

**PONNISTUKSEN KONTAKTIAJAN MERKITYS HYPPYKORKEUTEEN JA  
ALARAAJOJEN NIVELKULMAN LAAJUUTEEN JOUKKUEVOIMISTELUN  
LAJIHYPPYSSÄ**

Elli Natunen

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto, Kevät 2019

Ohjaajat: Sami Kalaja & Vesa Linnamo

## TIIVISTELMÄ

Natunen, Elli. 2019. Ponnistuksen kontaktiajan merkitys hyppykorkeuteen ja alaraajojen nivelkulman laajuuteen joukkuevoimistelun lajihypyssä. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro-gradu tutkielma, 65 sivua, 2 liitettä.

Joukkuevoimistelu on Suomen suosituin voimistelulaji, joka vaatii monipuolisia fyysisiä ominaisuuksia sekä kokonaisliikunnallisia lajitaitoja. Fyysisistä ominaisuuksista nopeus korostuu erityisesti ohjelman hyppyjen vauhdinotoissa. Tämän tutkielman tarkoituksena on lisätä tietoa joukkuevoimistelun hyppyjen lajisuorituksessa tarvittavista nopeusominaisuuksista valmennuksen tueksi. Tutkielman tavoitteena oli tutkia joukkuevoimistelun tasaponnisteisen lajihypyn ponnistuksen kontaktiainaa ja hypyn liikelaajuutta, sillä onnistuneen lajisuorituksen perusedellytys on hypyn ilmalennon aikaisen muodon aikaansaaminen tehokkaasti. Tutkielmassa selvitetään ponnistuksen kontaktiajan merkitys hypyn korkeuteen, hypyn ilmalennon amplitudiin sekä hypyn ilmalennon aikaisen maksimimuodon saavuttamisen nopeuteen. Tässä tutkielmassa alaraajojen nivelkulman suuruudesta puhuttaessa käytetään joukkuevoimistelussa yleisesti käytössä olevaa termiä amplitudi.

Tutkimukseen osallistui 63 joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjassa voimistelevaa urheilijaa. Koehenkilöt suorittivat tasaponnisteisen harppaushypyn, josta mitattiin hyppykorkeus valokennojen avulla sekä videoanalyysistä hypyn amplitudi, ponnistuksen kontaktiainaa ja hypyn ilmalennon aikaisen maksimiamplitudin saavuttamisen nopeus. Lisäksi koehenkilöitä mitattiin jalkojen passiivinen yliliikkuvuus ylispageatista.

Tutkielman tuloksena hypyn ponnistuksen kontaktiainalla ei havaittu olevan merkitystä hypyn korkeuteen eikä hypyn amplitudiin. Sen sijaan ponnistuksen kontaktiainaa vaikutti siihen, kuinka nopeasti koehenkilöt saivat näytettyä maksimiamplitudin hypyn ilmalennon aikana; nopeammin ponnistavat voimistelijat saivat hypyn maksimimuodon valmiiksi nopeammin. Hyppykorkeuden ja hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin välillä havaittiin positiivinen korrelaatio, sillä korkeammalle hyppäävät koehenkilöt saivat näytettyä suuremman amplitudin hypyn ilmalennon aikana. Hypyn amplitudiin vaikuttaa lisäksi liikkuvuus, ja notkeammat voimistelijoiden hypyn ilmalennon aikainen amplitudi oli suurempi.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että ponnistuksen kontaktiajan nopeudella on vaikutus hypyn ilmalennon aikaisen maksimiamplitudin saavuttamisen nopeuteen. Hypyn amplitudiin vaikuttaa passiivinen liikkuvuus, ja korkeammalle hyppäävät voimistelijat pystyvät näyttämään suuremman amplitudin harppaushypyn ilmalennon aikana.

Avainsanat: ponnistuksen kontaktiainaa, hyppykorkeus, joukkuevoimistelu

## ABSTRACT

Natunen Elli. 2019. The effect of take-off's ground contact time on jump height and lower limbs' joint movement range on aesthetic group gymnastics' jump. The Faculty of Sports and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in Sport Coaching and Fitness Training. Master's thesis, 65 pp, 2 appendices.

Aesthetic group gymnastics is the most popular form of gymnastics in Finland. Athletes are required to obtain comprehensive and diverse physical skills to succeed in aesthetic group gymnastics. The importance of speed is elaborated especially during jumps and turns in the routines. The aim of this study is to increase knowledge on technical aspects of jumps to support coaches of aesthetic group gymnastics. This study examines speed as a success factor and how take-off's ground contact time impacts the jump height, the amplitude of the jump and how fast the gymnasts can perform their maximum amplitude during the jumps flight time. In this study amplitude means lower limbs' movement range.

The participants included 63 gymnasts from Finnish teams competing in the senior category. The subjects performed a split jump from two-foot take-off, of which their jump height was measured with photocells. The amplitude, take-off speed and the time from take-off to maximum amplitude in flight was analysed from video recording. In addition, subjects' flexibility was measured from over split.

As a result of this study, the take-off time did not influence the jump's height. However, the take-off time did influence the speed at which the maximum amplitude was obtained during the jump's flight time and the participants with faster take-off accomplished the maximum amplitude of the jump faster. Flexibility influences the jump's amplitude, the more flexible gymnasts had larger amplitude in their jump. Amplitude also correlates with jump height, and the subjects/participants with higher jumps showed larger amplitude in their jumps.

As a conclusion, take-off time does influence the speed of how fast the maximum amplitude can be accomplished during jump's flight time. Flexible gymnasts are able to achieve larger amplitude in split jump and the higher the jump the larger amplitude the gymnasts can perform.

Key words: take-off time, jump height, aesthetic group gymnastics

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 NOPEUS OMINAISUUTENA .....	4
2.1 Nopeuden luokittelu .....	5
2.1.1 Perusnopeus ja lajikohtainen nopeus .....	5
2.1.2 Reaktionopeus .....	5
2.1.3 Räjähävä nopeus.....	6
2.1.4 Liikenopeus .....	7
2.2 Lihassolujakauma .....	7
2.3 Venymis-lyhenemissykli .....	10
2.4 Nopeuden harjoittaminen .....	10
2.4.1 Ketteryys ja koordinaatioharjoittelu .....	12
2.4.2 Plyometrinen harjoittelu .....	12
3 NOPEUS JOUKKUEVOIMISTELUSSA .....	14
3.1 Hyppäämisen vaiheet.....	15
3.1.1 Vauhdinotto .....	16
3.1.2 Ponnistus.....	17
3.1.3 Ilmalento.....	20
3.1.4 Alastulo.....	21
3.2 Liikkuvuus.....	22
4 HYPYKORKEUDEN JA PONNISTUKSEN KONTAKTIAJAN MITTAAMINEN	24
4.1 Voimalevy .....	24

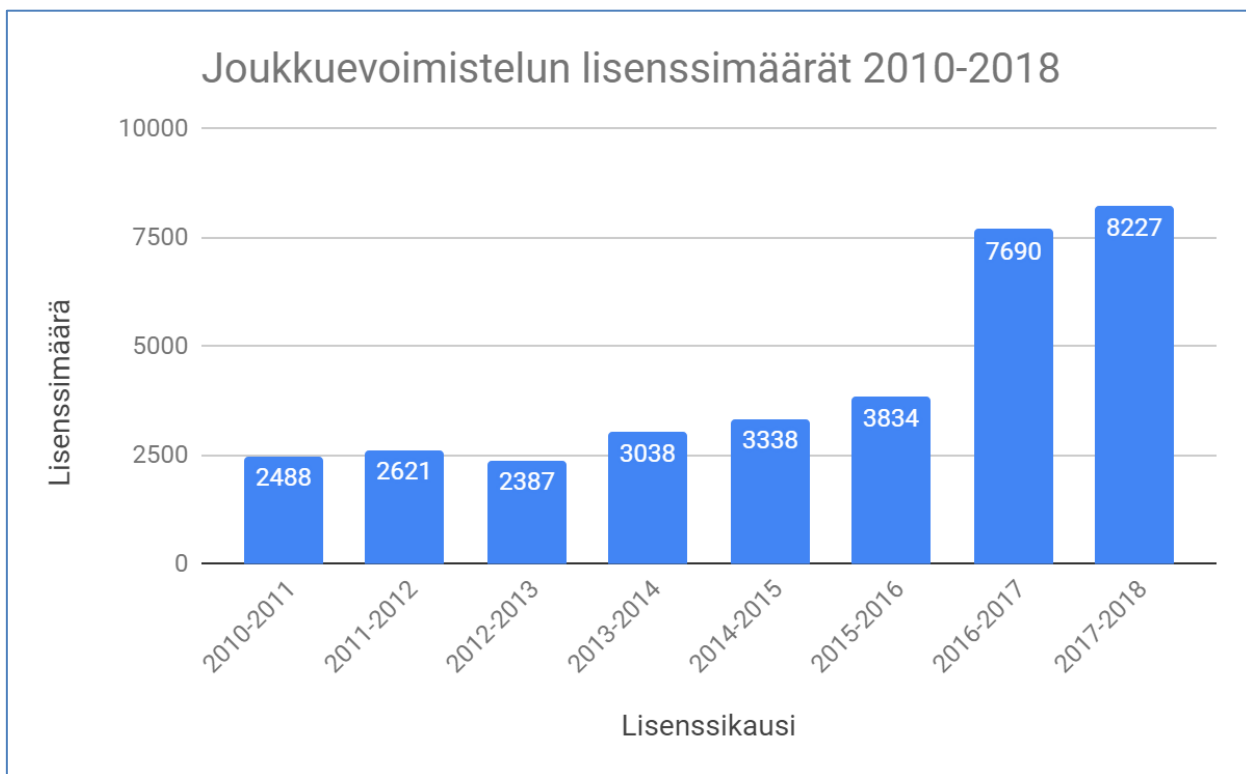
4.2	Tutkamittaus ja kiihtyvyyssanturit .....	25
4.3	Valokennojärjestelmä .....	25
4.4	Videoanalyysi .....	26
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	28
5.1	Hypoteesit .....	29
6	MENETELMÄT .....	30
6.1	Koehenkilöt .....	30
6.2	Koeasetelma .....	31
6.3	Alaraajojen liikkuvuuden määrittäminen .....	33
6.4	Hypyn muuttujien määrittäminen .....	34
6.5	Tilastolliset menetelmät .....	36
7	TULOKSET .....	38
7.1	Muuttujien välinen vertailu .....	38
7.2	Ryhmien välinen vertailu passiivisen liikkuvuuden perusteella .....	41
7.2.1	Oikea jalka .....	41
7.2.2	Vasen jalka .....	42
7.3	Ryhmien välinen vertailu menestyksen perusteella .....	42
7.3.1	Oikea jalka .....	43
7.3.2	Vasen jalka .....	43
8	POHDINTA .....	45
8.1	Tutkimuksen rajoitteet .....	50
9	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	52
10	LÄHTEET .....	54
11	LIITE 1 .....	61

12	LIITE 2 .....	64
----	---------------	----

## 1 JOHDANTO

Joukkuevoimistelu on kehittynyt suomalaisesta naisvoimistelusta kansainväliseksi huippu-urheilulajiksi, jossa kilpailuohjelman vaaditut taito-osa yhdistetään virtaavaksi, taiteelliseksi kokonaisuudeksi. Joukkuevoimistelu on kasvattanut suosiotaan tasaisesti Suomessa (Taulukko 1), ja nykyisin lajia voi harrastaa kolmella eri sarjatasolla; mestaruus-, kilpa tai harrastesarjassa. Joukkuevoimistelu on harrastajamäärillä mitattuna Voimisteluliiton voimistelulajeista ylivoimaisesti suosituin, ja kaudella 2017-2018 joukkuevoimistelussa kilpailevien lisenssiurheilijoiden määrä oli 8227 (Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2018). Joukkuevoimistelun Maailman Mestaruudesta on kilpailtu vuodesta 2000 alkaen, ja Suomi on joukkuevoimistelussa maailman parhaiten menestynyt maa yhteensä 10 MM-kultamitalilla (Voimisteluliitto, 2018).

TAULUKKO 1 Joukkuevoimistelun lisenssiurheilijoiden määrä vuosina 2010-2018 (Voimisteluliiton vuosikertomukset 2010-2018)



Joukkuevoimistelun 2,5 minuuttia kestävässä kilpailuohjelmassa vaadittavia liikkeitä ovat hyppy-, tasapaino- sekä vartalon liikkeet, jotka 6-10 hengen joukkue suorittaa yhtenäisesti musiikin tahtiin (IFAGG, 2018). Joukkuevoimistelun kilpailuohjelmasta jaetaan pisteet kolmesta eri osa-alueesta: sommittelun teknisestä arvosta (mestaruussarjassa maksimissaan 6.0 pistettä), sommittelun taiteellisesta arvosta (mestaruussarjassa maksimissaan 4.0 pistettä) sekä suorituksesta (maksimissaan 10.0 pistettä), jolloin kilpailuohjelman maksimipistemäärä on 20.0 pistettä. Jokaista osa-aluetta arvioi neljästä tuomarista koostuva tuomaripaneeli. Tekniset pisteet sisältävät ohjelman vaaditut taito-osat, joita ovat hyppy- tasapaino- ja vartalon liikkeet sekä niiden yhdistelmät. Taiteellinen tuomaristo arvioi voimistelun laatua, ohjelman monipuolisuutta, omaperäisyyttä sekä ilmaisuvoimaa. Suoritustuomaristo arvioi ohjelman yhtäaikaaisuutta ja yhtenäisyyttä, fyysisiä valmiuksia sekä terveydellisiä näkökulmia. (IFAGGb, 2018.)

Joukkuevoimistelu vaatii urheilijalta monipuolista fyysisten ominaisuuksien hallintaa sekä kokonaisliikunnallisia lajitaitoja, jotta lajiliikkeet voidaan suorittaa puhtaasti, hallitusti ja turvallisesti (IFAGG, 2018). Fyysisistä ominaisuuksista liikkuvuus ja voima mahdollistavat suoriutumisen suuren liikelaajuuden vaativista liikkeistä, ja voiman lajeista erityisesti kesto- ja nopeusvoiman merkitys korostuu lajissa (Takala 2010). Ohjelmasta suoriutuminen vaatii hyvää anaerobista kestävyyttä, sillä kilpailuohjelma suoritetaan maksimikestävyysalueella, ja ohjelman lopussa veren laktaattipitoisuus on korkea (Gateva, 2014). Lisäksi kilpailuohjelma vaatii voimistelijalta nopeuden osa-alueista erityisesti reaktionopeutta, räjähtävää nopeutta, liikenopeutta sekä nopeustaitavuutta (Takala 2010). Liikenopeuden ollessa suurempi, kilpailuohjelmaan voidaan sisällyttää enemmän liikkeitä, liikesarjoja ja liikkeiden variaatioita, jolloin ohjelman vaikeusosien lisäksi ohjelmaan voidaan lisätä näyttävyyttä ja taiteellisuutta esimerkiksi yhteistyöliikkeillä ja muilla taiteellisilla elementeillä.

Suuresta suosiostaan huolimatta joukkuevoimistelun lajiantalyysia on tehty vähän. Tämän tutkielman toimeksiantaja on Voimisteluliitto. Tutkimuksen tarkoituksena on lisätä tietoa joukkuevoimistelun lajisuorituksesta valmennuksen tueksi tutkimalla nopeusominaisuutta menestystekijänä joukkuevoimistelussa erityisesti joukkuevoimisteluohjelmassa vaadittavien hyppejen ja niiden ponnistuksien näkökulmasta. Tutkimuksen tavoite on selvittää naisten mestaruussarjassa voimistelevien urheilijoiden hypyn ponnistuksen kontaktiaika,



hyppykorkeus, hypyn ilmalennon aikainen amplitudi sekä hypyn maksimimuodon saavuttamisen nopeus tasaponnisteisessa harppaushypyssä. Lisäksi tutkimuksessa vertaillaan edellä mainittuja muuttujia passiivisen liikkuvuuden sekä menestyksen perusteella jaettujen ryhmien välillä. Tässä tutkimuksessa amplitudilla tarkoitetaan alaraajojen nivelkulman suuruutta, sillä joukkuevoimistelun lajitermistössä amplitudilla tarkoitetaan spagaatiasennon nivelkulman laajuutta (IFAGGb, 2018).

## 2 NOPEUS OMINAISUUTENA

Nopeus on fyysinen ominaisuus, jolla mitataan liikkeen määrää ja suuntaa eli paikan muutosta tietyssä ajassa, tai tietyssä aikayksikössä kuljettua matkaa (Magill & Anderson, 2017, 38). Lähes kaikki urheilusuoritukset perustuvat nopeudelle, ja nopeus on keskeinen tekijä kilpaurheilussa, vaikkakin nopeuden tärkeys ilmenee eri tavoin esimerkiksi nopeus- tai kestävyyslajeissa (Young, James & Montgomery, 2002; Jeffreys, 2013; Gamble, 2011).

Nopeus ilmaistaan yksikkönä  $v$  (*velocitas*), ja pyörivässä liikkeessä nopeuden yksikkö on kulmanopeus. Nopeuden  $v$  laskennallinen kaava on

$$v = \frac{s}{t}$$

missä  $s$  on kuljettu matka ja  $t$  matkaan käytetty aika. SI-järjestelmässä nopeuden yksikkö on metriä sekunnissa (m/s), mutta suurempia nopeuksia ilmaistaan myös yksiköllä kilometriä tunnissa (km/h). (Magill & Anderson, 2017, 38.)

Nopeuden mittaaminen antaa epäsuoraa tietoa hermolihasjärjestelmän kyvystä suoriutua liiketoiminnoista kontrolloidusti lyhyessä ajassa. Hermolihasjärjestelmän toimintaan vaikuttaa lihassolujen rekrytointinopeus, sillä nopeuden tuottaminen edellyttää työskentelevien agonisti-antagonisti lihasparien tehokasta hermostollista käskytyä, jolloin lihasten keskinäinen supistumisen ja rentoutumisen vaihtelu on mahdollista toteuttaa nopeasti (Van Cutsem, Duchateau & Hainaut, 1998). Liikenopeuden lisäksi nopeutta mitattaessa oleellista on liikkeen suorittamisen kontrolli, sillä antagonisti-agonisti lihasparien toiminnan säätelyn mahdollistaa liikkeen hallinta ja koordinaatiokyky (Kauranen & Nurkka, 2010, 327). Hyvä liikehallinta mahdollistaa motoristen yksiköiden rekrytointitason noston ja voiman lisäämisen suorituksessa, joka kasvattaa nopeuden tuottoa (Magill & Anderson, 2017, 38; Enoka, 2008, 210).

## **2.1 Nopeuden luokittelu**

Nopeus jaetaan edelleen perusnopeuteen, lajikohtaiseen nopeuteen, reaktionopeuteen, räjähtävään nopeuteen ja liikenopeuteen (Mero ym, 2016, 242).

### **2.1.1 Perusnopeus ja lajikohtainen nopeus**

Perusnopeudella tarkoitetaan hermo-lihasjärjestelmän yleistä toimintakykyä esimerkiksi juoksusuorituksen aikana. Perusnopeus on pitkälti geeniperimästä ja erityisesti lihassolujakaumasta riippuva ihmiselle ominainen nopeus, joka on saavutettu ilman erityistä harjoittelua. (Magill & Anderson, 2017, 39.)

