydessä kevennyshypyn hyppykorkeuteen, eikä voima-nopeusprofiiliin.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella naispaloilijoiden kehonkoostumuksella on merkitystä kevennyshyppysuorituksessa. Tutkimuksen jokseenkin suuri otoskoko voi osaltaan vaikuttaa siihen, että kevennyshypyn ja kehonkoostumuksen välinen korrelaatio oli aiempia tutkimuksia selkeämpi. Tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että kehonkoostumus tai maksimivoima ei olisi yhteydessä voima- ja nopeusominaisuuksien tasapainoon. Jatkossa voima-nopeusprofiilia olisi syytä tarkastella laajemmin useamman muuttujan osalta, sekä vertailla dynaamisen ja isometrisen maksimivoiman yhteyttä profiiliin.

Asiasanat: Voima-nopeusprofiili, kevennyshyppy, isometrinen maksimivoima, kehonkoostumus

## KÄYTETYT LYHENTEET

BF%	body fat percentage, rasvaprosentti
CMJ	counter movement jump, kevennyshyppy
FFM	fat-free mass, kehon rasvaton massa
FM	fat mass, rasvamassa
F-v-profiili	force-velocity-profile, voima-nopeusprofiili
$h_{po}$	vertical distance covered by the CM during push-off, kehon massakeskipisteen kulkema vertikaalinen matka hypyn ponnistusvaiheen aikana
MVC	maximal voluntary contraction, maksimaalinen isometrinen voima
SJ	squat jump, staattinen kyykkyhyppy

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 VOIMA-NOPEUSPROFIILI .....	2
2.1 Profiilin muodostuminen .....	2
2.2 Voima-nopeusprofiili ja hyppysuorituskyky sekä tulosten hyödyntäminen .....	6
2.3 Profiilin luotettavuus ja mahdolliset virhelähteet .....	7
3 ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN YHTEYS VOIMA-NOPEUSPROFIILIIN.....	9
3.1 Isometrinen maksimivoima ja vertikaalihyppy .....	9
3.2 Isometrinen maksimivoima ja voima-nopeusprofiili.....	12
4 KEHONKOOSTUMUKSEN YHTEYS VOIMA-NOPEUSPROFIILIIN .....	13
4.1 Kehonkoostumus ja vertikaalihyppy .....	13
4.2 Kehonkoostumus ja voima-nopeusprofiili.....	16
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT.....	17
6 MENETELMÄT.....	18
6.1 Tutkittavat.....	18
6.2 Tutkimusasetelma ja mittausmenetelmät.....	18
6.3 Tilastolliset menetelmät.....	20
7 TULOKSET.....	22
8 POHDINTA.....	26
8.1 Hypoteesien toteutuminen .....	26
8.2 Tuloksia mahdollisesti selittäviä tekijöitä .....	27
8.3 Tutkimuksen haasteet ja vahvuudet sekä jatkotutkimusaiheet .....	29
8.4 Yhteenveto.....	32
LÄHTEET .....	33

# 1 JOHDANTO

Hyppysuorituskyky ja siihen vaikuttavat tekijät ovat tärkeässä roolissa monissa palloilulajeissa. Vertikaali- eli pystysuuntainen hyppysuoritus korostuu etenkin lajeissa, joissa hyppykorkeus vaikuttaa esimerkiksi vastustajan blokkaukseen tai oman suorituksen tehokkuuteen (Riggs & Sheppard 2009). Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi lentopallo (Bobbert ym. 2023; Petridis ym. 2021; Riggs & Sheppard 2009), käsipallo (Petridis ym. 2021) ja koripallo (Bobbert ym. 2023). Kevennyshyppyä tai staattista kyykkyhyppyä käytetäänkin useissa lajeissa hyppysuorituskyvyn mittarina ja harjoittelun kehityksen seurannassa (Riggs & Sheppard 2009).

Hyppysuoritukseen vaikuttaa keskeisesti paitsi tuotettu teho ponnistuksen aikana, myös voima- ja nopeusominaisuuksien tasapaino (Samozino ym. 2011; Samozino ym. 2014; Valenzuela ym. 2021). Voima-nopeusprofiilin määrittäminen on yksi tapa arvioida urheilijan voima-, nopeus- ja teho-ominaisuuksia. Profiilin laskukaavat on luotu siten, että niitä on mahdollista hyödyntää kenttäolosuhteissa. Profiilin tuloksia voidaan hyödyntää harjoittelun ohjelmoinnissa, sillä niiden perusteella voidaan havaita, tulisiko urheilijan keskittyä voima- vai nopeusominaisuuksien kehittämiseen. (Jimenez-Reyes ym. 2016; Samozino ym. 2008)

Aiempi tutkimustieto voima-nopeusprofiilista on toistaiseksi vielä vähäistä ja ristiriitaista. Useat tutkimukset pitävät profiilia helppokäyttöisenä ja luotettavana urheilijan voima- ja nopeusominaisuuksien mittarina (Álvarez ym. 2019; Jiménez-Reyes ym. 2017; Petridis ym. 2021; Samozino ym. 2008). Toisaalta on kuitenkin havaittu, että profiili ei välttämättä aina kerro luotettavasti urheilijan ominaisuuksien tasapainosta, eikä harjoittelua kannattaisi perustaa ainoastaan profiilin tulokseen (Bobbert ym. 2023; Valenzuela ym. 2021).

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on selvittää isometrisen maksimivoiman ja kehonkoostumuksen yhteyttä voima-nopeusprofiiliin ja kevennyshypyn hyppykorkeuteen. Tutkielman pääpaino on voima-nopeusprofiilissa ja siihen liittyvien tekijöiden pohdinnassa. Koska profiili muodostuu kevennyshyppyjen perusteella ja f-v-profiiliin liittyvä tutkimustieto on toistaiseksi vähäistä, on tutkielman sisältöä laajennettu myös kevennyshyppyihin. Vaikka tutkielmassa käsitellään kehonkoostumusta, ei siinä kuitenkaan oteta kantaa naispalloilijoiden optimaaliseen kehonkoostumukseen.

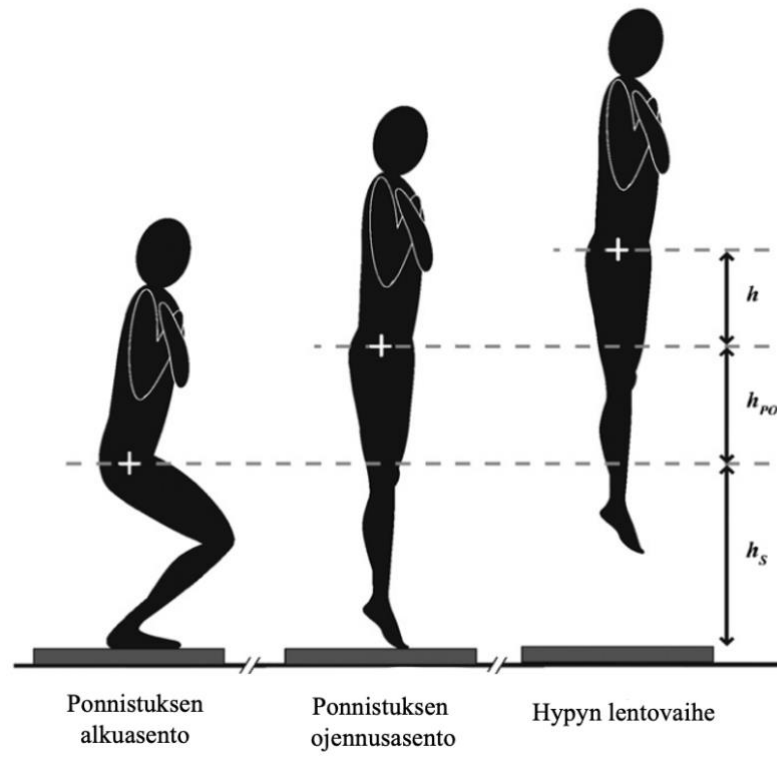
## 2 VOIMA-NOPEUSPROFIILI

Voima-nopeusprofiili kertoo yksilön voima- ja nopeusominaisuuksien tasapainosta (Samozino ym. 2014). Hyppysuorituksissa profiilin määrittämiseen käytetään Pierre Samozinon kehittämiä kaavoja (Samozino ym. 2008; Samozino ym. 2014). Alun perin kaavat luotiin tavoitteena selvittää tehon tuoton ja siihen vaikuttavien tekijöiden välisiä yhteyksiä hyppysuorituksessa. Samanaikaisesti haluttiin myös kehittää uudenlainen, helppokäyttöinen voiman, nopeuden ja tehon tuoton arviointimenetelmä kenttäolosuhteisiin. (Samozino ym. 2008)

Samozino ym. (2008) käyttivät tutkimuksessaan voima-nopeusprofiilin määrittämiseen staattisia kyykkyhyppyjä (SJ). Myöhemmin Jiménez-Reyes ym. (2017) ovat todenneet nämä kaavat soveltuviksi myös kevennyshypyssä (CMJ). Hyppysuorituksen lisäksi voima-nopeusprofiili voidaan luoda myös pikajuoksusuorituksen (*sprint*) perusteella (Samozino ym. 2016). Seuraavissa kappaleissa keskitytään kuitenkin nimenomaan hyppysuorituksista laadittavan voima-nopeusprofiilin muodostumiseen ja siihen, mitä se kertoo tutkittavan hyppysuorituskyvystä.

### 2.1 Profiilin muodostuminen

Pierre Samozino ym. (2008) ovat kehittäneet voima-nopeusprofiilin määrittämiseen matemaattiset kaavat, joiden avulla voidaan laskea profiilin nimen mukaisesti hyppysuorituksen ponnistusvaiheen aikana tuotettu voima ja nopeus. Profiilin määrittämiseksi tutkittavan tulee suorittaa kevennyshyppyjä tai staattisia hyppyjä. Tyypillisesti eri kuormia on viisi, joista yksi suoritus tehdään kehon painolla ja loput lisäpainon kanssa. Hyppysuoritusten lisäksi profiilin määrittämiseen tarvitaan kaksi eri mitta tutkittavan alaraajoista: mitta reisiluun isosta sarvennoisesta jalkapohjaan polvikulman ollessa 90 astetta ( $h_s$ ), sekä mitta reisiluun isosta sarvennoisesta varpasiin nilkan ollessa ojentuneena hypyn ponnistusvaiheessa. Hypyn ponnistusvaiheen kyykkyasennon ja ojennusasennon pituuksien erotus kertoo kehon massakeskipisteen kulkeman vertikaalisen matkan hypyn ponnistusvaiheessa ( $h_{po}$ ). Tätä arvoa tarvitaan myöhemmin voiman laskemisessa. (Jiménez-Reyes ym. 2017) Kuva 1 havainnollistaa voima-nopeusprofiilin laskemiseen tarvittavia mittoja.



KUVA 1. Mitattavat ja laskettavat alaraajojen pituuksien ja hyppykorkeuden arvot. (Mukaiutu Samozino ym. 2008)

Voima-nopeusprofiilin laskukaavat on esitetty kuvassa 2. Jotta voima ja nopeus voidaan laskea, tarvitaan tiedot seuraavista muuttujista: kehon massa ja lisäpainohypyissä kuorman kokonaismassa (kg), putoamiskiihtyvyys, hyppykorkeus (m), sekä kehon massakeskipisteen kulkema vertikaalinen matka hypyn ponnistusvaiheen aikana (m). Tuotettu voima saadaan kertomalla ensin massa ( $m$ ) putoamiskiihtyvyydellä ( $g$ ). Tämä tulos kerrotaan hyppykorkeuden ( $h$ ) ja  $h_{po}$ :n osamäärän kanssa, johon on ensin lisätty luku 1. Nopeuden laskemiseksi tulee ensin kertoa putoamiskiihtyvyys ( $g$ ) ja hyppykorkeus ( $h$ ) keskenään ja jakaa sitten tämä luku kahdella. Nopeus on tämän arvon neliöjuuri. (Samozino ym. 2008)

$$\bar{F}_{abs} = mg \left( \frac{h}{h_{po}} + 1 \right)$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$$

KUVA 2. Voima-nopeusprofiilin määrittämiseen luodut kaavat. (Samozino ym. 2014)

Kun näiden muuttujien arvot on laskettu kaikkien suoritusten osalta, voidaan voima-nopeusprofiili tämän jälkeen esittää x-y-koordinaatistossa. Tulokset normalisoidaan kehon massaansa. Ekstrapoloimalla saadaan laskettua  $F_0$  ja  $V_0$  -arvot. Ne kertovat teoreettisen tuotetun maksimivoiman silloin, kun nopeus on nolla ja teoreettisen jalkojen ojennuksen maksiminopeuden, kun kuorma on nolla. Näin saadaan luotua kuvaaja, joka kattaa koko tarkastelualueen. Saatujen tulosten kautta piirretään lineaarisovite, jonka kulmakerroin kertoo voima-nopeusprofiilin tuloksen (kuva 6). (Samozino ym. 2014)

