

**JALKALIHASTEN SÄHKÖINEN AKTIIVISUUS JA REAK-
TIOVOIMAT JOUKKUEVOIMISTELUN HARPPA- JA
RENGASHYPPYISSÄ**

Henni Takala

Kandidaatin tutkielmaseminaari

Valmennus- ja testausoppi

Kevät 2010

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Taija Juutinen

TIIVISTELMÄ

Takala, Henni 2010. Jalkalihasten sähköinen aktiivisuus ja reaktivoimat joukkuevoimistelun harppa- ja rengashypyissä. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 48 sivua.

Joukkuevoimistelu on yksi voimistelulajeista, joka on kehittynyt suomalaisesta naisvoimistelusta. Joukkuevoimistelu perustuu tyylieltyyn ja luonnolliseen kokonaisliikuntaan, jossa kaikki liikkeet sitoutuvat toisiinsa sulavasti ja jatkuvasti luoden kuvan, että edellinen liike synnyttää aina seuraavan. Kilpailuohjelman tulee sisältää monipuolisesti hyppyjä, tasapainoja ja vartalonliikkeitä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lihasten aktivaatiomallit ja alustaan tuotetut reaktivoimat joukkuevoimistelun harppa- ja rengashypyissä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää tekijöitä, jotka vaikuttavat hyppykorkeuteen, ilmalentoon ja alastuloon. Tutkimukset suoritettiin tammikuussa 2010 ja mukana oli 17 maajoukkuevalmennukseen kuuluvaa voimistelijaa. Koehenkilöt suorittivat lajihypyt voimalevyllä ja lihasten sähköistä aktiivisuutta mitattiin pintaelektrodien avulla. Hypyistä analysoitiin alustan tuotetut pysty- ja vaakavoimat sekä eri lihasten tuottamat aktiivisuudet suhteutettuna maksimiin. Analysoinnissa käytettiin Microsoft Excel ja SPSS ohjelmia. Tutkimuksessa huomattiin, että kontaktiajalla oli yhteys harppaushypyn ilmalentoon ja jarruttavalla vaakavoimalla oli yhteys hypyn pituuteen. Rengashypyssä vastaavia yhteyksiä ei ollut. Ponnistusvaiheessa eniten kuormittuvat lihakset olivat rectus femoris ja harppahypyssä lisäksi gluteus maximus. Ilmalennossa harppaushypyssä eniten kuormittuivat etujalan rectus femoris ja takajalan gluteus maximus sekä vastus lateralis. Molemmissa rengashypyissä eniten kuormittui gluteus maximus, joka kuormittui jalat auki suoritettussa hypyissä merkittävästi enemmän kuin jalat yhdessä suoritettussa hypyissä. Kaikkien hyppyjen alastuloissa voimistelijat tuottivat alustaan 4,8 – 6,4 kertaa suuremman voiman kuin heidän kehonpainonsa oli. Hypyn nousukorkeudella ei ollut yhteyttä alastulossa tuotettuihin voimiin.

Avainsanat: joukkuevoimistelu, harppaushyppy, rengashyppy, reaktivoimat, EMG

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	4
2 JOUKKUEVOIMISTELU.....	6
2.1 Ohjelman rakenne	6
2.2 Fyysiset vaatimukset	7
3 HYPYT JOUKKUEVOIMISTELUSSA.....	12
3.1 Hypyn vaiheet	13
3.2 Sääntöjen mukaiset vaatimukset	14
3.3 Hypyt ohjelmassa.....	16
3.4 Lihasten aktivaatio ja reaktivoimat hyppyssä	16
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	18
5 MENETELMÄT.....	19
5.1 Koehenkilöt.....	19
5.2 Koeasetelma	19
5.3 Mittaukset.....	21
5.4 Analysointi	22
6 TULOKSET.....	25
6.1 Harppaushyppy	25
6.2 Rengashyppy.....	31
7 POHDINTA	39
8 YHTEENVETO	45

1 JOHDANTO

Joukkuevoimistelu on yksi voimistelulajeista ja se perustuu tyylieltyyn ja luonnolliseen kokonaisliikuntaan. Joukkuevoimistelussa kaikki liikkeet sitoutuvat toisiinsa sulavasti ja jatkuvasti luoden kuvan, että edellinen liike synnyttää aina seuraavan. (IFAGGa.) Joukkuevoimistelu on puhtaasti taitoarvostelulaji, jossa taidon merkitys korostuu ja merkittävimmät suoritukseen vaikuttavat tekijät ovat lajitaidot sekä niiden hallinta (Svoli, 2002).

Joukkuevoimistelu on kehittynyt suomalaisesta naisvoimistelusta, jossa säännöllinen kilpailutoiminta alkoi 1950-luvulla. Lajin ensimmäiset viralliset Suomen Mestaruus eli SM-kilpailut järjestettiin vuonna 1991. Ensimmäisten SM-kilpailuiden jälkeen kilpailusääntöjä tarkistettiin ja entistä määrätietoisempi lajin kehitys lähti käyntiin. Ensimmäiset kansainväliset kilpailut käytiin vuonna 1996 Helsingissä ja lajin ensimmäiset Maailman Mestaruus eli MM-kilpailut olivat vuonna 2000. ([SVOLIIa.](#)) Joukkuevoimistelun SM-sarjoissa voivat kilpailla kaikki yli 14-vuotiaat voimistelijat. Suomessa kilpaillaan kolmessa eri sarjassa; 14-16-vuotiaat, 16–18-vuotiaat ja yli 16-vuotiaat. Kansainvälisesti kilpaillaan vain Juniorisarjassa, jossa kilpailevat 14–16-vuotiaat ja naisten-sarjassa jossa kilpailevat kaikki yli 16-vuotiaat. SM-sarjoissa kilpailuohjelman pituus tulee olla 2min 15s - 2min 45s ja se suoritetaan 13m x 13m:n kokoisella voimistelumatolla. Joukkueessa voimistelee kerrallaan 6-12 voimistelijaa. (Svoli ry. 2007. IFAGGb 2005.)

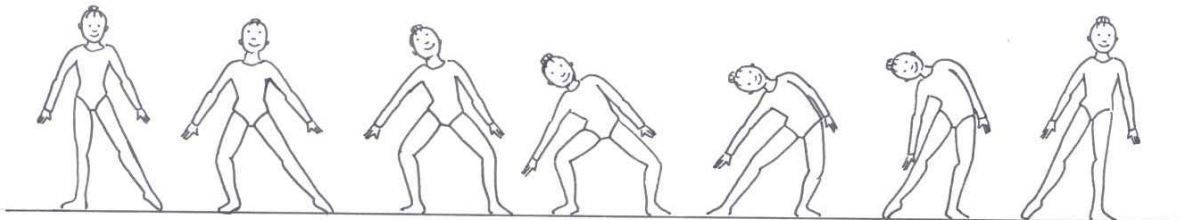
Julkaistua tutkimustietoa joukkuevoimistelusta ei juuri löydy, mutta Suomen voimisteluliitolla on tarkoituksenaan kehittää kattava lajianalyysi, jonka osa tämäkin tutkimus on. Aikaisempaa tutkimustietoa löytyy Rönkön (2006) tekemästä kandidaatin tutkielmasta, jossa on mitattu joukkuevoimistelijoiden kestävyysuorituskykyä sekä ohjelman kuormittavuutta. Vaikka varsinaista tutkimustietoa on vaikea joukkuevoimistelun puolelta löytää, on kuitenkin olemassa paljon erilaisia tutkimuksia liittyen hyppyjen reaktivoimiin ja EMG:n mittaamiseen.

Tämän tutkimuksen päätarkoituksena on selvittää joukkuevoimistelun harppa- ja rengashyppyjen aikaiset jalkalihasten sähköiset aktiivisuudet sekä alustaan tuotetut reaktivoimat, ja näiden avulla kuvailla kyseisten lajihyppyjen aktivaatiomalleja ja lihasten aktivoitumisjärjestystä. Tavoitteena on myös saada käytännön ohjeita valmennustyössä toimiville valmentajille ja ohjaajille, jotta lajin kehitys voisi jatkua turvallisesti eteenpäin.

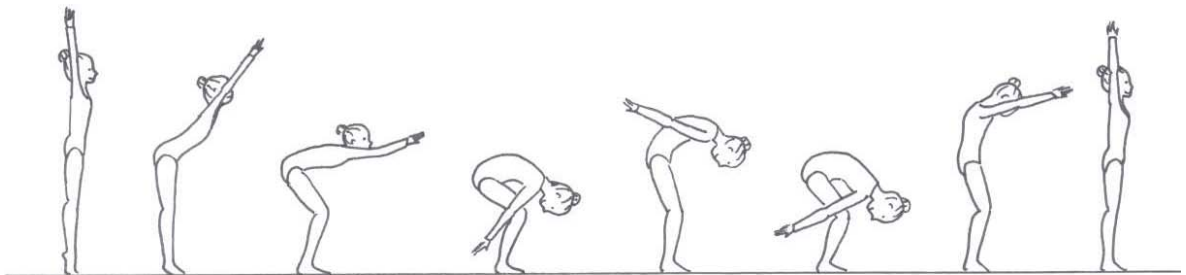
2 JOUKKUEVOIMISTELU

2.1 Ohjelman rakenne

Joukkuevoimistelun kilpailuohjelma koostuu vartalonliikkeistä, hypyistä ja tasapainoista. Vartalonliikkeiden osalta ohjelmasta tulee löytyä kaksi aaltoliikettä (kuva 1) ja kaksi vauhtiheittoa (kuva 2). Näiden yksittäisten vartalonliikkeiden lisäksi ohjelmassa tulee olla monipuolisia vartalonsarjoja seuraavalla tavalla: kaksi vartalon A-sarjaa, jotka koostuvat kahdesta peräkkäisestä vartalonliikkeestä, sekä kaksi vartalon B-sarjaa, jotka koostuvat kolmesta peräkkäisestä vartalonliikkeestä. Vartalonsarjat voivat koostua mistä tahansa vartalonliikkeistä. (IFAGGb 2005.)



KUVA 1. Vartalon aaltoliike sivulle. (Svoli 2007.)



KUVA 2. Vartalon vauhtiheitto eteen. (Svoli 2007)

Joukkuevoimistelussa hyppy ja tasapainoliikkeet jaetaan A- ja B- ryhmiin, joista B- liikkeet ovat vaikeampia ja pisteissä arvokkaampia. Tasapainon ja hypyn voi korottaa B- arvoon lisäämällä siihen esimerkiksi vartalonliikkeen tai pyörimisen. Ohjelmassa tulee olla kaksi yksittäistä hyppyä sekä yksi hyppysarja, jossa suoritetaan kaksi hyppyä peräkkäin. Tasapainoliikkeitä tulee olla hyppujen tapaan kaksi yksittäistä tasapainoliikettä ja yksi tasapainosarja. Näiden ohjelman pakollisten vartalonliikkeiden, hyppujen ja tasapainojen lisäksi ohjelmassa tulee olla näistä liikkeistä muodostettuja sarjoja, joita kutsutaan lisäosiksi. Lisäosa voidaan muodostaa esimerkiksi suorittamalla vartalon B-sarja ja sen jälkeen välittömästi tasapaino tai hyppy. Hyppyjä ja tasapainojakin voidaan suorittaa peräkkäin ja näin muodostaa lisäosia. (IFAGGb 2005.)

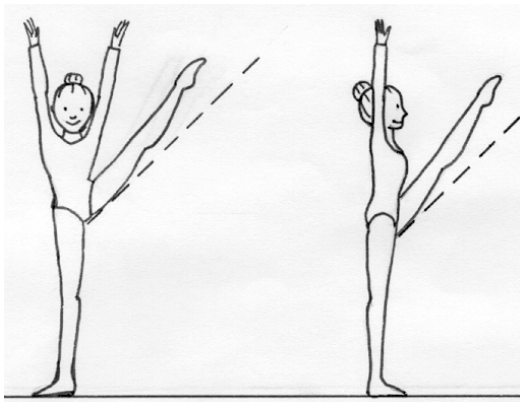
Suomen huippujoukkueiden ohjelmissa on keksimäärin 8-9 hyppyä ja saman verran tasapainoliikkeitä. Vaadittavia vartalonliikkeitä ohjelmasta löytyy kymmeniä ja muihin liikesuokuihin kuuluvia käsi- ja jalkaliikkeitä sekä hyppelyitä ja askelsarjoja jopa satoja. (Rönkkö 2006). Ohjelmaan kuuluvat hyppy ja tasapainot tulee sijoittaa ohjelmaan mahdollisimman tasaisesti, niin että ne eivät painotu vain yhteen osaan ohjelmaa (IFAGGb 2005).

2.2 Fyysiset vaatimukset

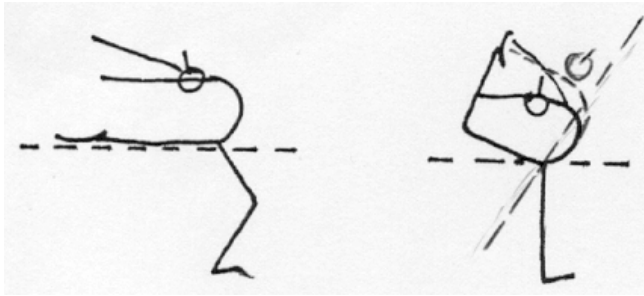
Joukkuevoimistelu on hyvin monipuolinen laji, sillä kilpailuohjelma sisältää hyppyjä, jotka vaativat paljon voimaa ja liikkeitä, jotka vaativat suurta liikkuvuutta. Tämän lisäksi ohjelman pituus osoittaa että, suoritus vaatii sekä aerobista että anaerobista kestävyyttä (Rönkkö 2006). Tästä syystä joukkuevoimistelussa vaaditaan monia fyysisiä ominaisuuksia, kuten liikkuvuutta, voimaa, nopeutta, kestävyyttä ja koordinaatiota. (IFAGGa.) Säännöissä määritellään että kilpailuohjelman tulee tuoda esiin monipuolisesti voimistelijoiden fyysisiä ominaisuuksia. Mikäli jollain osa-alueella on havaittavissa puutteita, tekevät tuomarit niistä tarvittavat vähennykset (IFAGG 2005).