Lajikohtainen nopeus käsittää yksittäisessä urheilulajissa tärkeät nopeusominaisuudet. Lajikohtaisen nopeuden harjoittamiseksi kehitetyt lajispesifit nopeusharjoitteet pyrkivät keskittymään urheilijan lajikohtaisen nopeuden harjoittamiseen. (Kauranen & Nurkka, 2010, 327-328.) Joukkuevoimistelussa lajikohtaista nopeutta vaaditaan esimerkiksi pyöriä tasapainoliikkeiden, hyppyjen ja vartalonliikkeiden suorittamiseksi. Joukkuevoimistelussa lajikohtaisia nopeusharjoitteita ovat esimerkiksi erilaiset nopeat askelsarjat sekä akrobatialiikkeet.

### **2.1.2 Reaktionopeus**

Reaktionopeudella tarkoitetaan aikaa, joka kuluu aistiärsyksen vastaanottamisesta liikevasteen syntymiseen. Reaktionopeus ei siis käsitä liikettä, vaan aikaa reagoitavan ärsyksen havaitsemisesta siihen, että liike alkaa. Kokonaisreaktioaika koostuu esimotorisesta ja motorisesta vaiheesta, joita molempia vaaditaan liikevasteen syntymiseen. Esimotorisella reaktioajalla tarkoitetaan aikaa ärsyksen havaitsemisesta lihasaktiivisuuden alkuun. Motorisella reaktioajalla puolestaan tarkoitetaan aikaa lihasaktiivisuuden alkamisesta voimantuoton syntymiseen. (Magill & Anderson, 2017, 28-30.)

Reaktionopeus on perinnöllinen ominaisuus, johon pystytään vaikuttamaan jonkin verran säännöllisellä, lajikohtaisella harjoittelulla. Reaktionopeuden harjoittamisessa keskitytään lyhentämään reaktioaikaa, eli harjoittelun pyrkimyksenä on parantaa hermoston kykyä käsitellä viestiä ja nopeuttaa viestin kulkua motorisiin yksiköihin. Reaktionopeuden kehittäminen vaatii pitkällä aikavälillä paljon erilaisia nopeusharjoitteita. (Mero, ym., 2016, 243.) Ärsyke, johon liikevasteella pyritään reagoimaan voi kohdistua kuulo-, näkö- tai tuntoaistiin (Magill & Anderson, 2017, 28).

Sen lisäksi, että reaktionopeus kuvastaa aikaa ärsykkeen havaitsemisesta liikkeen syntymiseen, reaktionopeus kuvastaa henkilön vuorovaikutusta suoritussympäristöön, ja sitä miten aistihavainnot vaikuttavat liikkeeseen (Magill & Anderson, 2017, 29). Joukkuevoimistelussa reaktionopeutta tarvitaan esimerkiksi kilpailusuorituksen aikana tapahtuviin suunnanmuutoksiin liikkeiden aikana (Kioumourtzoglou, ym., 1997).

### **2.1.3 Räjätävä nopeus**

Räjätävällä nopeudella tarkoitetaan liikettä, jossa pyritään tuottamaan mahdollisimman suuri voima mahdollisimman lyhyessä ajassa. Räjätävä nopeus on kertaluontoista eli asyklistä, räjätävästä voimasta muodostuvaa liikettä, ja räjätävää nopeutta tarvitaan esimerkiksi erilaisissa ponnistuksissa. (Flanagan & Comyns, 2008; Cronin, McNair & Marshall, 2001). Räjätävän nopeuden tuotto on riippuvainen nopeusvoimasta, (Haff & Triplett, 2015, 523; Mero, ym., 2016, 244) ja räjätävä nopeus kehittyy nopeus- ja maksimivoiman lisääntyessä murrosiässä (Papaiakovou, ym., 2009). Räjätävän nopeuden tuottoon vaikuttaa urheilijan kyky hyödyntää venymis-lyhenemissyklissä tuotettua elastista energiaa, jonka avulla liikkeen voimantuottoa saadaan lisättyä (Flanagan & Comyns, 2008; Wilson & Flanagan, 2008).

Suurimmassa osaa urheilulajeja voiman tuottaminen mahdollisimman nopeasti on enemmän tavoittelemisen arvoista kuin maksimaalinen voimantuotto, jolloin räjätävän nopeuden merkitys suorituksessa korostuu (Haff & Triplett, 2015, 523). Joukkuevoimistelussa räjätävän nopeuden merkitys on suuri, ja räjätävää tarvitaan erityisesti kilpailuohjelman hyppyjen vauhdinotoissa ja ponnistuksissa (Miletić, Katić & Maleš, 2004).

## 2.1.4 Liikenopeus

Liikenopeus kuvaa yhden eriytyneen liikkeen suoritusnopeutta sekä nopeuden säilyttämistä syklisessä liikkeessä kuten juoksussa. Liikenopeuden hallinta on oleellista suojareflekseissä, sekä tasapainon ja juoksunopeuden säilyttämisessä. (Kauranen & Nurkka, 2010, 328.) Liikkumisnopeudella tarkoitetaan kykyä siirtyä nopeasti paikasta toiseen, ja se voidaan jakaa submaksimaaliseen ja maksimaaliseen nopeuteen. Submaksimaalisella liikkumisnopeudella tarkoitetaan 96-99% nopeutta maksiminopeudesta, ja maksimaalisella nopeudella tarkoitetaan urheilijan 100% nopeuskapasiteettia. Liikkumisnopeudesta puhuttaessa voidaan tarkoittaa nopeutta kiihdytysvaiheessa, vakionopeuden vaiheessa, nopeuden vähenemisen vaiheessa tai nopeudesta suorituksen kaikkien vaiheiden kokonaisuudessa. (Mero, ym., 2016, 242.) Joukkuevoimistelussa liikenopeutta tarvitaan erityisesti hyppyjen vauhdinotoissa sekä erilaisissa siirtymisissä kilpailuohjelman aikana.

## 2.2 Lihassolujakauma

Luurankolihasien lihassolut jaetaan I-tyyppin hitaisiin lihassoluihin sekä II-tyyppin nopeisiin lihassoluihin, joiden välinen suhde vaihtelee henkilöstä ja lihaksesta riippuen geeniperimän mukaan. I-tyyppin hitaat lihassolut ovat kestäviä ja ne voivat varastoida energiaa tehokkaasti, mutta niiden anaerobinen kapasiteetti sekä kyky tuottaa voimaa nopeasti on heikko. (Haff & Triplett, 2015, 9; McArdle, Katch & Katch, 2010, 371.; Taulukko 2.)

Nimensä mukaisesti nopeat, II-tyyppin lihassolut mahdollistavat nopean voimantuoton ja lihaksen nopean supistumisen. II-tyyppin lihassolut supistuvat nopeasti, niiden rekrytointinopeus on suuri, myosiini ATPaasi-aktiiviteetti korkea ja niiden aktiopotentiaalinen siirtokapasiteetti on suuri. Nopeat lihassolut kuitenkin väsyvät nopeasti ja niiden aerobinen kapasiteetti on matala. II-tyyppin lihassolut jaetaan edelleen IIa, IIb ja IIx tyyppiin, ja suurin ero näiden tyyppien välillä on ero niiden aerobisessa happikapasiteetissa. IIa tyyppin lihassolut edustavat nopeita oksidatiivisia, glykolyttisiä soluja. IIa tyyppin soluilla on nopea supistumisnopeus ja kohtuullisen hyvä kapasiteetti siirtää energiaa niin aerobisesti kuin anaerobisesti. IIb tyyppin lihassolut ovat nopeita ja glykolyttisiä. Niiden supistumisnopeus ja anaerobinen potentiaali on

kaikista suurin ja happikapasiteetti on alhaisin. Iix tyypin lihassolujen ominaisuudet ovat Iia ja Iib solujen välillä. (McArdle, Katch & Katch, 2010, 371.; Taulukko 2)

Nopeiden lihassolujen anaerobinen kapasiteetti on hyvä, ja lihassolut käyttävät energianlähteenä anaerobisesti tuotettua energiaa, adensiinitrifosfaattia (ATP) sekä kreatiinifosfaattia (KP). Näitä korkeaenergisii fosfaatteja kutsutaan välittömiksi energianlähteiksi, ja niitä voidaan varastoida lihaksiin muutamien sekuntien suoritusten tarpeisiin. ATP:ta syntyy soluhengityksessä, jossa ravinnosta saatava energia voidaan muuttaa ATP energiaksi. Soluhengitys alkaa sytoplasmassa tapahtuvassa anaerobisessa glykolyysissä, jossa ravinnosta saatava glukoosimolekyylä pilkootaan pyruvaattimolekyyleiksi. Tässä vaiheessa vapautuu 2 ATP molekyylä energiaa lihassolujen käyttöön. ATP synteesistä muodostunut ATP-molekyylä luovuttaa kreatiinille fosfaattiryhmän, jolloin syntyy kreatiinifosfaattia. Mikäli happea olisi saatavilla, soluhengitys jatkuisi glykolyysistä sitruunahappokierron kautta elektroninsiirtoketjuun, jonka seurauksena vapautuu jopa 34 ATP molekyylä. (McArdle, Katch & Katch, 2010, 135-138)

Mitä enemmän urheilijalla on nopeita lihassoluja, sitä enemmän hänellä on nopeus - kapasiteettia. Vaikka hitaiden ja nopeiden lihassolujen keskinäinen suhde määräytyy pääsääntöisesti geeniperimän mukaan, voidaan harjoittelulla vaikuttaa suuresti lihassolujen ominaisuuksiin ja aktivaatioon. (Jeffreys 2013, 3; Gamble, 2011, 4.) Nopeiden lihassolujen aktivaatiolla on suuri merkitys suunnanmuutoksia, tempon vaihtelua sekä nopeita pysähdyksiä ja liikkeellelähtöjä vaativissa lajeissa kuten joukkuevoimistelussa (McArdle, Katch & Katch, 2010, 371).

TAULUKKO 2 Luurankoli hasten lihassolutyy p i t ( mukailtu McArdle, Katch & Katch, 2010, 371)

Omi- naisuus ↓	Solu- tyyppi →	Tyy pin I lihassolut	Tyy pin IIa lihassolut	Tyy pin IIx lihassolut	Tyy pin IIb lihassolut
<b>Supistumis- nopeus</b>		Hidas	Kohtalaisen nopea	Nopea	Todella nopea
<b>Motoneuronin koko</b>		Pieni	Keskikokoinen	Suuri	Todella suuri
<b>Väsytyksen sietokyky</b>		Korkea, väsy hitaasti	Suhteellisen korkea	Keskiverto	Matala, väsy nopeasti
<b>Suoritus, jossa aktivoituu</b>		Aerobinen suoritus	Pitkäkestoinen anaerobinen suoritus	Lyhytkestoinen anaerobinen suoritus	Lyhytkestoinen anaerobinen suoritus
<b>Maksimi- suoritusaika</b>		Tunteja	< 30minuuttia	< 5 minuuttia	< 1 minuutti
<b>Voimantuotto</b>		Matala	Keskiverto	Korkea	Todella korkea
<b>Happi- kapasiteetti</b>		Korkea	Korkea	Keskiverto	Matala
<b>Glykolyttinen kapasiteetti</b>		Matala	Korkea	Korkea	Korkea
<b>Energianlähde</b>		Triglyseridi	Kreatiinifosfaatti, glykogeeni	Kreatiinifosfaatti, glykogeeni	Kreatiinifosfaatti, glykogeeni

### **2.3 Venymis-lyhenemissykli**

Kehon tuottamassa dynaamisessa lihastyössä, esimerkiksi hyppysuorituksissa, lihakset hyödyntävät venymis-lyhenemissykliä, joka mahdollistaa lihakseen varastoituneen elastisen energian hyödyntämisen liikkeen aikaisessa voimantuotossa. Kun aktivoitunutta lihasta venytetään lihastyön eksentrisessä vaiheessa, siihen varastoituu elastista energiaa, jota voidaan hyödyntää, kun välittömästi venytyksen jälkeen suoritetaan konsentrisen lihastyö. Konsentrisessa työssä elastista energiaa hyödyntämällä alustaan kohdistuu impulssi, jonka seurauksesta kehon painopiste muuttuu. Jotta impulssi olisi mahdollista suorittaa mahdollisimman taloudellisesti ja tehokkaasti, tulee konsentrisen vaiheen seurata välittömästi eksentristä vaihetta. Tähän vaikuttaa hermolihasjärjestelmän kyky aktivoida lihassolut ennen kontaktia alustaan sekä eksentrisen ja konsentrisen lihastyön aikana. Konsentrisesta lihastyöstä käytetään nimitystä positiivinen lihastyö, jossa lihas lyhenee supistuessaan. Eksentrisestä lihastyöstä puhutaan myös negatiivisena lihastyönä, jolloin lihas pidentyy supistuksen aikana. (Enoka, 2008, 210; Flanagan & Comyns, 2008.)

### **2.4 Nopeuden harjoittaminen**

Nopeudessa on kyse kyvystä tuottaa suuri määrä voimaa mahdollisimman lyhyessä ajassa. Voimantuoton kehittymisen mahdollistaa venymis-lyhenemissyklin optimointi, jolloin konsentrisen lihastyö seuraa eksentristä lihastyötä mahdollisimman nopeasti. Mitä nopeammin lihasta venytetään, sitä suurempi on tuotettu lihastyö. (Luebbbers, ym., 2003.; Enoka, 2008, 210.) Nopeuden harjoittaminen on syytä aloittaa mahdollisimman nuorena, jolloin koordinaation ja hermoston kehittymiseen voidaan vaikuttaa tehokkaasti (Young, McDowell & Scarlett, 2001). Nopeusharjoittelu on suositeltavaa suorittaa mahdollisimman lajinomaisesti. Nopeusharjoitteena lajisuoritus voidaan myös jakaa pienempiin osasuorituksiin, ja valittua osaa suoritetaan mahdollisimman nopeasti erillään kokonaissuorituksesta. Yleistä nopeusharjoittelua voidaan kuitenkin kehittää myös yli lajirajojen suoritettavilla harjoitteilla (Mero, ym., 2016, 245.), ja joukkuevoimistelussa lajikohtaisten harjoitteiden lisäksi nopeusharjoittelussa hyödynnetään esimerkiksi yleisurheilun harjoitteita.



Jotta nopeusharjoittelu tukee selkeästi nopeusominaisuuden kehittymistä, tulee harjoittelun täyttää nopeuden harjoittamisen periaatteet. Mero ym. esittelevät seitsemän periaatetta, joita nopeusharjoittelun toteuttamisessa tulisi hyödyntää nopeuden kehittymiseksi (2016, 246). Ensimmäinen periaate on harjoittelusuorituksen nopeus. Nopeusharjoitteet suoritetaan mahdollisimman nopeasti, maksimaalisessa nopeusharjoittelussa 96-100% vetomatkan ennätyksestä ja submaksimaalisessa suorituksessa 85-95% ennätyksestä. Toinen periaate on suorituksen kesto, nopeussuorituksen keston tulee olla 1-6 sekuntia, jotta energianlähteenä voidaan hyödyntää välittömiä energianlähteitä adensiinitrifosfaattia ja kreatiinifostaattia. Kolmas periaate on palautuminen. Nopeussuoritusten toistojen välillä palautuminen kestää nopeustasosta riippuen 2-9 minuuttia ja sarjojen välillä 6-12 minuuttia, jotta välittömät energialähteet palautuvat ja nopeussuoritus voidaan toteuttaa maksimaalisesti. Toistojen määrä on nopeusharjoittelun neljäs periaate, yhden nopeusharjoituksen aikana toistoja suositellaan tehtävän 5-10 maksimaalista nopeutta harjoitettaessa ja 10-20 submaksimaalista nopeutta harjoitettaessa. Viides nopeuden harjoittamisen periaate on palautumistila. Nopeuden kehittymiseksi nopeusharjoitteet täytyy suorittaa palautuneessa tilassa, muuten nopeutta vain ylläpidetään ja kehitetään nopeuskestävyyttä. Tahdonvoiman käyttö on nopeusharjoittelun kuudes periaate. Koska nopeussuoritukset ovat luonteeltaan maksimaalisia, tarvitaan tahdonvoimaa, jotta päästään haluttuun maksimaaliseen suoritukseen. Nopeusharjoittelun viimeinen, seitsemäs, periaate on ärsykkeen vaihtelu. Hermosto adaptoituu nopeusharjoitteluun, joten harjoitusvasteen saamiseksi nopeusharjoituksen sisältöä tulee vaihdella. (Mero, ym., 2016, 246.)

Kehittynyt nopeus on heijaste hermoston ominaisuuksien kehittymisestä, pääsääntöisesti maksimaalisen voimantuoton sekä nopeusvoiman kehittymisestä. Näihin ominaisuuksiin vaikuttaa lihasten rekrytointinopeus ja jänteiden elastisuus. (Haff & Triplett, 2015, 541.) Lyhytkestoiset nopeussuoritukset ovat kovatehoisia ja kestoltaan alle 10 sekunnin mittaisia, jolloin harjoituksen vaikutus pyritään kohdistamaan ensisijaisesti välittömiin energianlähteisiin adensiinitrifosfaattiin (ATP) ja kreatiinifostaattiin (KP). (Bencke, ym., 2002; McArdle, Katch & Katch, 2010., 163).

Ennen harjoitusta suoritettulla lämmittelyllä on suuri merkitys fysiologisissa toiminnoissa, joihin elimistön lämpötilalla on vaikutusta, kuten lihaksiston verenkiertoon, hapen

välittämiseen tehostamiseen sekä aktiopotentiaalin johtumisnopeuteen, joka vaikuttaa lihaksen supistumisnopeuteen. Lämmittelyllä pystytään lisäämään lihaksen maksimaalista voimantuottoa, joten esimerkiksi hyppykorkeus paranee lämmittelyn seurauksena. (Enoka, 2008, 305.) Lisäksi lämmittelyllä voidaan tehostaa keskushermoston hermoimpulssien välittymistä, joka on erityisen tärkeää lajeissa, joissa liikkeet ovat monivaiheisia ja joissa vaaditaan nopeita reaktioita erilaisiin ärsykkeisiin. (Bishop, 2003). Joukkuevoimistelussa lajiliikkeet ovat monivaiheisia, joten hermostoa aktivoiva lajinomaisia liikemalleja hyödyntävä lämmittely on tärkeää suorituksen optimoimiseksi.

#### **2.4.1 Ketteryys ja koordinaatioharjoittelu**

Ketteryys- ja koordinaatioharjoittelu on olennainen osa nopeusharjoittelua, sillä koordinaation ja ketteryyden kehittyminen tukee nopeuden kehittymistä. Ketteryysominaisuus käsitetään taitona reagoida nopeasti ulkoiseen ärsykkeeseen sekä kykynä muuttaa suuntaa sekä aloittaa ja pysäyttää liike nopeasti ja vaivattomasti. Ketteryysasuoritus on usein seurausta ulkoiselle aistiärsykkelle, jolloin havainnointitaitojen ja reaktiokyvyn merkitys korostuu. (Young & Farrow, 2006.) Esimerkiksi pallopeleissä pelin äkillinen suunnanmuutos vaatii nopeaa reaktiokykyä sekä ketteryyttä, jotta pelaaja voi liikkeellään reagoida suunnan muutokseen (Young, McDowell & Scarlett, 2001). Joukkuevoimistelun lajisuorituksessa ketteryyttä tarvitaan niin ikään suunnanmuutoksissa, mutta myös eri liikerekkojen (hyppyjen, tasapaino- ja vartalonliikkeiden) yhdistämisessä sekä liikkeiden suorittamisessa eri tasoissa.