Jokaiselle on olemassa yksilöllinen, optimaalinen voima-nopeusprofiili ( $S_{Fvopt}$ ). Optimaalinen profiili riippuu yksilöllisistä tekijöistä, kuten tuotetusta maksimitehosta ( $P_{max}$ ) ja kehon massakeskipisteen kulkemasta matkasta hypyn ojennusvaiheessa ( $h_{po}$ ). Optimaalisen profiilin määrittämiseksi on laskettava ensin teoreettinen maksimiteho ( $P_{max}$ ) jo aiemmin laskettujen  $F_0$  ja  $V_0$  -arvojen avulla (kuva 3). Tämän jälkeen optimaalinen profiili voidaan laskea liittämällä  $P_{max}$  ja  $h_{po}$  -arvot kuvien 4 ja 5 kaavoihin. (Samozino ym. 2011)

$$\bar{P}_{max} = \frac{\bar{F}_0 \bar{v}_0}{4}$$

KUVA 3. Maksimitehon laskeminen voiman ja nopeuden avulla. (Samozino ym. 2011)

$$S_{Fvopt} = -\frac{g^2}{3\bar{P}_{max}} - \frac{(-(g^4)h_{po}^4 - 12gh_{po}^3\bar{P}_{max}^2)}{3h_{po}^2\bar{P}_{max}Z(\bar{P}_{max}, h_{po})} + \frac{Z(\bar{P}_{max}, h_{po})}{3h_{po}^2\bar{P}_{max}} \quad [A12]$$

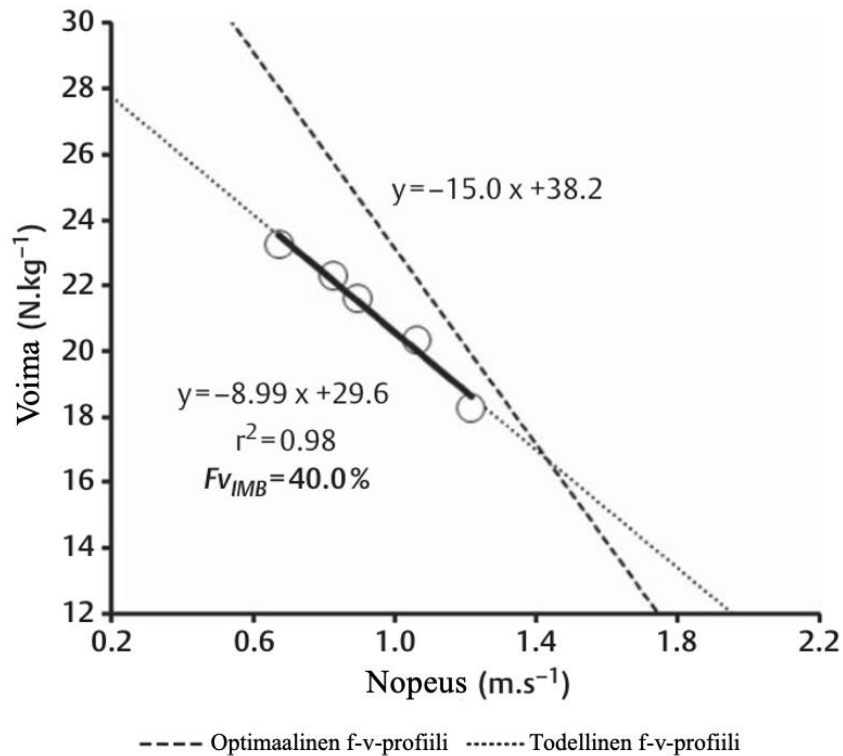
KUVA 4. Optimaalisen f-v-profiilin laskukaava. (Samozino ym. 2011)

$$Z(\bar{P}_{max}, h_{po}) = \left( -(g^6)h_{po}^6 - 18g^3h_{po}^5\bar{P}_{max}^2 - 54h_{po}^4\bar{P}_{max}^4 + 6\sqrt{3}\sqrt{2g^3h_{po}^9\bar{P}_{max}^6 + 27h_{po}^8\bar{P}_{max}^8} \right)^{1/3}$$

KUVA 5. Optimaalisen f-v-profiilin laskukaavaan sijoitetun Z:n kaavan avaus. (Samozino ym. 2011)

Optimaalisen ja todellisen voima-nopeusprofiilin eroa voidaan havainnollistaa sijoittamalla molempien profiilien kuvaajat samalle koordinaatistolle. Mitä suurempi ero kuvaajien kulmakertoimissa on, sitä enemmän tutkittavan ominaisuudet eroavat hänen optimaalisista ominaisuuksistaan. Kuvassa 6 on esimerkki todellisen ja optimaalisen profiilin kuvaajista.





KUVA 6. Esimerkki todellisesta ja optimaalisesta voima-nopeusprofiilista. (Mukaiu Samozino ym. 2014)

Optimaalisen ja todellisen f-v-profiilin ero voidaan ilmaista profiilien välisenä epätasapainona (Fv<sub>UMB</sub>) prosentuaalisesti (Samozino ym. 2014). Laskukaava epätasapainon laskemiseen on esitetty kuvassa 7.

$$Fv_{UMB} = 100 \cdot \left| 1 - \frac{S_{Fv}}{S_{Fvopt}} \right|$$

KUVA 7. Todellisen ja optimaalisen f-v-profiilin epätasapainon laskemiseen käytetty kaava. (Samozino ym. 2014)

Voima-nopeusprofiilin määrittämistä varten tulisi siis mitata alaraajojen mitat ponnistus- ja ojennusvaiheessa reisiluun isosta sarvennoisesta varpasiin, sekä selvittää vertikaalihypyn hyppykorkeus usealla eri kuormalla toteutettuna. Kun tiedossa on lisäksi gravitaatiovakio ja kehon massa tai kuorman kokonaisuudessa, voidaan laskea voiman ja nopeuden arvot. Profiili voidaan esittää x-y-koordinaatistossa, jolloin sen kulmakerroin kertoo tuloksesta. Todellisen profiilin arvojen avulla on mahdollista määrittää myös tutkittavan optimaalinen profiili.

## 2.2 Voima-nopeusprofiili ja hyppysuorituskyky sekä tulosten hyödyntäminen käytännössä

Hyppysuorituskyvyn ajatellaan määräytyvän suurilta osin tehon (P) tuoton perusteella: mitä suurempi teho, sitä korkeampi hyppy. On kuitenkin havaittu, että pelkästään suurempi teho ei ole ainoa tapa parantaa hyppysuoritusta, vaan myös voiman ja nopeuden suhteella on suorituskäytännössä roolinsa (Samozino ym. 2011, Samozino ym. 2014; Valenzuela ym. 2021). Kaksi eri urheilijaa voi esimerkiksi tuottaa kevennyshypyssä saman maksimitohon, mutta samaan aikaan heidän hyppykorkeutensa voivat olla erilaisia. Tämä saattaa johtua esimerkiksi f-v-profiilin eroista. (Samozino ym. 2011; Valenzuela ym. 2021) Epätasapaino urheilijan todellisen voima-nopeusprofiilin ja optimaalisen profiilin välillä on yhteydessä heikompaan hyppysuorituskykyyn. Mikäli toisen urheilijan f-v-profiili on kaukana hänen optimaalisesta profiilistaan, saattaa tämä selittää hänen heikomman hyppysuorituskykynsä. (Samozino ym. 2011; Samozino ym. 2014)

Vertaamalla optimaalista ja todellista voima-nopeusprofiilia toisiinsa voidaan havaita, tulisiko tutkittavan kehittää voimaa vai nopeutta. Tämä voidaan huomioida harjoittelun ohjelmoinnissa. Mikäli voima-nopeusprofiili kallistuu huomattavasti voiman puolelle, olisi harjoittelussa tällöin tarpeen painottaa nopeutta. Vastaavasti profiilin kallistuessa nopeuden puolelle, tulisi harjoittelussa keskittyä voimantuoton kehittämiseen. (Petridis ym. 2021; Samozino ym. 2014). On osoitettu, että optimaaliseen f-v-profiiliin perustuvalla harjoittelulla voidaan saada aikaan hyppykorkeuden nousua, sekä todellisen f-v-profiilin muokkaantumista kohti optimaalista profiilia, joskin tulosten kehittymisen suuruus on ollut hyvin yksilöllistä (Álvarez ym. 2019; Jiménez-Reyes ym. 2017; Jiménez-Reyes ym. 2019). Profiilia hyödynnettäessä tulee myös huomioida liikkeen spesifisyys ja se, millaiseen suoritukseen tuloksia halutaan soveltaa. Optimaalinen voima-nopeusprofiili voidaan määrittää erikseen hyppysuoritukseen ja pikajuoksuun, ja nämä profiilit saattavat olla urheilijalla keskenään erilaisia. Toinen profiili voi esimerkiksi kertoa voiman vajauksesta, kun taas toisen perusteella urheilijan tulisi kehittää nopeutta. Ainoastaan hyppysuorituksen perusteella luotua profiilia ei siis välttämättä ole kannattavaa hyödyntää harjoittelun ohjelmoinnissa, mikäli halutaan kehittää esimerkiksi pikajuoksuosuudesta. Tällöin tulisi määrittää optimaalinen profiili myös pikajuoksuun. (Marcote-Pequeño ym. 2019)

Nykyisten tutkimusten valossa on havaittu, että voiman vajoaus (*force-deficit*) on yleisempää, kuin nopeuden vajoaus (*velocity-deficit*) eri lajien urheilijoilla (Petridis ym. 2021; Samozino ym. 2014). Tällöin urheilijoiden voima-nopeusprofiili on siis kallistunut nopeuden puolelle ja harjoittelussa tulisi keskittyä voiman kehittämiseen. Vaihtelu ominaisuuksien välillä voi kuitenkin olla suurta: Esimerkiksi Samozino ym. (2014) havaitsivat jopa 248 % epätasapainon todellisen ja optimaalisen f-v-profiilin välillä. Tämä oli kuitenkin yksittäinen tulos, jonka pohjalta ei voida tehdä suoraa johtopäätöksiä.

Koska voima-nopeusprofiilin määrittämiseen tarvitaan vain kokonaismassa, hyppykorkeus ja alaraajojen mitat, voidaan sen hyödyntämisen kenttäolosuhteissa ajatella olevan käytännöllistä (Jiménez-Reyes ym. 2017). Hyppykorkeuden määrittämiseen on olemassa erilaisia puhelinsovelluksia, joten voimalevyn tai -maton käyttö ei ole välttämätöntä. Esimerkiksi iPhoneille saatavilla oleva My Jump -sovellus mahdollistaa profiilin määrittämisen kenttäolosuhteissa verrattain pienillä resursseilla. Kyseisen sovelluksen on todettu mittaavan hyppykorkeutta riittävän luotettavasti, jotta sitä voidaan hyödyntää käytännön valmennustyössä (Balsalobre-Fernández ym. 2015).

### **2.3 Profiilin luotettavuus ja mahdolliset virhelähteet**

Voima-nopeusprofiilin laskukaavojen luotettavuutta on arvioitu jo kaavojen luontivaiheessa. Profiilin laskukaavojen avulla saatavien arvojen ja voimalevyn mittaamien arvojen välillä ei havaittu tällöin merkitsevää eroa kyykkyhyppyissä (Samozino ym. 2008). Myöhemmin luotettavuutta on tutkittu myös kevennyshyppyjen kohdalla. Laskukaavojen on havaittu niin ikään olevan valideja myös tässä yhteydessä. (Jiménez-Reyes ym. 2017)

Yksi profiilin muodostumiseen vaikuttava tekijä on alaraajojen mitta. Koska  $h_{po}$  lasketaan alaraajojen mittojen mukaan, voi virheellinen mittaustulos aiheuttaa virhettä tuloksiin. Virhe saattaa tapahtua esimerkiksi silloin, jos kohdehenkilön todellinen ponnistussyvyys on paljon suurempi tai pienempi kuin mitattu syvyys. Tästä syystä myös eri aikapisteessä mitattuja tuloksia vertailtaessa tulisi varmistaa, että kyykkisyvyys pysyy samana, tai huomioida sen mahdollinen vaikutus tulokseen. (Samozino ym. 2010; Valenzuela ym. 2021)

Voima-nopeusprofiilin luotettavuuteen saattaa vaikuttaa myös eri mittauspisteiden määrä. Fessl ym. (2020) ovat vertailleet kahden (2p) ja viiden (5p) mittauspisteen menetelmiä voima-nopeusprofiilin luomisessa, kun käytössä on ollut Samozinon ym. (2008) ”Simple Method”. Kyseinen tutkimus tukee aiempaa näkemystä siitä, että viiden pisteen menetelmä olisi kaikista luotettavin tapa voima-nopeusprofiilin määrittämiseen. Toisaalta kuitenkin esimerkiksi Šarabon ym. (2020) havaitsivat 2p-menetelmän olevan luotettava tapa profiilin määrittämiseen heidän verratessaan sitä monipiste-menetelmään (*multiple-point method*).