2.1.1 Liikkuvuus

Liikkuvuudella tarkoitetaan lihaksen kykyä pidentyä niin että, se sallii nivelen liikkumisen sen täydellä liikelaajuudella (Russell ym. 2004). Liikkuvuudella on suuri merkitys voimistelulajeissa (Kinser ym. 2007) ja muiden voimistelulajien tavoin myös joukkuevoimistelu on suurta liikkuvuutta vaativa laji. Liikeratojen tulee olla mahdollisimman laajoja, sillä liikkuvuus on suorassa yhteydessä taitojen vaikeustasoon ja liikkeiden esteettisyyteen. Puutteellinen liikkuvuus vaikeuttaa liikkeiden oikeaa teknistä suorittamista sekä taiteellista ilmaisua. (Svoli. 2002.) Fysiologisesti puhdasta liikerataa voidaan lisätä pehmytkudosta venyttämällä. Fysiologisessa liikeradassa voimankäyttö ja liikelaajuus ovat aktiivisten ja passiivisten tukirakenteiden avulla hallittavissa ja liikesuunta on nivelelle tyypillinen (Svoli 2003). Sääntöjen mukaan osassa hypyistä jalkojen tulee aueta 180° ja suurin osa tasapainoliikkeistä vaatii jalkojen avaamista vähintään 135° :n (Kuva 3) (IFAGGb 2005). Jalan nostaminen näille liikelaajuuksille vaatii paljon lantionseudun liikkuvuutta (Wilson & Kwon. 2008). Selän taakse taivutuksissa tulee rangon taipua sääntöjen mukaan 80° pystylinjasta (Kuva 4) (IFAGGb 2005.). Näiden sääntövaatimusten mukaan, voimistelijalta vaaditaan paljon aktiivista liikkuvuutta (IFAGGb 2005), ja Murphy onkin tutkimuksessaan ehdottanut että paras tapa liikkuvuuden lisäämiseksi olisi käyttää aktiivisia keinoja joilla niveltä liikutetaan dynaamisesti koko sen liikelaajuudella (Russel & William. 2004). Tämän aktiivisen eli dynaamisen liikkuvuuden saavuttamiseksi voimistelijalta vaaditaan paljon passiivista liikkuvuutta, joka tarkoittaa sitä liikkuvuuden määrää jonka voimistelija kykenee saavuttamaan ilman lihastyötä tai ulkoista voimaa (Svoli 2003).



KUVA 3. Tasapainoasentoja edestä ja sivusta. Molemmissa asennoissa jalka on nostettuna 135° kulmaan (IFAGGb 2005).



KUVA 4. Tasapainoasentoja joissa näkyy selän vaadittu taakse taivutus (IFAGGb 2005).

2.1.2 Kestävyys

Rönkkö tutki vuonna 2006 joukkuevoimisteluohtelman kuormittavuutta ja huomasi, että 2,5 minuuttia kestävästä ohjelmasta noin puolet suoritetaan anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Voimistelijoiden syke saavutti aerobisen kynnyksen jo ennen ensimmäisen minuutin loppua ja ohjelman viimeinen kolmannes suoritettiin maksimikestävyysalueella. Tutkimuksessa voimisteliioilta mitattiin ohjelman jälkeiset laktaattipitoisuudet, jotka olivat 7,3mmol (\pm 1,8mmol). Nämä suhteellisen korkeat arvot kertovat, että energiantuotto on ollut anaerobista ja suoritus on tapahtunut lähellä maksimia. Ohjelman aikaista hapenkulutusta arvioitiin sykemittarilla, ja hapenkulutukseksi saatiin 43,4 ml/kg/min (\pm 1,7 ml/kg/min). Samaisessa tutkimuksessa havaittiin myös, että kahden eri ohjelman rakenteilla ei ollut vaikutusta voimistelijoiden fysiologisiin muuttujiin. Kilpailuohjelman aikainen syke käyttäytyi kaikilla voimisteliioilla hyvin samankaltaisesti ja nousu oli suoraviivaista läpi ohjelman. (Rönkkö 2006.) Mikäli voimisteliioilla on puutteita kestävyudessa, havaitaan se usein kilpailuohjelman lopussa lisääntyvinä virheinä (IFAGGb 2005).

2.1.3 Voima

Joukkuevoimistelussa voimaominaisuudet painottuvat pääsääntöisesti nopeus- ja kesto-voimaan. Nopeusvoimaa vaaditaan hyppyjen terävissä ja räjähtävissä ponnistuksissa, kun taas kesto-voimaa vaaditaan keskivartalonhallintaan sekä tasapainoasentojen ylläpitoon. (Rönkkö 2006.) Hyppyjen alastuloissa vaaditaan paljon eksentristä voimaa, jolloin alas tuleva jal-

ka tai jalat joutuvat vaimentamaan kehonpainoa suurempia voimia (Koutedakis ym. 2005). Wilson ja Kwon (2008) ovat lisäksi todenneet, että hypyn pituuden kasvaessa alastulojalalta vaaditaan enemmän eksentristä voimaa. Koutedakis ym. (2005) mukaan balettianssijoiden tulisi käyttää voimaharjoittelussa mekaanisesti mahdollisimman samanlaisia liikkeitä kuin itse tanssisuorituksessakin on. Jos suuria liikelaajuuksia vaativaa liikkuvuutta halutaan ylläpitää, on erittäin tärkeää pyrkiä liikuttamaan niveliä voimaharjoituksissa koko niiden liikelaajuudella (Koutedakis ym. 2005). Myös Rönkkö (2006) toteaa, että lajinomaisella voimaharjoittelulla pystytään joukkuevoimistelussa yhdistämään voima- ja tekniikka-harjoittelu. Oikealla tavalla yhdistetty voima- ja liikkuvuusharjoittelu voivat myös ehkäistä vammoja (Koutedakis ym. 2005).

Hyvä keskivartalon hallinta saa liikkeet näyttämään vaivattomilta ja kevyiltä. Tanssijoita tutkittaessa on havaittu että harjoittelu on luonut vakiintuneen motorisen mallin, joka keskivartalon lihaksiston avulla auttaa ylläpitämään tasapainoa. Tasapainoasennoissa vapaan jalan liikettä pystytään kompensoimaan muokkaamalla lantion lihasten toimintaa ja näin tasapaino pystytään ylläpitämään paremmin. Keskivartalon lihasten lisäksi tasapainoasennoissa vaaditaan voimaa myös tukijalan lihaksilta. (Koutedakis ym. 2005.)

2.1.3 Nopeus

Joukkuevoimistelussa vaaditut nopeusominaisuudet ovat räjähtävänopeus, liikenopeus ja nopeustaitavuus eli ketteryys (Rönkkö 2006). Kilpailuohjelmassa vaaditaan liikkeitä eri suunnissa ja tasoissa, jolloin liikenopeus ja ketteryys korostuvat. Ohjelman rakenteella ja musiikilla on kuitenkin suuri merkitys siinä kuinka paljon liikenopeutta tarvitaan. Säännöissä on määritetty, että sekä kilpailuohjelman musiikin että rakenteen tulee olla monipuolinen ja vaihteleva. (IFAGGb 2005). Räjähtävää nopeutta tarvitaan erityisesti hypyn ponnistus vaiheessa (Mero ym. s.293) sillä hyppyihin vaadittu voima pitää pystyä tuottamaan huomattavasti nopeammin kuin esimerkiksi voimaharjoittelussa tuotettu voima (Mero & Komi. 1991). Nopeutta vaaditaan myös hyppyjen ilmalentovaiheessa, jolloin voimistelijan tulee ehtiä näyttämään hypyn selkeä muoto (IFAGGb. 2005). Muoto jää usein vajaaksi, jos

nopeusominaisuudet eivät ole riittävät (Dyhre-Poulsen. 1987). Tutkittaessa harppaushypyn ominaisuuksia Dyhre-Poulsen (1987) havaitsi, että hyppyjen korkeudet eivät vaikuttaneet hypyn arvosteluun, vaan parhaimmat voimistelijat pystyivät ilmalennon aikana saavuttamaan vaaditun asennon nopeammin verrattuna huonompiin voimistelijoihin.

3 HYPYT JOUKKUEVOIMISTELUSSA

Joukkuevoimistelussa on kolmenlaisia ponnistustekniikoita. Ponnistus voi lähteä yhdeltä jalalta toiselle jalalle, yhdeltä jalalta samalle jalalle tai tasaponnistuksena yhtäaikaaisesti molemmilta jaloilta. Ponnistustekniikasta riippumatta hyppy koostuu vauhdinotosta, ponnistuksesta, ilmalennosta ja alastulosta. (Svoli 2002.) Voimistelulajeissa on usein havaittavissa voima-liikkuvuus – suhteen ongelma. Liikkuvuudella on suuri merkitys, mutta liian pitkät staattiset venytykset ennen suoritusta saattavat alentaa nopeutta ja räjähtävää voimantuottoa. Jos ennen suoritusta ei venytellä kunnolla, ei liikkuvuutta vaativia liikkeitä pystytä suorittamaan, ja jos taas venytellään liikaa saattaa se vaikuttaa heikentävästi hyppysuorituksiin. (Kinsler ym. 2007.)

Venymis-lyhenemis –sykli. Lähes kaikissa päivittäisissä liikkeissämme esiintyy lihasjännekompleksin venymis-lyhenemis –sykliä (Enoka 2002, s.273-275). Venymis-lyhenemis –syklissä (SSC) eksentrisen lihassupistuksen aikana lihaksen elastiseen komponenttiin varastoidaan elastista energiaa, joka vapautetaan välittömästi seuraavassa konsentrisessä lihas-työssä. (Goodwin ym. 1999). Toisin sanoen lihas pystyy tuottamaan enemmän positiivista työtä, jos sitä venytetään aktiivisesti ennen supistusta. Tutkijat ovat pohtineet neljää mahdollista syytä miksi SSC:ssä pystytään tuottamaan suurempia voimia; yksi selittävä tekijä saattaa olla voimantuottoajan piteneminen, toisena selittävänä tekijänä pidetään juuri elastisen energian hyödyntämistä, kolmas mahdollinen tekijä on voiman potentiaalın kasvaminen ja neljäntenä mahdollisuutena pidetään venytysrefleksiä, joka aktivoituu SSC:n alussa. Vaikka SSC:n tarkkaa mekanismia ei vielä tiedetä, on kuitenkin selvää että SSC parantaa liikkeen taloudellisuutta syklisissä liikkeissä kuten kävelyssä, juoksussa ja hypyissä. Hypysuorituksissa SSC:tä tapahtuu sekä lonkka-, polvi-, että nilkkaniveliä ympäröivissä lihaksissa. (Enoka 2002, s.273-275.)

3.1 Hypyn vaiheet

3.1.1 Vauhdinotto ja ponnistus

Yhdeltä jalalta ponnistavien hyppyjen vauhdinotossa juoksu suoritetaan nilkat ojennuksessa varpaat edellä rullaten. Ponnistuksen ylöspäin suuntautuvassa vaiheessa ojentuu ensin lantio, sitten polvi ja lopuksi nilkka. Dyhre-Poulsenin (1987) rytmisillä voimistelijoilla tekemässä tutkimuksessa oli harppaushypyn ponnistuksen aikainen polvikulma keskimäärin 145° . Ponnistus on tärkeä vaihe hypyssä sillä se määrittää hypyn korkeuden ja mahdollisuuden vartalon asennon muuttamiseen ilmassa. (Dyhre-Poulsen. 1987.) DiCagnon ym. (2008) tutkimuksessa oli myös tutkittu rytmisten voimistelijoiden harppaushyppyä ja huipputason voimistelijoiden ponnistusajaksi oli saatu $0,20 \pm 0,02$ sekunttia.

Tyypillinen kahdelta jalalta ponnistettava hyppy on esikevennyshyppy, jossa kehon massakeskipiste putoaa alaspäin ennen kuin se nousee nopeasti ylöspäin. Ponnistuksen eksentrisessä vaiheessa on havaittavissa nopea lonkan, polven ja nilkan fleksio. (Goodwin. Ym. 1999). Arkon (2010) tekemän kuva-analyysin mukaan joukkuevoimistelun tasaponnisteiset hypyt lähtevät ponnistusaskeleesta, jota seuraa pieni ilmalento vaihe. Tämän jälkeen voimistelija tuo jalat yhteen ja ponnistaa molempia jalkoja käyttäen räjähtävästi alhaalta ylöspäin, kuten esikevennyksessä. Kyseistä ponnistustekniikkaa voidaan kuitenkin verrata paremmin pudotushypyn ponnistukseen ponnistusaskeleesta johtuen. Tämän tyylisten hyppyjen ponnistuksissa voimistelijan täytyy pystyä hyödyntämään erilaisia liikemalleja, jotta alustaan tuotettuja voimia voidaan vaimentaa ponnistusvaiheessa (Cortes. ym. 2007). Cortes ym. (2007) havaitsivat, että yleisimmät ponnistustekniikat pudotushypyssä ovat varpaat tai kantapää edellä. Jokaisella hyppytekniikalla on oma kinemaattinen mallinsa, mikä vaikuttavat alaraajojen nivelkulmiin. Varpaat edellä suoritettu ponnistus on suositeltua voimistelussa sillä se vähentää alustaan tuotettuja reaktivoimia (Cortes. ym. 2007) eikä tuota vähennyksiä suoritusta arvioitaessa (IFAGG, 2005).