#### **2.4.2 Plyometrinen harjoittelu**

Erilaiset hyppyharjoitteet ovat erityisen tehokkaita kehittämään alaraajojen räjähtävää nopeutta ja nopeusvoimaa. Tällaisia harjoitteita kutsutaan plyometriseksi harjoitteluksi. (Aura & Viitasalo, 1989; Flanagan & Comyns, 2008; Walsh, ym., 2004). Kuten muissakin nopeusharjoitteissa, räjähtävää nopeutta kehittävässä nopeusvoimaharjoitteissa pyritään saavuttamaan mahdollisimman suuri voima mahdollisimman lyhyessä ajassa, jotta venymis-lyhenemissyklissä varastoitunutta elastista energiaa voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti (Wilson & Flanagan, 2008). Tapoja toteuttaa plyometria harjoitteita on useita, mutta

harjoitteiden pääajatus on lyhyellä ja räjähtävällä päkiäkontaktilla suoritettu hyppysuoritus. Joukkuevoimistelussa pylometriaharjoitteet sisältävät esimerkiksi loikkia, pudotushyppyjä, yhden jalan ponnistuksia, tasaponnistuksia sekä harppauksia.

Useissa tutkimuksissa on todettu, että plyometrinen harjoittelu kehittää hyppykorkeutta (Markovic, 2007; Fouré ym., 2011, Luebbers, ym., 2003). Hyppykorkeuden parantuminen on seurausta jänne-lihas kompleksin mekaanisten ominaisuuksien kehittymisestä, jolloin jänne-lihas kompleksi pystyy hyödyntämään lihakseen varastoitunutta elastista energiaa sekä välittämään lihasjännitystä. Hermoston ominaisuuksien kehittyminen plyometrisen harjoittelun seurauksena kehittää hyppykorkeutta. Venymisrefleksin kehittyminen sekä tehostunut lihasaktivaatio ovat esimerkkejä hermostollisesta adaptaatiosta plyometrisen harjoittelun tuloksena. (Fouré ym., 2011; Wilson & Flanagan, 2008.)

Nopeusharjoittelussa on tärkeää huomioida suoritusten välinen palautuminen, jotta harjoitus kehittää juuri nopeusominaisuuksia. Plyometriaharjoittelun tavoitteena on kehittää hermostollista toimintaa, jolloin harjoitteet tulisi suorittaa täydellisesti palautuneena. Täydellinen palautumisaika hermostollisessa harjoittelussa on noin 2-3 minuuttia, jolloin kreatiinifosfaatti- ja ATP varastot ehtivät täyttyä. (McArdle, Katch & Katch, 2010, 168; Luebbers, ym., 2003.)

### 3 NOPEUS JOUKKUEVOIMISTELUSSA

Joukkuevoimistelun kilpailuohjelma laaditaan sääntöjen perusteella taiteelliseksi kokonaisuudeksi. Junioreiden 14–16 -vuotiaiden ja senioreiden yli 16-vuotiaiden mestaruussarjojen joukkueet noudattavat Suomen kansallisissa kilpailuissa sekä kansainvälisen voimisteluliitto IFAGG:in järjestämissä kansainvälisissä kilpailuissa kansainvälisiä sääntöjä, jotka vaativat liikkeiden suorittamista monipuolisesti tilaa käyttäen (joukkuevoimistelussa kilpailualueena toimii 13x13 metrin voimistelumatto) sekä eri tasoja hyödyntäen vähintään kahdeksassa erilaisessa kuviossa. Lisäksi ohjelman tulee sisältää nopeuden- ja voimankäytön vaihteluita. Vaikka musiikki ja koreografia määrittävät pitkälti ohjelman liikenopeuden ja liikemäärän, tulee vaadittavien liikkeiden löytyä ohjelmasta ja liikkeiden suoritustempon olla vaihteleva; ohjelmasta täytyy erottua nopeiden ja hitaiden liikkeiden vaihtelu. (IFAGGb, 2018.) Nopeudella ja nopeuden vaihtelulla kilpailuohjelmaan voidaan lisätä näyttävyyttä ja sitä kautta korottaa ohjelman taiteellista arvoa.

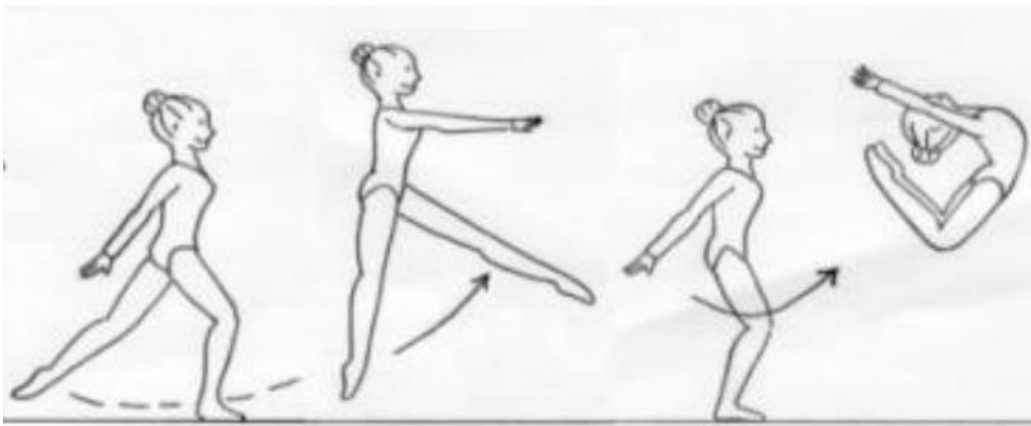
Joukkuevoimistelussa nopeuden osa-alueista korostuu erityisesti lajikohtainen nopeus, reaktionopeus, räjähtävä nopeus sekä liikenopeus. Näistä räjähtävän nopeuden rooli korostuu hyppyjen ponnistuksissa (Miletić, Katić & Maleš, 2004). Hyppyjen lisäksi nopeuden ja voimantuoton säätely on tärkeää myös ohjelman tasapaino- ja vartalonliikkeissä sekä siirtymisissä. Joukkuevoimisteluohjelman tulee sisältää dynaamisia tasapainoliikkeitä, esimerkiksi piruetit, sekä staattisia tasapainoliikkeitä. Tasapainoliikkeissä tasapainon muodon tulee erottua ja pysähtyä selkeästi. Tasapaino edellyttää hyvää lihashallintaa, sillä tasapainoasennon saavuttamiseen tarvitaan nopeutta, mutta tasapainoasento tulee pysäyttää, kun se on saavutettu. Vartalonliikkeissä tulee erottua voimankäytön vaihtelu, jolla tarkoitetaan nopeuden säätelyä liikkeen sisällä. (IFAGGb, 2018.)

Joukkuevoimisteluohjelmissa hyppyjä ponnistetaan joko tasaponnisteisesti kahdelta jalalta kahdelle jalalle, kahdelta jalalta yhdelle jalalle, yhdeltä jalalta yhdelle jalalle tai yhdeltä jalalta toiselle jalalle. Vauhdinotto tapahtuu liikkuvasta vauhdista, esimerkiksi juoksusta, pyörivästä vauhdista, esimerkiksi pyörivästä juoksusta, (Kuva 1) tai tasaponnistuksesta (Kuva 2). (IFAGGb, 2018.) Kilpailuohjelmassa maksimaalisen pistemäärän saavuttamiseksi hyppyjä vaaditaan vähintään seitsemän (IFAGGb, 2018). Kevään 2018 Maailman Mestaruuskilpailujen

kolmen mitalistijoukkueen kilpailuohjelmissa hyppyjä oli kahdeksan, joista tasaponnisteisia noin puolet ( $3 \pm 1$ ), eteenpäin liikkuvasta vauhdista ponnistettuja keskimäärin 3 ( $\pm 1$ ) ja pyörivästä vauhdista ponnistettuja hyppyjä keskimäärin 1 (+2) (Liite 1).



Kuva 1 Pyörivä vauhdinotto ja kaariharppaus (IFAGG, 2018)



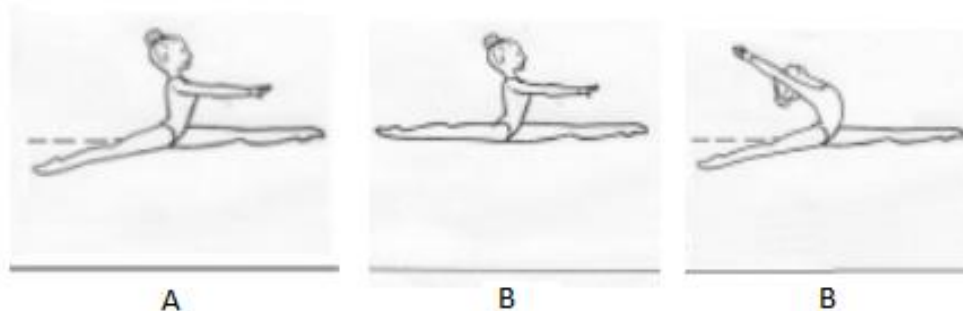
Kuva 2 Tasaponnisteinen vauhdinotto ja rengashyppy molemmat jalat koukussa (IFAGG, 2018)

### 3.1 Hyppäämisen vaiheet

Hyppääminen on liikettä, jonka aikana jalat irtoavat alustasta ja kehon massakeskipiste liikkuu ylöspäin. Päivittäiseen liikkumiseen, kuten kävelyyn, pyöräilyyn tai juoksuun, verrattuna hyppysuoritukset ovat nopeampia ja rasittavampia (Aura & Viitasalo, 1989). Hyppäämisellä on suorituksesta ja lajista riippuen erilainen tavoite; hyppysuorituksen voidaan tavoitella olevan esimerkiksi mahdollisimman nopea, mahdollisimman korkea tai mahdollisimman pitkälle

suuntautunut (Enoka, 2008, 157). Hyppysuorituksia yhdistää pyrkimys suorittaa hyppy mahdollisimman taloudellisesti ja tehokkaasti (Willwacher ym., 2017). Hypyn kokonaissuoritus jaetaan neljään vaiheeseen: vauhdinottoon, ponnistukseen eli ilmalennon alkamiseen, hypyn muodon saavuttamiseen ilmalennon aikana sekä alastuloon (Han & Han, 2010; Willwacher ym., 2017).

Joukkuevoimistelussa hyppyjen tavoite on tuottaa hallitun vauhdinoton jälkeen selkeä ilmalento, jonka aikana hypyn muoto erottuu selkeästi sekä kevyt ja kontrolloitu alastulo. Hypyt jaetaan A- ja B-hyppyihin hypyn arvon perusteella. B-hyppyistä joukkue saa enemmän pisteitä, ja niihin vaaditaan joko 360° pyöriminen hypyn aikana, vähintään yli 135° amplitudi tai 135° amplitudi yhdistettynä vartalon liikkeeseen hypyn aikana. (IFAGGb, 2018, Kuva 3.) Joukkuevoimistelussa ja tässä tutkielmassa vaikeusosien amplitudilla tarkoitetaan alaraajojen nivelkulman suuruutta.



Kuva 3 Esimerkki A-hypystä (harppaus, jossa amplitudi alle 135°) ja B-hyppyistä (harppaus, jossa amplitudi 180° sekä harppaus, jossa amplitudi vähintään 135° yhdistettynä vartalon taivutukseen) (IFAGGb, 2018.)

### 3.1.1 Vauhdinotto

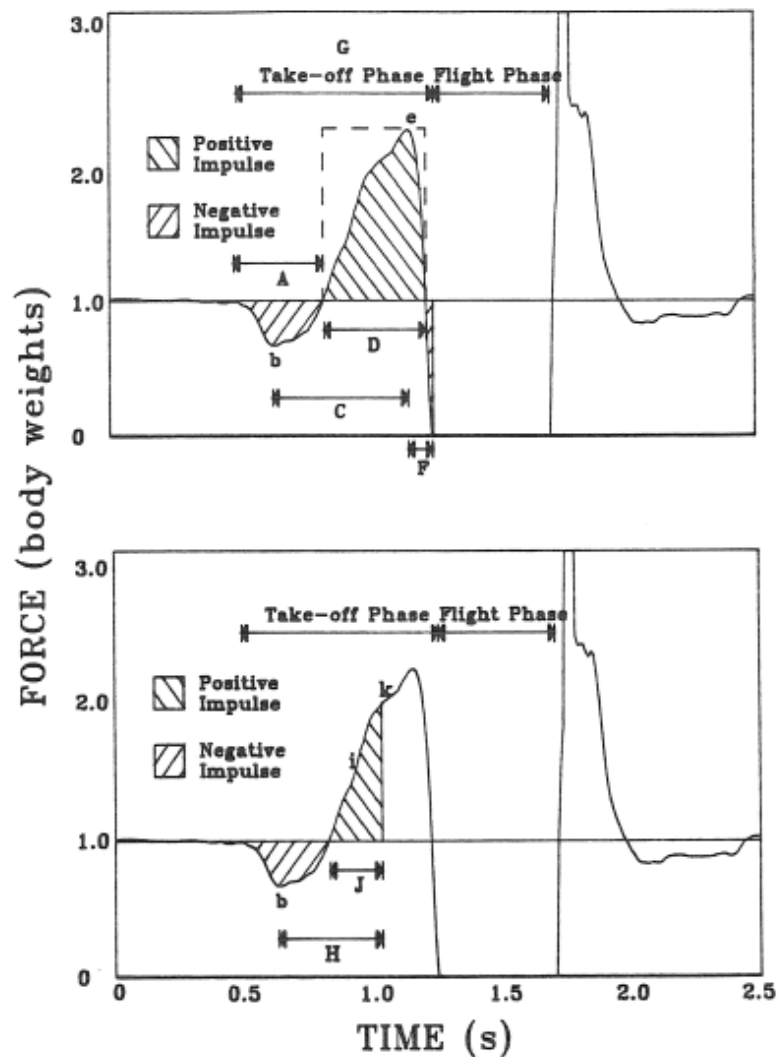
Hypyn vauhdinotolla tarkoitetaan vauhdin kiihdytystä aina ponnistukseen asti. Vauhdinotolla on suuri merkitys hypyn korkeuteen ja pituuteen, sillä mitä kiihtyvämpi ja nopeampi vauhdinotto on, sen korkeammalle ja pidemmälle urheilija voi hypätä. (Luhtanen & Komi, 1979.) Monissa lajeissa, kuten joukkuevoimistelun hyppyjen vauhdinotoissa, lajisuorituksessa ei ehditä eikä ole tarvettakaan kiihdyttää vauhtia maksimaaliseen nopeuteen, vaan suorituksen

kannalta maksiminopeutta merkittävämpi tekijä on vauhdinoton ensimmäisten askeleiden nopeus sekä kiihdytys (Cronin & Hansen, 2005). Hypyn vauhdinotossa ja hyppysuorituksessa on havaittu olevan selkeä korrelaatio läpi urheilulajien; mitä kontrolloidumpi ja teknisesti puhtaampi hypyn vauhdinotto on, sitä parempi on itse hyppysuoritus (Leite, 2013, Willwacher ym., 2017).

Joukkuevoimistelussa hyppyjen vauhdinotoissa edellytetään hyvää jalkatekniikka eli vauhdinoton askeleissa ja ponnistuksessa nilkkojen tulee ojentua. Joukkuevoimistelussa hyppyihin otetaan vauhtia juosten, tasaponnistuksesta tai pyörivästä vauhdista (IFAGGb, 2018; Liite 1). Vauhdinottoa ei ole määritetty säännöissä, mutta vauhdinottojen monipuolisuudella on mahdollista korottaa ohjelman taiteellista arvoa. Hyppyjä täytyy myös yhdistää eri liikesukuihin eli vartalo- ja tasapainoliikkeisiin, jolloin vauhdinoton askelmäärä on rajattu liikesukujen yhdistymiseksi. (IFAGGb, 2018.)

### **3.1.2 Ponnistus**

Ponnistuksella tarkoitetaan vaihetta vauhdinoton viimeisen askeleen lattiakosketuksesta siihen hetkeen, kun varpaat ovat irronneet lattiasta ja hypyn lentoaika alkaa. Ponnistuksen alin kohta määritetään siihen hetkeen, kun painopisteen vauhti pysähtyy. Ponnistuksessa alustaan kohdistuu suurin voima siinä vaiheessa, kun ponnistuksen alimmasta vaiheesta noustaan kohti ilmalennon alkamista (Kuva 4, Dowling & Vamos, 1993).



Kuva 4 Vertikaalihypyn voimantuoton vaiheet voimalevyllä mitattuna hypyn ponnistuksessa. (Dowling & Vamos, 1993)

Kuvassa 4 Dowling ja Vamos (1993) esittelevät voimalevyllä suoritetun vertikaalihypyn vaiheet. Kuvan vaihe A kuvastaa negatiivisen impulssin kestoa. Vaiheella *b* esitetään voimantuoton alhaisin vaihe, ja *C* kuvastaa kestoa minimivoimantuotosta maksimivoimantuottoon. *D*-vaiheella kuvataan ponnistuksen aikaisen positiivisen impulssin kestoa, ja *e* kuvastaa ponnistuksen aikana tuotettua maksimaalista voimaa. Vaihe *F* kertoo ajan maksimivoimantuotosta ponnistukseen ja *G* ponnistusvaiheen kokonaiskeston. *H*-vaiheella kuvataan kestoa alhaisimmasta voimantuotosta ponnistuksen alimpaan vaiheeseen ja *i*-vaiheella maksimaalista positiivisen voiman nousua. Kuvan vaihe *J* kuvastaa aikaa



maksimaalisesta negatiivisesta nopeudesta ponnistuksen alimpaan vaiheeseen ja  $k$  arvo kertoo voiman ponnistuksen alimmassa vaiheessa (Dowling & Vamos, 1993, 98, Kuva 4).

Onnistunut hyppy vaatii tehokkaan massakeskipisteen siirron ponnistusvaiheen aikana. Lihaksen elastisilla ominaisuuksilla on suuri rooli hyppyjen voimantuotossa, ja lihakseen varastoituneen elastisen energian hyödyntäminen hypyssä mahdollistaa suuremman voimantuoton, nopeamman ponnistuksen ja korkeamman hyppykorkeuden hypättäessä. (Willwacher ym., 2017; Luhtanen & Komi, 1979.) Schmidtleicher on tutkimuksiansa perusteella havainnut, että ponnistuksen kontaktiajan ollessa nopeampi kuin 0,25 sekuntia venymis-lyhenemissyklin nopea voimantuotto on vallitsevana (Flanagan & Comyns, 2008; Schmidtleicher, 1992 mukaan). Toisaalta ponnistuksen ollessa liian nopea, lihaksen voimantuotto ei ehdi nousta korkeaksi konsentrisen vaiheen jo alkaessa, jolloin elastista energiaa ei saada hyödynnettyä. Maksimaalisessa tahdonalaisessa lihastyössä lihasvoiman maksimaalinen saavuttaminen vie aikaa, tämä johtuu hermoston rajallisesta kyvystä lisätä lihasaktivaatiota. Esikevennetyssä ponnistuksessa lihaksen venytys ennen ponnistusta käynnistää selkäytimessä refleksivasteen joka auttaa lisäämään lihasaktivaatiota ja voimantuottoa. (Bobbert, ym., 1996.)