Voima-nopeusprofiilin tulosten päivittäisestä vaihtelusta on toistaiseksi vain vähän tutkimustietoa. Valenzuela ym. (2021) ovat havainneet päivittäistä vaihtelua f-v-profiilin muuttujissa ja erityisesti  $F_{VIMB}$  -arvossa, vaikka hyppykorkeus pysyisikin lähes samana. Päivittäinen vaihtelu profiilin muuttujissa oli suurempaa vapailla painoilla tehtyjen hyppyjen perusteella, mutta vaihtelua havaittiin myös Smith-laitteessa tehdyissä hyppyissä. Tulokset eivät olleet myöskään samassa linjassa Smith-laitteessa ja vapailla painoilla tehtyjen hyppysuoritusten osalta. Sama kohdehenkilö saattaa siis saavuttaa kaksi erilaista f-v-profiilia riippuen mittausmenetelmästä. Tältä osin vaaditaan kuitenkin lisää tutkimustietoa, jotta voidaan tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

### **3 ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN YHTEYS VOIMA-NOPEUSPROFIILIIN**

Maksimivoimalla ja räjähtävällä voimantuotolla on havaittu olevan yhteys toisiinsa (Morales-Artacho ym. 2018; Warneke ym. 2023). Erityisesti takakykyyn yhden toiston maksimin (1 RM) osalta löytyy useita tutkimuksia, joiden tulosten perusteella 1 RM korreloi hyppysuorituksen kanssa (Warneke ym. 2023). Isometrisestä maksimivoimasta tutkimustietoa on toistaiseksi määrällisesti vähemmän ja nimenomaan naispaloilijoita koskevia tutkimuksia ei juurikaan löydy. Myös suoraan isometrisen maksimivoiman ja voima-nopeusprofiilin välistä yhteyttä on tutkittu tähän mennessä hyvin vähän. Koska voimanopeusprofiili muodostuu kevennyshyppyjen tai staattisten kyykkyhyppyjen tulosten perusteella ja tuloksia f-v-profiilin ja MVC:n välisistä korrelaatioista löytyy suppeasti, käsitellään seuraavissa kappaleissa myös MVC:n ja vertikaalisuuntaisten hyppyjen korkeuden välisiä yhteyksiä.

#### **3.1 Isometrinen maksimivoima ja vertikaalihyppy**

Isometrisen maksimivoiman korrelaatiota vertikaalihypyn korkeuteen on tutkittu usealla eri tutkimusasetelmalla. Isometristä maksimivoimaa on mitattu rinnallevedolla (Kraska ym. 2009), polven ojennuksella (Boraczyński ym. 2021; Requena ym. 2009), sekä pohjenuosuilla istuen (Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022). Testattavia vertikaalihyppyjä ovat olleet staattinen kyykkyhyppy (Kraska ym. 2009; Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022) ja kevennyshyppy (Boraczyński ym. 2021; Kraska ym. 2009; Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022). MVC-tuloksen yhteyttä hyppykorkeuteen on kyseisissä tutkimuksissa tarkasteltu Pearsonin korrelaatiolla.

Requena ym. (2009) tutkivat isometrisen maksimivoiman yhteyttä SJ- ja CMJ-tulokseen polven ojennusliikkeestä. Tutkimuksessa havaittiin merkitsevä korrelaatio polven ojennuksen isometrisen maksimivoiman ja SJ- ja CMJ-tuloksen välillä. Vastaavia tuloksia CMJ:n osalta ovat löytäneet myös Boraczyński ym. (2021), jotka tarkastelivat hyppykorkeuden ja etureisilihasten absoluuttista ja kehon massaan suhteutettua isometristä maksimivoimaa polven ojennusliikkeessä. Molempien osalta korrelaation havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevä, joskin kehon massaan suhteutetun maksimivoiman ja CMJ-tuloksen korrelaatio oli huomattavasti suurempi kuin absoluuttisen maksimivoiman.

Isometrisen voimantuoton ja hyppysuorituksen yhteyttä on tarkasteltu myös pohjenousuliikkeestä istuen. Tältä osin tulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia. Requena ym. (2009) eivät löytäneet tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota isometrisen pohjenousun tulosten ja hyppysuorituksen välillä. Myös Warneke ym. (2022) tarkastelivat isometrisen pohjenousuliikkeen yhteyttä hyppysuoritukseen. He taas havaitsivat maksimivoiman ja hyppysuorituksen välillä kohtalaisen korrelaation sekä CMJ:n, että SJ:n kohdalla.

Kraska ym. (2009) tutkivat isometrisen maksimivoiman ja hyppykorkeuden välistä yhteyttä eri lajien 1 Divisioonan nais- ja miesurheilijoilla. Isometrinen maksimivoima mitattiin kyseisessä tutkimuksessa isometrisellä rinnallevedolla reisilihaksen puolivälistä (isometric mid-thigh clean pull). Tulosten perusteella korkeampi maksimivoima on yhteydessä korkeampaan hyppykorkeuteen kevennyshypyissä ja staattisissa hyppyissä. Tulokset erosivat hiukan näiden kahden eri hyppytyylin välillä, mutta molempien osalta korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että maksimivoimaltaan voimakkaimmat urheilijat väsyivät lisäpainolla suoritetuissa kevennyshypyissä vähemmän kuin heikoimmat urheilijat. Voimakkaimmilla urheilijoilla hyppykorkeus säilyi kuorman lisäämisestä huolimatta verrattain korkeana, eikä ero kuormien välillä ollut niin suuri kuin heikoimmilla urheilijoilla. Tutkimukseen osallistui tenniksen, softballin, jalkapallon ja lentopallon pelaajia sekä yleisurheilijoita. Tuloksia ei kuitenkaan eroteltu lajien välillä.

Tutkimusten tulokset on esitelty kootusti taulukossa 1. Tutkimusten perusteella maksimivoima on jossain määrin yhteydessä hyppykorkeuteen niin kevennyshypyissä kuin staattisissa vertikaalihypyissäkin (Boraczyński ym. 2021; Kraska ym. 2009; Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022). On kuitenkin huomioitava, että tutkimustietoa on vielä hyvin rajallisesti eri lihasryhmien osalta. Erityisesti pohjelihasten isometrisen maksimivoiman yhteys on epäselvä tutkimustiedon puutteellisuuden ja ristiriitaisuuden vuoksi (Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022). Koska reisilihasten voimantuotto on suuressa roolissa kevennyshypyissä ja kyykkyhyppyissä, on ymmärrettävää, että pohjelihasten maksimivoiman osalta ei olla löydetty yhtä voimakasta korrelaatiota hyppysuoritukseen kuin reisilihasten osalta (Warneke ym. 2022). Edellä mainituista tutkimuksista ainoastaan Kraskan ym. (2009) kohderyhmään sisältyi sekä naisia, että miehiä. Muiden tutkimusten kohderyhmät koostuivat sen sijaan ainoastaan miespalloilijoista. Tulosten sovellettavuus naispalloilijoihin on siis vielä tämänhetkisen tutkimustiedon perusteella heikko.

TAULUKKO 1. Tuloksia palloilijoiden hyppykorkeuden ja isometrisen maksimivoiman välisistä yhteyksistä.

Tutkijat, vuosi	Tutkimusasetelma	Tutkittavat	Laji	Tulokset
Boraczyński ym. 2021	Isometrisen polven ojennuksen yhteys CMJ-tulokseen	n=25 miehiä	jalkapallo	CMJ ja MVIC $r=0,398$ , $p\leq 0,05$ CMJ ja MVIC/BM $r=0,702$ , $p\leq 0,001$
Kraska ym. 2009	Isometrisen rinnallevedon tuloksen yhteys CMJ- ja SJ-tulokseen lisäpainolla ja ilman	n=22 miehiä, n=41 naisia	yleisurheilu, tennis, softball, jalkapallo ja lentopallo	CMJ 0 kg $r=0,36$ , $p\leq 0,05$ CMJ 20 kg $r=0,55$ , $p\leq 0,05$ SJ 0 kg $r=0,40$ , $p\leq 0,05$ SJ 20 kg $r=0,55$ , $p\leq 0,05$
Requena ym. 2009	Isometrisen polven ojentajalihasten sekä nilkan ojentajalihasten voiman yhteys CMJ- ja SJ-tulokseen	n=21 miehiä	jalkapallo	IMF <sub>KE</sub> ja SJ $r=0,55$ , $p\leq 0,01$ IMF <sub>KE</sub> ja CMJ $r=0,57$ , $p\leq 0,01$ IMF <sub>PF</sub> ja CMJ $r=0,14$ , ei merkitsevää IMF <sub>PF</sub> ja SJ $r=0,30$ , ei merkitsevää
Warneke ym. 2022	Isometrisen pohjenousun maksimivoiman yhteys CMJ- ja SJ-tulokseen	n=37 nuoria miehiä	koripallo	CMJ $r=0,52$ SJ $r=0,54$

BM=kehon massa (body mass), CMJ=kevennyshypyn korkeus (counter movement jump), IMF<sub>KE</sub>=polven ojentajalihasten isometrinen maksimivoima (isometric maximal force of the knee extensors), IMF<sub>PF</sub>=nilkan ojentajalihasten isometrinen maksimivoima (isometric maximal force of the plantar flexors), MVIC=maksimaalinen tahdonalainen isometrinen voimantuotto (maximal voluntary isometric contraction), SJ=staattisen kyykkyhypyn korkeus (squat jump)

### 3.2 Isometrinen maksimivoima ja voima-nopeusprofiili

Puhtaasti maksimivoiman ja voima-nopeusprofiilin yhteyttä on tähän mennessä tutkittu hyvin vähän. Morales-Artacho ym. (2018) ovat tarkastelleet isometrisen voimantuoton ja voima-nopeusprofiilin välistä korrelaatiota fyysisesti aktiivisilla liikuntatieteen opiskelijoilla. Kohdehenkilöistä 27 oli miehiä ja 16 naisia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa tuotetulla voimalla on vahva yhteys voima-nopeusprofiilin  $F_0$ -arvoon.  $V_0$ -arvoon tai f-v-profiilin kuvaajaan (*FV slope*) ei kuitenkaan löydetty merkitsevää yhteyttä. On mahdollista, että isometrisen voiman mittaaminen polven ojennusliikkeestä ei korreloi yhtä hyvin voima-nopeusprofiilin muuttujien kanssa, kuin esimerkiksi isometrinen jalkaprässi (Morales-Artacho ym. 2018).

Maksimivoiman ja f-v-profiilin yhteyttä on tutkittu myös tarkastelemalla erikseen maksimivoiman ja vertikaalihyppyjen avulla luotujen profiilien välistä yhteneväisyyttä. Šarabon ym. (2020) vertailivat tutkimuksessaan kolmea eri menetelmää voima-nopeusprofiilin luomiseen. Tutkimuksessa käytettiin 2p ja 5p -menetelmien lisäksi myös MVC-menetelmää, jonka validiteettia testattiin vertaamalla sitä 5p-menetelmään. MVC-menetelmällä f-v-profiili luotiin käyttäen kehon painolla suoritettujen kevennyshypyn tulosta ja MVC-tulosta. MVC-menetelmän avulla luotu f-v-profiili ei ollut linjassa 2p tai 5p -menetelmän kanssa, eikä sen täten todettu olevan validi tapa f-v-profiilin luomiseen. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että MVC ei korreloi f-v-profiilin  $F_0$ -arvon kanssa.



## 4 KEHONKOOSTUMUKSEN YHTEYS VOIMA-NOPEUSPROFIILIIN

Kehonkoostumuksella on havaittu olevan yhteys räjähtävään voimantuottoon ja sitä kautta myös vertikaalihypyn tulokseen (Lilić ym. 2022). Palloilulajeista erityisesti lentopalloissa hyvä ponnistusvoima ja korkea vertikaalihyppy ovat avainroolissa pelillisessä menestyksessä (Voigt & Vetter 2003). Yleisesti ottaen rasvaprosenttia ja lihasmassaa on pidetty tärkeimpinä suorituskykyyn vaikuttavina kehonkoostumusmuuttujina (Kushkestani ym. 2019).

Suoraan voima-nopeusprofiilia koskevan tutkimustiedon puutteellisuuden vuoksi seuraavissa kappaleissa tarkastellaan myös kehonkoostumuksen ja vertikaalihyppyjen välistä yhteyttä. Kappaleissa keskitytään tarkastelemaan havaittuja tilastollisia yhteyksiä ottamatta kuitenkaan kantaa lajien urheilijoiden optimaaliseen kehonkoostumukseen.

### 4.1 Kehonkoostumus ja vertikaalihyppy

Kehonkoostumuksen ja vertikaalihypyn osalta tutkimustietoa löytyy naispalloilijoiden osalta jonkin verran. Tutkimuksissa on tarkasteltu rasvaprosentin, rasvamassan, painoindeksin, lihasmassan ja rasvattoman massan yhteyttä hyppysuorituskykyyn. Testattavia vertikaalihyppyjä ovat olleet staattiset kyykkyhyppyt (Akdoğan & Güven 2021; Lilić ym. 2022; Petruț-Florin ym. 2021), kevennyshyppyt (Akdoğan & Güven 2021; Copic ym. 2014; Lilić ym. 2022; Petruț-Florin ym. 2021), sekä kevennyshyppyt käsien vauhdinotolla (Copic ym. 2014; Nikolaidis 2013). Myös näiden muuttujien yhteyttä on tarkasteltu Pearsonin korrelaatiolla.