3.1.2 Ilmalento

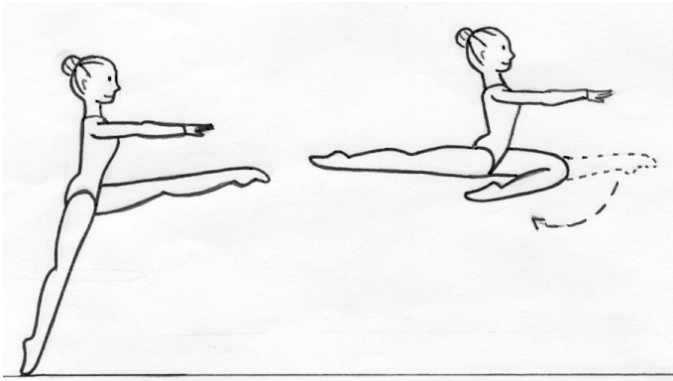
Ilmalento on hypyn näkyvin osa ja sen aikana tulee näyttää hypyn muoto selkeästi ja puhtaasti (IFAGGb 2005). Ilmalennossa korostuvat sekä jalkojen nopeus, että aktiivinen liikkuvuus (Dyhre-Poulsen. 1987). Missä tahansa hypyssä saavutettu korkeus riippuu paljon lihasaktiivisuuden amplitudista ja ajoituksesta (Enoka 2002 s.196). Walshe & Wilson (1997) toteavat, että pudotushypyn korkeus kertoo urheilijan kyvystä hyödyntää dynaamisia venymis-lyhenemis -syklin liikkeitä korkeilla eksentrisillä kuormilla, mikä on tyypillistä myös voimistelulajeissa. Dyhre-Poulsenin (1987) tutkimuksessa rytmisten voimistelijoiden kevennyshypyn korkeudeksi oli kuva-analyysistä saatu $28,1 \pm 2,1$ cm ja harppaushypyn korkeus oli ollut $32,7 \pm 4,0$ cm. DiCagno ym. (2008) saivat osittain samansuuntaisia tuloksia rytmisten voimistelijoiden kevennyshypystä. He raportoivat hyppykorkeudeksi kansainvälisillä huippu voimisteliijoilla $27,0 \pm 5,0$ cm, kun taas kansallisen tason voimistelijoiden hyppykorkeus oli $29,0 \pm 4,0$ cm. Samaisessa tutkimuksessa harppaushypyn lentoajaksi oli saatu 0,49 sekuntia. (DiCagno ym. 2008.)

3.1.3 Alastulo

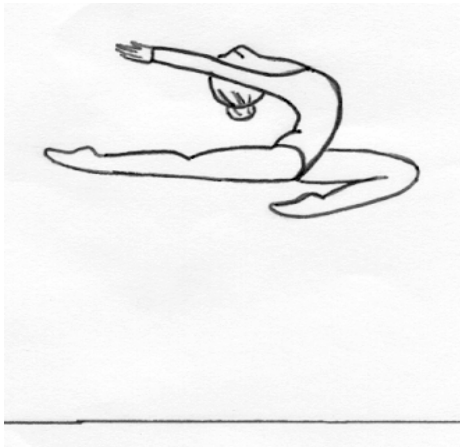
Tutkiessaan balettitanssijoita Chockley (2008) havaitsi alastulossa kolme eri vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa varpaat koskettivat maata, toisessa vaiheessa maahan tuli päkiä ja kolmannessa vaiheessa kantapää. Ensimmäisen vaiheen kesto oli 0,02s, toisen vaiheen kesto oli 0,037s ja viimeinen vaihe oli kestoltaan 0,053s. Joukkuevoimistelussa säännöt määrittävät, että alastulon tulee olla pehmeä niin, että ensimmäisenä maahan ottavat varpaat ja tämän jälkeen rullataan koko jalka maahan päkiän ja kantapään kautta nilkkaniveltä joustaten. Alastulossa joustavat myös polvi- ja lonkkanivel. (IFAGGb 2005). Varpaat edellä suoritettu alastulo vähentää myös alustaan tuotettuja reaktiovoimia (Cortes. ym. 2007).

3.2 Sääntöjen mukaiset vaatimukset

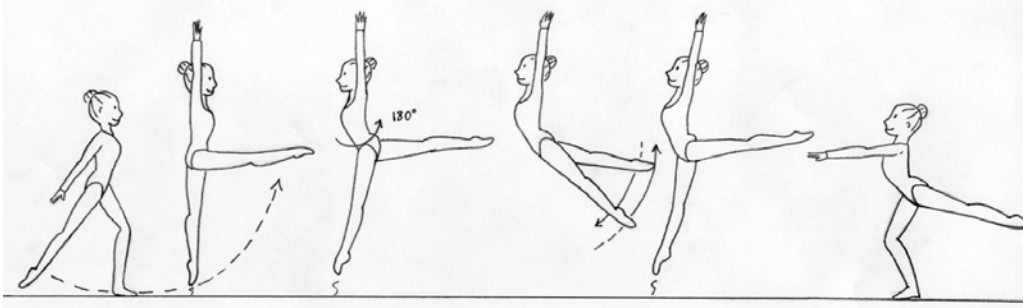
Kuten aikaisemmin todettiin, joukkuevoimistelusääntöjen mukaan kilpailuohjelmasta tulee löytyä vähintään kaksi yksittäistä hyppyä, sekä yksi hyppysarja ja hypyt jaetaan A ja B tason hyppyihin. A-tason hypyissä tulee näkyä selkeästi ilmalento ja hypyn muoto. Erillisiä liikkuvuusvaatimuksia ei A-tason hypyissä ole (Kuva 5). B-tason hypyissä on tarkat määritelmät voimistelijan asennolle ilmalennon aikana. Hypyn voi korottaa B-tasoiseksi lisäämällä ilmalennon asentoon voimakkaan vartalon liikkeen (Kuva 6.) tai kääntämällä hypyitä vähintään 180 astetta (Kuva 7.) (IFAGGb. 2005).



KUVA 5. A-hyppy, jossa ei ole erikseen määriteltyjä liikkuvuusvaatimuksia. (IFAGGb 2005)



KUVA 6. B-hyppy, jossa mukana voimakas selän taakse taivutus. (IFAGGb 2005)



KUVA 7. B-hyppy, jossa hyppy kääntyy ilmalennon aikana 180 astetta. (IFAGGb 2005.)

3.3 Hypyt ohjelmassa

Analysoitaessa kevään 2009 SM-kilpailuiden finaalijoukkueiden ohjelmia, löytyi hyppyjä keskimäärin $8 (\pm 2)$ hyppyä / ohjelma. Suurimmassa osassa hyppyistä ponnistus tapahtui toiselta jalalta ja alastulo tuli toiselle jalalle. Näiden hyppyjen määrä ohjelmassa oli 3-4 kappaletta. Tasaponnisteisten hyppyjen sekä yhden jalan hyppyjen joissa ponnistus ja alastulo tapahtuvat samalle jalalle, määrä oli keskimäärin 2-3 hyppyä / ohjelma. Samoissa kilpailuissa mitaleille sijoittuneiden joukkueiden ohjelmissa pyrittiin suorittamaan pelkästään B-tason hyppyjä, joista suurin osa (54%) tehtiin voimakkaalla selän taakse taivutuksella. (Takala analysoinut v.2009.)

3.4 Lihasten aktivaatio ja reaktivoimat hyppyissä

3.4.1 Reaktivoimat hyppyissä

Dyhre-Poulsen (1987) havaitsi, että korkeammalle arvioidut voimistelijat tuottivat pienemmän horisontaalisen voiman harppaushypyn ponnistus vaiheessa, kuin alemmalle tasolle arvioidut voimistelijat. Ponnistuksen aikainen jarruttava vaakavoima oli keskimäärin 150 N jonka jälkeen oli havaittavissa pieni 25 N eteenpäin vievä voima. Jarruttavan voiman huomattiin korreloivan hypyn korkeuden kanssa. Samaisessa tutkimuksessa voimistelijan ponnistusvaiheessa tuottama reaktivoima oli maksimissaan 1900 N. (Dyhre-Poulsen,

1987.) Carcia ym. tutkivat vuonna 2005 college ikäisten nuorten miesten ja naisten lonkanlähentäjien väsymyksen vaikutusta pudotushypyn nivelkulmiin ja reaktiovoimiin. He havaitsivat, että pudotushypyn aikaiset reaktiovoimat olivat keskimäärin $3.64 (\pm 0.77)$ kertaa suuremmat kuin kehonpaino. Kevennyshypyn alastuloa balettianssijoilla tutkinut Chockley (2008) havaitsi, että suurimman reaktiovoiman alustaan tuotti vaihe, jossa kantapää tulee maahan. Kinser ym. taas tutkivat vuonna 2007 tärinän vaikutuksia liikkuvuuteen ja kevennyshyppyyn telinevoimistelijoilla ja he saivat eri ryhmien reaktiovoiman korkeimmaksi keskiarvoksi 917,2 N kun mitattiin vain toisen jalan tuottamia voimia.

3.4.2 Lihasaktiivisuudet hyppyissä

Dyhre-poulsen (1987) mittasi tibialis anteriorin ja gastrocnemiuksen sähköistä aktiivisuutta harppaushypyssä. EMG - signaalista huomattiin, että gastrocnemiuksen aktiivisuus alkoi jo ennen ponnistusta. Aktiivisuus havaittiin sarjoina, joiden välillä oli hiljaisia hetkiä. Rankingin mukaan hyvillä voimistelijoilla hiljaiset hetket olivat noin 65 ms, kun taas heikommilla voimistelijoilla ne olivat vain 14 ms. Kevennyshypyn alastulossa gastrocnemiuksen aktiivisuus hyvillä voimistelijoilla on todettu olevan lyhyempi ja täsmällisempi kuin heikommilla voimistelijoilla (Dyhre-Poulsen. 1987). Goodwin ym. (1999) tutkivat EMG:n luotettavuutta vertikaalihypyissä 15:sta naiskoehenkilöllä. Elektrodit asetettiin biceps femoris, rectus femoris, vastus medialis sekä gastrocnemius lihaksiin. Tutkimuksessa huomattiin, että lihasten sähköinen aktiivisuus lisääntyi kevennysvaiheessa ja jatkui aina siihen saakka, kunnes koehenkilö irtosi alustasta. Ilmalennon aikana oli havaittavissa vaihe, jossa EMG aktiivisuus oli hyvin vähäistä, ja alastulovaiheessa oli havaittavissa jälleen suurempi aktiivisuuden määrä.

4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää joukkuevoimistelun harppa- ja rengashypyistä ponnistuksen ja alastulon reaktivoimat sekä lihasten aktivoitumismallit ja kuormittuvat lihasryhmät. Lihasryhmien aktivaatiota ja kuormittavuutta tutkitaan EMG:n avulla ja hypyistä saatuja arvoja verrataan maksimisuorituksista saatuihin arvoihin. Hyyt testataan Suomen B-maajoukkuerinkiin kuuluvilla voimistelijoilla. Tutkimusongelmat ja hypoteesit ovat:

1) Korreloivatko kontakiaika ja jarruttava voima hyppykorkeuden kanssa?

Hypoteesi: Kontakiaika ja jarruttava vaakavoima korreloivat hyppykorkeuden kanssa (Dyhre-Poulsen, 1987).

2) Miten lihasryhmät kuormittuvat ponnistuksessa ja mitkä ovat ponnistuksen voimat?

Hypoteesi: Harppaushypyn ponnistuksessa eniten kuormittuva lihas on gastrocnemius, jossa on havaittavissa esijännitystä ennen ponnistusta. Gluteus aktivoituu jo ponnistusvaiheessa eteenpäin työntävänä lihaksena. Rengashypyssä rectus femoris ja vastus lateralis kuormittuvat gastrocnemiusta enemmän.

3) Mikä on lihasten aktivaatiomalli hypyn ilmalennon aikana?

Hypoteesi: Harppaushypyssä eniten kuormittuvat vasemman jalan gluteus maximus sekä oikean jalan rectus femoris. Jalat yhdessä suoritettavassa rengashypyssä biceps femoris kuormittuu enemmän kuin gluteus maximus ja rengashypyssä jalat auki gluteus kuormittuu bicepsiä enemmän.

4) Onko alastulossa tuotettu voima riippuvainen hypyn korkeudesta?

Hypoteesi: alastulossa tuotettu voima ei ole riippuvainen hypyn korkeudesta.

5 MENETELMÄT

Tutkimus toteutettiin yhdessä Terhi Arkon tutkimuksen kanssa samoilla koehenkilöillä.

5.1 Koehenkilöt

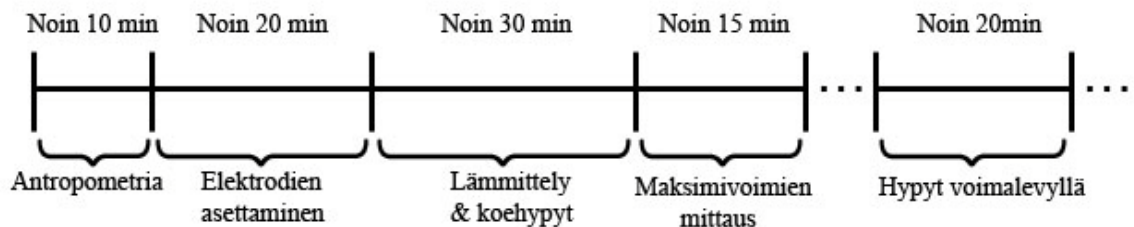
Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 17 maajoukkuevalmennuksessa harjoittelevaa voimistelijaa, jotka voimistelivat kahdessa eri joukkueessa. Joukkueet ovat junioreiden ja naisten sarjan kansallisen tason huippuja, jotka ovat jo useamman vuoden sijoittuneet SM-kilpailuissa viiden parhaan joukkoon. Koehenkilöiden ikäjakauma ja antropometriset mitat voidaan nähdä taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden tiedot.

	N	Keskiarvo ja SD
Ikä	17	17 ± 1,6
Pituus/cm	17	165,5 ± 5,1
Paino/ kg	17	57,0 ± 5,1
Rasva%	17	24,6 ± 3,2

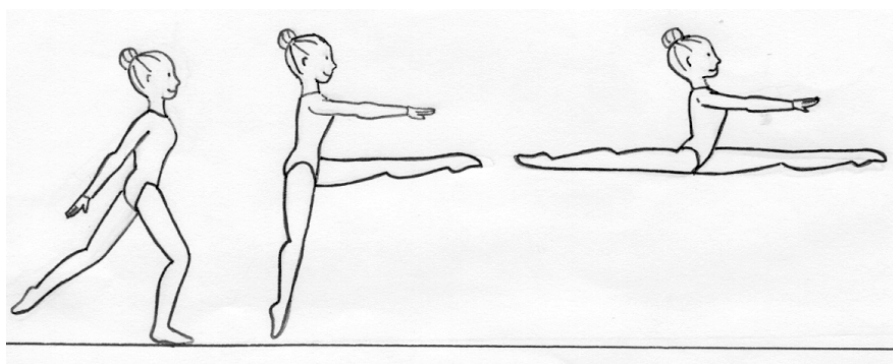
5.2 Koeasetelma

Tutkimukseen kuuluvat mittaukset suoritettiin tammikuussa 2010. Mittaukset suoritettiin aina yhdelle koehenkilölle kerrallaan ja yhden päivän aikana mittauksiin osallistui 5-6 voimistelijaa. Mittausprotokollan voi nähdä kuvasta 8.