Dyhre-Poulsen tutki vuonna 1987 rytmisen voimistelun harrastajilta harppaushypyn suoritusta harppauksessa tuotettujen voimien, jalkojen lihasten elektromyografisen aktiivisuuden sekä videoanalyysin avulla. Tutkimuksessa havaittiin, että ponnistavalla askeleella on suuri merkitys hypyn korkeuteen, ja lisäksi hyvä ponnistus mahdollistaa vartalon ja jalkojen asennon muutoksen hypyn aikana (Dyhre-Poulsen, 1987).

Di Cagnon ym. (2008) tutkivat rytmisen voimistelijoiden ponnistusvoimaa hyppytestillä, jossa suoritettiin peräkkäin seitsemän tasahyppyä, joiden aikana kädet saivat ottaa vauhtia vapaasti. Hypyistä mitattiin ponnistuksen kontaktiaika lattiaan sekä hypyn ilmalennon kesto. Hyppytestin lisäksi koehenkilöt suorittivat kolme erilaista harppaushypyn variaatiota (Kuva 3), joista mitattiin niin ikään ponnistuksen kontaktiaika sekä hypyn ilmalennon kesto. Tutkimuksessa havaittiin, että hyppytestin korkeimmat hypyt olivat huomattavasti korkeampia huippuvoimistelijoilla, kuin vähemmän menestyneillä urheilijoilla. Ponnistuksen

kontakiajassa ei ollut eroa ryhmien välillä. Hyppytestin lentoaika korreloi positiivisesti kolmesta harppaushypystä kahden hypyn lentoajan kanssa, ja tasahyppytestin ponnistuksen kontakiaika korreloi positiivisesti kaikkien harppaushyppyjen kontakiaikojen kanssa. (Di Cagnon ym., 2008.)

Joukkuevoimistelussa hyödynnetään kolmea erilaista ponnistustapaa: ponnistus voidaan suorittaa kahdelta jalalta tasaponnistaen, yhdeltä jalalta toiselle jalalle tai yhdeltä jalalta samalle jalalle (IFAGGb, 2018, Kuva 1, Kuva 2). Joukkuevoimistelussa liikkeiden synkronoitu suorittaminen asettaa raamit vauhdinoton ja ponnistuksen suorittamiselle, kun hyppy tulee suorittaa mahdollisimman yhtenäisesti. Näin ollen ponnistamista ei ole aina mahdollista suorittaa biomekaanisesti optimaalisella tavalla.

### **3.1.3 Ilmalento**

Ilmalennolla tarkoitetaan aikaa ponnistuksen jälkeen varpaiden irrottua maasta siihen hetkeen, kun alastulossa jalka osuu jälleen alustaan (Dowling & Vamos, 1993).

Joukkuevoimistelun säännöt määritettävät, että hypyn muodon tulee erottua selkeästi ilmalennon aikana, ja hypyn aikana tulee nousta korkealle maasta. Hyppyjen pisteytys tapahtuu ilmalennon aikana näkyvän muodon mukaan, ja lisäarvoa hyppyyn tuo ilmalennon aikainen vartalon liike yhdistettynä hyppyyn ja/tai suorien jalkojen vähintään 180° amplitudi. (IFAGGb, 2018.)

Dyhre-Poulsen tutkimuksessa (1987) huomionarvoista oli, että hypyn korkeudella ei ole merkitystä arvostelussa, vaan parhaiten menestyneet urheilijat saavuttivat hypyn maksimaalisen amplitudin eli spagaatimuodon nopeammin heikompiin urheilijoihin verrattuna. Hypyn muodon puutteellisuus ilmalennon aikana johtuu usein heikoista nopeusominaisuuksista. (Dyhre-Poulsen, 1987.)

Arkon tutkimuksessa (2010) tutkittiin joukkuevoimistelijoiden harppaushyppyä ja jalkojen amplitudia hypyn aikana. Tutkimus osoitti, että passiivisella liikkuvuudella on suuri merkitys

hypyn amplitudiin, ja harppaushypyssä jalat aukesivat suurimpaan amplitudiin niillä voimistelijoilla, joilla oli suurin yliikkuvuus ylispaatissa (Arkko, 2010). Joukkuevoimistelussa hypyn amplitudi on yksi tärkeimmistä arvostelukriteereistä, sillä suuremmalla amplitudilla on mahdollista saavuttaa korkeampi pisteytys hyppysuorituksesta. Kuitenkin myös hypyn korkeutta arvotetaan lajissa, sillä pidempi lentoaika mahdollistaa selkeämmän muodon ilmalennon aikana ja mikäli hypyn aikana lantio ei nouse vauhdinoton lantion tasoa korkeammalle, ei hyppyä ole suoritettu hyväksytysti. (IFAGGb, 2018.)

Takala (2010) tutki kandidaatin tutkielmassaan kahden joukkuevoimistelun lajihypyn, harppaushypyn (Kuva 1) ja molemmat jalat koukussa tehtävän rengashypyn (Kuva 2), aikaisia aktivaatiomalleja sekä lihasten aktivoitumisjärjestystä mittaamalla EMG:n avulla jalkojen sähköistä aktiivisuutta hypyn aikana sekä voimalevyn avulla alustaan tuotettuja reaktiovoimia hyppysuorituksista. Takalan tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että harppaushypyn ponnistuksen kontaktiajalla on positiivinen vaikutus hypyn ilmalennon keston. Positiivinen yhteys havaittiin myös ponnistuksen aikaisen jarruttavan vaakavoiman sekä hypyn pituuden välillä. (Takala, 2010.)



Kuva 5 Harppaushypyn variaatiot: harppaushyppy, harppaushyppy taaksetaivutuksella sekä harppausrengas taaksetaivutuksella (IFAGGb, 2018, 10.)

### 3.1.4 Alastulo

Hypyn viimeinen vaihe on alastulo. Alastulolla tarkoitetaan hypyn jälkeistä kontaktia alustaan ja hypyn päättämistä ilmalennon jälkeen. Voimistelussa hypyn aikana nilkka pyritään ojentamaan, jolloin alastulossa ensimmäiseksi alustaan koskee varpaat. Kantapää laskeutuu maahan n. 25-50 millisekuntia varpaiden jälkeen. (Marinšek, 2010, Janshen, 1998 mukaan.) Alastulolla on suuri merkitys hypyn onnistumisessa sekä vammojen ennaltaehkäisyssä. Hypyn

alastulon onnistumiseen vaikuttaa urheilijan fyysiset valmiudet sekä motorinen kontrolli. Fyysisillä valmiuksilla tarkoitetaan urheilijan kykyä vastaanottaa suurta kuormaa, jolle hypyn alastulossa altistutaan. (Marinšek, 2010.)

Alastulo on eksentristä lihastyötä, ja jo ilmalennon aikana alastuloon valmistautuminen näkyy lisääntyneenä lihasaktiivisuutena, jolloin valmistaudutaan painon vastaanottoon lisäämällä lihasaktiivisuutta polvea ja nilkkaa liikuttavissa lihaksissa. Korkeus vaikuttaa alastulon nivelkulmien suuruuteen polvissa ja nilkoissa, sillä mitä korkeampi hyppy, sen pienemmät ovat alastulon nivelkulmat ja alastulon voima suurenee. (Enoka, 2008.) Janshen tutkimuksessa (2000) havaittiin, että paljon harjoittelevien voimistelijoiden hyppyjen aikainen lihasaktivaatio oli suurempi ja alastulon polvikulma oli huomattavasti pienempi kuin vähemmän harjoittelevilla, eli paljon harjoittelevilla polvet koukistuivat alastulossa enemmän kuin vähemmän harjoittelevilla (Janshen, 2000). Alastulossa pienempi polvikulma vähentää alastuloon kohdistuvia voimia, ja ennaltaehkäisee näin vammautumisriskiä. (Slater, Campbell, Smith & Straker, 2015). Pitkään harjoitelleilla voimisteliijoilla on paremmat edellytykset suorittaa haastavia hyppysuorituksia pienemmällä loukkantumisriskillä.

Voimistelulajien tuomaroinnissa kiinnitetään huomiota alastuloon, ja vähennyksien välttämiseksi sen tulee olla hallittu ja turvallisesti suoritettu (Slater, ym., 2015). Joukkuevoimistelussa säännöt määrittävät alastulon kevyeksi ja pehmeäksi, ja vartalon tulee olla hallittu koko hyppysuorituksen ajan alastuloon asti (IFAGGb, 2018).

### **3.2 Liikkuvuus**

Urheilussa liikkuvuudella tarkoitetaan yhden nivelen tai useampien nivelten välistä liikelaajuutta (Sands, McNeal, Stone, Haff, & Kinser 2008). Voimistelulajien lajiliikkeissä liikkuvuus on suuressa roolissa ja se onkin yksi tärkeimmistä fyysisistä ominaisuuksista voimistelussa. Liikkuvuutta edellytetään, jotta voimistelussa vaadittavista laajan liikelaajuuden vaativista liikkeistä voidaan suoriutua taiteellisesti ja näyttävästi. (Batista Santos, Lemos, Lebre & Ávila Carvalho, 2015.) Liikkuvuutta pidetään yhtenä voimistelulahjakuuden tunnistamisen

kriteereistä (Sands & McNeal, 2000), sillä liikkuvuuden katsotaan olevan menestystekijä voimistelulajeissa (Dyhre-Poulsen, 1987).

Joukkuevoimistelussa liikkuvuuden merkitys korostuu kilpailuohjelman hyppyissä ja tasapainoliikkeissä, joista saa sitä paremman arvioinnin mitä suuremman laajemmalla liikeradalla liikkeet suoritetaan (IFAGGb, 2018). Erityisesti jalkojen liikkuvuus korostuu kilpailuohjelmassa vaadittavissa hyppyissä ja tasapainoliikkeissä, sillä monissa hyppy- ja tasapainoasunnoissa vaaditaan jalkojen avautuvan spagaattiasentoon (IFAGGb, 2018), ja etusuuntaan suoritettu spagaatti vaatii erityisesti takareiden ja lonkankoukistajan liikkuvuutta (Sands & McNeal, 2000). Joukkuevoimistelun säännöissä ja lajitermistössä spagaattiasennon laajuuden kuvaamiseen käytetään yleisesti termiä amplitudi (IFAGGb, 2018), ja samaa termiä käytetään myös tässä tutkielmassa kuvaamaan jalkojen spagaattiasennon laajuutta.

## 4 HYPPYKORKEUDEN JA PONNISTUKSEN KONTAKTIAJAN MITTAAMINEN

Hyppääminen on liikettä, jonka aikana jalat irtoavat alustasta ja kehon massakeskipiste liikkuu ylöspäin. Hyppykorkeuden mittaamisella tarkoitetaan massakeskipisteen siirtymää ylöspäin suorasta seisoma-asennosta hypyn lentoradan korkeimpaan lakipisteeseen saavutetun massakeskipisteen välillä. (Bosco, Luhtanen & Komi, 1983; Domire & Challis, 2015; Linthorne, 2001.) Hyppysuorituksen mittaamiseen on kehitetty erilaisia mittausmenetelmiä laboratorio- ja kenttäolosuhteisiin.

### 4.1 Voimalevy

Hyppykorkeutta ja ponnistuksen kontaktiaikaa pystytään mittaamaan tehokkaasti voimalevyn avulla, ja voimalevyn käyttö onkin laboratorio-olosuhteissa paljon käytetty menetelmä hyppäämistä ja hyppynopeutta tutkittaessa (Flanagan & Comyns, 2008; Linthorne, 2001; Major, ym. 1998). Voimalevymittaukset perustuvat kehon massakeskipisteen muutoksiin hyppääjän liikkeen ja hypyn eri vaiheissa tuotettujen voimien seurauksena. Voimalevyllä mitatut voima-arvot analysoidaan tietokoneohjelmiston avulla, jolloin voidaan määrittää hyppääjän tuottamia voimia hyppysuorituksen aikana sekä hypyn eri vaiheiden kestoa. Esimerkiksi hypyn lentoaika voidaan määrittää siitä hetkestä, kun hyppääjä lakkaa tuottamasta voimaa alustaan hetkeen, kun anturilevyyn kohdistuva voimantuotto alkaa uudestaan. Niin ikään voimalevyn voima-aika kuvaajan voimantuottoa tarkastelemalla voidaan määrittää hypyn ponnistusvaihe ja sen kesto. (Linthorne, 2001; Kuva 4.)

Hypyn eri vaiheiden voimantuoton lisäksi voimalevyllä tehdystä vertikaalihypystä voidaan laskea hypyn korkeus. Hyppykorkeus voidaan määrittää lentoajan keston perusteella tai hypyn impulssista. Kun hypyn lentoaika on tiedossa, hyppykorkeus  $y$  voidaan laskea lentoajan perusteella kaavalla

$$y = \frac{v^2}{2g}$$

missä  $v$  on ponnistuksen lähtönopeus ja  $g$  putoamiskiihtyvyys ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Impulssilla tarkoitetaan liikemäärää, jolla mitataan liikkeen suuntaa ja nopeutta. Voimalevyllä suoritetusta vertikaalihypystä hypyn korkeus voidaan määrittää alustana toimivalle voimalevyllä tuotetun voiman impulssin ja hyppääjän kehon painon impulssin erotuksesta. (Linthorne, 2001.)

## **4.2 Tutkamittaus ja kiihtyvyyssanturit**

Räjähtävää nopeutta voidaan mitata tutkamittauksilla, joiden avulla saadaan nopeustietoa urheilijan tai esimerkiksi urheiluvälineen lähtönopeudesta ja kiihtyvyydestä sijainnin muutosta tarkastelemalla. Kiihtyvyyttä pystytään mittaamaan myös kiihtyvyyssantureilla, mikä mahdollistaa mittausten toteuttamisen harjoitusolosuhteissa. Kiihtyvyyssantureiden käyttö on video- ja voimalevymittauksiin verrattuna edullista. Kiihtyvyyssanturit ovat kevyitä ja pienikokoisia, eivätkä ne häiritse liikkumista, jolloin mittaus pystytään toteuttamaan hyvin luonnollista suoritusta vastaavalla tavalla. Toisin kuin esimerkiksi voimalevyllä mitattaessa, kiihtyvyyssantureilla voi mitata pitkää matkaa. Kiihtyvyyssanturien käyttö perustuu kiihtyvyyden laskemiseen nivelmomenttien avulla. (Zijlstra & Bisseling, 2004.) Zijlstra & Bisseling (2004) vertasivat tutkimuksessaan kiihtyvyyssanturimittausta voimalevymittaukseen kävelyssä, ja heidän tutkimuksensa perusteella kiihtyvyyssantureilla mitattuna nopeuden arvio oli hieman yliarvioitu, mutta mittaustekniikka huomioi hyvin erilaiset muutokset kävelyn aikana, kuten pysähtymiset ja vauhdin vaihdokset (Zijlstra & Bisseling, 2004).

## **4.3 Valokennojärjestelmä**

Hyppykorkeuden määrittämiseen voidaan hyödyntää voimalevyjen ohella valokennojärjestelmää, jolla pystytään mittaamaan hyppyjen korkeutta yhtä luotettavasti kuin voimalevyjä käyttämällä. Glatthorn ym. tutkivat hyppykorkeuden mittaamista valokennojärjestelmän avulla, ja tutkimuksessa todettiin järjestelmän olevan luotettava työkalu hyppykorkeuden mittaamiseen, ja sitä voidaan helppokäyttöisyytensä ja vaivattoman siirreltävyysensä ansiosta hyödyntää tehokkaasti laboratorioden ulkopuolella kenttäolosuhteissa. (Glatthorn, ym., 2011.) Tässä tutkimuksessa hyppykorkeuden mittaamiseen käytetään infrapunavaloon perustuvaa valokennojärjestelmää, jonka avulla hypyn korkeus saadaan

määritettyä hypyn lentoajan perusteella. Valokennojärjestelmä sisältää kaksi valoporttia, jotka sisältävät valoa säteileviä diodeita sekä valoa heijastavia reflektoreita. Mittaustilanteessa portit asetetaan kohtisuoraan toisiaan vasten, jolloin valonsäteet pääsevät kulkemaan esteettä portilta toiselle. (Yeadon, Kato & Kerwin, 1999.) Valokenno aloittaa hypyn lentoajan mittaamisen siitä hetkestä, kun hyppääjä nousee ilmaan ja valonsäteet pääsevät kulkemaan valoportilta toiselle siihen hetkeen, kun hyppääjä alastulovaiheessa rikkoo valonsäteen uudelleen. Valokennot välittävät tiedon lähettimeen, joka osoittaa valokennojen avulla määritetyn lentokorkeuden senttimetreinä. (Glatthorn, ym., 2011.)

Valokennojärjestelmällä suoritetuissa mittauksissa luotettavimman mittaustuloksen saamiseksi valokennojen tulee olla kohtisuorassa toisiinsa nähden. (Glatthorn, ym., 2011). Valokennojen epätarkka sijoittaminen voi aiheuttaa mittausvirhettä, sillä se heikentää valonsäteiden kulkemista (Attia, ym., 2017).

#### **4.4 Videoanalyysi**

Tässä tutkimuksessa hypyn ponnistuksen kontaktiajan keston, hypyn ilmalennon aikaisen maksimimuodon saavuttamisen nopeuden ja hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin määrittämiseen käytetään liikeanalyysia videokuvasta. Suorituksen analysointi kaksi- tai kolmiulotteista videokuvasta on paljon käytetty metodi suoritustekniikan kehittämisessä ja liikkeen analysoimisessa (Barris & Button, 2008). Balsalobre-Fernández ym. tutkivat videoanalyysiä menetelmänä vertikaalihypyn ilmalennon keston määrittämisessä. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että hypyn eri vaiheiden kesto pystytään määrittämään luotettavasti videokuvasta tehtävällä analyysillä. Tutkimuksessa videokuvan analysoimiseen käytettiin Kinovea –videoanalyysiohjelmistoa. Kinovea -ohjelmiston analyysin avulla tehty lentoajan laskeminen voitiin tutkimuksen perusteella todeta tarkaksi, päteväksi ja luotettavaksi. Lisäksi tutkimuksen perusteella havaittiin, että luotettavan videoanalyysin toteuttamiseksi ei tarvita laboratorio-olosuhteita, vaan päivänvalossa tai muuten riittävässä valaistuksessa kuvattuja videoita voidaan myös käyttää luotettavan videoanalyysin tekemiseen. (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino & Bavaresco, 2014). Liikeanalyysin suorittaminen videokuvasta vaatii kameran, jolla voidaan kuvata liikkeen nopeudesta ja lajista riippuen



vähintään 50 kuvaa sekunnissa. Kaksiulotteisen liikeanalyysiin riittää yksi videokamera, joka tulee virhelähteiden välttämiseksi olla asetettuna suorassa kulmassa suorituksen liiketasoon nähden. Kaksiulotteisesta analyysistä nopeutta voidaan mitata sijainnin muutosta tarkastelemalla. (Mero ym., 2016, 613-618.)