Rasvaprosentin (BF%) ja hyppykorkeuden sekä rasvamassan (FM) ja hyppykorkeuden välisen korrelaation osalta tutkimustulokset puoltavat näiden muuttujien välistä negatiivista korrelaatiota. Sekä Akdoğan ja Güven (2021) että Copic ym. (2014) havaitsivat rasvaprosentin ja rasvamassan korreloivan negatiivisesti hyppykorkeuden kanssa naislentopalloilijoilla. Vastaavia tuloksia naisjalkapalloilijoilta ovat löytäneet Lilić ym. (2022). Myös Petruț-Florin ym. (2021) havaitsivat merkitsevän korrelaation FP:n ja CMJ:n välillä, mutta kolmesta palloilulajista ainoastaan käsipalloilijoiden kohdalla. Rasvaprosentti ei ollut kyseisessä tutkimuksessa yhteydessä SJ-tulokseen missään palloilulajissa.

Kevennyshypyn hyppykorkeutta on testattu myös suorittamalla kevennyshyppy käsien vauhdinoton kanssa (CMJa). Kyseisen hyppysuorituksen tuloksen on havaittu korreloivan rasvaprocentin kanssa naislentopalloilijoilla (Copic ym. 2014; Nikolaidis 2013). CMJa-tuloksen yhteyttä on vertailtu rasvaprocentin lisäksi myös painoindeksiin. Naislentopalloilijoilla näiden muuttujien on havaittu olevan yhteydessä, mutta tutkimukseen osallistuneiden tyttöjen kohdalla korrelaatiota ei kuitenkaan ole havaittu. (Nikolaidis 2013)

Lihasmassan ja hyppysuorituksen välisen korrelaation osalta tulokset eivät ole täysin yhteneväisiä. Copic ym. (2014) havaitsivat korrelaation kevennyshypyn ja kehon prosentuaalisen luurankolihasmassan (SM%) kanssa naislentopalloilijoilla. Kyseisessä tutkimuksessa sekä CMJ- että CMJa-tulos oli yhteydessä lihasmassan määrään. Myös Lilić ym. (2022) totesivat lihasmassan osuuden (MM%) korreloivan sekä CMJ- että SJ-tuloksen kanssa. Tätä vastoin Petruț-Florin ym. (2021) eivät kuitenkaan havainneet merkitsevää korrelaatiota SJ:n ja lihasmassan osuuden välillä. Samassa tutkimuksessa CMJ:n ja MM% välinen korrelaatio oli merkitsevä ainoastaan käsipalloilijana naisilla. Kehon rasvattoman massan (LM) ja hyppykorkeuden välillä ei olla myöskään havaittu korrelaatiota (Akdoğan & Güven 2021).

Taulukossa 2 on esitetty kootusti tuloksia naispallolijoiden kehonkoostumuksen ja vertikaalihyppyjen korrelaatioista. Kokonaisuudessaan tulokset ovat osittain ristiriitaisia ja niiden määrä vielä varsin vähäinen naispallolijoiden osalta. Tulokset kuitenkin viittaisivat siihen, että ainakin rasvamassa ja rasvaprocentti olisivat yhteydessä vertikaalihypyn korkeuteen (Akdoğan & Güven 2021; Copic ym. 2014; Lilić ym. 2022; Nikolaidis 2013; Petruț-Florin ym. 2021).

TAULUKKO 2. Tuloksia naispallolijoiden kehonkoostumuksen ja vertikaalihyppyjen välisistä yhteyksistä.

Tutkijat, vuosi	Tutkimusasetelma	Tutkittavat	Laji	Tulokset
Akdoğan & Güven 2021	BF%, FM ja LM yhteys CMJ- ja SJ-tulokseen	n=23 nuoria naisia	lentopallo	sekä SJ, että CMJ korreloi negatiivisesti BF% ja FM kanssa (p<0,01) SJ ja LM tai CMJ ja LM välillä ei korrelaatiota

Copic ym. 2014	BF% ja yhteys CMJ- ja CMJ-tulokseen	SM% ja CMJa- ja	n=35 naisia	lentopallo	CMJ ja CMJa korreloivat negatiivisesti BF% kanssa (p<0,05) CMJ ja CMJa korreloivat SM% kanssa (p<0,01)
Lilić ym. 2022	MM, FM ja yhteys SJ-tulokseen	BF% ja CMJ- ja	n=16 nuoria naisia	jalkapallo	SJ korreloi positiivisesti MM% kanssa (p=0,003) ja negatiivisesti FM ja BF% kanssa (p=0,01 ja 0,002) CMJ korreloi positiivisesti MM% kanssa (p=0,003) ja negatiivisesti FM ja BF% kanssa (p=0,006 ja 0,02)
Nikolaidis 2013	BMI ja yhteys tulokseen	BF% ja CMJa-	n=102 tyttöjä, n=75 naisia	lentopallo	CMJa tulos korreloi BMI ja BF% kanssa naisilla (p<0,01 ja p<0,001) CMJa tulos korreloi BF% kanssa (p<0,05), mutta ei BMI kanssa tytöillä
Petruș- Florin ym. 2021	BF% ja yhteys SJ-tulokseen	MM% ja CMJ- ja	n=44 naisia	jalkapallo, käsipallo, rugby	ei merkitsevää korrelaatiota SJ ja BF%, eikä SJ ja MM% välillä sekä CMJ ja BF%, että CMJ ja MM% välillä merkitsevä korrelaatio vain käsipallossa (p<0,01)

BF%=rasvaprosentti (body fat percentage), BMI=painoindeksi (body mass index), CMJa=kevennyshypyn korkeus käsien vauhdinotolla, CMJ=kevennyshypyn korkeus (counter movement jump), FM=rasvamassa (fat mass) LM=rasvaton massa (lean mass), MM%=prosentuaalinen lihasmassa (muscle mass percentage), SJ=staattisen kyykkyhypyn korkeus (squat jump), SM%=prosentuaalinen luurankolihasmassa (skeletal muscle mass percentage)

## 4.2 Kehonkoostumus ja voima-nopeusprofiili

Kuten maksimivoiman ja voima-nopeusprofiilin kohdalla, myös kehonkoostumuksen ja voima-nopeusprofiilin osalta tutkimustietoa löytyy hyvin rajallisesti. Jo aiemmin mainitussa Morales-Artachon ym. (2018) tutkimuksessa tarkasteltiin reiden ojennuksen maksimivoiman lisäksi reisilihaksen paksuuden ja ulomman reisilihaksen (*vastus lateralis*, VL) pennaatiokulman yhteyttä voima-nopeusprofiiliin. Samoin kuin maksimivoiman osalta, myös lihaksen paksuuden ja VL:n pennaatiokulman havaittiin korreloivan positiivisesti  $F_0$ -arvon kanssa, näiden arvojen selittäen jopa noin 60 %  $F_0$ -arvon variaatiosta.  $V_0$ -arvon tai voima-nopeusprofiilin kuvaajan (*slope*) kohdalla korrelaatio ei kuitenkaan ollut merkitsevä.

Morales-Artachon ym. (2018) tutkimuksessa kehonkoostumusta ei tarkasteltu muilta osin kuin yksittäisen lihaksen pennaatiokulman ja lihasryhmän paksuuden osalta. Tämä tarkastelutapa eroaa edellisessä kappaleessa esiteltyjen tutkimusten tutkimusasetelmasta, joissa kehonkoostumusta tarkasteltiin lihas- ja rasvamassan osalta koko kehon tasolla. Vastaavalla asetelmalla voima-nopeusprofiilin ja kehonkoostumuksen välistä yhteyttä ei ole toistaiseksi tutkittu, joten on vielä hyvin epäselvää, onko kehonkoostumus yhteydessä voima-nopeusprofiilin eri muuttujiin.

## 5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

**Tutkimuskysymys 1:** Onko isometrinen maksimivoima tai kehonkoostumus yhteydessä voima-nopeusprofiiliin?

**Hypoteesi 1:** Kehonkoostumus tai isometrinen maksimivoima ei ole yhteydessä voima-nopeusprofiiliin.

**Perustelut:** Tutkimustietoa isometrisen maksimivoiman ja kehonkoostumuksen yhteydestä voima-nopeusprofiiliin löytyy vielä hyvin rajallisesti. Morales-Artachon ym. (2018) mukaan ulomman reisilihaksen pennaatiokulma ja paksuus ovat yhteydessä voimanopeusprofiilin  $F_0$ -arvoon, mutta eivät kuitenkaan profiilin kuvaajaan (*slope*) tai  $V_0$ -arvoon. Myös isometrisen polven ojennuksen tulos oli kyseisessä tutkimuksessa yhteydessä  $F_0$ -arvoon, muttei  $V_0$ -arvoon tai f-v-profiilin kuvaajaan. Šarabon ym. (2020) eivät myöskään havainneet MVC:n ja  $F_0$ -arvon välillä yhteyttä. Koska tämän tutkimuksen aineisto koostuu f-v-profiilin osalta ainoastaan todellisen ja optimaalisen profiilin välisen suhteen prosentuaalisesta arvosta, ei aiempi tutkimustieto ole suoraan sovellettavissa tämän tutkimuksen tutkimusasetelmaan. Huolimatta heikosta sovellettavuudesta on tutkimustiedon puutteellisuuden takia kuitenkin huomioitava edellä mainitut tulokset. Aiemman tutkimustiedon perusteella vaikuttaisi siis siltä, että f-v-profiilin ja kehonkoostumuksen tai MVC:n välillä ei olisi todettu selkeää yhteyttä.

**Tutkimuskysymys 2:** Onko isometrinen maksimivoima tai kehonkoostumus yhteydessä kevennyshypyn tulokseen?

**Hypoteesi 2:** Sekä isometrinen maksimivoima, että kehonkoostumus on yhteydessä kevennyshypyn tulokseen.

**Perustelut:** Isometrisen maksimivoiman ja kevennyshypyn korkeuden väliltä on havaittu yhteys niin absoluuttisen (Boraczyński ym. 2023; Requena ym. 2009) kuin kehon massaan suhteutetun maksimivoimankin osalta (Boraczyński ym. 2023). Vaikka pohjelihasten isometrisen maksimivoiman ja kevennyshypyn välinen korrelaatio on nykyisen tutkimustiedon valossa epäselvä (Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022), on tässä tutkimuksessa käytettävä mittausmenetelmä kuitenkin paremmin verrattavissa reiden ojennuksen tuloksiin, sillä isometrisessä jalkaprässissä pohjelihasten rooli on pienempi kuin reisilihasten. Rasvaprosentin ja rasvamassan on havaittu korreloivan negatiivisesti palloilijanaisten hyppykorkeuden kanssa (Akdoğan & Güven 2021; Copic ym. 2014; Lilić ym. 2022). Myös lihasmassan osalta löytyy yhteyttä hyppykorkeuteen puoltavaa tutkimustietoa (Copic ym. 2014; Lilić ym. 2022; Petruț-Florin ym. 2021), vaikka tulokset ovat osittain ristiriitaisia (Petruț-Florin ym. 2021).

## 6 MENETELMÄT

Tässä tutkimuksessa käytettävän aineiston otos muodostuu kahden eri tutkimuksen tutkittavista. Aineisto on koostettu KIHU:n (Huippu-urheilun instituutti, ent. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus) Training Room -hankkeesta ja sen Monitoring Injury and Illness in Athletes (MIIA) -tutkimuksesta, sekä Vesiupotusmenetelmien ja infrapunasauan vaikutus fyysisestä kuormituksesta palautumiseen sekä harjoitusadaptaatioiden muodostumiseen (IRS) -tutkimuksesta. Molemmista tutkimuksista oli annettu eettinen lausunto (MIIA Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettinen toimikunta 5U/2019, IRS Jyväskylän yliopiston ihmistieteiden eettinen toimikunta 1516/13.00.04.00/2021). Seuraavissa kappaleissa käydään tarkemmin läpi tutkittavien tiedot, tutkimusasetelma ja mittausmenetelmät, sekä datan analysoinnissa hyödynnetyt tilastolliset menetelmät. Tutkimuksen tuloksia ei jaoteltu erikseen eri palloilulajien mukaan, vaan kaikkia tuloksia tarkastellaan koko otoksen keskiarvoina.

### 6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 60 perustervettä kansallisen tason naispalloilijaa. Tutkittavien lajitausta oli joko koripallosta (n=14), futsalista (n=18) tai jääkiekosta (n=28). Iältään tutkittavat olivat 15–35-vuotiaita. Tutkittavien taustatiedot on esitelty tarkemmin taulukossa 3. Kaikki tutkittavat osallistuivat sekä kehonkoostumusmittaukseen, että suorituskykytestiin.