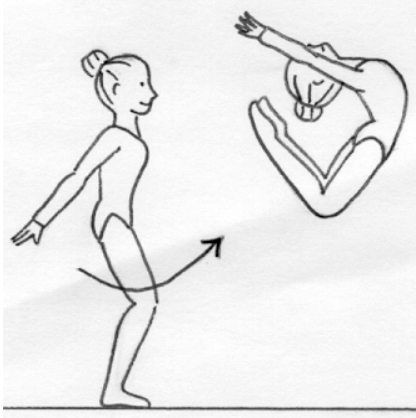


KUVA 8. Mittausprotokolla. Kuviossa olevat pisteet kuvastavat Arkon tutkimukseen kuuluvia mitausvaiheita.

Aluksi voimistelijoilta mitattiin antropometriset muuttujat, jonka jälkeen kiinnitettiin pinta-elektrodit. Elektrodien kiinnittämisen jälkeen voimistelijoilla oli 30 minuuttia aikaa lämmittelyyn ja koehyppyjen suorittamiseen. Koehenkilöt saivat kokeilla mitattavia hyppyjä kolme kertaa. Koehyppyjen jälkeen elektrodit kiinnitettiin vyötäröllä sijaitsevaan lähettiin ja EMG signaalin toimivuus testattiin. Tämän jälkeen koehenkilöt suorittivat mitattavien lihasryhmien maksimaaliset isometriset voimat. Maksimivoimien jälkeen Terhi Arkko kiinnitti voimistelijoille markkerit omaa liikeanalyysitutkimustaan varten. Voimistelijat suorittivat voimalevyllä kolme joukkuevoimistelun lajihyppyä, harppaushypyn (kuva 9) ja rengashypyn (kuva 10). Rengashyppy suoritettiin kahdella eri tekniikalla siten, että ilmalennon aikana jalat puristettiin yhteen ja siten, että jalat saivat olla vapaasti auki. Suorituista hypyistä valittiin aina yksi mittauslaitteiden toimivuuden sekä hypyn onnistumisen perusteella. Hyppyjen jälkeen Terhi Arkko suoritti voimistelijoille spagaatilinjan sekä selän liikkuvuustestit.



KUVA 9. Joukkuevoimistelun harppaushyppy. (IFAGGb 2005)



KUVA 10. Joukkuevoimistelun rengashyppy (IFAGGb 2005.)

5.3 Mittaukset

Antropometria. Rasvaprosentin mittaamisessa käytettiin ihopoimumenetelmää jossa otettiin huomioon ihopoimun paksuus neljästä eri pisteestä; hauislihaksesta, ojentajasta, lavalanluksesta ja suoliluunharjanteesta. Saatuja tuloksia verrattiin Durninin ja Rahamanin (1967) tekemään naisurheilijoiden taulukkoon.

Elektrodit ja EMG. Lihasten sähköisen aktiivisuuden rekisteröinnissä käytettiin pintaelektrodeja. Elektrodit asetettiin oikean jalan vastus lateralis (VLo) ja rectus femoris (RFo) lihaksiin, vasemman jalan vastus lateralis (VLv), rectus femoris (RFv), gluteus maximus (gluteus), biceps femoris (BFv) sekä gastrocnemius (gastro) lihaksiin SENIAMin ohjeiden mukaisesti. Elektrodien napojen välinen etäisyys oli noin 2,5cm. Ennen elektrodien asettamista koehenkilöiden iho valmisteltiin poistamalla ihokarvat, hiomalla kevyesti sekä puhdistamalla alue antiseptisellä aineella. Elektrodit kiinnitettiin ihoon teippien avulla jotta niiden liikkumiselta lämmittelyn ja hyppysuoritusten aikana vältyttäisiin. EMG signaalin vahvistuksessa ja lähetyksessä käytettiin Glonner Mespec 4000 (Mega electronics Ltd, Suomi) langatonta vahvistus-lähetin yksikköä, joka oli kiinnitetty koehenkilön vyötärölle. Painoa tällä lähettimellä oli noin 0,5kg, ja oletuksena oli että se ei vaikuttaisi koehenkilöiden hyppysuorituksiin. Signaali vastaanotettiin TEL 38 vastaanottimella (Mega electronics Ltd,

Suomi), ja saatu analoginen signaali muunnettiin digitaaliseksi AD-muuntimen (CED Ltd, Englanti) avulla. Signaali tallennettiin Acer tietokoneelle Signal 4.0 ohjelmalla.

Maksimivoimat. Ennen mitattavien hyppyjen suorittamista voimistelijoilta mitattiin tutkimukseen kuuluvien lihasryhmien isometriset maksimivoimat. Maksimivoimista tallennettiin ainoastaan EMG-signaali, jota käytettiin Hyppysuoritusten EMG:n suhteuttamisessa (Merletti ym. 2004 s.347). Vastus lateralis -lihaksen maksimivoima suoritettiin voimapenkissä polven ojennuksena. Rectus femoris -lihaksen maksimivoima mitattiin siten että, koehenkilö istui tuolilla ja nosti jalkaa ylöspäin polven ollessa noin 90° kulmassa. Gluteus maximus -lihaksen maksimivoima mitattiin koehenkilön seistessä tukea vasten ja nostamalla jalkaa suorana taaksepäin noin 45°. Biceps femoriksen maksimivoima mitattiin koehenkilön maata lattialla ja koukistaessa jalkaa noin 135° polvikulmassa. Gastrocnemius -lihaksen maksimivoima mitattiin voimakelkassa nostamalla kantapäätä ylöspäin.

Reaktiovoimat. Kaikki mitattavat hyyt suoritettiin voimalevyllä, jonka pituus oli 10m ja leveys 40cm. Voimalevyn signaali muunnettiin myös digitaaliseksi AD-muuntimen avulla ja tallennettiin Signal 4.0 ohjelmalla.

Hyppyjen suorittaminen. Harppaushypyssä (kuva 9.) voimistelijoille oli määritetty vauhdinotoksi kolme juoksuaskelta. Hyppy suoritettiin siten, että ponnistavana jalkana oli vasen jalka ja harppaushypyn spagaatilinja ilmassa näytettiin oikea jalka edessä. Ilmalennon aikana voimistelijoiden tuli pyrkiä pitämään kädet vaakatasossa siten, että vastakkainen käsi oli suoraan edessä ja toinen käsi sivulla. Alastuloa ei ollut määritelty. Rengashyppyyn (kuva 10.) lähdettiin jalat yhdessä ja ponnistus tapahtui oikealla jalalla. Ilmalennon aikana kädet heilautettiin etukautta ylös ja alastultaessa käsien tuli palata samaa rataa takaisin. Ensin hyppy suoritettiin siten että, jalat olivat ilmalennon aikana yhdessä ja sen jälkeen jalat saivat vapaasti aueta ilmalennon aikana. Alastuloa ei ollut määritelty.

5.4 Analysointi

Kaikki hyppysuoritukset analysoitiin kolmessa osassa: ponnistus, ilmalento ja alastulo. Voimasignaalin ja EMG -signaalin analysoinnissa käytettiin Signal 4.0 ohjelmaa. Tilastolliset analyysit suoritettiin tässä tutkimuksessa Microsoft Excel (Versio 2002) ja SPSS -ohjelmilla. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi määritettiin $< 0,05$.

5.4.1 Voimasignaali

Voimasignaalista analysoitiin jokaisen hypyn ponnistusvaiheen ja alastulon peak force, eli suurin alustaan tuotettu pystyvoima. Pystyvoiman lisäksi analysoitiin vaakavoimat, jotka jaettiin jarruttavaan vaiheeseen ja eteenpäin vievään vaiheeseen. Voimasignaalista analysoitiin myös kontaktiaika ja ilmalennon kesto. Ponnistuksesta analysoitiin kokonaiskontaktiaika ja eriteltiin jarruttavan vaiheen sekä eteenpäin vievän vaiheen kestot.

5.4.2 EMG signaali

EMG -signaalin analyysissä käytettiin signaalin keskimääräistä tehoa kuvastavaa root mean square eli RMS -arvoa. RMS:n avulla voidaan arvioida signaalin amplitudia. (Enoka s.53.) RMS -arvon on huomattu olevan lähes lineaarisessa suhteessa tuotetun voiman määrään (Merletti ym. 2004. s.346). EMG:tä analysoitaessa kaikki hyppysuorituksista lasketut RMS -arvot suhteutettiin maksimisuorituksista laskettuihin RMS -arvoihin.

Harppaushypyn analysointi. Harppaushypyn ponnistuksesta eroteltiin ponnistuksen jarruttava vaihe ja eteenpäin vievä vaihe. Sekä jarruttavasta että eteenpäin vievästä vaiheesta analysoitiin ponnistavan jalan eli vasemman jalan EMG:n RMS -arvot, sekä gastron esiaktiivisuuden alku ja RMS -arvo. Lisäksi analysoitiin RFo ja VLo lihasten ponnistuksen aikaiset RMS arvot ja kesto ponnistuksen alusta lihaksen aktivoitumiseen.

Ilmalentovaiheessa eteen nousevasta oikean jalan RF ja VL -lihaksista analysoitiin aktiivisuuden kesto ja RMS ilmalennon aikana. Taakse nousevan jalan RFv, VLv, gluteus, BFv ja

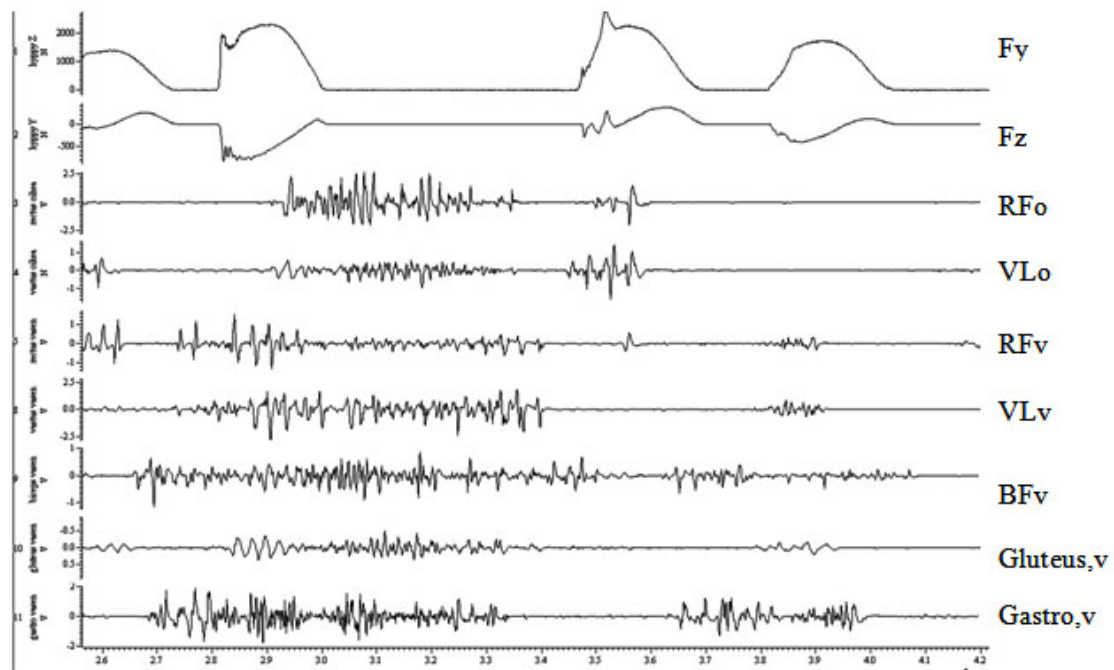
gastro -lihaksista analysoitiin myös ilmalennon aikainen kesto ja RMS. Alastulovaiheesta analysoitiin RFo ja VLo -lihasten EMG -signaalin kestot ja RMS -arvot samalta ajalta.

Rengashypyn analysointi. Rengashypyn ponnistusta analysoitaessa käytettiin vain vasemman jalan lihasten EMG -signaaleja. RFv ja VLv -lihaksista analysoitiin ponnistuksen aikaisen EMG:n kesto ja RMS -arvot. gastrosta analysoitiin esijännityksen kesto ja ponnistuksen aikainen kesto erikseen. Lisäksi analysoitiin ponnistuksen aikainen RMS. Gluteuksesta analysoitiin aktivaation kokonaisaika ponnistuksen alusta ilmalentovaiheeseen saakka, sekä ponnistuksen aikainen RMS. BFv -lihaksesta analysoitiin ponnistuksen alusta lihaksen aktivoitumiseen kuluva aika. Ilmalennon ajalta BFv analysoitiin aktivaation kokonaiskesto ja ilmalennon aikainen RMS -arvo 1 ms ajalta. Lisäksi analysoitiin aika kuinka paljon ennen alastuloa BFv aktivoitui uudestaan. VLv -lihaksen ilmalennon aikainen RMS määritettiin samalta ajalta kuin BFv -lihaksen RMS agonisti-anagonisti -koaktivaation selvittämiseksi. Ilmalennosta määritettiin myös gluteuksen aktivaation kesto ja RMS 1 ms ajalta. Alastulovaiheessa analysoitiin, kuinka paljon ennen alastuloa RFv, VLv ja gastro aktivoituvat, mikä oli aktiivisuuden kokonaiskesto ja RMS. Kahdella eri tekniikalla suoritettuja rengashyppyjä haluttiin vertailla ilmalentovaiheen osalta ja jalat auki hypätystä rengashypystä (RA) analysoitiin samat muuttujat kuin rengashypystä jalat yhdessä (RY). Ponnistus ja alastulovaiheita ei vertailtu.