Pain, Mills ja Yeadon hyödynsivät videoanalyysia tutkiessaan telinevoimistelun hyppysuoritusten alastulovoimia, ja vertasivat tutkimuksessaan videoanalyysin tarkkuutta ja luotettavuutta verrattuna voimalevyyn ja kiihtyvyyssantureihin. Tutkimuksen avulla voitiin todeta, että videokuva on luotettava menetelmä ponnistuksen kontaktiajan määrittämiseen, ja videokuvan avulla on mahdollista määrittää ponnistuksen kontaktiajan kesto samalla tarkkuudella kuin kiihtyvyyssanturia ja voimalevyä käytettäessä (Pain, Mills & Yeadon, 2005).

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Joukkuevoimistelussa nopeutta tarvitaan vaadittavien vaikeusosien hallittuun, tehokkaaseen ja puhtaaseen suorittamiseen sekä kilpailuohjelman suorittamiseen laadukkaasti. Nopeuden osaluista joukkuevoimistelun lajisuorituksessa korostuu räjähtävä nopeus, lajikohtainen nopeus, reaktionopeus sekä liikenopeus. Näistä nopeuden lajeista hyppysuorituksessa räjähtävän nopeuden merkitys on olennaisessa osassa vauhdinotto- ja ponnistusvaiheessa.

Joukkuevoimistelussa suoritettavia lajihyppyjä on tutkittu hyvin vähän. Hyppäämisen tutkiminen on lajin kehittymisen kannalta tärkeää, sillä joukkuevoimistelun hyppysuoritus eroaa huomattavasti muiden urheilulajien hypyistä. Joukkuevoimistelussa sääntöihin perustuvan tuomaroinnin lisäksi hyppäämiseen vaikuttaa koreografia ja musiikki, ja urheilijoiden tulee hallita useita erilaisia vauhdinotto- ja ponnistustekniikoita. Lisäksi hyppysuoritukset pyritään tekemään mahdollisimman synkronoidusti joukkueen voimistelijoiden kesken, ja muista lajeista poiketen hypyn ensisijainen tavoite on näyttää mahdollisimman yhtenäinen muoto ilmalennon aikana sen sijaan että hyppy olisi mahdollisimman korkea tai pitkälle suuntautunut.

Tämän tutkimuksen tavoite on selvittää Suomen naisten mestaruussarjan joukkueissa urheilevien joukkuevoimistelijoiden ponnistuksen kontaktaika, hypyn ilmalennon aikaisen maksimiamplitudin saavuttamisen nopeus, hyppykorkeus sekä hypyn ilmalennon aikainen amplitudi tasaponnisteisessa harppaushypyssä. Lisäksi koehenkilöiltä mitataan passiivinen liikkuvuus ylipagaatista. Tutkimuksessa vertaillaan edellä mainittujen muuttujien vaikutusta toisiinsa, ja muuttujien välisen vertailun lisäksi suoritetaan ryhmien välinen vertailu passiivisen liikkuvuuden sekä menestyksen perusteella tehdyn ryhmittelyn mukaan. Tutkimuksessa suoritettavaa harppaushyppyä ei ole aikaisemmin tutkittu tasaponnisteisella suoritustekniikalla toteutettuna. Tutkimus tarkoituksena on antaa tietoa joukkuevoimistelun valmennukseen lajiin olennaisesti liittyvän tasaponnisteisen hypyn analysointiin ja harjoittamiseen.

## **5.1 Hypoteesit**

Hypoteesi 1: Mitä lyhyempi ponnistuksen kontaktiaika on tasaponnisteisessa harppaushypyssä, sitä korkeammalle urheilijan on mahdollista ponnistaa (Willwacher ym., 2017; Takala, 2010).

Hypoteesi 2: Notkeammilla ja nopeammilla voimistelijoilla harppaushypyn amplitudi on suurempi, koska hyvät liikkuvuus- ja nopeusominaisuudet mahdollistavat maksimaalisen muodon hypyn ilmalennon aikana (Dyhre-Poulsen, 1987).

## **6 MENETELMÄT**

Tämän pro-gradu tutkielman tarkoituksena on mitata suomalaisilta joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjassa voimistelevilta voimistelijoilta ponnistuksen kontaktiaika, hypyn ilmalennon aikaisen maksimaalisen amplitudin saavuttamisen nopeus, hyppykorkeus sekä hypyn amplitudi joukkuevoimistelun lajihypyssä. Lisäksi koehenkilöiltä mitataan passiivinen liikkuvuus ylispageatista. Joukkuevoimistelussa naisten sarjassa kilpailevat yli 16-vuotiaat voimistelijat.

### **6.1 Koehenkilöt**

Joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjassa kilpaili kaudella 2018-2019 yhdeksän joukkuetta, joista kahdeksan osallistui tähän tutkimukseen. Mitattavia urheilijoita joukkueissa on yhteensä 63, ja koehenkilöt ovat iältään 16–22-vuotiaita. Ennen mittaukseen osallistumista koehenkilöt täyttivät suostumuslomakkeen (Liite 2), jolla he ilmaisivat suostumuksensa osallistua tutkimukseen. Tutkimukseen osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen, ja koehenkilöt saivat halutessaan keskeyttää tutkimukseen osallistumisen missä vaiheessa tahansa. Loukkaantuneet tai loukkaantumisesta kuntoutumassa olevat urheilijat eivät osallistuneet tutkimukseen. Tutkimukseen pyydettiin lausunto Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta.

Muuttujien välisen vertailun lisäksi suoritettiin ryhmien välinen vertailu yliliikkuvuuden ja menestyksen perusteella tehdyn ryhmittelyn mukaan. Liikkuvuuden osalta jaottelu ryhmien välillä tehtiin sen perusteella, oliko koehenkilön passiivinen liikkuvuus ylispageatissa yli vai alle koko otannan keskiarvon. Koko otannan keskiarvoa notkeampien ryhmässä oli oikean jalan osalta 30 koehenkilöä ja vasemman jalan osalta tehdyssä jaotellussa 30. Keskiarvoa vähemmän notkeiden ryhmässä oli oikean jalan liikkuvuussuunnan mukaan tehdyssä jaotellussa 33 koehenkilöä, ja vasemman jalan osalta 31.

Menestyksen kriteeri ryhmien jaotellussa oli menestyminen joukkuevoimistelun MM-kilpailuissa. Koska tutkimukseen osallistuneista joukkueista vain yksi oli saavuttanut mitalisijoja MM-kilpailuissa, vertailu suoritettiin vertaamalla ko. joukkueen (N=8) muuttujia

muiden joukkueiden muuttujiin (N=55 oikean jalan ja N=53 vasemman jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa hypyssä).

## 6.2 Koeasetelma

Mittaus suoritettiin tammikuussa 2019 Kisakallion Urheiluopistossa naisten sarjan joukkueiden urheilijoiden leirityksen yhteydessä. Ennen varsinaista mittausta toteutettiin pilottimittaus elokuussa 2018 mittausmenetelmän validoimiseksi ja aineiston käsittelyn tarkastamiseksi. Pilottimittauksen perusteella mittausmenetelmää kehitettiin virhelähteiden minimoimiseksi ja videoanalyysiä varten kuvattava materiaali mitattiin virallisessa mittauksessa suuremmalla kuvanopeudella. Pilottimittaukseen osallistuivat samat koehenkilöt, jotka osallistuivat varsinaiseen mittaukseen. Pilottimittauksen aineistoa ei hyödynnetty tutkimuksen tulosten analysoinnissa.

Ennen mittausta koehenkilöt lämmittelivät omatoimisesti, jotta jokainen urheilija pystyy valmistautumaan itselleen optimaalisimmalla tavalla maksimaalisen passiivisen liikkuvuuden testaukseen sekä ja hyppytestiin. Testitilanteessa koehenkilöt suorittivat harppaushypyn (Kuva 3) kahden jalan tasaponnistuksesta, joka on lajille tyypillinen ponnistustapa (Liite 1). Hyppy suoritettiin kerran molemmilla jaloilla eli niin, että amplitudi aukeaa sekä oikean että vasemman jalan liikkuvuussuuntaan.

Videoanalyysillä toteutettavaa liikeanalyysiä varten koehenkilöille asetettiin markkerit suoliluun harjanteisiin (iliac crest), reisiluun ulko- ja sisänivelnastaan (condylus lateralis femoris, condylus medialis femoris) sekä nilkan kehräsluuhun (lateral malleolus, medial malleolus) (Kuva 6). Koehenkilöiltä mitattiin jalan pituus senttimetreinä markkereiden asettamisen jälkeen suoliluun harjanteen markkerista nilkan kehräsluun markkeriin.



Kuva 6 Markkereiden sijainti (IFAGG, 2018)

Markkereiden asettamisen jälkeen koehenkilöille ohjeistettiin hypyn suoritustekniikka, jonka jälkeen he harjoittelivat ponnistusta omatoimisesti. Koehenkilöiltä mitattiin tasaponnisteinen harppaushyppy kaksi kertaa, ensin oikean ja sitten vasemman jalan liikkuvuussuuntaan.



Kuva 7 Mittausasetelma

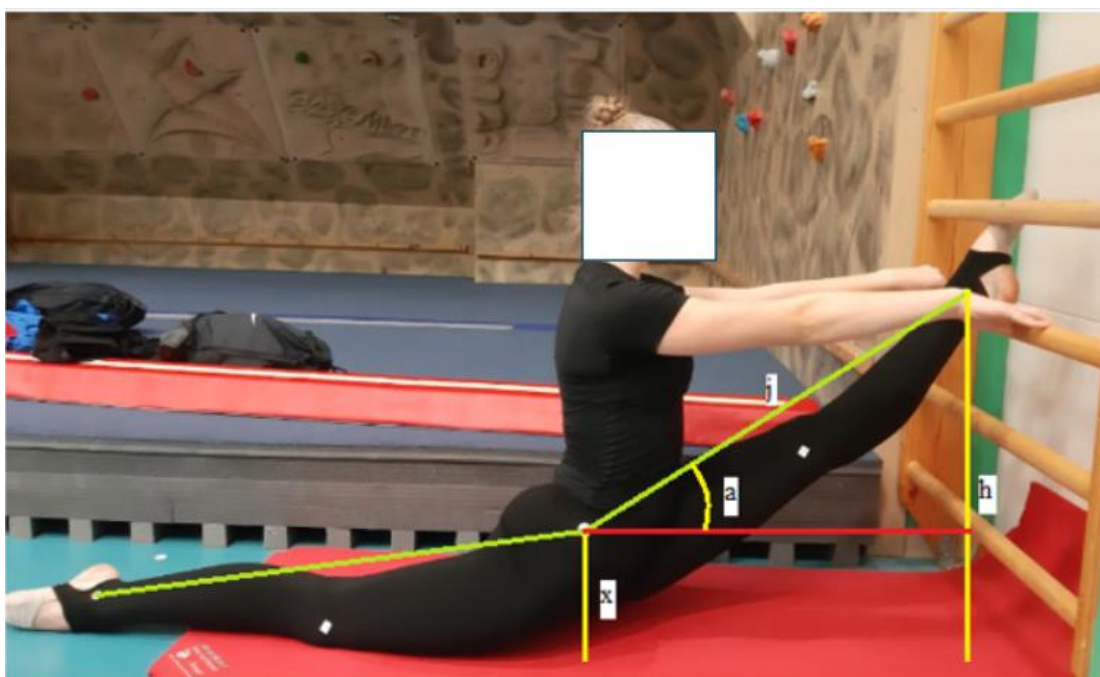
### 6.3 Alaraajojen liikkuvuuden määrittäminen

Koehenkilöiltä mitattiin passiivinen alaraajojen liikkuvuus ylispaativenytyksestä puolapuulta niin, että ylispaati suoritettiin ensin etujalka ensimmäisellä puolapuulla, ja etujalkaa nostettiin ylemmälle puolapuulle, kunnes takajalan etureisi ei enää kosketa lattiaan (Kuva 8). Ylispaatin tulos mitattiin senttimetreinä suoliluun harjanteen markkerista kohtisuoraan lattiaan. Kaikilta koehenkilöiltä mitattiin ylispaati sekä oikea että vasen jalka edessä.

Ylispaatista lasketaan jalkojen yliliikkuvuus  $\alpha$  asteina seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\alpha = 180^\circ + \sin^{-1}\left(\frac{h-x}{j}\right)$$

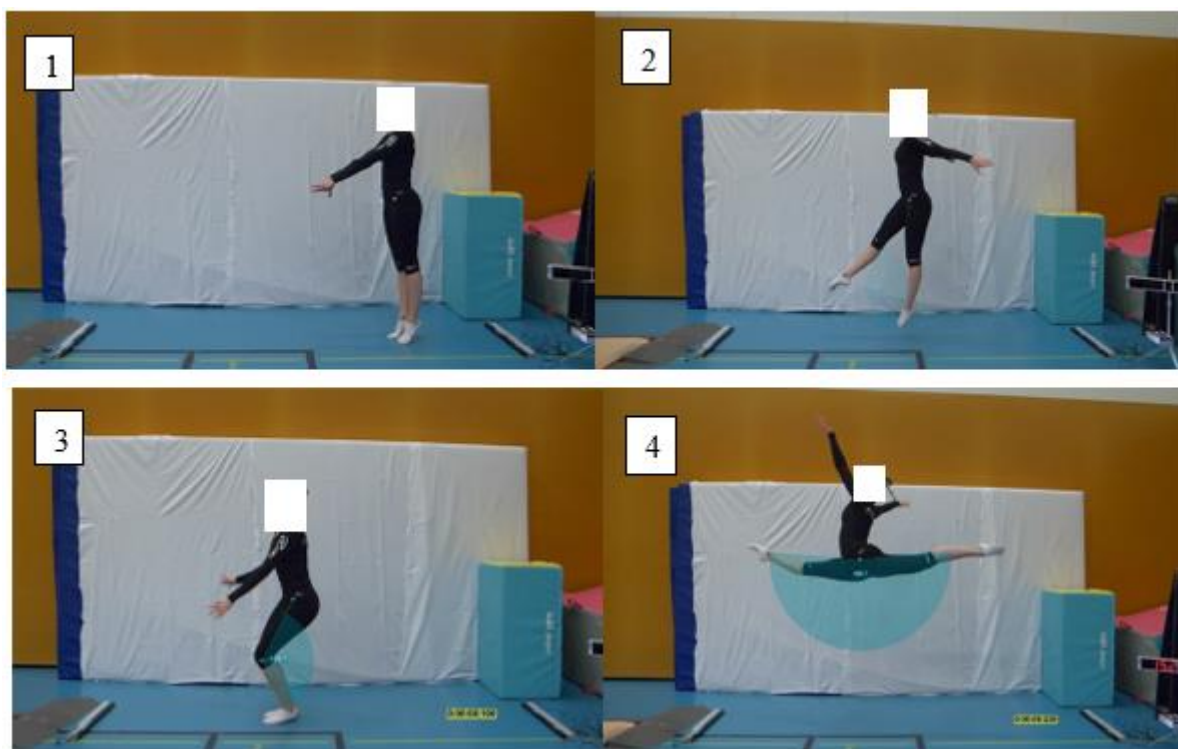
Jossa  $\alpha$  on jalkojen nivelkulman suuruus ylispaatissa,  $h$  puolapuun korkeus,  $x$  lonkasta lattiaan jäävä korkeus ja  $j$  jalan pituus (Kuva 8).



Kuva 8 Ylispaatin mittaaminen ja ylispaatin amplitudin laskeminen

## 6.4 Hypyn muuttujien määrittäminen

Maksimaalisen liikkuvuuden mittaamisen jälkeen koehenkilöt suorittivat tasaponnisteisen harppaushypyn. Ylivenytyksen ja hyppsyorituksen välinen aika oli noin 10 minuuttia. Ylispagaatimittauksen jälkeen koehenkilöt harjoittelivat hypyn ponnistusta omatoimisesti. Hyppy suoritettiin vakioidusta vauhdinotosta, jossa lähtöasentona toimii perusasento jalat yhdessä korkeilla päkiöillä (Kuva 9). Perusasennosta vauhdinottoon otettiin yksi askel, mistä suoritetaan pre-hyppy jalat yhteen. Tästä kahden jalan tasaponnistuksesta ponnistetaan harppaushyppy, jossa jalat avautuivat spagaatti -asentoon ilmalennon aikana. Hypyn lopetus tapahtuu korkealle päkiälle jalat yhteen (sama kuin lähtöasento), (Kuva 9). Koehenkilöt suorittivat harppaushypyn yhden kerran oikean jalan liikkuvuussuuntaan ja yhden kerran vasemman jalan liikkuvuussuuntaan.



Kuva 9 Tasaponnisteisen harppaushypyn suoritus oikean jalan liikkuvuussuuntaan, 1. Lähtöasento, 2. Ponnistava askel, 3. Ponnistus, 4. Ilmalennon aikainen maksimiamplitudi



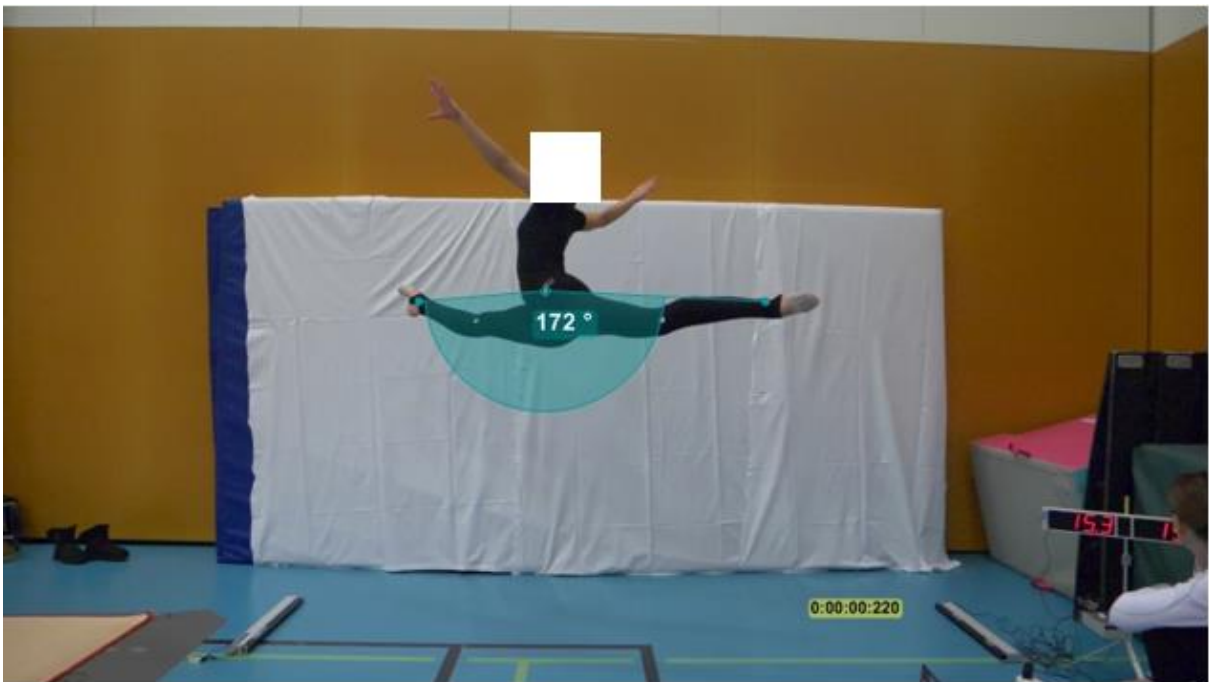
Hyppysuoritus kuvattiin yhdellä videokameralla (Panasonic Lumix DC-GH5, Panasonic Corporation Japani), videon kuvanopeus on 100 kuvaa sekunnissa (fps). Koehenkilöt suorittivat hypyt kylki kameraan päin. Videokuvasta tehtyä analyysiä hyödynnettiin ponnistuksen kontaktiajan, hypyn amplitudin sekä hypyn ilmalennon aikaisen maksimimuodon saavuttamisen nopeuden mittaamisessa. Hyppy suoritettiin Basic Jump Speed Analyzer (Ivar Kravse, Viro) valokennojen välissä (Kuva 10 ja Kuva 11), ja valokennojen avulla mitattiin hypyn korkeus senttimetreissä. Virhelähteiden välttämiseksi valokennot ja videokamera asetettiin merkittyyyn kohtaan ja kaikki koehenkilöt mitattiin peräkkäin saman päivän aikana samassa valaistuksessa (Kuva 7).