TAULUKKO 3. Tutkittavien taustatietoja. Arvot esitetty muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

N	Ikä (vuosina)	Pituus (cm)	Paino (kg)
60	22 $\pm$ 4,4	167,8 $\pm$ 6,1	66,9 $\pm$ 8,1

### 6.2 Tutkimusasetelma ja mittausmenetelmät

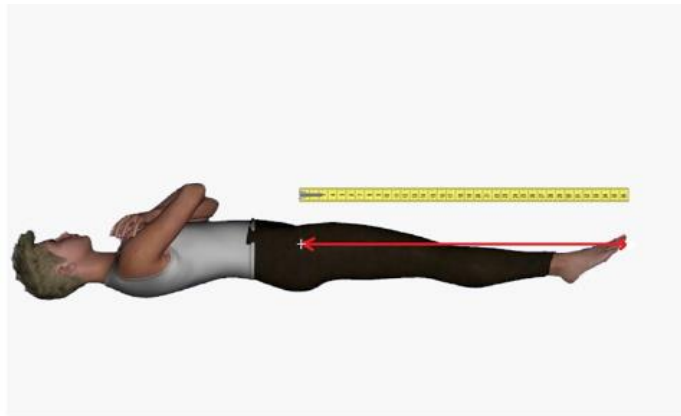
Tutkimus toteutettiin poikkileikkausasetelmalla. Mittaukset koostuivat kehonkoostumusmittauksesta sekä suorituskykytesteistä, jotka sisälsivät lämmittelyn, sarjan vertikaalihyppyjä ja MVC-mittauksen. Lisäksi tutkittavilta mitattiin alaraajojen pituudet kahdessa eri asennossa.

Kehonkoostumus mitattiin DXA-laitteella (dual-energy X-ray absorptiometry, GE Lunar Prodigy Advance, 303022-Lunar, Madison WI, USA). Mittaukset tehtiin aamulla paaston jälkeen. Tutkittavat makasivat mittauksen ajan selällään laitteessa siten, että heidän selkärankansa ja lonkkansa olivat mahdollisimman suorassa linjassa. DXA-mittauksista tilastoitiin tutkittavien paino, rasvamassa (FM), rasvaprosentti (BF%), sekä rasvaton massa (FFM).

Ennen suorituskykymittauksia tutkittavat lämmittelivät 5 minuutin ajan kuntopyörällä. Tämän jälkeen he suorittivat sarjan lämmittelyliikkeitä, joihin sisältyi dynaamisia venytyksiä sekä kehon painolla suoritettavia lihaskuntoliikkeitä. Suorituskykymittaukset aloitettiin staattisella vertikaalihypyillä, jonka koehenkilöt aloittivat staattisesta kyykkyasennosta noin 90 asteen polvikulmalla. Hyppy suoritettiin ainoastaan kehon painolla. Jokainen tutkittava suoritti hypyn kolme kertaa ja paras tulos kolmesta tilastoitiin. Tämän jälkeen tutkittavat suorittivat sarjan kevennyshyppyjä neljällä eri kuormalla, joista ensimmäinen oli kehon paino. Kolmessa seuraavassa sarjassa hyppy suoritettiin lisäpainotangon kanssa, joka oli 15 %, 25 % ja 50 % tutkittavan kehon painosta. Tutkittavat eivät avustaneet kevennyshypyn vauhdinotossa käsillä vaan kädet pidettiin joko lantiolla tai tangossa kiinni koko hyppysuorituksen ajan. Tutkittavia ohjeistettiin pyrkimään noin 90 asteen kevennyssyvyyteen ja ojentamaan alastulossa nilkkoja siten, että alastulo tapahtuisi rullaten päkiöiden kautta kantapäille. Jokaisella kuormalla suoritettiin kolme kevennyshyppyä, joista korkeimman hypyn arvo tilastoitiin. Mikäli suoritus parani vielä kolmannella yrittämällä, tutkittava suoritti neljännen hypyn. Koripalloilijat ja futsalin pelaajat suorittivat vertikaalihyppy voimalevyn päällä (Hurlabs, FP8) ja hyppykorkeus määritettiin lentoajan perusteella. Jääkiekkoilijoiden vertikaalihyppyjen mittaamiseen käytettiin valomattoa.

Vertikaalihyppyjen mittausten jälkeen tutkittavien isometristä maksimivoimantuottoa mitattiin isometrisellä jalkaprässillä (Jyväskylän yliopisto). Ennen suoritusta jalkaprässin penkki säädettiin tutkittavalle sopivaksi siten, että tutkittavan polvikulma oli 107 astetta. Polvikulma mitattiin goniometrillä. Tämän jälkeen tutkittava teki kolme maksimaalista isometristä suoritusta, joiden aikana hän työnsi jalkaprässin levyä vasten maksimaalisella voimalla pitäen käsillä kiinni prässin käsikahvoista. Jokainen suoritus kesti 3–5 sekuntia ja suoritusten välillä pidettiin noin minuutin mittainen tauko. Tutkittavaa kannustettiin verbaalisesti suorituksen ajan.

Suorituskykymittausten jälkeen tutkittavan alaraajojen mitat mitattiin voima-nopeusprofiilin laskemista varten. Tutkittava asettui makuuasentoon lattialle ja hänen jalkojensa pituus mitattiin reisiluun isosta sarvennoisesta varpasiin jalkojen ollessa ojentuneena, sekä reisiluun isosta sarvennoisesta kantapäähän jalkojen ollessa noin 90 asteen kulmassa. Kuva 8 havainnollistaa mittaustilannetta.



KUVA 8. Alaraajojen mittausta havainnollistava kuva. (Jiménez-Reyes ym. 2017)

Voima-nopeusprofiili laskettiin käyttäen Samozinon ym. (2008) luomia laskukaavoja valmiissa Excel-taulukkopohjassa. Tutkittavien paino, alaraajojen mitat sekä kevennyshyppyjen kuormat ja tulokset kirjattiin taulukkoon, joka laskee jokaiselle tutkittavalle todellisen ja optimaalisen f-v-profiilin. Jokaisen tutkittavan osalta tilastoitiin f-v-profiilin arvo, joka tässä tapauksessa oli todellisen profiilin prosentuaalinen arvo suhteutettuna optimaaliseen profiiliin. Mikäli arvo oli yli 100 tarkoitti tämä sitä, että tutkittavan tulisi keskittyä nopeusominaisuuksien kehittämiseen. Jos arvo taas jäi alle sadan, oli tutkittavan profiili kallistunut nopeusominaisuuksien puolelle ja kehittämiskohteena olisi siis voima.

### 6.3 Tilastolliset menetelmät

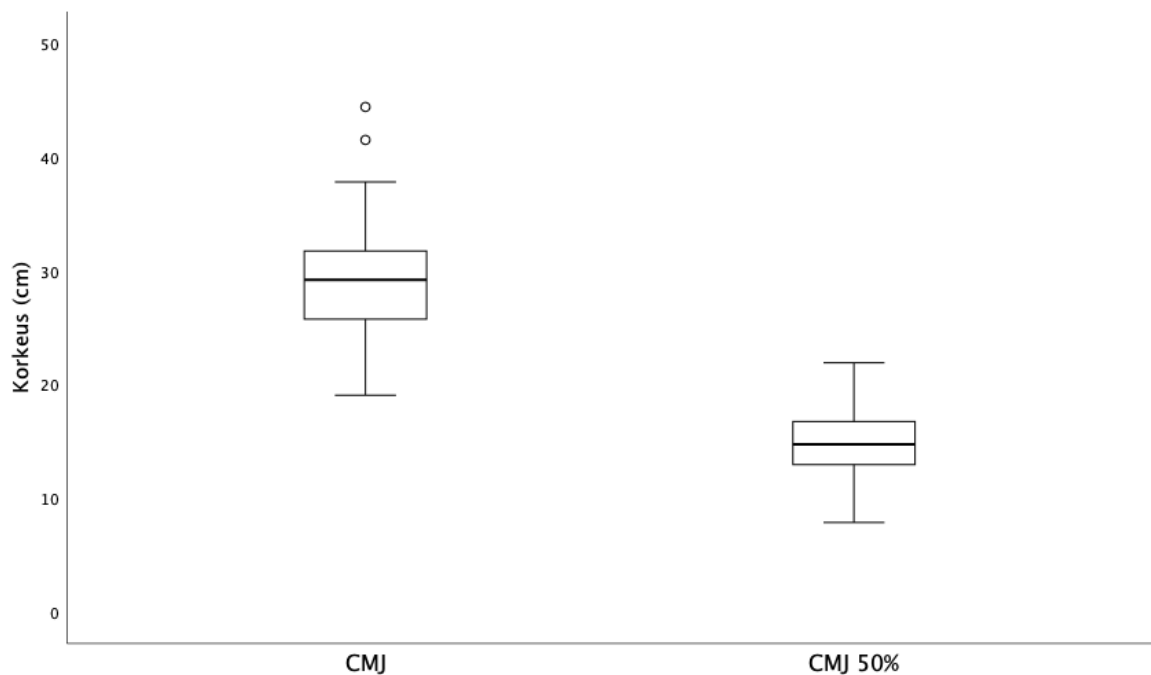
Tulosten tilastolliseen analysointiin käytettiin Microsoft Excel -ohjelmaa, sekä IBM SPSS Statistics 28.0.1.1 -ohjelmaa. Jokaisen 60:n tutkittavan tulokset koottiin mittausten jälkeen Excel-taulukkokoon, josta arvot vietiin SPSS Statistics -ohjelmaan. Ohjelmalla suoritettiin muuttujien normaaliuden ja niiden välisten korrelaatioiden analysointi. Analyysit suoritettiin kaikkien 60:n tutkittavan tuloksista.



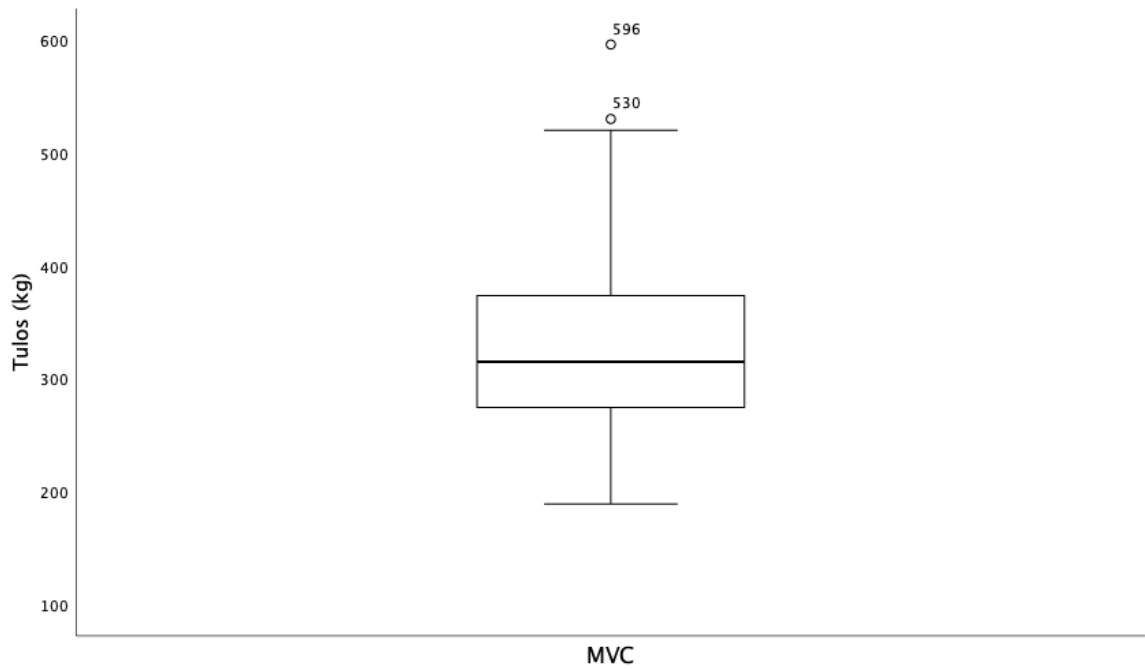
Muuttujien normaalius määritettiin Kolmogorov-Smirnov-normaalisuustestillä otoskoon ollessa yli 50. Normaalisuuden raja-arvoksi määritettiin  $p > 0,05$ . Normaalisti jakautuneita muuttujia olivat BF%, CMJ, FVP, MVCbw ja FFM. Ei-normaalisti jakautuneita muuttujia taas olivat MVC ja FM. Normaalisti jakautuneiden muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Ei-normaalisti jakautuneiden muuttujien välisten korrelaatioiden tarkasteluun käytettiin Spearmanin korrelaatiokerrointa. Tilastollisen merkitsevyyden raja-arvot asetettiin seuraavasti: tilastollisesti kohtalaisen merkitsevä riippuvuus:  $p < 0,05$ , tilastollisesti merkitsevä riippuvuus:  $p < 0,01$ , tilastollisesti erittäin merkitsevä riippuvuus  $p < 0,001$ . Tilastollisesti merkitsevistä tuloksista määritettiin selitysaste ( $r^2$ ).