6 TULOKSET

6.1 Harppaushyppy

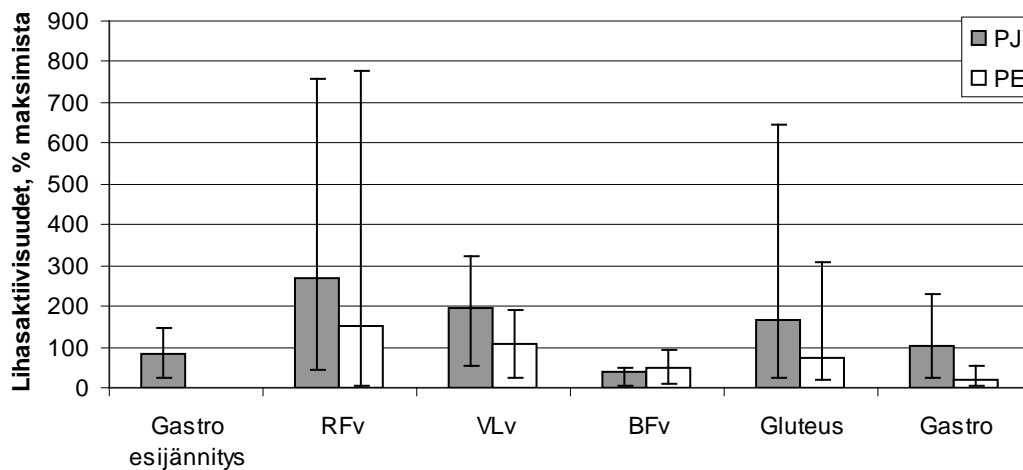
Kuvasta 11 voidaan nähdä harppaushypyn pysty- ja vaakavoimat sekä EMG –signaalit kokonaisuudessaan.



KUVA 11. Harppaushypyn kokonaissuoritus. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.

Ponnistus. Harppaushypyssä ponnistuksen kontaktiaika oli keskimäärin $0,20 \pm 0,02$ s, josta jarruttavan vaiheen kesto oli $0,17 \pm 0,02$ s, ja eteenpäin vievän vaiheen kesto oli $0,02 \pm 0,005$ s. Ponnistuksesta saatu korkein pystyvoima oli keskimäärin 2357 ± 505 N. Jarruttavan vaiheen vaakavoima oli 775 ± 214 N ja eteenpäin vievässä vaiheessa vaakavoima oli

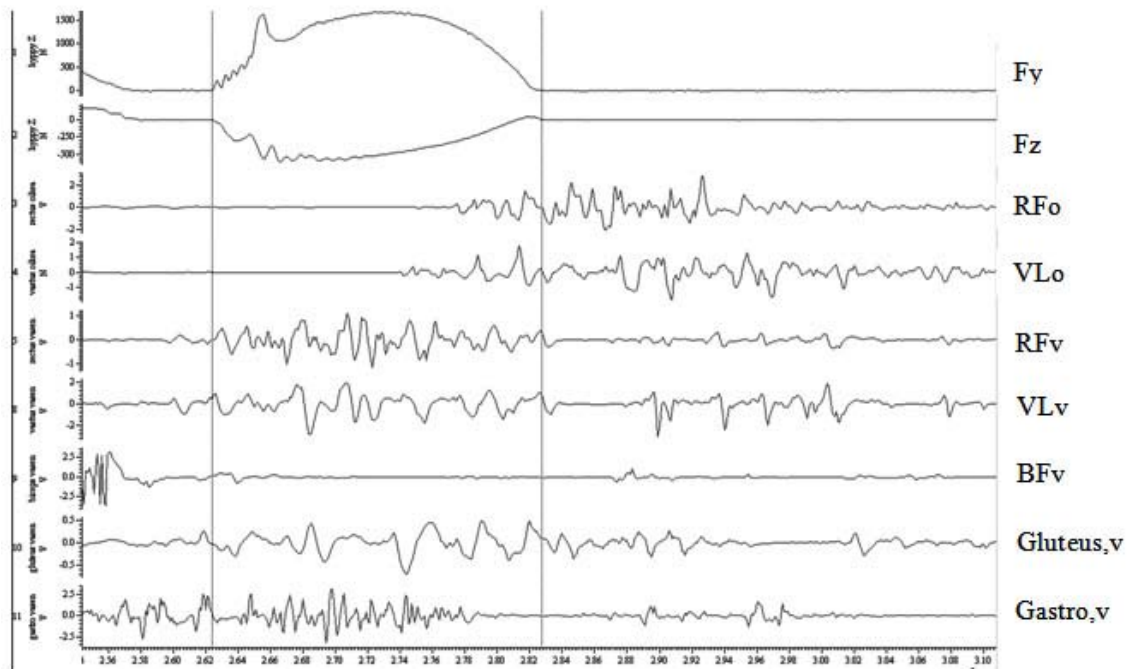
keskimäärin 71 ± 27 N. Koehenkilöiden painolla ei ollut yhteyttä alustaan tuotettujen voimien kanssa. Gastrossa havaittiin esijännitystä 0,14 sekuntia ennen ponnistuksen alkua. Esijännityksessä lihaksen aktiivisuus oli 81 % (± 34) maksimista. Ponnistuksen jarruttavassa eli eksentrisessä vaiheessa ponnistavan jalan RF aktivoitui noin 267 % (± 167) maksimista, VL 198 % (± 74) maksimista, BF 39 % (± 13) maksimista, gluteus 168 % (± 159) maksimista ja gastro 102 % (± 48) maksimista. Ponnistuksen eteenpäin vievässä eli konzentrisessä vaiheessa RF aktivoitui 150 % (± 202) maksimista, VL 106 % (± 60) maksimista, BF 47 % (± 26) maksimista, gluteus 74 % (± 78) ja gastro 22 % (± 17) maksimista. Kuvasta 12 voidaan nähdä sekä jarruttavan että eteenpäin vievän vaiheen lihasaktiivisuudet.



KUVA 12. ponnistuksen jarruttavan ja eteenpäin vievän vaiheen lihasaktiivisuudet. Kuvioon on merkitty pienin ja suurin arvo. PJ = ponnistuksen jarruttava vaihe, PE = ponnistuksen eteenpäin vievä vaihe.

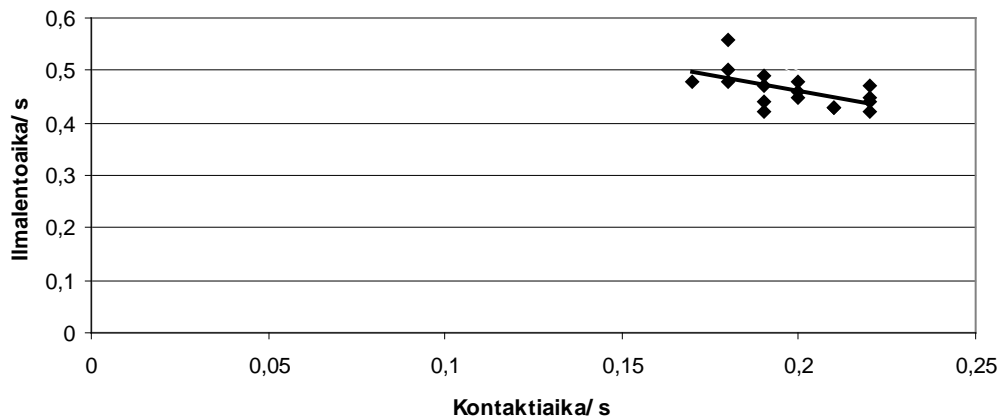
Hypyssä eteen nousevan jalan RFo -lihaksen aktivaatio alkoi keskimäärin $0,10 \pm 0,03$ sekuntia ponnistuksen jälkeen ja sen ponnistuksen aikainen aktivaatio oli 194 % (± 109) maksimista. Saman jalan VL lihas aktivoitui $0,12 \pm 0,03$ sekuntia ponnistuksen jälkeen ja sen aktivaatio oli 61 % (± 37) maksimista. Ponnistuksessa eniten kuormittuva lihas oli RFv sekä jarruttavassa vaiheessa että eteenpäin vievässä vaiheessa. Vähiten kuormittuivat BFv sekä gastro. Kokonaisuudessaan jarruttavassa vaiheessa oli havaittavissa suuremmat lihasaktiivisuudet kuin eteenpäin vievässä vaiheessa (kuva 12.). Kaikissa lihasaktiivisuuden

arvoissa keskihajonta oli suurta, minkä voi nähdä myös kuvasta 12. Ponnistuksen lihasaktiivisuuksilla ei ollut yhteyttä hypyn ilmalentoon tai pituuteen. Eteen nousevan jalan lihaksista RFo aktivoitui hieman aikaisemmin kuin VLo, ja sen aktiivisuustaso oli suurempi. Ponnistuksen pysty- ja vaakavoimat sekä EMG – signaalit voidaan nähdä kuvasta 13.



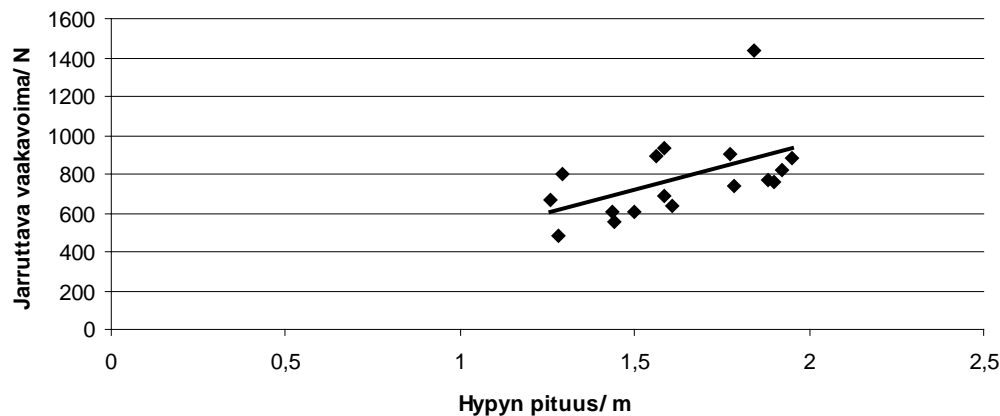
KUVA 13. Harppaushypyn ponnistusvaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.

Ilmalento. Voimakäyrästä analysoitu ilmalentoaika harppaushypyssä oli keskimäärin $0,46 \pm 0,04$ ms ja Arkon (2010) tutkimuksessa tehdyllä kuva-analyysillä nousukorkeudeksi saatiin $32 \pm 0,06$ cm. Kontaktiajalla ja hypyn lentoajalla oli merkittävä käänteinen yhteys ($r = -0,580$, * $p < 0,05$), mikä tarkoittaa sitä, että kontaktiajan pienentyessä lentoaika kasvaa (kuva 14).



KUVA 14. Kontaktiajan ja lentoajan yhteys. (* $p < 0,05$)

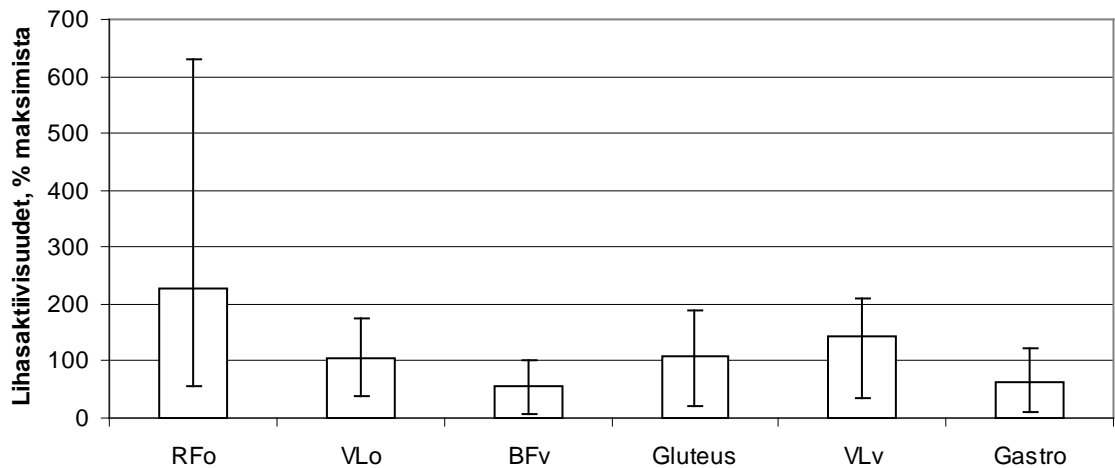
Arkon tutkimuksesta saatu harppaushypyn pituus oli $1,62 \pm 0,24$ metriä. Tällä hypyn pituudella ja kontaktiajalla oli havaittavissa positiivista korrelaatiota ($r = 0,592$, * $p < 0,05$), joka tarkoittaa sitä, että kontaktiajan kasvaessa myös hypyn pituus kasvaa. Ponnistusvaiheessa alustaan tuotetuilla voimilla ei ollut yhteyttä hypyn lentoaikaan. Sen sijaan jarruttavalla vaakavoimalla ja hypyn pituudella oli merkittävä yhteys ($r = 0,518$, * $p < 0,05$) (kuva 15).