Kuva 10 Valokennojärjestelmä

Hypyn korkeus analysoidaan valokennojärjestelmällä mittaamalla ja ponnistuksen kontaktiaika, hypyn muodon nopeus sekä hypyn amplitudi videokuvasta Kinovea – videoanalyysiohjelmistolla (Kuva 11). Ponnistuksen alku määritetään alkavaksi siitä kuvasta, kun varpaat ovat ponnistavan askeleen jälkeen ensimmäisen kerran kontaktissa lattiaan, ja ponnistuksen päätyminen määritetään siihen kuvaan, jossa nilkat ovat irronneet lattiasta.

Hypyn maksimaalisen amplitudin saavuttamisen keston määrittäminen alkamaan siitä kuvasta, jossa ponnistus päättyy ja varpaat irtoavat lattiasta, ja ajanotto keskeytetään siihen kuvaan, jossa koehenkilö on saavuttanut maksimaalisen amplitudin ilmassa. Hypyn amplitudin määrittämisessä hyödynnetään koehenkilöille asetettuja markkereita, ja amplitudi määritetään videokuvan avulla lonkan suoliluun harjanteen markkerista molempien nilkkojen kehräsluihin asetettuihin markkereihin.



Kuva 11 Hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin määrittäminen videokuvasta

## 6.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen testaus toteutettiin IBM SPSS Statistics ohjelmistolla (SPSS statistics 24; SPSS Inc., Chicago, USA). Tutkimuskysymykset analysoitiin Pearsonin tai Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla, riippuen muuttujan normaalijakaumasta. Tutkimuksessa tutkittiin viittä muuttujaa: ylispaatin amplitudi asteina, ponnistuksen kontaktiaika sekunteina, hyppykorkeus senttimetreinä, hypyn ilmalennon aikaisen spagaatimuodon amplitudi asteina sekä hypyn maksimaalisen amplitudin saavuttamisen kesto sekunteina. Kaikki viisi muuttujaa ovat järjestysasteikollisia (scale).

Oikean ja vasemman jalan ylispaatua sekä hypyn muodon nopeutta lukuun ottamatta kaikki muuttajat olivat normaalisti jakautuneita. Ylispaati oli muuttujana huipukas sekä oikean että vasemman jalan osalta. Ylispaati- ja hypyn muodon nopeus -muuttujien osalta korrelaatiota tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiokertoimella. Muut muuttajat (ponnistuksen kontaktiaika, hyppykorkeus, amplitudi) olivat normaalisti jakautuneita, ja niiden osalta korrelaation tarkasteluun käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa.

Ryhmien välinen vertailu toteutettiin toisistaan riippumattomien ryhmien t-testillä. Kaikkien vertailtavien muuttujien osalta Levene -testin p-arvo oli yli 0,050, joten ryhmien välisessä muuttujien vertailussa käytettiin yhtä suurten varianssien testiä.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Muuttujien välinen vertailu

Koehenkilöiden kokonaiskeskiarvo yliliikkuvuuden osalta oli oikean jalan liikkuvuussuuntaan  $208^\circ$  ja vasemman jalan liikkuvuussuuntaan  $207^\circ$ . Hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin keskiarvo oikean jalan osalta oli  $167^\circ$  ja vasemman jalan osalta  $163^\circ$ , joten koehenkilöillä ei ollut havaittavissa suurta puolieroja yliliikkuvuudessa eikä hypyn maksimiamplytudessa. Myös ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo, 0,26 sekuntia, oli sama molempiin liikkuvuussuuntiin. Hyppykorkeus oli oikean jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa harppaushypyssä hieman korkeampi, 34,7 cm, vasemman jalan liikkuvuussuuntaan harppaushypyn korkeus oli 33,9 cm. (Taulukko 3 ja Taulukko 5.)

TAULUKKO 3. Ylispagaatin liikkuvuuden sekä tasaponnisteisen harppaushypyn ponnistuksen kontaktiajan, hypyn korkeuden ja hypyn ilmalennon amplitudin keskiarvot ja keskihajonta oikean jalan liikkuvuussuuntaan (n=63)

Muuttuja	keskiarvo	keskihajonta
Ylispagaati oikea	208	7,82
Amplitudi oikea	167	13,27
Ponnistuksen kontaktiaika oikea	0,26	0,047
Hypyn korkeus oikea	34,7	4,36
Kesto hypyn muotoon oikea	0,29	0,017

Tilastoanalyysin perusteella voidaan todeta, että ponnistuksen kontaktiajan ja hyppykorkeuden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää positiivista korrelaatiota oikean jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa tasaponnisteisessa harppaushypyssä (N=63,  $r=0,069$ ,  $P=0,591$ ). Myöskään ponnistuksen kontaktiajan ja hypyn amplitudin (N=63,  $r=0,138$ ,  $P=0,280$ ) tai ponnistuksen kontaktiajan ja ylispagaatin välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää positiivista korrelaatiota (N=63,  $r=0,119$ ,  $P=0,473$ ). Oikean jalan liikkuvuussuuntaan suoritettusta hypystä löytyi positiivinen korrelaatio ylispagaatin ja hypyn amplitudin välillä (N=63,  $r=0,442$ ,  $P=0,000$ ), hyppykorkeuden ja hypyn amplitudin välillä (N=63,  $r=0,371$ ,  $P=0,003$ ), hyppykorkeuden ja hypyn muodon nopeuden välillä (N=63,  $r=0,423$ ,  $P=0,001$ ) sekä hypyn

muodon nopeuden ja ponnistuksen kontaktiajan välillä (N=63, r=0,275, P=0,029) (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Oikean jalan suorituksen muuttujien välisen korrelaation vertailu (n=63)

	Ylispagaati oikea	Hypyn korkeus oikea	Amplitudi oikea	Ponnistuksen kontaktiaika oikea	Kesto hypyn muotoon oikea
Ylispagaati oikea		P=0,118 r=0,199	P=0,000** r=0,442	P=0,473 r=0,119	P=0,463 r=0,094
Hypyn korkeus oikea	P=0,118 r=0,199		P=0,003** r=0,371	P=0,591 r=0,069	P=0,001** r=0,423
Amplitudi oikea	P=0,000** r=0,442	P=0,003** r=0,371		P=0,280 r=0,138	P=0,856 r=0,024
Ponnistuksen kontaktiaika oikea	P=0,473 r=0,119	P=0,591 r=0,069	P=0,280 r=0,138		P=0,029* r=0,275
Kesto hypyn muotoon oikea	P=0,463 r=0,094	P=0,001** r=0,423	P=0,856 r=0,024	P=0,029* r=0,275	

\* p < 0,05 tilastollisesti melkein merkitsevä korrelaatio, \*\* p < 0,01 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio

TAULUKKO 5. Ylispagaatin liikkuvuuden sekä tasaponnisteisen harppaushypyn ponnistuksen kontaktiajan, hypyn korkeuden ja hypyn ilmalennon amplitudin keskiarvot ja keskihajonta vasemman jalan liikkuvuussuuntaan (n=60)

Muuttuja	keskiarvo	keskihajonta
Ylispagaati vasen	207	7,42
Amplitudi vasen	163	11,51
Ponnistuksen kontaktiaika vasen	0,26	0,05
Hypyn korkeus vasen	33,9	4,89
Kesto hypyn muotoon vasen	0,29	0,017

Vasemman jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa harppaushypyssä hyppykorkeuden ja ponnistuksen kontaktiajan välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää positiivista korrelaatiota (N=61, r=-0,089, P=0,538). Myöskään ponnistuksen kontaktiaika ja hypyn

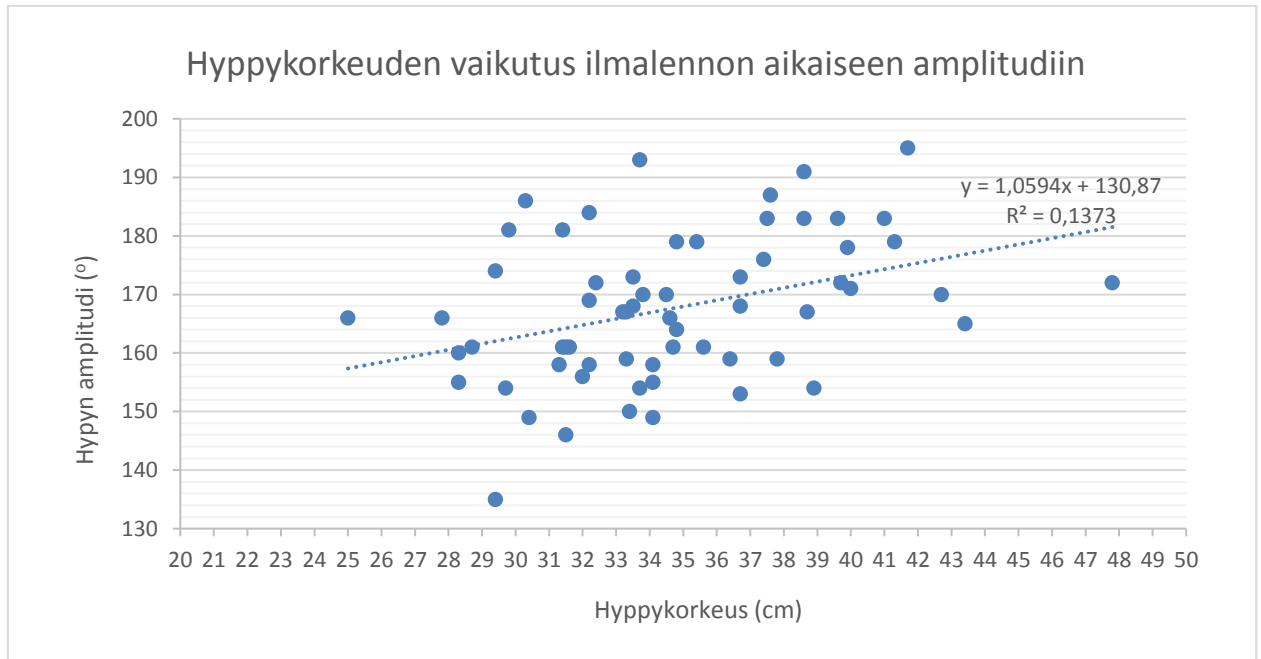
amplitudin eivät korreloineet keskenään (N=61, r=0,002, P=1,000). Vasemman jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa harppaushypyssä on havaittavissa positiivinen korrelaatio oikean jalan tavoin ylispaatin amplitudin ja hypyn amplitudin välillä (N=61, r=0,469, P=0,000), hypyn muodon nopeuden ja hypyn korkeuden välillä (N=61, r=0,547, P=0,000) sekä hypyn muodon nopeuden sekä ponnistuksen kontaktiajan välillä (N=61, r=0,321, P=0,004).

TAULUKKO 6. Vasemman jalan suorituksen muuttujien välisen korrelaation vertailu, (n=60)

	Ylispaati vasen	Hypyn korkeus vasen	Amplitudi vasen	Ponnistuksen kontakiaika vasen	Kesto hypyn muotoon vasen
Ylispaati vasen		P=0,461 r=-0,153	P=0,000** r=0,469	P=0,356 r=-0,118	P=0,170 r=0,178
Hypyn korkeus vasen	P=0,461 r=-0,153		P=0,002** r=0,392	P=0,538 r=-0,089	P=0,000** r=0,547
Amplitudi vasen	P=0,000** r=0,469	P=0,002** r=0,392		P=1,000 r=0,002	P=0,145 r=0,189
Ponnistuksen kontakiaika vasen	P=0,356 r=-0,118	P=0,538 r=-0,089	P=1,000 r=0,002		P=0,004** r=0,321
Kesto hypyn muotoon vasen	P=0,170 r=0,178	P=0,000** r=0,547	P=0,145 r=0,189	P=0,004** r=0,321	

\* p < 0,05 tilastollisesti melkein merkitsevä korrelaatio, \*\* p < 0,01 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio

Kuten oikean jalan hypyissä, myös vasemman jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa harppaushypyssä löydettiin positiivinen korrelaatio myös hypykorkeuden ja hypyn amplitudin välillä (N=61, r=0,392, P=0,002) (Taulukko 6, Kuva 12.)



Kuva 12 Hyppykorkeuden vaikutus ilmalennon aikaiseen amplitudiin vasemman jalan harppaushypyssä

## 7.2 Ryhmien välinen vertailu passiivisen liikkuvuuden perusteella

Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään yliliikkuvuuden perusteella. Ylispagaatin keskiarvo kaikkien koehenkilöiden kesken oli oikean jalan ylispagaatissa 208 astetta ja vasemman jalan ylispagaatissa 207 astetta. Ryhmään 1 kuuluivat oikean jalan osalta ne koehenkilöt, joiden passiivisen ylispagaatin amplitudi oli yli 208° (N=30) ja ryhmään 2 ne, joiden ylispagaatin amplitudi oli 208° tai alle (N=33). Vasemmalla jalan osalta ryhmien välinen raja-arvo oli 207°, ryhmässä 1 N=30 ja ryhmässä 2 N=31.

### 7.2.1 Oikea jalka

Notkeampien koehenkilöiden (ryhmä 1) ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo oli oikealla jalalla 0,26 sekuntia (keskihajonta = 0,049 sekuntia), ja kontaktiajan keskiarvo oli lähes sama kuin vähemmän notkeiden (ryhmä 2) ponnistuksen kontaktiaika 0,27 sekuntia (keskihajonta = 0,045 sekuntia). Riippumattomien otosten t-testillä kontaktiajan osalta ryhmien välinen ero ei ollut merkitsevä. Myöskään hypyn korkeuden osalta ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Ryhmän 1 keskiarvo hypyn korkeuden osalta oli 35,5 cm (keskihajonta= 3,53

cm) ja ryhmän 2 keskiarvo 34 cm (keskihajonta = 4,90 cm). Hypyn amplitudissa ei ollut merkitsevää eroa ryhmien välillä, hypyn amplitudissa ryhmän 1 keskiarvo oli 170° (keskihajonta= 16,05°) ja ryhmän 2 keskiarvo 164° (keskihajonta = 9,75). Oikealla jalalla hypyn muodon nopeuden saavuttamisen keskiarvo oli notkeampien ryhmällä lähes sama, 0,30 sekuntia (keskihajonta = 0,017), kuin ryhmällä 2 keskiarvo muodon saavuttamisen nopeudessa oli 0,29 sekuntia (keskihajonta = 0,017 sekuntia), ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa hypyn muodon nopeuden osalta.

### **7.2.2 Vasen jalka**

Vasemman jalan osalta notkeampien (ryhmä 1) ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo 0,25 sekuntia (keskihajonta = 0,06 sekuntia) oli lähes sama kuin vähemmän notkeiden ryhmän kontaktiajan keskiarvo 0,26 sekuntia (keskihajonta = 0,05 sekuntia). Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa. Hypyn korkeuden keskiarvo oli korkeampi ryhmällä 1 34,6 cm (keskihajonta = 4,99 cm), ryhmän 2 keskiarvo hypyn korkeuden osalta oli 33,5 cm (keskihajonta = 4,85cm). Hypyn korkeuden osalta ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa. Hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin keskiarvoissa ryhmän 1 keskiarvo oli suurempi, 167° (keskihajonta = 12,21°) ryhmän 2 keskiarvo oli 159° (keskihajonta = 9,26°). Vasemman jalan osalta ryhmien välinen ero osoittautui merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä amplitudin osalta (P=0,004). Hypyn maksimimuodon saavuttamisen keston keskiarvo oli ryhmien välillä sama 0,29 sekuntia (ryhmä 1 keskihajonta = 0,02 sekuntia ja ryhmä 2 keskihajonta = 0,02 sekuntia), ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa hypyn muodon nopeuden osalta.

### **7.3 Ryhmien välinen vertailu menestyksen perusteella**

Liikkuvuuden lisäksi ryhmien välinen vertailu suoritettiin menestyneen ja vähemmän menestyneiden joukkueiden välillä sen mukaan, onko joukkue menestynyt joukkuevoimistelun Maailman Mestaruuskilpailuissa.



### 7.3.1 Oikea jalka

Oikean jalan hypyssä menestyneen joukkueen 1 ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo 0,25 sekuntia (keskihajonta = 0,05) oli lähes sama kuin muiden joukkueiden 2 keskiarvo 0,26 sekuntia (keskihajonta = 0,09). Ponnistuksen kontaktiajassa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä. Hypyn korkeuden keskiarvo oli joukkueella 1 korkeampi, 35,8 cm, (keskihajonta = 2,18) kuin joukkueilla 2, 34,5cm (keskihajonta = 4,57), mutta korkeudella ei kuitenkaan riippumattomien otosten t-testillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Yliliikkuvuuden eli spagaatin osalta joukkueen 1 keskiarvo  $221^\circ$  (keskihajonta = 2,78) oli huomattavasti suurempi kuin joukkueilla 2, joiden keskiarvo oli  $207^\circ$  (keskihajonta = 6,71). Ero osoittautui tilastollisesti erittäin merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä ( $P=0,000$ ). Myös hypyn amplitudin osalta joukkueiden välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä ( $P=0,021$ ), joukkueen 1 keskiarvo hypyn amplitudin osalta on  $177^\circ$  (keskihajonta 10,54) ja joukkueiden 2 osalta  $165^\circ$  (keskihajonta = 13,08). Menestynyt joukkue 1 saavutti hypyn maksimaalisen muodon lähes samaan aikaan kuin muut joukkueet, menestyneen joukkueen keskiarvo hypyn muodon nopeuden osalta on 0,30 sekuntia (keskihajonta = 0,02 sekuntia), kun muiden joukkueiden osalta keskiarvo on 0,29 sekuntia (keskihajonta = 0,02 sekuntia). Hypyn muodon saavuttamisen nopeuden osalta ero joukkueiden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevä.