## 7 TULOKSET

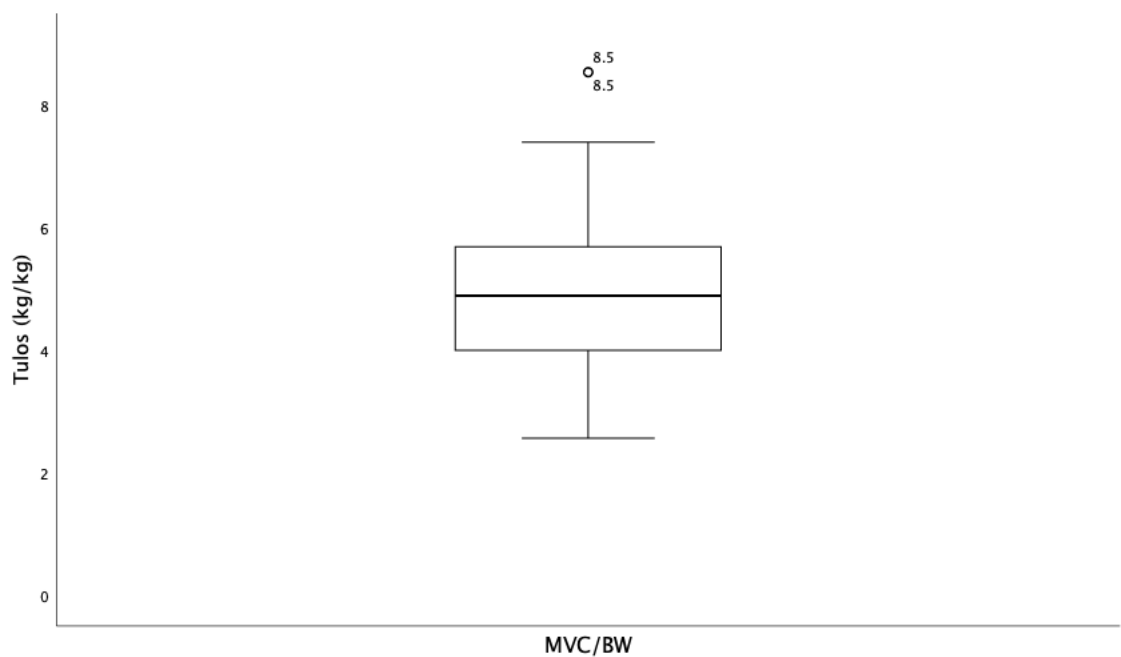
Tutkittavien kehon painolla suoritettu CMJ oli  $29,4 \pm 4,8$  cm (kuva 9), MVC  $334 \pm 87$  kg (kuva 10), MVCbw  $5,0 \pm 1,3$  kg/kg (kuva 11) ja f-v-profiilin tulos  $55 \pm 29$  (kuva 12). Ainoastaan kolmen tutkittavan f-v-profiilin tulos oli yli 100. Tutkittavien CMJ-tulos 50 % lisäpainolla oli  $15,0 \pm 3,1$  cm (kuva 9). Taulukossa 4 on esitetty kootusti tulokset suorituskykymuuttujien osalta. Kehonkoostumusmuuttujien tulokset on esitetty taulukossa 5.



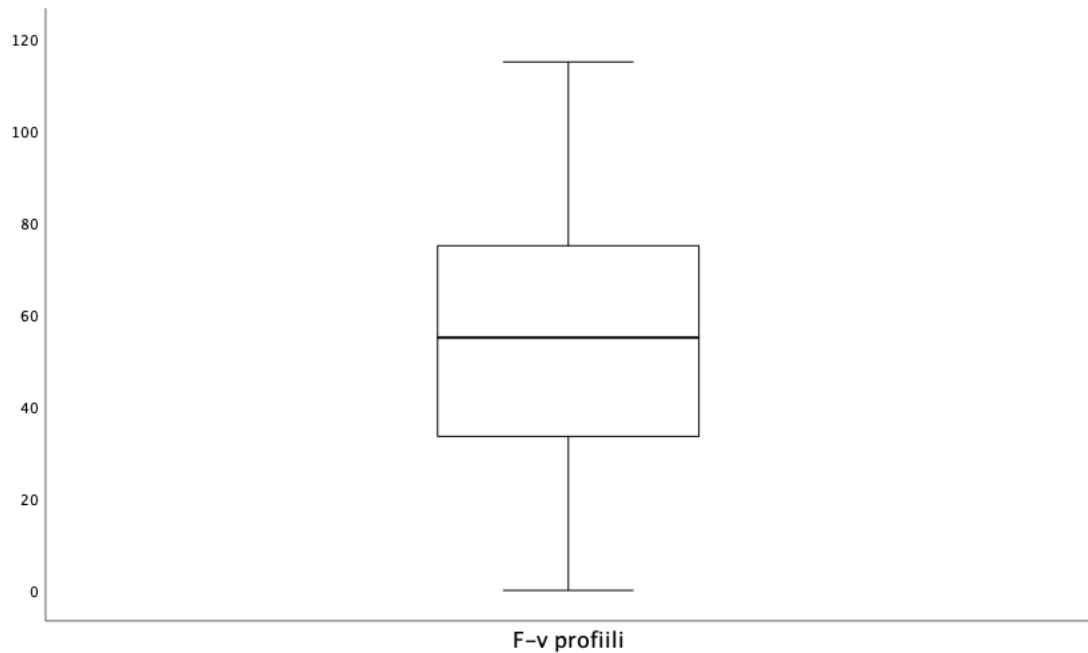
KUVA 9. CMJ-tulokset. Janojen päät kuvaavat tulosten minimi- ja maksimiarvoja. Laatikon sisällä oleva viiva kuvastaa tulosten mediaania. Poikkeavat tulokset näkyvät kuvassa ympyröinä.



KUVA 10. MVC-tulokset. Janojen päät kuvaavat tulosten minimi- ja maksimiarvoja. Laatikon sisällä oleva viiva kuvastaa tulosten mediaania. Poikkeavat tulokset näkyvät kuvassa ympyröinä ja lukuarvoina.



KUVA 11. MVCbw-tulokset. Janojen päät kuvaavat tulosten minimi- ja maksimiarvoja. Laatikon sisällä oleva viiva kuvastaa tulosten mediaania. Poikkeavat tulokset näkyvät kuvassa ympyröinä ja lukuarvoina.



KUVA 12. F-v-profiilin tulokset. Janojen päät kuvaavat tulosten minimi- ja maksimiarvoja. Laatikon sisällä oleva viiva kuvastaa tulosten mediaania.

TAULUKKO 4. Tutkittavien suorituskyky. Arvot esitetty muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

	CMJ (cm)	CMJ 50 % (cm)	MVC (kg)	MVCbw (kg/kg)	FVP
Tulos	29,4 $\pm$ 4,8	15,0 $\pm$ 3,1	334 $\pm$ 87	5,0 $\pm$ 1,3	55 $\pm$ 29

CMJ=kevennyshyppy (counter movement jump), MVC=isometrinen maksimivoima (maximal voluntary contraction), MVCbw=isometrinen maksimivoima kehon painoon suhteutettuna (maximal voluntary contraction/body weight), FVP=voima-nopeusprofiilin tulos (force-velocity-profile)

TAULUKKO 5. Tutkittavien kehonkoostumus. Arvot esitetty muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

	FM (kg)	BF%	FFM (kg)
Tulos	18,5 $\pm$ 6,4	28,1 $\pm$ 7,2	48,4 $\pm$ 5,0

BF%=rasvaprosentti (body fat percentage), FM=rasvamassa (fat mass), FFM=rasvaton massa (fat free mass)

Kehonkoostumusmuuttujista sekä FM:n että BF%:n ja CMJ:n välillä havaittiin vahva yhteys ( $r=-0,533$  ja  $-0,727$ ,  $p<0,001$ ). Myös FFM:n ja CMJ:n välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $r=0,386$ ,  $p=0,002$ ). Ainoastaan FFM:n havaittiin olevan yhteydessä f-v-profiilin tulokseen ( $r=0,453$ ,  $p<0,001$ ).

MVC:n tai MVCbw:n ei havaittu korreloivan kevennyshyppytuloksen kanssa. Myöskään f-v-profiilin tuloksen ei havaittu olevan yhteydessä MVC-tulokseen. MVC tai MVCbw ei ollut yhteydessä mihinkään kehonkoostumusmuuttujaan. Korrelaatiokertoimien tulokset on koottu taulukkoon 6. Tilastollisesti merkitsevien korrelaatioiden selitysasteet on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 6. Korrelaatiokertoimien tuloksia.

	CMJ	FVP	MVCbw	BF%	FFM	FM <sub>rs</sub>	MVC <sub>rs</sub>
CMJ	1						
FVP	0,157	1					
MVCbw	0,061	-0,173	1				
BF%	-0,727**	-0,249	-0,120	1			
FFM	0,386*	0,453**	-0,133	-0,333*	1		
FM <sub>rs</sub>	-0,533**	-0,089	-0,198	0,882**	0,014	1	
MVC <sub>rs</sub>	-0,002	0,018	0,868**	0,037	0,185	0,132	1

CMJ=kevennyshyppy (counter movement jump), FVP=voima-nopeusprofiili (force-velocity-profile), MVCbw=isometrinen maksimivoima kehon painoon suhteutettuna (maximal voluntary contraction/body weight), BF%=rasvaprosentti (body fat percentage), FFM=kehon rasvaton massa (fat free mass), FM=rasvamassa (fat mass), MVC=isometrinen maksimivoima (maximal voluntary contraction), rs=Spearmanin korrelaatiokerroin, \* p<0,01, \*\* p<0,001

TAULUKKO 7. Selitysasteet (r<sup>2</sup>) tilastollisesti merkitsevistä korrelaatioista.

	BF%	FFM	FM
CMJ	0,528	0,149	0,284
FVP	-	0,205	-

BF%=rasvaprosentti (body fat percentage), FFM=kehon rasvaton massa (fat free mass), FM=rasvamassa (fat mass), CMJ=kevennyshyppy (counter movement jump), FVP= voima-nopeusprofiili (force-velocity-profile)

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella isometrisen maksimivoiman ja kehonkoostumuksen yhteyttä voima-nopeusprofiiliin ja kehon painolla suoritettun kevennyshypyn hyppykorkeuteen. Tutkittavina oli 60 naispallolijaa kolmesta eri palloilulajista. Aineisto koostui KIHU:n Training Room -hankkeen ja sen MIIA-tutkimuksen tuloksista sekä IRS-tutkimuksen tuloksista. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin hypoteesien toteutumista, tuloksia mahdollisesti selittäviä tekijöitä, tutkimuksen haasteita ja vahvuuksia sekä jatkotutkimusaiheita.

### 8.1 Hypoteesien toteutuminen

Tutkimuksessa havaittiin kehonkoostumusmuuttujista FFM:n olevan yhteydessä f-v-profiilin tulokseen. Tulosten perusteella siis niiden urheilijoiden, joiden kehon rasvattoman massa määrä on korkeampi, f-v-profiilin tulos on korkeampi. Koska keskimääräinen f-v-profiilin tulos jäi kuitenkin huomattavasti alle 100:n, ei voida todeta, että suurempi FFM olisi yhteydessä voimaominaisuuksiin kallistuvaan f-v-profiiliin. Muiden kehonkoostumusmuuttujien kohdalla yhteyttä f-v-profiilin tulokseen ei havaittu. Myöskään MVC tai MVC<sub>bw</sub> ei ollut yhteydessä f-v-profiilin tulokseen. Hypoteesin 1 mukaan oletuksena oli, ettei kehonkoostumus tai maksimivoima kumpikaan korreloisi f-v-profiilin kanssa. Tulosten perusteella hypoteesin 1 voidaan todeta toteutuneen kaikkien muiden muuttujien paitsi FFM:n osalta.

CMJ-tulokset ovat osittain linjassa f-v-profiilin tulosten kanssa, sillä FFM:n havaittiin olevan yhteydessä CMJ-tulokseen. FM:n ja BF%:n taas havaittiin korreloivan negatiivisesti CMJ:n kanssa, eli pienempi FM ja BF% on siis yhteydessä korkeampaan CMJ-tulokseen. Näiltä osin tulokset puoltavat hypoteesia 2, sillä kehonkoostumuksen havaittiin olevan yhteydessä CMJ-tulokseen. MVC:n ja CMJ-tuloksen välillä ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä absoluuttista tai kehon painoon suhteutettua MVC:tä tarkastellessa. Korrelaatiot näiden muuttujien osalta jäivät jopa huomattavan pieniksi. Tältä osin hypoteesi 2 ei siis saa tutkimustulosten perusteella tukea.

## 8.2 Tuloksia mahdollisesti selittäviä tekijöitä

Kuten jo edellisessä kappaleessa mainittiin, CMJ-tuloksen ja kehonkoostumuksen yhteyksien osalta tulokset olivat hypoteesin mukaisia. Aiemmissä tutkimuksissa osa kehonkoostumusmuuttujista ei ole aina ollut yhteydessä CMJ-tulokseen. Tässä tutkimuksessa sen sijaan havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio FM:n, BF%:n ja FFM:n kohdalla. Suurempi otoskoko voi osaltaan selittää vahvempia yhteyksiä, sillä poikkeavien arvojen vaikutus pienenee otoskoon kasvaessa.