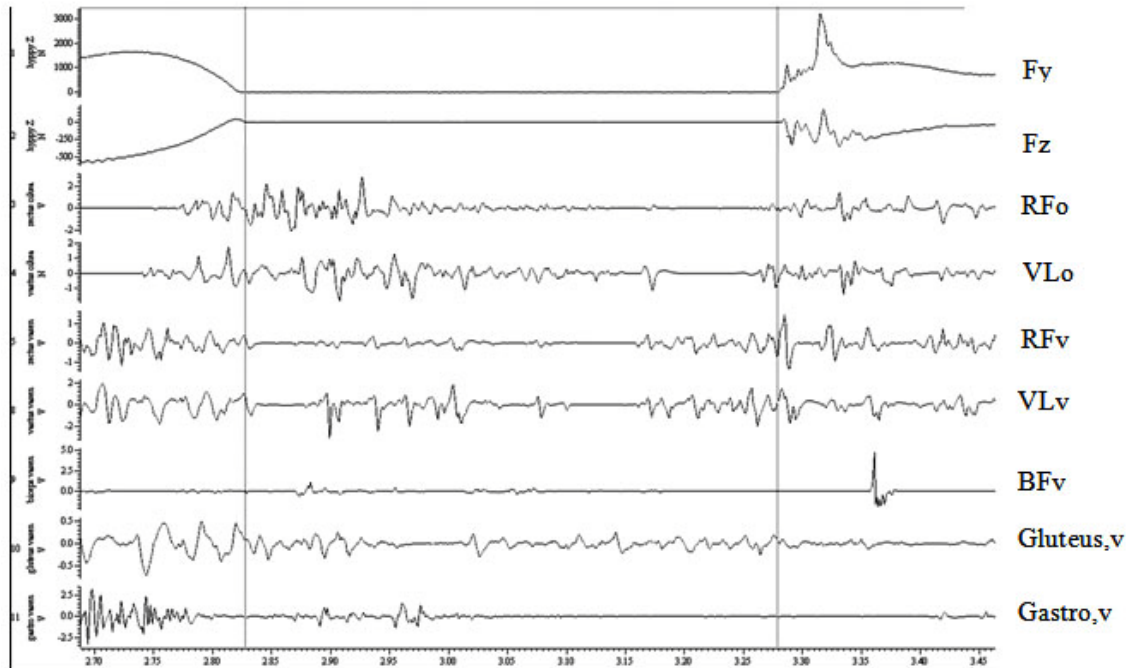
KUVA 15. Hypyn pituuden ja jarruttavan vaakavoiman yhteys. (* $p < 0,05$)

Ilmalennon aikana eteen nousevan jalan RFo aktiivisuus kesti $0,43 \pm 0,07$ sekuntia ja sen suhteellinen aktivaatiotaso oli 226 % (± 132) maksimista. Saman jalan VL -lihaksen aktiivisuus kesti $0,45 \pm 0,09$ sekuntia ja sen aktiivisuus taso oli 104 % (± 40) maksimista. Taka-

jalan BF -lihaksen aktiivisuuden kesto ilmalennossa oli $0,40 \pm 0,14$ sekuntia ja aktiivisuuden suhteellinen määrä 54 % (± 23). Gluteuksen aktiivisuuden kesto oli niin ikään $0,40 \pm 0,12$ sekuntia, mutta aktiivisuuden määrä oli 109 % (± 45) verrattuna maksimiin. Hypyn aikana takajalan polven ojentaminen on tärkeää suorituspuhtauden saavuttamiseksi (IFAGGb 2005.), joten VLv -lihaksen aktivaatiot analysoitiin myös. VLv oli aktiivisena $0,41 \pm 0,13$ sekuntia ilmalennon aikana ja sen suhteellinen aktiivisuusmäärä oli 144 % (± 46) maksimista. Gastron aktiivisuus ilmalennon aikana kesti $0,29 \pm 0,12$ sekuntia ja sen suhteellinen aktivaatiotaso oli 62 % (± 33). (kuva 16.) Ilmalennossa eniten kuormittuva lihas oli RFo, joskin keskihajonta oli suuri. Takajalassa eniten kuormittuivat VLv ja gluteus – lihakset, joilla keskihajonta oli vähäisempää kuin RFo – lihaksessa. Ilmalennon EMG – signaalit voidaan nähdä kuvasta 17.

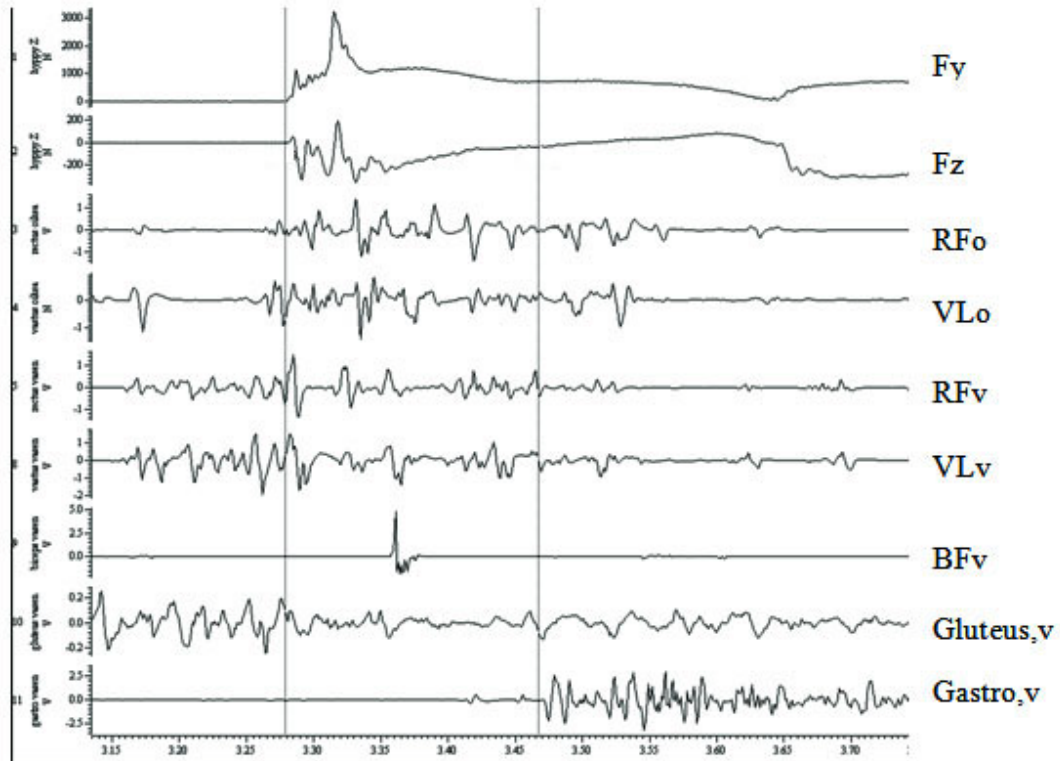


KUVA 16. Ilmalennon aikaiset lihasaktiivisuudet. Kuvioon on merkitty pienin ja suurin arvo.



KUVA 17. Harppaushypyn ilmalentovaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.

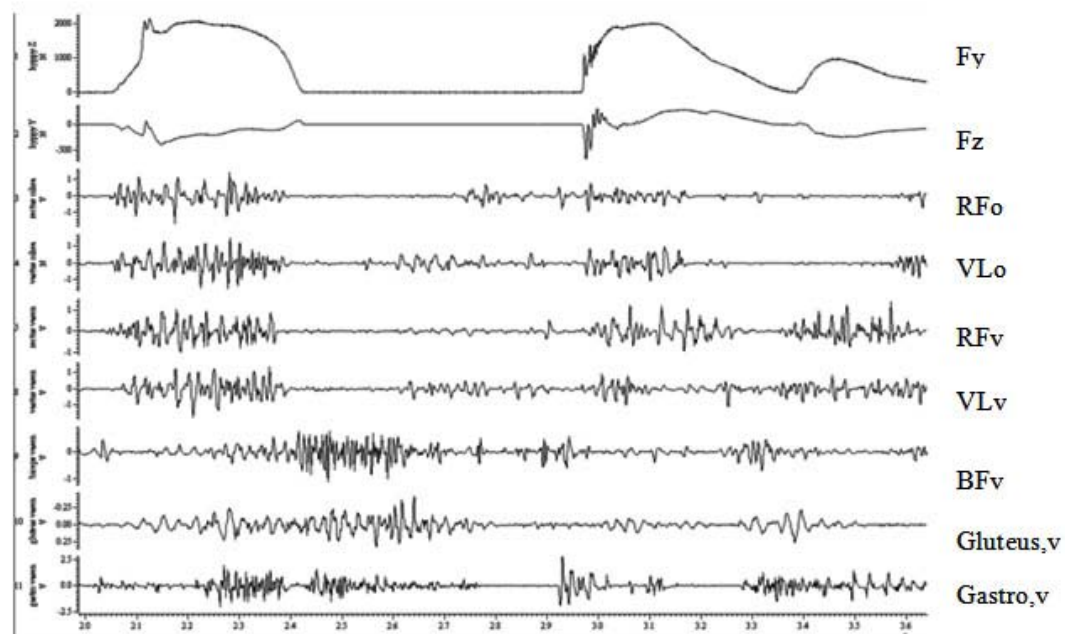
Alastulo. Alastulovaiheesta analysoitiin maahan tuotetut pysty- ja vaakavoimat sekä RFo ja VLo -lihasten EMG -aktiivisuudet ja niiden kestot. Hypyn alastulossa voimistelijat tuottivat alustaan 3512 ± 612 N voiman, joka oli $6,4 \pm 1,3$ kertaa suurempi kuin voimistelijoiden kehon paino. Alustaan tuotetulla pystyvoimalla ei ollut yhteyttä hypyn pituuden, lentoajan tai voimistelijoiden painon kanssa. Alastulon aikana tuotettu jarruttava vaakavoima oli keskimäärin 512 ± 254 N ja eteenpäin vievä vaakavoima 308 ± 163 N. Jarruttavalla vaakavoimalla ja hypyn pituudella havaittiin olevan merkittävä yhteys ($r = 0,655$, * $p < 0,05$). VLo aktivoitui $0,05 \pm 0,03$ sekuntia ennen alastulon alkua ja esijännitys mukaan luettuna sen aktiivisuuden kokonaiskesto oli $0,26 \pm 0,13$ sekuntia ja suhteellinen aktiivisuus taso 101 % (± 30) maksimista. RFo aktiivisuus kesti $0,25 \pm 0,14$ sekuntia ja aktiivisuuden taso oli 147 % (± 78) maksimista. Alastulossa tuotettujen voimien ja lihasaktiivisuuksien välillä ei havaittu merkitseviä yhteyksiä. Alastulon pysty- ja vaakavoimat sekä EMG – signaalit voidaan nähdä kuvasta 18.



KUVA 18. Harppaushypyn alastulovaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. F_y = pystysuuntainen reaktivoima, F_z = vaakasuuntainen reaktivoima.

6.2 Rengashyppy

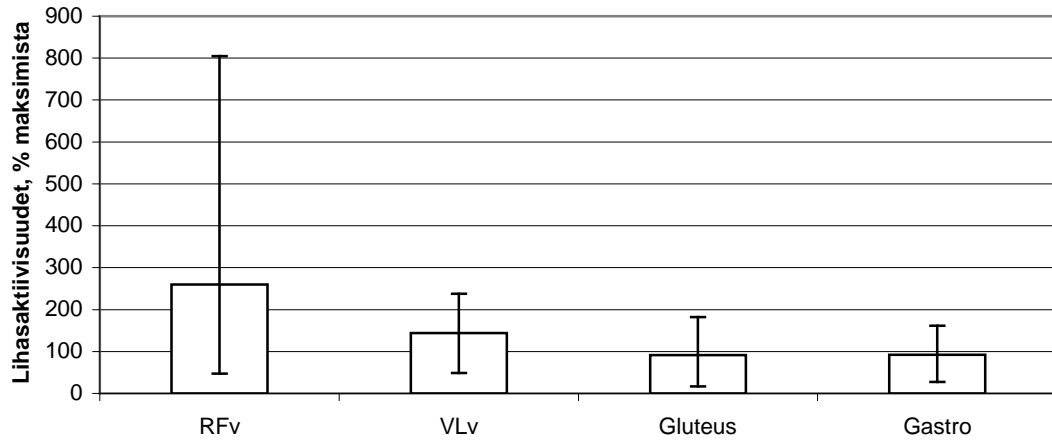
Kuvasta 19 voidaan nähdä rengashypyn pysty- ja vaakavoimat sekä EMG – signaalit kokonaisuudessaan.



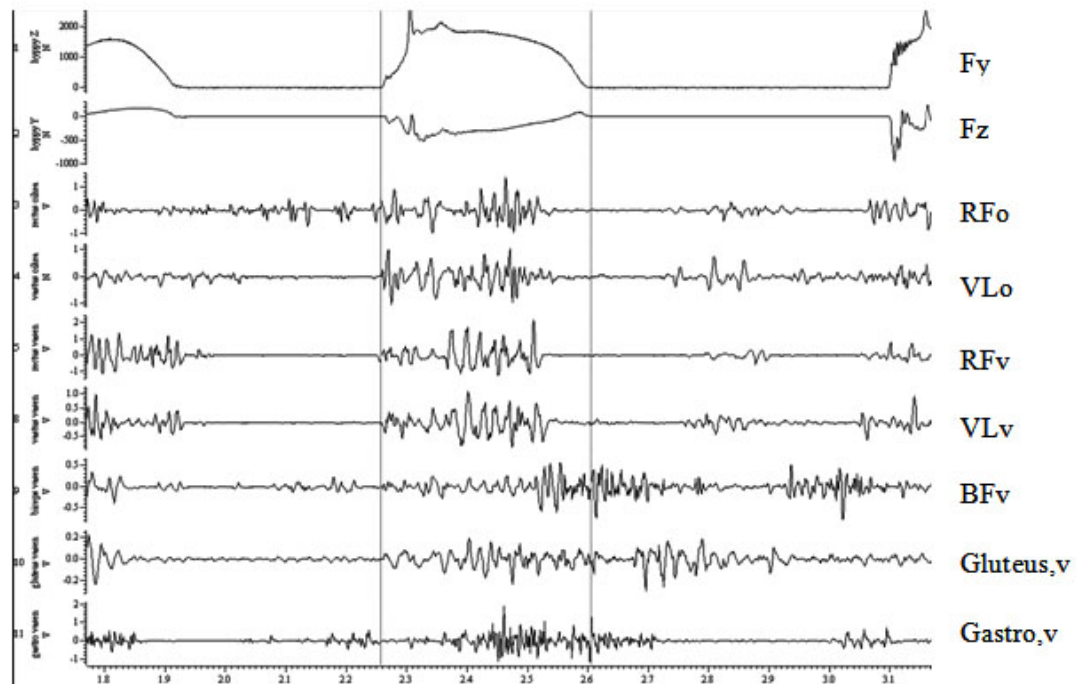
KUVA 19. Rengashypyn kokonaissuoritus. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktivoima, Fz = vaakasuuntainen reaktivoima.