### 7.3.2 Vasen jalka

Vasemman jalan osalta menestyneen joukkueen 1 ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo oli 0,25 sekuntia (keskihajonta = 0,06), ja vähemmän menestyneiden joukkueiden 2 keskiarvo 0,26 sekuntia (keskihajonta = 0,05). Nopeudessa joukkueiden välinen ero ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi riippumattomien otosten t-testillä. Hypyn korkeuden keskiarvo oli joukkueella 1 34,6 cm (keskihajonta 2,41), joukkueiden 2 korkeuden keskiarvo oli 33,8cm (keskihajonta = 5,16). Hyppykorkeuden osalta joukkueiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Yliliikkuvuudessa joukkueen 1 keskiarvo  $215^\circ$  (keskihajonta = 4,55) oli suurempi kuin joukkueiden 2, joiden spagaatin keskiarvo oli  $206^\circ$  (keskihajonta = 7,1). Yliliikkuvuudessa joukkueiden välinen ero osoittautui riippumattomien muuttujien välisessä t-testissä tilastollisesti merkitseväksi ( $P=0,001$ ). Vasemman jalan liikkuvuussuuntaan

aukeavassa hypyssä joukkueella 1 hypyn amplitudin keskiarvo oli  $165^\circ$  (keskihajonta = 10,25), ja joukkueilla 2 keskiarvo oli  $162^\circ$  (keskihajonta = 11,75). Hypyn ilmalennon aikaisella amplitudilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa joukkueiden välillä. Vasemman jalan hypyssä menestyneemmän joukkueen 1 keskiarvo hypyn muodon nopeudessa oli 0,30 sekuntia (keskihajonta 0,02 sekuntia), joka on lähes sama kuin joukkueiden 2 keskiarvo 0,29 sekuntia (keskihajonta 0,02 sekuntia). Hypyn muodon saavuttamisen nopeudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa joukkueiden välillä myöskään vasemman jalan osalta.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko ponnistuksen kontaktiajalla merkitystä hypyn korkeuteen ja amplitudiin. Tutkimuksen hypoteesina oli, että lyhyempi kontaktiaika ponnistuksessa mahdollistaa korkeamman ilmalennon hypyn aikana, ja parempi passiivinen liikkuvuus ja hyvät nopeusominaisuudet mahdollistavat suuremman amplitudin harppaushypyn aikana. Tutkimukseen osallistui 63 koehenkilöä, jotka voimistelevat joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjassa. Tutkimuksen perusteella yhteyttä ponnistuksen kontaktiajan ja hyppykorkeuden välillä ei löytynyt.

Tutkimuksen toisen hypoteesin mukaan hyvät liikkuvuus- ja nopeusominaisuudet mahdollistavat suuremman amplitudin harppaushypyn ilmalennon aikana. Tutkimuksessa löydettiin positiivinen korrelaatio hypyn ponnistuksen kontaktiajan ja hypyn maksimimuodon saavuttamisen nopeuden välillä. Lisäksi positiivinen korrelaatio havaittiin hypyn maksimimuodon saavuttamisen nopeuden sekä hyppykorkeuden välillä (Taulukko 7). Ponnistuksen kontaktiajan kestolla ja tasokkailta nopeusominaisuuksilla on siis vaikutusta hypyn ilmalennon amplitudin suuruuteen. Tutkimuksessa löydettiin positiivinen korrelaatio myös passiivisen liikkuvuuden ja hypyn ilmalennon aikaisen amplitudin sekä hypyn korkeuden ja ilmalennon aikaisen amplitudin välillä. Nopeuden lisäksi passiivisella liikkuvuudella voidaan siis todeta olevan merkitystä hypyn ilmalennon aikaiseen amplitudiin.

Siitä huolimatta, että tässä tutkimuksessa ponnistuksen kontaktiajan ja hyppykorkeuden välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota, ponnistuksen kontaktiajalla havaittiin olevan vaikutus hypyn maksimiampitudin saavuttamisen nopeuteen. Nopeuden voidaan todeta olevan tärkeä ominaisuus joukkuevoimistelussa, ja sen harjoittaminen on oleellista lajissa menestymisen kannalta. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nopeusominaisuuksien merkitys korostuu sekä ponnistuksen kontaktivaiheessa että hypyn amplitudin saavuttamisen nopeudessa. Nopeuden eri osa-alueita tarvitaan joukkuevoimistelun lajiliikkeistä suoriutumiseksi, ja osa-alueista erityisesti räjähtävän nopeuden merkitys korostuu joukkuevoimistelun hyppysuorituksissa ja hypyn eri vaiheissa. Räjähtävän nopeuden harjoittaminen korostuu murrosiän jälkeen nopeusvoiman ja maksimivoiman lisääntyessä

(Papaiakovou, ym., 2009), joten tähän tutkimukseen osallistuneet naisten sarjan joukkueet ovat oletettavasti harjoittaneet nopeusvoimaa sekä räjähtävää nopeutta erilaisilla plyometriaharjoitteilla valintavaiheessa ja heidän nopeusominaisuutensa voidaan olettaa olevan lajin vaatimusten asettamalla tasolla.

Koehenkilöiden ryhmien välisessä vertailussa yliliikkuvuuden sekä menestyksen perusteella ei havaittu merkitsevää eroa ponnistuksen kontaktiajan ja hypyn korkeuden välillä, mutta hypyn havaittiin olevan korkeampi menestyneellä joukkueella vähemmän menestyneisiin verrattuna sekä notkeammilla koehenkilöillä vähemmän notkeisiin verrattuna. Menestyneen joukkueen vertailussa muihin joukkueisiin, menestyneen joukkueen arvot olivat hypyn korkeuden lisäksi liikkuvuuden ja hypyn amplitudin osalta merkitsevästi muita joukkueita paremmat, merkitsevä ero liikkuvuuden osalta ja hypyn amplitudin osalta havaittiin lisäksi myös notkeampien ja vähemmän notkeiden välisessä vertailussa. Tämän tuloksen perusteella liikkuvuuden voidaan todeta olevan menestystekijä joukkuevoimistelun huipputasolla, mutta voidaan myös pohtia ovatko huipulle valikoituneiden voimistelijoiden harjoittelun määrällä vaikutusta eroihin esimerkiksi liikkuvuudessa, vai onko kyse lahjakkuudesta kyseisessä ominaisuudessa.

Menestyneen joukkueen vertailussa muihin joukkueisiin oikean jalan liikkuvuussuuntaan suoritettussa harppaushypyssä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero hypyn amplitudin sekä ylispaatatin liikkuvuuden osalta. Vasemmalla jalalla suoritettuna tilastollisesti merkitsevä ero joukkueiden välillä löytyi ainoastaan passiivisen liikkuvuuden osalta. Joukkuevoimistelussa hyppyjä tulee suorittaa molempiin liikkuvuussuuntiin (IFAGGb, 2018), mutta todellisuudessa ilmalennon aikana spagaatimuotoon aukeavat hyyt suoritetaan usein yhteen liikkuvuussuuntaan harjoittelun tehostamiseksi. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa menestyneen joukkueen keskiarvo hypyn amplitudin osalta oli oikealla jalan liikkuvuussuuntaan huomattavasti suurempi ( $177^\circ$ ) kuin vasemman ( $165^\circ$ ). Voidaan siis päätellä, että oikean jalan liikkuvuussuuntaan suoritettut hyyt ovat menestyneellä joukkueella vahvempia ja oletettavasti joukkue suorittaa myös kilpailuohjelman suuren amplitudin vaativat hyyt oikean jalan liikkuvuussuuntaan parhaan mahdollisen arvioinnin saamiseksi.

Tutkimuksessa perusteella hypyn maksimimuodon saavuttamisen nopeuden sekä hyppykorkeuden välillä on havaittavissa positiivinen korrelaatio, eli korkeammalle hyppäävät voimistelijat saavuttivat hypyn maksimiampplitudin nopeammin. Hyppykorkeus on urheilussa paljon käytetty menetelmä suorituskyvyn mittaamiseksi (Willwacher ym., 2017), ja joukkuevoimistelussa hyppykorkeuttakin merkittävämpi tekijä on hypyn ilmalennon aikainen muoto, jonka perusteella hyppy arvostellaan. Hypyn maksimiampplitudin saavuttaminen mahdollisimman nopeasti sekä korkea hyppykorkeus mahdollistavat sen, että hypyn muoto erottuu selkeästi, jolloin hypyn arvo kasvaa. Näin ollen molemmat tekijät, hyppykorkeus ja hypyn muodon saavuttamisen nopeus, ovat tärkeitä joukkuevoimistelun hyppysuorituksessa menestymisessä. Hyppykorkeuden ja hypyn muodon nopeuden saavuttamisen positiivinen korrelaatio kertoo siitä, että hyvät nopeusominaisuudet omaavilla voimistelijoiden on myös korkean hypyn saavuttamiseen tarvittavat ominaisuudet.

Tutkimuksessa koehenkilöt saivat suorittaa itse aktiivisen lämmittelyn ja mittaukseen valmistautumisen parhaaksi kokemallaan tavalla. Lämmittelyllä voidaan parantaa maksimaalista voimantuottoa ja hyvän lämmittelyn avulla esimerkiksi hyppykorkeus kasvaa (Enoka 2008, 305), joten mikäli kaikille joukkueille olisi suoritettu vakioitu lämmittely olisi sillä mahdollisesti voinut olla vaikutusta hyppysuoritukseen.

Tutkimuksessa koehenkilöiltä mitattiin ylipagaati, jota varten urheilijat tekivät lämmittelyn yhteydessä omatoimisen venyttelyn. Staattisten venytysten kestoa lämmittelyvaiheessa ei määritelty. Di Cagno ym (2010) tutkivat lämmittelyn yhteydessä tapahtuvan staattisen venyttelyn vaikutusta vertikaalihyppyjen ja harppaushyppyjen korkeuteen, ponnistuksen kontaktiaikaan sekä hypyn arviointiin tuomaroinnin näkökulmasta. Tutkimus osoitti, että staattisella venyttelyllä ei ollut vaikutusta vertikaalihyppyjen lentoaikaan, mutta harppaushyppyjen lentoaika aleni venyttelyn seurauksena. Lisäksi staattinen venyttely vaikutti suuresti ponnistuksen kontaktiaikaan; kontaktiaika oli huomattavasti pidempi venyttelyn jälkeen suoritetuissa hypyissä. Tuomarit arvioivat staattisen venyttelyn jälkeen suoritettujen hypyt heikommiksi, kuin ilman venyttelyä suoritettujen hypyt. (Di Cagno, 2010.) Tässä tapauksessa ennen hyppysuoritusta toteutetulla venyttelyllä saattoi siis olla vaikutusta harppaushypyn korkeuteen. Staattinen venyttely lämmittelyn yhteydessä on kuitenkin joukkuevoimistelussa paljon käytetty menetelmä, sillä venyttelyn avulla liikelaajuutta saadaan parannettua niin että

kilpailuohjelmassa vaadituissa vaikeusosissa saadaan näytettyä maksimaalinen liikkuvuus (Behm, Bambury, Cahill & Power, 2004). Venyttely ennen hyppysuoritusta on siis koehenkilöille tyypillistä. Lisäksi lämmittelyn yhteydessä tapahtuva venyttely vähentää loukkaantumiseriskiä, joten venyttely lämmittelyn yhteydessä on suositeltavaa (Witvrouw ym., 2004; Woods, Bishop & Jones, 2007).

Harppaushypyn ja koehenkilöiltä mitatun ylispaatin amplitudi määritettiin asteina. Ylispaatissa amplitudi laskettiin koehenkilön jalkojen pituuden ja korokkeena toimineen puolapuun korkeuden avulla, hypyssä amplitudin määrittäminen tehtiin videoanalyysistä koehenkilöille asetettuja markkereita hyödyntäen. Harppaushypyn amplitudi määritettiin analysoimalla alaraajojen nivelkulman laajuus lonkan suoliluun harjanteesta etu- ja takajalan nilkkojen kehräsluihin. Joukkuevoimistelun tuomaroinnissa spagaatimuodon amplitudi hyppyjen ja tasapainojen aikana määritetään suorituksesta silmämääräisesti etujalan takareiden alimmasta kohdasta ja takajalan etureiden alimmasta kohdasta. Tässä tutkimuksessa ylispaatin ja hypyn amplitudien arvot ovat hieman tuomaroinnin arvoja suurempia, sillä amplitudi määritettiin jalkoihin asetetuista markkereista. Näin ollen tutkimuksessa määritettyä harppaushypyn amplitudia ei voida suoraan verrata joukkuevoimistelun tuomaroinnissa käytettävään harppaushypystä arvioitavaan amplitudiin.

Hyppykorkeuden mittaamisessa hyödynnettiin tässä tutkimuksessa valokennojärjestelmää. Tutkimuksessa tasaponnisteisen harppaushypyn keskiarvoksi saatiin oikean jalan liikkuvuussuunnan harppaushypyssä 34,67 cm ja vasemman jalan harppauksesta 33,88 cm. Dyhre-Poulsenin (1987) ja Arkon tutkimuksessa (2010), voimistelijoiden suorittama juoksuvauhdista ponnistetun harppaushypyn korkeuden keskiarvo voimalevyllä mitattuna oli 32,7 cm ja 32,2 cm. Näiden tutkimuksien perusteella tämän tutkimuksen tuloksia valokennojärjestelmän avulla mitatusta harppaushypyn korkeudesta voidaan pitää luotettavana.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöiksi valittiin Suomen naisten mestaruussarjan urheilijoita, jotka harjoittelevat tavoitteellisesti yli 15 tuntia viikossa ja ovat harrastaneet lajia useita vuosia. Joukkuevoimistelun kilpailuohjelman synkronoitu suorittaminen vaatii urheilijoilta yhtenäisyyttä myös hyppyjen ponnistuksissa, kun voimistelijoiden tulee suorittaa ponnistus ja

ilmalento musiikin tahtiin tietyn kestoisina. Voimistelijoilla, joilla on pitkä yhteinen harjoitushistoria, ponnistustekniikka on hioutunut samankaltaiseksi joukkueen muiden jäsenten kanssa, jolloin suuria eroja esimerkiksi ponnistuksen kontaktiajassa ei pääse syntymään ja/tai ne ovat saattaneet yhteisten harjoitteluvuosien aikana hälvettyä. Tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että naisten sarjassa voimistelevilla urheilijoilla nopeusominaisuudet ovat keskimäärin hyvät, sillä ponnistuksen kontaktiajan keskiarvo oli 0,26 sekuntia molempien jalkojen osalta ja keskihajonta 0,047 sekuntia oikealla jalalla suoritettussa hypyssä ja 0,05 sekuntia vasemmalla jalalla suoritettussa hypyssä, joten koehenkilöiden välillä ei ollut suurta vaihtelua ponnistuksen kontaktiajan osalta, eikä ponnistuksen kontaktiajassa ollut eroa menestyneen ja vähemmän menestyneiden joukkueiden välillä. Esimerkiksi tähän tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden kanssa saman ikäluokan koripalloilijoille suoritettussa tutkimuksessa vertikaalihypyn ponnistuksen kontaktiajaksi mitattiin 0,22 sekuntia  $\pm$  5 sekuntia (Struzik, Pietraszewski & Zawadzki, 2014)

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan olettaa, että joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjan urheilijoilla, joilla on vahva laijtausta ja useiden vuosien harjoitteluhistoria, nopeusominaisuudet ovat hyvällä tasolla ja ponnistustekniikka on ponnistusnopeutta tärkeämpi tekijä mahdollisimman korkean hypyn saavuttamiseksi ja liikkuvuus nopeutta tärkeämpi tekijä laajan amplitudin saavuttamiseksi. Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista verrata vähemmän harrastaneiden ja/tai nuorempien voimistelijoiden hyppyjä paljon harjoitteleviin naisten mestaruussarjan joukkueisiin, jolloin ponnistuksen kontaktiajalla saattaisi olla enemmän vaikutusta hypyn korkeuteen.

Joukkuevoimistelun naisten sarjassa kilpailuohjelmassa suoritetaan hyppyjä tyypillisesti 8 (Liite 1). Hypyt on sommiteltu ohjelmaan tasaisesti, joten viimeiset hypysuoritukset voidaan suorittaa vasta ohjelman lopussa, jolloin syke ja veren laktaattipitoisuus ovat kohonneet perustasosta (Gateva, 2014). Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista tutkia, miten väsymys vaikuttaa ponnistuksen kontaktiaikaan, korkeuteen ja amplitudiin ja onko kilpailuohjelman alussa suoritetuissa hypyjen korkeudessa ja voimantuotossa eroa kilpailuohjelman lopussa suoritettuihin hyppyihin.

## 8.1 Tutkimuksen rajoitteet

Ylispagaatin mittaaminen tehtiin tässä tutkimuksessa puolapuilta etujalka korokkeella, joka on voimistelussa paljon käytetty metodi yliliikkuvuuden harjoittamisessa sekä testauksessa. Koehenkilöiden ylispagaati suoritettiin etujalka ensin ensimmäisellä puolapuulla, ja etujalkaa nostettiin ylemmälle puolapuulle, kunnes takajalan etureisi ei enää kosketa lattiaan. Puolapuut on asetettu 20cm välein, joten ylispagaatin suoritusten välinen nosto oli melko suuri, millä saattaa olla vaikutusta passiivisen yliliikkuvuuden mittaustulokseen. Yliliikkuvuus mitattiin puolapuilta, koska menetelmä on kenttäolosuhteissa helposti toteutettavissa ja toistettavissa. Tähän tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden liikkuvuusominaisuudet olivat kuitenkin keskimäärin hyvällä tasolla, ja mittaustavasta johtuvat erot liikkuvuuden analysoimisessa jäivät todennäköisesti pieniksi. Takajalan mahdollista koukistumista ei otettu huomioon ylispagaatin eikä hypyn amplitudin laskennassa, mikä saattaa osaltaan hieman vääristää arvoja näiden muuttujien osalta. Spagaatin ja hypyn ilmalennon amplitudit ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia, sillä kaikkien koehenkilöiden amplitudin määrittämisen suoritti sama henkilö samaa protokollaa käyttäen.

Tutkimuksessa ei tarkasteltu hypyn aikaista ylävartalon asentoa tai käsien käyttöä vauhdinotossa, jotka molemmat vaikuttavat hyppysuoritukseen. Esimerkiksi ponnistuksen aikaisella käsien käytöllä voidaan tehostaa ponnistamista ja näin parantaa hyppykorkeutta (Lees, Vanrenterghem & Clercq, 2004). Lisäksi tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon yksilöiden välisiä eroja ponnistustekniikassa. Joukkuevoimistelun lajihypyjen jokainen vaihe tulee olla yhtenäisesti suoritettu ja osa taiteellista kokonaisuutta, minkä vuoksi hypyjen vauhdinottoa ja ponnistusta ei voida aina suorittaa biomekaanisesti optimaalisimmalla tavalla. Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista tutkia voimistelijoiden ponnistamisen ja hypyn ilmalennon aikaista käsien käyttöä ja sen vaikutusta hyppykorkeuteen ja ponnistuksen kontaktiaikaan, sekä pystytäänkö käsien käytöllä tehostamaan ja parantamaan hyppysuorituksia tämän hetkisistä hypyistä.

Tutkimuksessa koehenkilöt saivat suorittaa itse aktiivisen lämmittelyn ja mittaukseen valmistautumisen parhaaksi kokemallaan tavalla. Lämmittelyllä voidaan parantaa



maksimaalista voimantuottoa ja hyvän lämmittelyn avulla esimerkiksi hyppykorkeus kasvaa (Enoka 2008, 305), joten mikäli kaikille joukkueille olisi suoritettu vakioitu lämmittely olisi sillä mahdollisesti voinut olla vaikutusta hyppysuoritukseen.