Aiemman tutkimustiedon perusteella vertikaalihypyn tuloksen on havaittu olevan yhteydessä MVC-tulokseen palloilijoilla (Boraczyński ym. 2021; Kraska ym. 2009; Requena ym. 2009; Warneke ym. 2022). Aiemmissä tutkimuksissa isometrisen maksimivoiman mittaamiseen ei käytetty isometristä jalkaprässiä. Vaikka jalkaprässi on lihastyötavaltaan lähempänä kevennyshyppyä kuin esimerkiksi Boraczyńskin ym. (2021) ja Requanan ym. (2009) tutkimuksissa käytetty isometrinen polven ojennus, ei yhteyttä siitä huolimatta havaittu. Tämä voi selittyä esimerkiksi väsymyksellä. Tässä tutkimuksessa kevennyshyppujen ja maksimivoiman testaamisen välissä suoritettiin useampi sarja kevennyshyppyjä lisäpainolla, mikä on saattanut vaikuttaa MVC-tulokseen. Requanan ym. (2009) tutkimuksessa MVC- ja CMJ-testit suoritettiin eri päivinä. Toisaalta taas Boraczyńskin ym. (2021) tutkimuksessa kyseiset testit suoritettiin samana päivänä, joten väsymyksen vaikutusta tuloksiin on kuitenkin haasteellista arvioida. Tutkittavien määrä oli tässä tutkimuksessa lähes kolminkertainen verrattuna Boraczyńskin ym. (2021) ja Requanan ym. (2009) tutkimuksiin, mikä saattaa osaltaan selittää tuloksia jo aiemmin mainitun poikkeavien arvojen pienemmän vaikutuksen myötä.

Mitä vähemmän hyppyvastuksia on käytössä, sitä vähemmän hyppysuorituksia joudutaan tekemään. Tämä taas vähentää mahdollista suorituksen aiheuttamaa väsymystä ja sen vaikutusta tuloksiin. (García-Ramos ym. 2021) Tässä tutkimuksessa väsymys on saattanut vaikuttaa erityisesti suuremmilla kuormilla tehtäviin hyppyihin suorituskykytestien loppupuolella tai jo aiemmin mainittuun MVC:hen, jonka mittaus suoritettiin vasta kevennyshyppujen jälkeen. Väsymys on siis voinut vaikuttaa sekä f-v-profiilin ja MVC:n väliseen korrelaatioon, että myös CMJ:n ja MVC:n väliseen korrelaatioon, jotka molemmat jäivät alle tilastollisen merkitsevyyden.

Väsyyksen myötä myös kyykkisyvyys saattaa jäädä huomattavasti tavoiteltua pienemmäksi. Mittauksissa ohjeistettiin tutkittavia tavoittelemaan 90 asteen polvikulmaa kevennyshyppyjä suorittaessa, mutta syvyyttä tarkasteltiin kuitenkin vain silmämääräisesti hyppysuoritusten aikana. Koska f-v-profiilin laskemisessa käytetään 90 asteen kyykkisyvyyden avulla mitattua  $h_{po}$ :ta, on mahdollista, että virheellinen mittaustulos vaikuttaa laskettavaan voiman (F) arvoon ja siten koko profiilin muodostumiseen. Toisaalta hyppykorkeus saattaa jäädä pienemmäksi ponnistussyvyyden pienentyessä, mikä saattaa johtua esimerkiksi vähäisemmästä voimantuottoon käytettävissä olevasta ajasta (Pérez-Castilla ym. 2021). Tällöin myöskään virheellisen  $h_{po}$ :n vaikutus laskukaavan tulokseen ei välttämättä ole kovin merkittävä. Ponnistussyvyyttä on kuitenkin syytä tarkkailla mittausten aikana tulosten luotettavuuden takaamiseksi (Valenzuela ym. 2021). Kevennyksen syvyyden ja nopeuden on todettu vaikuttavan vertikaalihypyn korkeuteen (Pérez-Castilla ym. 2021), joten vaihtelu näissä voi vaikuttaa paitsi f-v-profiilin tulokseen, myös itsessään CMJ:n korkeuteen.

F-v-profiilin tuloksiin on voinut vaikuttaa tutkimuksessa käytettävien mittapisteiden määrä. Tässä tutkimuksessa f-v-profiilin luomiseen käytettiin neljää eri hyppyvastusta; kehon painoa, sekä kolmea eri suuruista kehon painoon suhteutettua lisäpainoa. Fessl:n ym. (2020) mukaan viiden tai useamman mittapisteen menetelmää on pidetty parhaana menetelmänä profiilin luomiseen. Toisaalta kuitenkin Šarabon ym. (2020) ja García-Ramos ym. (2021) ovat todenneet, että f-v-profiili voidaan määrittää luotettavasti myös vain kahdella eri hyppyvastuksella, mikäli kuormat ovat riittävän kaukana toisistaan. Mikäli vastus on testattavalle liian helppo, profiilin  $F_0$ -arvo yliarvioituu ja  $V_0$ -arvo aliarvioituu, mikä taas vaikuttaa profiilin kulmakertoimeen (García-Ramos ym. 2021). On mahdollista, että vaikka tutkimuksessa käytettiin kehon painoon suhteutettuja lisäpainoja, ovat ne saattaneet olla joillekin tutkittaville liian suuria ja joillekin liian pieniä. García-Ramos ym. (2021) ovat todenneet, että luotettavin f-v-profiili saataisiin aikaan, mikäli suurimmalla lisäpainolla suoritettun hypyn korkeus olisi noin 10 cm. Tässä tutkimuksessa 50 % lisäpainolla suoritettun kevennyshypyn tulos oli  $15,0 \pm 3,1$  cm ja ainoastaan kahdella tutkittavalla tulos jäi alle 10 cm. García-Ramos ym. (2021) toteamukseen peilattuna suurin lisäpaino on ollut suurimmalle osalle tutkittavista liian kevyt.

Isometrisen maksimivoiman mittaaminen välttämättä ole optimaalisin tapa maksimivoiman ja f-v-profiilin välisen yhteyden tarkasteluun. Šarabon ym. (2020) esittivät tutkimusartikkelissaan, että f-v-profiili saattaisi korreloida paremmin dynaamisen maksimivoiman kanssa. Heidän



mukaansa tutkittava saattaa isometrisessä suorituksessa saada tuotettua suuremman voiman kuin dynaamisessa suorituksessa. Syynä tähän voi olla esimerkiksi ero suoritusten stabiliteetissa. Myös isometrisen suorituksen vastaavuus kevennyshypyn suoritustavan kanssa voi vaikuttaa muuttujien väliseen yhteyteen. Esimerkiksi isometrinen kyykky valjaiden kanssa toteutettuna saattaisi korreloida f-v-profiilin kanssa voimakkaammin kuin isometrinen jalkaprässi tai polven ojennus. Aiheesta tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimustietoa, jotta syitä voidaan pohtia luotettavammin. (Šarabon ym. 2020)

Mielenkiintoista tulosten osalta on se, kuinka kehonkoostumus korreloi hyvin voimakkaasti kevennyshypyn kanssa, mutta vastaavaa yhteyttä ei kuitenkaan havaittu f-v-profiilin kohdalla. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että kehonkoostumus ei olisi niin suuressa roolissa voima- ja nopeusominaisuuksien tasapainon kanssa kuin se on hyppysuorituksessa. Tuloksiin saattaa vaikuttaa osittain f-v-profiilin määrittämiseen liittyvät haasteet. Lisäksi on mahdollista, että osa tutkittavista omaa paremman hyppytekniikan, mikä saattaa vaikuttaa erityisesti lisäpainoilla tehtävien hyppysten korkeuteen ja edelleen f-v-profiilin tulokseen huomattavasti. Kehonkoostumuksen yhteys lisäpainohyppyihin ei siis välttämättä ole yhtä voimakas kuin sen yhteys kehon painolla tehtäviin kevennyshyppyihin.

### **8.3 Tutkimuksen haasteet ja vahvuudet sekä jatkotutkimusaiheet**

Tutkimuksen vahvuuksina voidaan katsoa olleen jokseenkin laaja otoskoko, sekä se, että kaikille 60:lle tutkittavalle saatiin luotua f-v-profiili. Otoskoko oli suurempi kuin useassa aiemmassa naispallolijoiden kehonkoostumuksen ja vertikaalihypyn välistä korrelaatiota tarkastelevissa tutkimuksissa (Akdoğan & Güven 2021; Copic ym. 2014; Lilić ym. 2022; Petruț-Florin ym. 2021). Tämä lisää tulosten luotettavuutta, sillä kuten jo edellisessä kappaleessa mainittiin, suurempi otoskoko pienentää poikkeavien arvojen vaikutusta.

Tutkimuksen selkeänä haasteena oli aiemman tutkimustiedon puute ja heikko sovellettavuus tämän tutkimuksen tutkimusasetelmaan. Erityisesti f-v-profiilin korrelaatioista löytyi tutkimustietoa todella rajallisesti, eikä aiempien tutkimusten tutkimusasetelma ollut suoraan verrattavissa tämän tutkimuksen asetelmaan. Esimerkiksi Morales-Artachon ym. (2018) tutkimuksessa voima-nopeusprofiilin yhteyttä maksimivoimaan tarkasteltiin usean f-v-profiilin muuttujan osalta ( $F_0$ ,  $V_0$  ja  $FV$  slope). Myös Šarabon ym. (2020) tutkimuksessa MVC:n

vertailukohteena olivat f-v-profiilin  $F_0$ - ja  $V_0$ -arvot. Tässä tutkimuksessa f-v-profiilin tarkastelu rajattiin vain yhteen profiilin muuttujaan, joka sekin erosi aiemmissa tutkimuksissa käytetyistä muuttujista. Vertailukelpoisempien tuloksien saavuttamiseksi f-v-profiilin tuloksia olisi suositeltavaa tarkastella jatkossa laajemmin eri muuttujien avulla.

Tutkimusasetelma erosi tässä tutkimuksessa aiemmista tutkimuksista myös MVC:n mittaamenetelmän osalta. Morales-Artacho ym. (2018) mittasivat MVC:tä polven ojennusliikkeellä ja Šarabon ym. (2020) takakyykyllä, kun taas tässä tutkimuksessa liikkeenä oli isometrinen jalkaprässi. Toisaalta tulokset ovat kuitenkin linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa, sillä korrelaatiota f-v-profiilin ja MVC:n väliltä ei löydetty aiemmissa tutkimuksissa, eikä myöskään tässä tutkimuksessa. Vaikka jalkaprässi vastaakin lihastyötavaltaan enemmän takakyykyä kuin esimerkiksi Morales-Artachon ym. (2018) tutkimuksessa käytetty polven ojennus, ei se välttämättä ole optimaalisin tapa maksimivoiman mittaukseen, mikäli halutaan tarkastella f-v-profiilin ja maksimivoiman välistä yhteyttä. Kuten jo aiemmin mainittiin, Šarabon ym. (2020) toivat tutkimusartikkelissaan esille ajatuksen dynaamisen maksimivoiman ja f-v-profiilin välisestä korrelaatiosta. Myös Requena ym. (2009) ovat esittäneet, että dynaamisen maksimivoiman mittaaminen olisi parempi tapa tarkastella maksimivoiman ja vertikaalihypyn korkeuden välistä yhteyttä. Tätä on perusteltu liikesuoritustavan paremmalla vastaavuudella, sekä motoristen yksiköiden rekrytoinnin eroilla isometrisen ja dynaamisen lihassupistuksen välillä. Tulevaisuudessa voitaisiin siis tarkastella esimerkiksi takakyykyn 1 RM -tuloksen ja f-v-profiilin tai CMJ:n välistä korrelaatiota ja verrata näitä tuloksia isometrisen maksimivoiman ja f-v-profiilin tai CMJ:n korrelaatioon.

Koska tutkimus toteutettiin poikkileikkausasetelmalla, ei päivittäisen vaihtelun tai väsymyksen vaikutusta tuloksiin voida luotettavasti arvioida. F-v-profiilin muuttujissa on havaittu jonkin verran päivittäistä vaihtelua, sekä myös vaihtelua eri mittaamenetelmien välillä (Valenzuela ym. 2021). Väsymyksen tai päivittäisen vaihtelun määrän tarkastelemiseksi tarvittaisiin mittauksia useammassa aikapisteessä, eikä niiden arviointi tässä tutkimuksessa onnistu poikkileikkausasetelman vuoksi. Mikäli näiden tekijöiden vaikutusta haluttaisiin arvioida, olisi siis tarpeellista suorittaa useampi mittaus eri aikapisteissä tai vaihtaa liikkeiden suoritusjärjestystä.