Ponnistus. Rengashypyn ponnistuksessa kontakti-aika oli $0,31 \pm 0,05$ sekuntia. Ponnistusvaiheessa alustaan tuotettu pystysuuntainen reaktivoima oli keskimäärin 2426 ± 624 N, vaakasuuntainen jarruttava voima oli 419 ± 124 N, ja eteenpäin vievä voima oli 159 ± 114 N. Ponnistuksen lihasaktiivisuuksia analysoitaessa, käytettiin vain vasemman jalan lihasten aktiivisuuksia. RFv -lihaksen aktiivisuuden kokonaiskesto ponnistuksesta alkaen oli $0,26 \pm 0,09$ sekuntia ja ponnistuksen aikainen lihasaktiivisuus oli $260 \% (\pm 222)$ maksimista. VLv -lihaksessa aktiivisuuden kesto oli $0,29 \pm 0,07$ sekuntia ja suhteellinen aktiivisuus $144 \% (\pm 47)$ maksimista. Samoin kuin harppaushypyssä, rengashypyssäkin havaittiin gastron esiaktiivisuutta $0,12 \pm 0,06$ sekuntia ennen ponnistuksen alkua. Gastron kokonaisaktiivisuus-aika ponnistuksessa oli $0,47 \pm 0,22$ sekuntia, josta voidaan päätellä, että aktiivisuus jatkui myös ilmalennon aikana. Suhteellinen aktiivisuus gastrossa oli $92 \% (\pm 35)$ maksimista. Gluteuksen aktivaation alkukohtaa oli vaikea määrittää, sillä joillain koehenkilöillä se aktivoitui jo ennen ponnistusta ja joillain vasta sen jälkeen. Myös ponnistuksen aikainen aktivaation kesto oli hankala määrittää sillä aktiivisuus jatkui ilmalentoon asti. Gluteuksesta analysoitiin kuitenkin ponnistuksen aikainen suhteellinen aktivaatiotaso, joka oli $91 \% (\pm 47)$ mak-

simista (kuva 20). Ponnistuksessa tuotetuilla voimilla ei ollut yhteyttä lihasaktiivisuuksiin. Ponnistusvaiheen pysty- ja vaakavoimat sekä EMG – aktiivisuudet voidaan nähdä kuvasta 21.

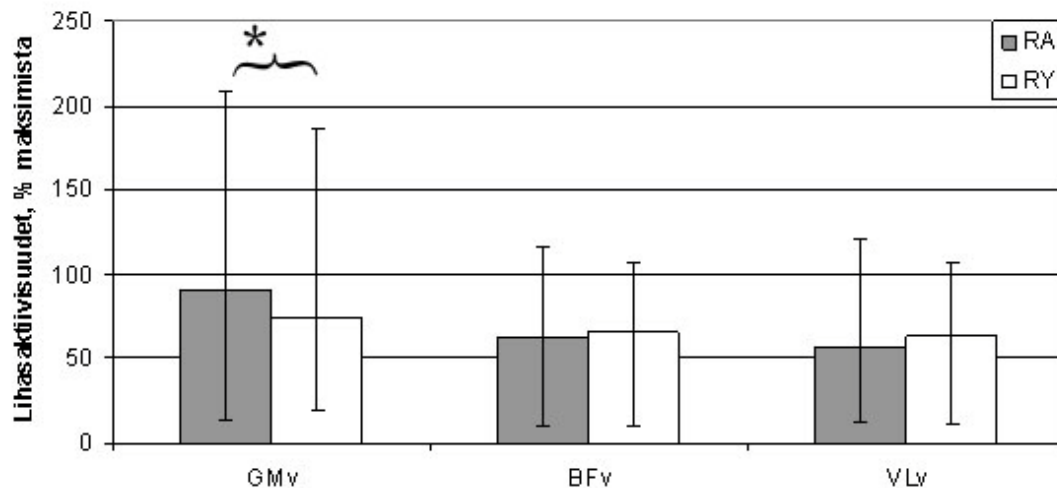


KUVA 20. Ponnistusvaiheen lihasaktiivisuudet. Kuvioon on merkitty pienin ja suurin arvo.



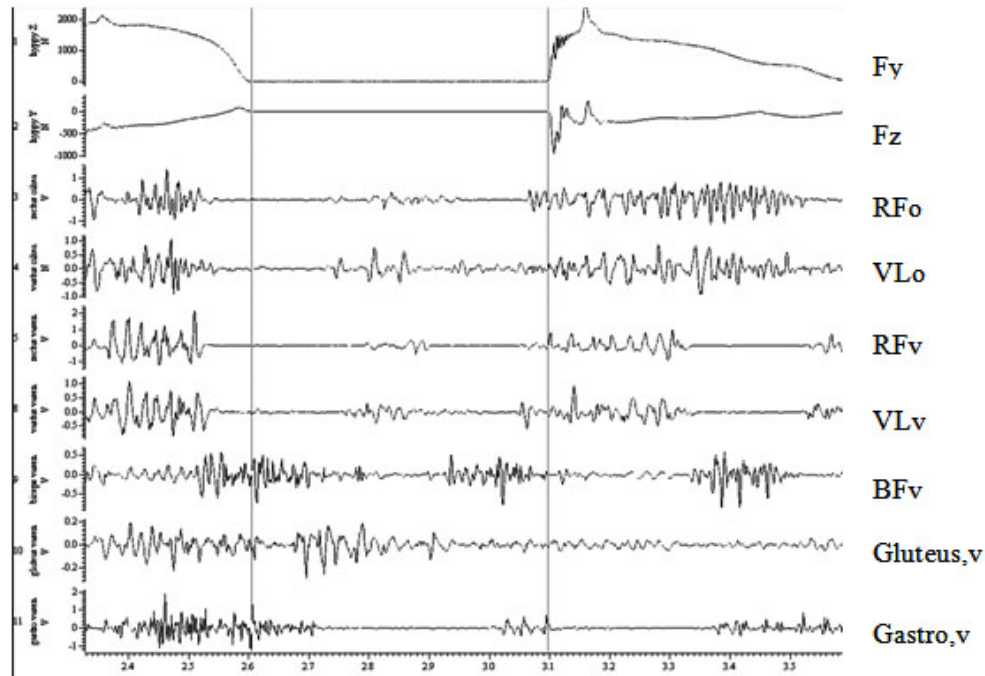
KUVA 21. Rengashypyn ponnistusvaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.

Ilmalento. Voimasignaalista analysoitu lentoaika rengashypyssä jalat yhdessä (RY) oli $0,52 \pm 0,02$ sekuntia. Lentoajasta laskettu nousukorkeus RY:lle oli $33,4 \pm 0,3$ cm. Rengashypyssä, jossa jalat saivat olla auki (RA), lentoaika oli $0,53 \pm 0,03$ sekuntia ja nousukorkeudeksi saatiin $34,7 \pm 0,4$ cm. Kummassakaan hypyssä ei kontaktiajalla ja hypyn nousukorkeudella ollut merkittävää yhteyttä. BFv -lihaksen aktiivisuuden alkukohtaa oli vaikea määrittää, sillä osalla koehenkilöistä aktiivisuus alkoi jo ennen ponnistusta ja joillakin vasta ponnistuksen jälkeen. Niin kuin aikaisemmin todettiin, sama ongelma oli havaittavissa gluteuksessa. Kun otetaan mukaan sekä ponnistus- että ilmalentovaiheet saatiin gluteuksen aktivaation kokonaiskestoksi RY:ssä $0,52 \pm 0,16$ sekuntia ja ilmalennon aikainen suhteellinen aktivaatiotaso oli 75 % (± 44) maksimista. RA:ssa gluteuksen aktivaation kokonaiskesto oli niin ikään $0,52 \pm 0,21$ sekuntia ja suhteellinen aktiivisuus taso oli 91 % (± 34) maksimista. BFv -lihaksen aktiivisuuden kesto oli RY:ssä $0,50 \pm 0,13$ sekuntia ja RA:ssa $0,53 \pm 0,18$ sekuntia. BF:n suhteelliset aktiivisuudet olivat RY:ssä 65 % (± 22) ja RA:ssa 62 % (± 23) maksimista. Ilmalennon ajalta tarkasteltiin myös agonisti-antagonisti -aktivaatiota analysoimalla VL -lihaksen suhteellinen aktivaatio samalta ajalta kuin BF:n aktiivisuus. RY:ssä vastuksen suhteellinen aktivaatio oli 64 % (± 30) ja RA:ssa 57 % (± 34) maksimista. Ilmalentovaiheessa gluteuksen aktiivisuuksissa oli merkittävä ero (* $p < 0,05$) kahden eri rengashypyn välillä, mutta BFv ja VLv -lihasten aktiivisuudet eivät eronneet toisistaan (kuva 22).

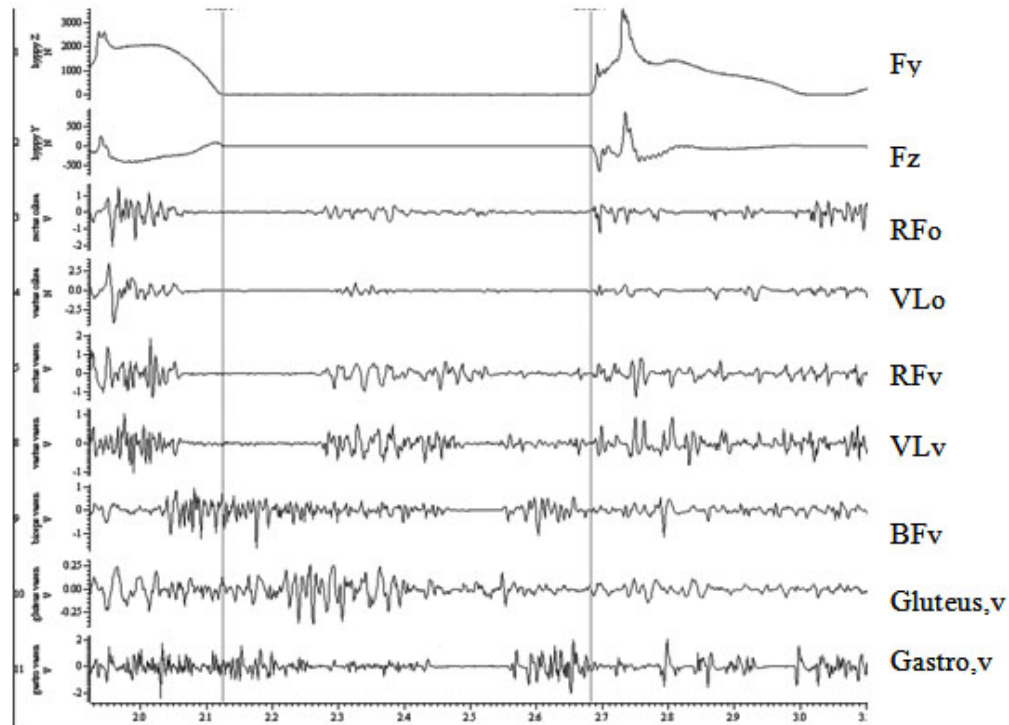


KUVA 22. Rengashyppyjen ilmalennon aikaiset aktiivisuudet. (* $p < 0,05$) Kuvioon on merkitty pienin ja suurin arvo. RA = rengashyppy jalat auki, RY = rengashyppy jalat yhdessä

Kuvassa 23 on nähtävissä RY:n ilmalentovaiheen EMG –aktiivisuudet ja kuvassa 24 vastaavasti RA:n aktiivisuudet. Molemmat kuvat ovat samalta koehenkilöltä.



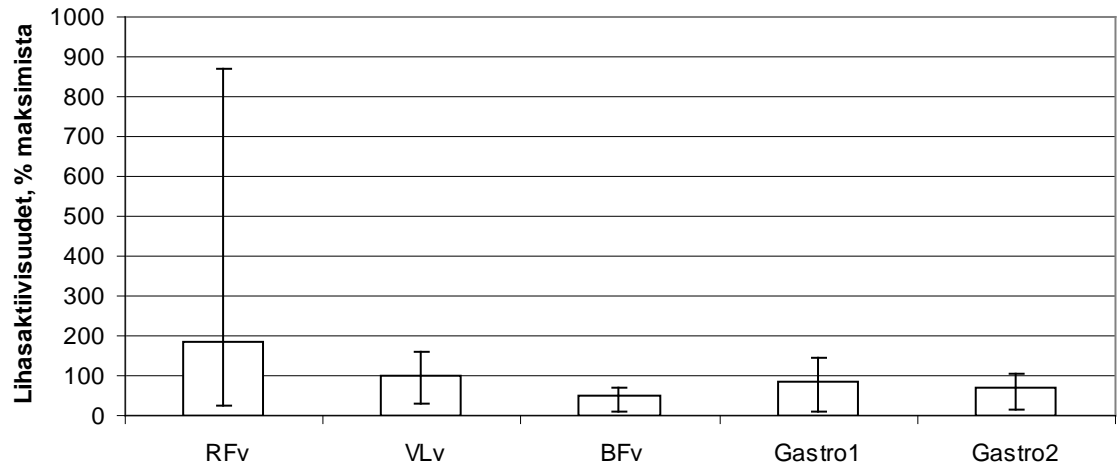
KUVA 23. RY:n ilmalentovaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.



KUVA 24. RA:n ilmalentovaihe (Sama koehenkilö kuin kuvassa 20.). Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. Fy = pystysuuntainen reaktiovoima, Fz = vaakasuuntainen reaktiovoima.