Tutkielman tietoperustassa käytetyissä lähteissä on yksittäisiä iäkkäitä tutkimusartikkeleita, joihin myöhemmissä tutkimuksissa on viitattu alkuperäislähteinä. Tutkimusartikkeleiden lisäksi tutkielmassa on käytetty alan ammattikirjallisuutta peruskäsitteiden määrittelyyn. Tiedonhaku olisi voinut monipuolistaa tuoreita tutkimusartikkeleita käyttämällä ja muiden lajien tutkimusartikkeleita hyödyntämällä, sillä yksi rajoittava tekijä tiedonhankinnassa oli se, että joukkuevoimistelusta lajina on tehty vain vähän aikaisempia tutkimuksia.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää, onko ponnistuksen kontaktiajalla merkitystä tasaponnisteisen harppaushypyn hyppykorkeuteen tai hypyn ilmalennon aikaisen spagaatimuodon amplitudiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa selvitettiin passiivisen ylliliikkuvuuden vaikutusta tasaponnisteisen harppaushypyn ilmalennon aikaisen spagaatin amplitudiin.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ponnistuksen kontaktiajalla ei ole suurta vaikutusta hyppykorkeuteen joukkuevoimistelun tasaponnisteisessa harppaushypyssä naisten mestaruussarjan joukkueilla. Lisäksi ponnistuksen kontaktiajalla ei havaittu olevan vaikutusta harppaushypyn ilmalennon aikaisen spagaatin amplitudiin. Sen sijaan ponnistuksen kontaktiajalla havaittiin olevan merkitys hypyn ilmalennon aikaisen maksimimuodon saavuttamisen nopeuden kanssa. Myös hypyn korkeudella ja hypyn maksimimuodon saavuttamisen nopeudella havaittiin olevan yhteys; korkeammalle hyppäävät voimistelijat saavuttivat maksimimuodon nopeammin.

Tutkimus osoitti, että ilmalennon aikaiseen jalkojen amplitudiin vaikuttaa merkittävästi jalkojen passiivinen ylliliikkuvuus, sillä tämän tutkimuksen perusteella notkeammat voimistelijat saavat hypyn aikana näytettyä suuremman amplitudin. Myös hyppykorkeudella ja hypyn ilmalennon aikaisen spagaatimuodon amplitudin välillä havaittiin merkittävä positiivinen korrelaatio, eli mitä korkeammalle urheilija ponnistaa, sitä suuremman jalkojen amplitudin hän pystyy näyttämään ilmalennon aikana. Hyvien liikkuvuus- ja nopeusominaisuuksien ansiosta notkeammat ja nopeammat urheilijat pystyvät näyttämään suuremman amplitudin tasaponnisteisen harppaushypyn ilmalennon aikana.

Siitä huolimatta, että notkeampien ja vähemmän notkeiden ryhmien erot muuttujien (ponnistuksen kontaktiaika, hypyn korkeus, amplitudi, hypyn muodon nopeus) välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, harppaushyppy oli korkeampi passiivisen yllispagaatin osalta notkeammilla voimistelijoilla. Molempien (oikean ja vasemman liikkuvuussuunnan) hyppyjen osalta notkeampien koehenkilöiden ryhmällä ilmalennon aikainen amplitudi oli vähemmän

notkeita koehenkilöitä suurempi, ja vasemman jalan osalta hypyn amplitudissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä.

Menestyneen joukkueen vertailussa vähemmän menestyneisiin joukkueisiin, menestyneen joukkueen koehenkilöiden hyppyjen havaittiin olevan korkeampia kuin vähemmän menestyneillä joukkueilla. Hypyn korkeuden osalta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan joukkueiden molempien jalkojen passiivisen yliliikkuvuuden sekä hypyn amplitudin oikean liikkuvuussuunnan hypyn osalta havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero, ja menestyneellä joukkueella yliliikkuvuus sekä oikean jalan hypyn ilmalennon aikainen amplitudi olivat merkitsevästi muita joukkueita suurempia. Tämän tutkimuksen perusteella liikkuvuuden ja nopeuden voidaan todeta olevan yksi menestystekijä joukkuevoimistelun naisten mestaruussarjassa.

## 10 LÄHTEET

- Arkko, T. (2010). Joukkuevoimistelun harppaus- ja rengashyppyjen 2-dimensionaalinen analyysi. Jyväskylän yliopisto, Liikuntatieteellinen tiedekunta.
- Attia, A., Dhahbi, W., Chaouachi, A., Padulo, J., Wong, D. P., & Chamari, K. (2017). Measurement errors when estimating the vertical jump height with flight time using photocell devices: the example of Optojump. *Biology of sport*, 34(1), 63.
- Aura, O., & Viitasalo, J. T. (1989). Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5(1), 89-98.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 528-533.
- Batista Santos, A., Lemos, M. E., Lebre, E., & Ávila Carvalho, L. (2015). ACTIVE AND PASSIVE LOWER LIMB FLEXIBILITY IN HIGH LEVEL RHYTHMIC GYMNASTICS. *Science of Gymnastics Journal*, 7(2).
- Barris, S., & Button, C. (2008). A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports Medicine*, 38(12), 1025-1043.
- Behm, D. G., Bambury, A., Cahill, F., & Power, K. (2004). Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1397-1402.
- Bencke, J., Damsgaard, R., Sækmose, A., Jørgensen, P., Jørgensen, K., & Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(3), 171-178.
- Bishop, D. (2003). Warm up I. *Sports medicine*, 33(6), 439-454.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and science in sports and exercise*, 28, 1402-1412.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282.

- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*, 19(2), 349-357.
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(1), 59-70.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Brasili, P., Merni, F., Piazza, M., & Guidetti, L. (2008). Leaping ability and body composition in rhythmic gymnasts for talent identification. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(3), 341.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Gallotta, M. C., Videira, M., Piazza, M., & Guidetti, L. (2010). Preexercise static stretching effect on leaping performance in elite rhythmic gymnasts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 1995-2000.
- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2015). Maximum height and minimum time vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 48(11), 2865-2870.
- Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of applied biomechanics*, 9(2), 95-110.
- Dyhre-Poulsen, P. (1987). An analysis of splits leaps and gymnastic skill by physiological recordings. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(4), 390-397.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics Publishers, Inc., 4th edition. Box 5076, Champaign, IL 61820.
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- Fouré, A., Nordez, A., McNair, P., & Cornu, C. (2011). Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. *European journal of applied physiology*, 111(3), 539-548
- Gamble, P. (2011). *Training for sports speed and agility: an evidence-based approach*. Routledge.
- Gateva, M. (2014). Investigation of the effect of the training load on the athletes in rhythmic and aesthetic group gymnastics during the preparation period. *Research in Kinesiology*, 4(1), 40-44.

- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 556-560.
- Haff, G., & Triplett, N. T. (2015). Essentials of strength training and conditioning.
- Han, J., & Han, C. (2010, October). Notice of Retraction Computational simulation and analysis of rhythmic gymnastics jump. In *Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on* (Vol. 5, pp. V5-120). IEEE.
- Hoyt, D. F., Wickler, S. J., & Cogger, E. A. (2000). Time of contact and step length: the effect of limb length, running speed, load carrying and incline. *Journal of Experimental Biology*, 203(2), 221-227.
- IFAGGa: International Federation of Aesthetic Group Gymnastics. (2018). Haettu 17.4.2018 <https://ifagg.sporttisaitti.com/agg/>
- IFAGGb: International Federation of Aesthetic Group Gymnastics. Competition Rules Of Aesthetic Group Gymnastics. (2018). Haettu 23.4.2018 osoitteesta [https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Joukkuevoimistelu/Dokumentit/S%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t/IFAGG\\_competition\\_rules\\_updated\\_2018.pdf](https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Joukkuevoimistelu/Dokumentit/S%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t/IFAGG_competition_rules_updated_2018.pdf)
- Janshen, L. (2000). Neuromuscular control during gymnastic landings. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).
- Jeffreys, I. (Ed.). (2013). *Developing speed*. Human Kinetics.
- Kauranen, K & Nurkka, N. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveyden alan ammattilaisille. Tammerprint Oy, Tampere.
- Keskinen, K., Häkkinen, K., & Kallinen, M. (2004). Kuntotestauksen käsikirja. *Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro, 156*, 51-124.
- Kioumourtzoglou, E., Derri, V., Mertzaniidou, O., & Tzetzis, G. (1997). Experience with perceptual and motor skills in rhythmic gymnastics. *Perceptual and motor skills*, 84(3\_suppl), 1363-1372.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of biomechanics*, 37(12), 1929-1940.
- Leite, W. (2013). Biomechanical analysis of running in the high jump. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, 17(2), 99-105.

- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
- Luebbbers, P. E., Potteiger, J. A., Hulver, M. W., Thyfault, J. P., Carper, M. J., & Lockwood, R. H. (2003). Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *The Journal of strength & conditioning research*, 17(4), 704-709.
- Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1979). Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 41(4), 267-274.
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2017). *Motor learning and control: Concepts and applications* (Vol. 11). New York: McGraw-Hill.
- Major, J. A., Sands, W. A., McNeal, J. R., Paine, D. D., & Kipp, R. (1998). Design, construction, and validation of a portable one-dimensional force platform. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(1), 37-41.
- Marinšek, M. (2010). BASIC LANDING CHARACTERISTICS AND THEIR APPLICATION IN ARTISTIC GYMNASTICS. *Science of Gymnastics Journal*, 2(2).
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British journal of sports medicine*, 41(6), 349-355.
- Mathie, M. J., Celler, B. G., Lovell, N. H., & Coster, A. C. F. (2004). Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42(5), 679-687.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., & Häkkinen, K. (2016). Huippu-urheiluvallmennus–Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. 1. painos. *Lahti. VK-Kustannus Oy*.
- Miletić, Đ., Katić, R., & Maleš, B. (2004). Some anthropologic factors of performance in rhythmic gymnastics novices. *Collegium antropologicum*, 28(2), 727-737.
- Pain, M. T., Mills, C., & Yeadon, M. R. (2005). Video analysis of the deformation and effective mass of gymnastics landing mats.
- Papaiakovou, G., Giannakos, A., Michailidis, C., Patikas, D., Bassa, E., Kalopisis, V., ... & Kotzamanidis, C. (2009). The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2568-2573.

- Sands, W. A., & McNeal, J. R. (2000). Enhancing flexibility in gymnastics. *Technique*, 20(5), 6-9.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Haff, G. G., & Kinser, A. M. (2008). Effect of vibration on forward split flexibility and pain perception in young male gymnasts. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(4), 469-481.
- Slater, A., Campbell, A., Smith, A., & Straker, L. (2015). Greater lower limb flexion in gymnastic landings is associated with reduced landing force: a repeated measures study. *Sports biomechanics*, 14(1), 45-56.
- Struzik, A., Pietraszewski, B., & Zawadzki, J. (2014). Biomechanical analysis of the jump shot in basketball. *Journal of human kinetics*, 42(1), 73-79.
- Takala, H. (2010). Jalkalihasten sähköinen aktiivisuus ja reaktivoimat joukkuevoimistelun harppa- ja rengashypyissä. Jyväskylän yliopisto, Liikuntatieteellinen tiedekunta.
- Thompson, C. J., & Bemben, M. G. (1999). Reliability and comparability of the accelerometer as a measure of muscular power. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 897-902.
- Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of physiology*, 513(1), 295-305.
- Voimisteluliitto, Joukkuevoimistelun lajiesittely. 2018. Haettu 17.4.2018 osoitteesta <https://www.voimistelu.fi/fi/L%C3%B6yd%C3%A4/voimistelu/Joukkuevoimistelu/Lajiesittely>
- Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2013. Haettu 17.4.2018 osoitteesta [https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Liitto/Dokumentit/Voimisteluliitto\\_Vuosikertomus\\_2013\\_final\\_net.pdf](https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Liitto/Dokumentit/Voimisteluliitto_Vuosikertomus_2013_final_net.pdf)
- Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2015. Haettu 17.4.2018 osoitteesta [https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Liitto/Dokumentit/Voimisteluliitto\\_Vuosikertomus\\_2015\\_20160309\\_UUSI.pdf](https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Liitto/Dokumentit/Voimisteluliitto_Vuosikertomus_2015_20160309_UUSI.pdf)
- Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2016. Haettu 17.4.2018 osoitteesta [https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Hallitus/S%C3%A4%C3%A4nt%C3%B6m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4iset%20kokoukset/Voimisteluliitto\\_Vuosikertomus\\_2016\\_NETTIIN.pdf](https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Hallitus/S%C3%A4%C3%A4nt%C3%B6m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4iset%20kokoukset/Voimisteluliitto_Vuosikertomus_2016_NETTIIN.pdf)



- Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2017. Haettu 17.4.2018 osoitteesta [https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Hallitus/2017/Voimisteluliitto\\_Vuosikertomus\\_2017\\_nettiin.pdf](https://www.voimistelu.fi/Portals/0/Hallitus/2017/Voimisteluliitto_Vuosikertomus_2017_nettiin.pdf)
- Voimisteluliitto, Vuosikertomus 2018. Haettu 21.3.2019 osoitteesta <https://www.voimistelu.fi/Portals/0/vuosikokoukset/kev%C3%A4tkokous/Vuosikertomus2018.pdf>
- Zijlstra, W., & Bisseling, R. (2004). Estimation of hip abduction moment based on body fixed sensors. *Clinical Biomechanics*, 19(8), 819-827
- Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F., & Brüggemann, G. P. (2004). The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 561-566.
- W B Young, R James, & I Montgomery. (2002). Is muscle power related to running speed with change of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3), 282. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/202673435>
- Willwacher, S., Funken, J., Heinrich, K., Müller, R., Hobara, H., Grabowski, A. M., ... & Potthast, W. (2017). Elite long jumpers with below the knee prostheses approach the board slower, but take-off more effectively than non-amputee athletes. *Scientific reports*, 7(1), 16058.
- Wilson, J. M., & Flanagan, E. P. (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1705-1715.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., & McNair, P. (2004). Stretching and injury prevention. *Sports medicine*, 34(7), 443-449.
- Woods, K., Bishop, P., & Jones, E. (2007). Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Medicine*, 37(12), 1089-1099.
- Yeadon, M. R., Kato, T., & Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of sports sciences*, 17(3), 249-257.
- Young, W., & Farrow, D. (2006). A review of agility: Practical applications for strength and conditioning. *Strength and conditioning journal*, 28(5), 24.
- Young, W. B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with change of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3), 282.

Young, W. B., McDowell, M. H., & Scarlett, B. J. (2001). Specificity of sprint and agility training methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(3), 315-319.

## 11 LIITE 1

Videoanalyysi vuoden 2018 joukkuevoimistelun MM-kilpailujen viiden parhaan joukkueen hyppymäärästä ja ponnistustavasta.

Videoanalyysin koostanut Elli Natunen

### 1. Madonna, Venäjä

- Harppaus taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen kauris taaksetaivutuksella
- Kaariharppausrengas taaksetaivutuksella
- Harppausrengas taaksetaivutuksella + kasakka eteentaivutuksella
- Tasaponnisteinen harpparengas taaksetaivutuksella/Tasaponnisteinen kahden jalan rengashyppy
- Tasaponnisteinen kissa taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen haarataitto eteentaivutuksella toinen jalka koukussa

Yhteensä 8 hyppyä, joista 4 tasaponnisteista, 1 pyörivästä vauhdista ponnistettu, 3 liikkuvasta vauhdista ponnistettua.

### 2. Minetit, Suomi

- Kaariharppausrengas taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen harpparengas taaksetaivutuksella
- Harppaus taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen kissa taaksetaivutuksella
- Harppausrengas kierrolla + kasakka eteentaivutuksella
- Tasaponnisteinen kauris taaksetaivutuksella
- Harppausrengas taaksetaivutuksella

Yhteensä 8 hyppyä, joista 3 tasaponnisteista, 1 pyörivästä vauhdista ponnistettu, 4 liikkuvasta vauhdista ponnistettua

3. Expressia, Venäjä

- Pyörivä kissa
- Kaariharppaus taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen kauris taaksetaivutuksella/tasaponnisteinen harpparengas taaksetaivutuksella
- Kaariharppaus
- Harppaus taaksetaivutuksella + kasakka eteentaivutuksella
- Tasaponnisteinen kissa taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen haarataitto eteentaivutuksella toinen jalka koukussa

Yhteensä 8 hyppyä, joista 3 tasaponnisteista, 3 pyörivästä vauhdista ponnistettua, 2 liikkuvasta vauhdista ponnistettua

4. OVO Team, Suomi

- Kissa taaksetaivutuksella
- Harppausrengas kierrolla
- Tasaponnisteinen kissa taaksetaivutuksella
- Harppausrengas taaksetaivutuksella + kasakka eteentaivutuksella
- Tasaponnisteinen kauris taaksetaivutuksella/tasaponnisteinen harpparengas taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen kahden jalan rengashyppy
- Kaariharppausrengas taaksetaivutuksella

Yhteensä 8 hyppyä, joista 3 tasaponnisteista, 1 pyörivästä vauhdista ponnistettu, 4 liikkuvasta vauhdista ponnistettua.

5. Team Japan, Japani

- Tasaponnisteinen kauris taaksetaivutuksella
- Kaariharppausrenkas taaksetaivutuksella
- Tasaponnisteinen haarataitto eteentaivutuksella
- Pyörivästä ponnistuksesta tasaponnisteinen kissa kierrolla
- Tasaponnisteinen kahden jalan rengashyppy
- Harppaus taaksetaivutuksella + kasakka eteentaivutuksella/Harppausrenkas taaksetaivutuksella + kasakka eteentaivutuksella
- Harppausrenkas kierrolla

Yhteensä 8 hyppyä, joista 3 tasaponnisteista, 2 pyörivästä vauhdista ponnistettua, 3 liikkuvasta vauhdista ponnistettua.

## 12 LIITE 2

### *SUOSTUMUS TIETEELLISEEN TUTKIMUKSEEN*

Minua on pyydetty osallistumaan tutkimukseen Ponnistuksen kontaktiajan merkitys hyppykorkeuteen ja alaraajojen nivelkulman laajuuteen joukkuevoimistelun lajihypyssä

Olen perehtynyt tutkimusta koskevaan tiedotteeseen (tietosuojailmoitus) ja saanut riittävästi tietoa tutkimuksesta ja sen toteuttamisesta. Tutkimuksen sisältö on kerrottu minulle myös suullisesti ja olen saanut riittävän vastauksen kaikkiin tutkimusta koskeviin kysymyksiini. Selvitykset antoi Elli Natunen. Minulla on ollut riittävästi aikaa harkita tutkimukseen osallistumista.

Ymmärrän, että tähän tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Minulla on oikeus, milloin tahansa tutkimuksen aikana ja syytä ilmoittamatta keskeyttää tutkimukseen osallistuminen tai peruuttaa suostumukseni tutkimukseen. Tutkimuksen keskeyttämisestä tai suostumuksen peruuttamisesta ei aiheudu minulle kielteisiä seuraamuksia. En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena. Olen tutustunut tiedotteessa tietosuojailoituksessa kerrottuihin rekisteröidyn oikeuksiin ja rajoituksiin.

Allekirjoittamalla suostumuslomakkeen hyväksyn tietojeni käytön tietosuojailoituksessa kuvattuun tutkimukseen. Tutkimustuloksiani saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. julkaisuihin) sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

Kyllä

Suostun siihen, että tutkimuksen päätyttyä aineisto arkistoidaan tunnistettuna, jotta voidaan tarvittaessa varmistaa tietojen oikeellisuus.

Kyllä

**Allekirjoituksellani vahvistan, että osallistun tutkimukseen ja suostun vapaaehtoisesti tutkittavaksi sekä annan luvan edellä kerrottuihin asioihin.**

---

Allekirjoitus

---

Päiväys

---

Nimen selvennys