Tulosten vertailu eri ryhmien välillä rajattiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Tulosten jaottelu lajien mukaisesti saattaisi tuoda esille erilaisia korrelaatioita, sillä tutkittavat edustivat kolmea

keskenään jokseenkin erilaista palloilulajia. Esimerkiksi jääkiekossa ja koripallossa vaadittavat ominaisuudet ovat hyvin erilaisia. Petruț-Florin ym. (2021) vertailivat jalkapallon, käsipallon ja rugbyyn pelaajanaisten kehonkoostumuksen ja kevennyshypyn korrelaatioiden eroavaisuuksia. He havaitsivat eroja ryhmien välillä, mutta ne eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Harjoitus- tai lajitausta saattaa vaikuttaa myös f-v-profiilin tuloksiin. Samozino ym. (2014) havaitsivat rugbyyn pelaajien f-v-profiilin kallistuvan keskimäärin enemmän voimaominaisuuksien puolelle, kuin esimerkiksi jalkapalloilijoilla. He esittivät tämän johtuvan todennäköisesti eroista harjoittelusta: Rugbyyn pelaajat tekevät harjoituksissa enemmän lisäpainoa vastaan tehtävää työtä, mikä näkyy erityisesti lisäpainolla suoritettujen kevennyshyppyjen tuloksissa ja maksimitheon saavuttamisena korkeammalla lisäpainolla. Koska lajitausta voi vaikuttaa CMJ:n ja f-v-profiilin tuloksiin, olisi tulevaisuudessa syytä tarkastella tulosten yhteyttä maksimivoimaan ja kehonkoostumukseen jakamalla tutkittavat eri ryhmiin lajien mukaisesti.

On huomioitava, että f-v-profiilin keskiarvoinen tulos jäi alhaiseksi, ja lähes kaikkien tutkittavien profiili kallistui voimaominaisuuksien kehittämisen puolelle (kuva 12). Tulos on kuitenkin linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa, jonka mukaan voiman vaje on nopeuden vajautta yleisempää (Petridis ym. 2021; Samozino ym. 2014). Tutkittavien tulosten välillä oli jonkun verran eroja, vaikka kaikki tutkittavat olivatkin kansallisen tason palloilijanaisia. Osa tutkittavista saavutti esimerkiksi huomattavasti keskimääräistä korkeamman MVC-tuloksen (kuva 10). Myös kehon painolla suoritettujen CMJ:n tuloksissa oli jonkin verran eroja (kuva 9). Vaikka f-v-profiilin kohdalla ei havaittu tilastollisesti poikkeavia arvoja, oli profiilin yksittäisten arvojen välillä suuria eroja (kuva 12). Tutkittavien ryhmittely lajien mukaisesti toisi lisätietoa siitä, ovatko poikkeavat tai ääripäiden tulokset yhteydessä lajitaustaan.

Jo aiemmin mainitussa García-Ramoksen ym. (2021) tutkimuksessa esitettiin 10 cm olevan luotettava raja-arvo raskaimmalla kuormalla suoritettuun CMJ-tulokseen. Tässä tutkimuksessa suurimmalla kuormalla toteutetun kevennyshypyn keskiarvo oli 5 cm korkeampi. Jatkotutkimuksissa esimerkiksi viidennen kuorman lisääminen tarvittaessa voisi mahdollistaa luotettavamman profiilin tuloksen, sillä se pienentäisi mahdollisuutta profiilin  $F_0$ -arvon yliarvioitumiseen ja  $V_0$ -arvon aliarvioitumiseen (García-Ramos ym. 2021). Toisaalta tutkimuksen vahvuutena voidaan kuitenkin nähdä olleen kehon painoon suhteutetun lisäpainon käyttäminen valmiiksi määrättyjen lisäpainojen sijaan.

On myös huomioitava, että hyppysuorituksen perusteella tehdyn f-v-profiilin tulokset eivät välttämättä ole suoraan sovellettavissa muihin suorituksiin. Vertailtaessa pikajuoksun ja kevennyshypyn avulla luotuja f-v-profiileja on havaittu, että saman tutkittavan profiilit saattavat olla keskenään erilaiset (Marcote-Pequeño ym. 2019). Myös Bobbertin ym. (2023) mukaan f-v-profiili olisi spesifi tietylle liikesuoritukselle. Jotta profiilia voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää paremmin kenttäolosuhteissa ja valmentajien työkaluna harjoittelun ohjelmointiin, on sen määrittämiseen liittyviä rajoitteita ja tarkemmin sitä, mistä se todellisuudessa kertoo, tarkasteltava vielä laajemmin.

#### **8.4 Yhteenveto**

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella kehonkoostumus on tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä kevennyshypyn hyppykorkeuteen naispaloilijoilla. Lisäksi myös FFM:n ja f-v-profiilin välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys. MVC ei kuitenkaan ollut yhteydessä CMJ-tulokseen tai f-v-profiiliin.

Tulosten perusteella naispaloilijoiden kehonkoostumuksella on merkitystä vertikaalisuuntaisessa hyppysuorituksessa. Voima- ja nopeusominaisuuksien tasapainoon sillä ei kuitenkaan vaikuttaisi olevan yhteyttä. Tuloksiin saattaa vaikuttaa esimerkiksi profiilin määrittämiseen liittyvät rajoitteet, tutkittavien kokemus tai varmuus suorittaa lisäpainohyppyjä, sekä mahdollinen testien aikainen väsymys. Tämä tutkimus ei mahdollista syy-seuraussuhteiden tarkastelemista, vaan selittävien tekijöiden löytämiseksi tulee tehdä jatkotutkimusta.

## LÄHTEET

- Akdoğan, E. & Güven, B. (2021). Relationship between Body Composition, Agility and Vertical Jump Performance in Young Female Volleyball Players. *Turkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences* 13 (3), 352–357. doi:10.5336/sportsci.2020-80118.
- Álvarez, J. A. E., García, J. P. F., Conceição, F. A. D. & Jiménez-Reyes, P. (2019). Individualized Training Based on Force–Velocity Profiling During Jumping in Ballet Dancers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 15 (6), 788–794. doi:10.1123/ijsp.2019-0492.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M. & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences* 33 (15), 1574–1579. doi: 10.1080/02640414.2014.996184.
- Bobbert, M. F., Lindberg, K., Bjørnsen, T., Solberg, P. & Paulsen, G. (2023). The Force–Velocity Profile for Jumping: What It Is and What It Is Not. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 55 (7), 1241–1249. doi:10.1249/MSS.0000000000003147.
- Boraczyński, M., Boraczyński, T., Podstawski, R., Wójcik, Z. & Gronek, P. (2021). Relationships Between Measures of Functional and Isometric Lower Body Strength, Aerobic Capacity, Anaerobic Power, Sprint and Countermovement Jump Performance in Professional Soccer Players. *Journal of Human Kinetics* 75 (1), 161–175. doi: 10.2478/hukin-2020-0045.
- Copic, N., Dopsaj, M., Ivanovic, J., Nesic, G. & Jaric, S. (2014). Body Composition and Muscle Strength Predictors of Jumping Performance: Differences Between Elite Female Volleyball Competitors and Nontrained Individuals. *Journal of strength and conditioning research* 28 (0), 1–8. doi:10.1519/JSC.0000000000000468.
- Fessl, I., Fritz, J. & Kröll, J. (2020). Vertical Power-Force-Velocity Profiling: Reliability Comparison Of Multiple- And Two-Point Methods. *ISBS Proceedings Archive* 38 (1), 660–663.
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A. & Jaric, S. (2021). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics* 20 (3), 274–289. doi:10.1080/14763141.2018.1545044.
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Blanco, F., Conceicao, F., Cuadrado, V., González-Badillo, J. & Morin, J.-B. (2016). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International journal of sports physiology and performance* 12. doi:10.1123/ijsp.2015-0484.

- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M. & Morin, J.-B. (2017). Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Frontiers in Physiology* 7. doi:10.3389/fphys.2016.00677.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P. & Morin, J.-B. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLOS ONE* 14 (5), e0216681. doi:10.1371/journal.pone.0216681.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Badillo, J. J. & Morin, J.-B. (2017). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (1), 36–43. doi:10.1123/IJSPP.2015-0484.
- Kraska, J. M., Ramsey, M. W., Haff, G. G., Fethke, N., Sands, W. A., Stone, M. E. & Stone, M. H. (2009). Relationship Between Strength Characteristics and Unweighted and Weighted Vertical Jump Height. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 4 (4), 461–473. doi:10.1123/ijsp.4.4.461.
- Kushkestani, M., Ebrahimpour Nosrani, S., Parvani, M., Rezaei, S. & Kariminazar, N. (2019). Evaluation of the Relationship between Explosive Power and Anthropometric and Body Composition Indices in Female Volleyball Players. *New Approaches in Sport Sciences* 1 (1). doi:10.22054/nass.2019.10132.
- Lilić, A., Petković, E., Stanković, M. & Hadžović, M. (2022). Influence of Body Composition Parameters on Explosive Power Performance in Female Adolescent Football Players. *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport* 20 (3), 175–185. doi:10.22190/FUPES220826016L.
- Marcote-Pequeño, R., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Hernández, J. M., Gómez, M. Á. & Jiménez-Reyes, P. (2019). Association Between the Force–Velocity Profile and Performance Variables Obtained in Jumping and Sprinting in Elite Female Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 14 (2), 209–215. doi: 10.1123/ijsp.2018-0233.
- Morales-Artacho, A. J., Ramos, A. G., Pérez-Castilla, A., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., Fuente, B. de la & Feriche, B. (2018). Associations of the Force-velocity Profile with Isometric Strength and Neuromuscular Factors. *International Journal of Sports Medicine* 39 (13), 984–994. doi:10.1055/a-0644-3742.
- Nikolaidis, P. T. (2013). Body mass index and body fat percentage are associated with decreased physical fitness in adolescent and adult female volleyball players. *Journal of*

Research in Medical Sciences 18 (1), 22–26.

- Pérez-Castilla, A., Rojas, J. F., Gómez-Martínez, F. & García-Ramos, A. (2021). Vertical jump performance is affected by the velocity and depth of the countermovement. *Sports Biomechanics* 20 (8), 1015–1030. doi: 10.1080/14763141.2019.1641545.
- Petridis, L., Pálinkás, G., Tróznai, Z., Béres, B. & Utczás, K. (2021). Determining strength training needs using the force-velocity profile of elite female handball and volleyball players. *International Journal of Sports Science & Coaching* 16 (1), 123–130. doi: 10.1177/1747954120964043.
- Petruț-Florin, T., Gabriela, L. & Florentina-Petruța, M. (2021). Correlations Between Body Composition and Strength in Women's Soccer, Handball and Rugby. *Ovidius University Annals, Series Physical Education & Sport/Science, Movement & Health* 21 (2), 567–573.
- Requena, B., González-Badillo, J. J., Villareal, E. S. S. D., Erelina, J., García, I., Gapeyeva, H. & Pääsuke, M. (2009). Functional Performance, Maximal Strength, and Power Characteristics in Isometric and Dynamic Actions of Lower Extremities in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (5), 1391–1401. doi:10.1519/JSC.0b013e3181a4e88e.
- Riggs, M. & Sheppard, J. (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the counter-movement and squat jump. *Journal of Human Sport and Exercise* 4. doi:10.4100/jhse.2009.43.04.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P. & Morin, J.-B. (2014). Force-Velocity Profile: Imbalance Determination and Effect on Lower Limb Ballistic Performance. *International Journal of Sports Medicine* 35 (6), 505–510. doi:10.1055/s-0033-1354382.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F. & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of biomechanics* 41, 2940–2945. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.07.028.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F. & Belli, A. (2010). Jumping ability: A theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology* 264 (1), 11–18. doi:10.1016/j.jtbi.2010.01.021.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E. & Morin, J.-B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 26 (6), 648–658. doi:10.1111/sms.12490.

- Samozino, P., Rejc, E., Prampero, P., Belli, A. & Morin, J.-B. (2011). Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements—*Altius: Citius or Fortius?* *Medicine and science in sports and exercise* 44, 313–322. doi:10.1249/MSS.0b013e31822d757a.
- Šarabon, N., Kozinc, Ž. & Marković, G. (2020). Force–velocity profile during vertical jump cannot be assessed using only bodyweight jump and isometric maximal voluntary contraction tasks. *Scientific Reports* 10, 19127. doi:10.1038/s41598-020-76262-4.
- Valenzuela, P. L., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., Vázquez-Carrión, J., Montalvo, Z. & Haff, G. G. (2021). Should We Base Training Prescription on the Force–Velocity Profile? Exploratory Study of Its Between-Day Reliability and Differences Between Methods. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 16 (7), 1001–1007. doi:10.1123/ijsp.2020-0308.
- Voigt, H. & Vetter, K. (2003). The value of strength-diagnostic for the structure of jump training in volleyball. *European Journal of Sport Science* 3 (3), 1–10. doi:10.1080/17461390300073310.
- Warneke, K., Keiner, M., Lohmann, L., Hillebrecht, M., Wirth, K. & Schiemann, S. (2022). The Influence of Maximum Strength Performance in Seated Calf Raises on Counter Movement Jump and Squat Jump in Elite Junior Basketball Players. *Sport Mont Journal* 20. doi:10.26773/smj.220610.
- Warneke, K., Keiner, M., Schiemann, S., Lohmann, L. & Wirth, K. (2023). Influence of maximal strength performance in front squat and deadlift on linear sprint and jump performance in male youth elite basketball players. *German Journal of Exercise and Sport Research* 53 (1), 10–18. doi:10.1007/s12662-022-00863-6.