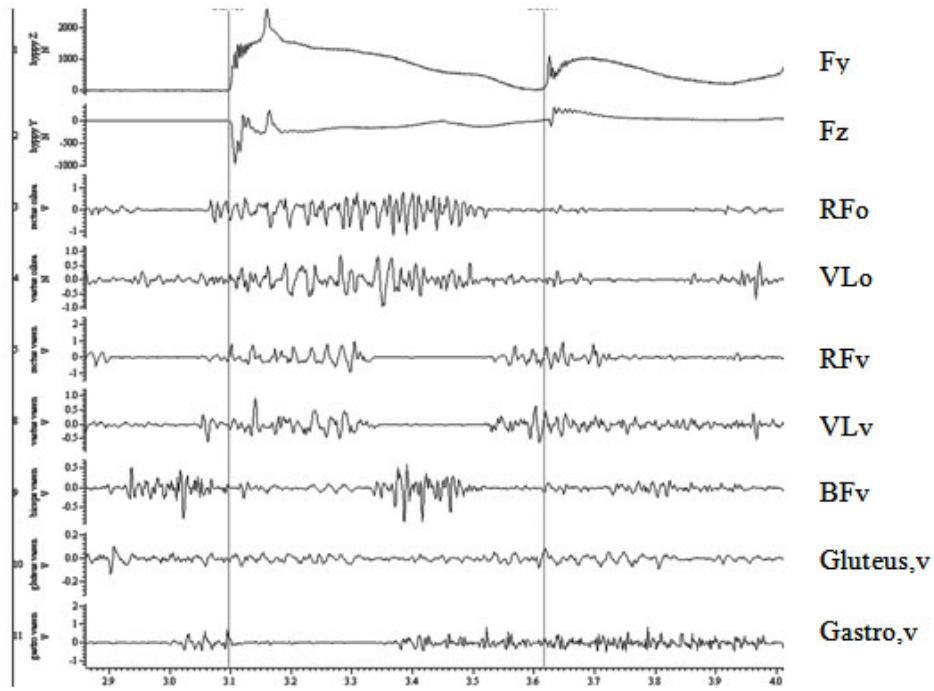
Alastulo. Alastulossa analysoitiin alustaan tuotetut pysty- ja vaakavoimat. Keskimääräinen pystyvoima RY:ssä oli 2689 ± 663 N joka oli $4,9 \pm 1,5$ kertaa suurempi kuin kehon paino. Jarruttava vaakavoima alastulossa oli 690 ± 388 N ja eteenpäin vievä voima 454 ± 176 N. RA:ssa pystyvoima oli 3206 ± 920 N joka oli $5,8 \pm 1,9$ kertaa suurempi kuin kehon paino. Taaskaan hypyn nousukorkeus ei vaikuttanut alastulossa tuotettuun pystyvoimaan, mutta toisin kuin harppaushypyssä, molempien rengashyppyjen alastulossa tuotetut voimat olivat yhteydessä voimistelijoiden kehonpainoon ($r = 0,518$, * $p < 0,05$). Alastulon lihasaktiivisuuksista havaittiin esijännitystä RFv, VLv, BFv ja gastro –lihaksissa. RFv aktivoitui $0,06 \pm 0,08$ sekuntia ennen alastuloa ja sen kokonaiskesto oli $0,30 \pm 0,1$ sekuntia. Aktiivisuuden taso oli 187 % (± 193) maksimista. VLv aktivoitui $0,07 \pm 0,09$ sekuntia ennen alastuloa ja sen kokonaiskesto oli $0,37 \pm 0,14$ sekuntia. Aktiivisuuden taso VLv -lihaksessa oli 99 % (± 36) maksimista. BFv aktivoitui $0,16 \pm 0,04$ sekuntia ennen alastuloa ja sen kokonaiskesto oli $0,20 \pm 0,08$ sekuntia. Aktivaation taso oli 49 % (± 18) maksimista. Gastro aktivoitui $0,10 \pm 0,02$ sekuntia ennen alastuloa ja sen kokonaiskesto oli $0,18 \pm 0,08$ sekuntia. Suhteel-

linen aktiivisuus (gastro1) oli 86 % (± 34) maksimista (kuva 25). Alastulossa gastrossa oli havaittavissa kaksi eri aktiivisuuden vaihetta, joiden välissä oli $0,13 \pm 0,07$ sekuntia (kuva 26). Toinen vaihe oli kestoaltaan $0,24 \pm 0,12$ sekuntia ja sen suhteellinen aktiivisuus (gastro2) oli 72 % (± 28) maksimista. Alastulossa eniten kuormittuva lihas oli RFv. Lihasktiivisuuksilla ja alustaan tuotetuilla voimilla ei havaittu merkittävää yhteyttä.



KUVA 25. Alastulon lihasaktiivisuudet. Kuvioon on merkitty pienin ja suurin arvo.

Kuvasta 26 nähdään rengashypyn alastulon pysty- ja vaakavoimat sekä EMG – aktiivisuudet.



KUVA 26. Rengashypyn alastulovaihe. Kaikki EMG kanavat eivät ole samassa suhteessa vaan ne on suhteutettu visualisointia varten. F_y = pystysuuntainen reaktiovoima, F_z = vaakasuuntainen reaktiovoima.

7 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää joukkuevoimistelun harppa- ja rengashypyjen ponnistuksen ja alastulon reaktiivoimat sekä lihasten aktivoitumismallit ja kuormittuvat lihasryhmät. Ensimmäinen tutkimusongelma oli, korreloivatko kontaktiaika ja jarruttava vaakavoima hypyn korkeuden kanssa. Hypoteesina oli, että kontaktiaika ja jarruttava voima olisivat yhteydessä hypyn korkeuteen. Harppaushypyssä kontaktiaika ja ilmalentoaika korreloivat keskenään. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä lyhyempi kontakti alustaan ponnistusvaiheessa tuotetaan sitä pidempään pysytään ilmassa. Dyhre-Poulsenin (1987) tutkimuksessa oli havaittu, että jarruttavalla vaakavoimalla oli yhteys hypyn nousukorkeuteen. Tässä tutkimuksessa vastaavanlaista yhteyttä ei havaittu, mutta jarruttavalla vaakavoimalla havaittiin olevan yhteys harppaushypyn pituuteen. Yksi mielenkiintoinen tulos harppaushypyssä oli, että kontaktiajalla ja hypyn pituudella olisi positiivista korrelaatiota, mikä tarkoittaisi sitä, että mitä pidempi kontaktiaika, sitä pidempi hyppy. Arkko (2010) huomasi omista tuloksistaan, että harppaushypyssä voimistelijoilla oli kaksi eri tyyliä hypätä. Toiset yrittivät ponnistaa mahdollisimman pitkälle ja toiset mahdollisimman ylös. Näistä eroavaisuuksista johdettu todennäköisesti myös tässä tutkimuksessa saadut ristiriitaiset tulokset lentoaikaan, nousukorkeuteen ja hypyn pituuteen vaikuttavista tekijöistä. Rengashypyssä kontaktiaika ei korreloinut ilmalennon tai hypyn nousukorkeuden kanssa

Tässä tutkimuksessa voimistelijoiden harppaushypyn ponnistuksen kontaktiajaksi saatiin $0,20 \pm 0,02$ sekuntia. Tämä on täsmälleen sama kuin DiCagnon ym. (2008) tutkimuksessa, jossa oli tutkittu sekä huipputaso että kansallisen tason rytmisiä voimistelijoita. Samaisessa tutkimuksessa oli harppaushypyn lentoajaksi mitattu 0,49 sekuntia, joka on lähellä tässä tutkimuksessa saatua lentoaikaa, 0,46 sekuntia. Näiden samankaltaisten tulosten perusteella voidaan tässä tutkimuksessa saatua kontaktiaikaa ja lentoaikaa pitää suhteellisen luotettavina tuloksina.

Toisena tutkimusongelmana oli selvittää, miten lihasryhmät kuormittuvat ponnistuksessa ja mitkä ovat ponnistuksessa alustaan tuotetut reaktivoimat. Hypoteesina oli, että harppaushypyn ponnistuksessa eniten kuormittuisi gastro, jossa olisi havaittavissa myös esijännitystä ennen ponnistusta. Gluteuksen oletettiin aktivoituvan jo ponnistusvaiheessa. Tuloksista huomattiin, että eniten ponnistuksessa kuormittuvat lihakset olivat rectus femoris ja vastus lateralis. Myös gluteus kuormittui voimakkaasti, mikä oli hypoteesin mukaan odotettavaa. Gastrossa havaittiin selvää esiaktiivisuutta ennen ponnistusta, mikä tuki myös hypoteeseja. Kaikki tulokset eivät kuitenkaan tukeneet täysin asetettuja hypoteeseja, sillä eniten kuormittuva lihas uskottiin olevan gastro ja tulosten perusteella se kuormittuikin lähes vähiten. Rengashypyssä uskottiin, että ponnistuksessa rectus femoris ja vastus lateralis kuormittuvat gastroa enemmän. Tulokset tukivat tätä hypoteesia, sillä eniten kuormittuvat lihakset olivat juuri rectus femoris ja vastus lateralis. Rengashypyssäkin oli havaittavissa gastron esijännitystä.

Harppaushypyn ponnistuksessa alustaan tuotettu pystyvoima oli 2357N, jarruttava vaakavoima oli 775N ja eteenpäin vievä vaakavoima oli 71N. Nämä arvot olivat huomattavasti suurempia kuin Dyhre-Poulsenin (1987) tutkimuksessa mitatut voimat. Dyhre-Poulsen oli saanut harppaushypyn pystyvoimaksi 1900 N, jarruttavaksi vaakavoimaksi 150 N, ja eteenpäin vieväksi vaakavoimaksi 25 N. Tämä saattaa johtua lajin kehittymisestä ja siitä, että joukkuevoimistelussa voimaominaisuudet ovat suuremmassa roolissa kuin rytmisessä voimistelussa. Rytmiset voimistelijat omaavat usein paremman liikkuvuuden, joten heille jalkojen avaaminen ilmalennon aikana on todennäköisesti helpompaa. Joukkuevoimistelussa liikkuvuus ei ole niin suuressa roolissa ja voimistelijoiden saattaa olla ajatus, että mitä räjähtävämpi ja terävämpi ponnistus sitä helpompaa on jalkojen avaaminen ilmassa. Tässä tutkimuksessa pohdittiin myös voimistelijoiden painon vaikutusta alustaan tuotettuihin voimiin ja havaittiin, että painolla ja alustaan tuotetuilla voimilla ei ollut yhteyttä. Tähän saattaa jälleen vaikuttaa erilaiset hyppytyylit. Voimistelija, jonka tavoitteena on ponnistaa mahdollisimman ylös tuottaa todennäköisesti suuremman reaktivoiman jarruttavassa vaiheessa, ja pyrkii näin hyödyntämään paremmin kimmoisuuttaan. Voimistelija, joka pyrkii hyppäämään mahdollisimman pitkälle tuottaa todennäköisesti pienemmän reaktivoiman ensikontaktissa ja pyrkii hyödyntämään voimaa eteenpäin vievässä vaiheessa.

Kahdella eri tekniikalla suoritetuissa rengashypyissä ei ollut eroavaisuuksia ponnistusvaiheen reaktiivoimissa. Molemmissa hyppyissä pystysuuntainen reaktiivoima oli hieman suurempi kuin harppaushypyssä. Tämä todennäköisesti johtuu siitä, että rengashyppy suoritettiin kahdelta jalalta ponnistaen jolloin alustaan pystyttiin tuottamaan suurempi voima. Jarruttava vaakavoima oli harppaushypyssä suurempi kuin kummassakaan rengashypyssä, mikä johtuu todennäköisesti harppaushypyssä olleesta suuremmasta nopeudesta tultaessa ponnistukseen. Analysoiduista voimista havaittiin myös, että rengashypyssä tuotettiin suurempi eteenpäin vievä voima kuin harppaushypyssä. Tämä tulos tuntuu hieman oudolta kun otetaan huomioon, että harppaushyppy on eteenpäin suuntautuva hyppy toisin kuin rengashyppy, jossa pyrkimys on hypätä suoraan ylöspäin.

Tämän tutkimuksen kolmas tutkimusongelma oli selvittää, mikä on lihasten aktivaatiomalli hypyn ilmalennon aikana. Harppaushypyssä oletuksena oli, että eniten kuormittuisivat vasemman jalan, eli taakse nousevan jalan, gluteus sekä oikean jalan, eli eteen nousevan jalan rectus femoris. Tutkimuksen tulokset tukivat tätä oletusta, mutta lisäksi havaittiin, että myös vasemman jalan vastus lateralis aktivoitui voimakkaasti ja jopa enemmän kuin gluteus. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että voimistelijat yrittävät ojentaa takajalan polvea maksimaalisesti hypyn aikana, sillä koukussa olevasta polvesta aiheutuu aina suoritusvähenyksiä kilpailutilanteessa (IFAGGb 2005). Tämän tuloksen nojalla voidaan myös pohdita, että pystyisivätkö voimistelijat aktivoimaan gluteusta enemmän ja avaamaan jalkoja ilmalennossa maksimaalisemmin, jos polven ojentaminen ei olisi niin voimakasta?

Jalat yhdessä suoritettavassa rengashypyssä oletettiin, että eniten kuormittuva lihas on biceps femoris. Rengashypyssä jalat auki oletuksena oli, että gluteus maximus kuormittuisi eniten. Lisäksi näiden kahden hypyn ilmalentojen aktiivisuuksia haluttiin vertailla. RY:ssä gluteus ja biceps femoris kuormittuivat lähes yhtä paljon, mutta gluteus hieman enemmän. Tämä tulos ei siis tukenut asetettua hypoteesia siitä, että RY:ssä eniten töitä tekisi biceps femoris. RA:ssa myös eniten kuormittuva lihas oli gluteus. Vertailtaessa näitä kahta hyppyä havaittiin, että RY:n ja RA:n gluteuksen aktiivisuuksissa oli merkittävä ero. Kun rengashyppy suoritetaan jalat auki, pystyy voimistelija nostamaan jalkojaan voimakkaammin

taaksepäin, sillä tällöin lonkankoukistajien ja etureiden kireys ei estä liikettä. Tästä johtuu todennäköisesti suuri ero gluteuksen aktiivisuudessa kahden eri hypyn välillä. RY:ssä gluteus ja biceps femoris aktivoituivat lähes yhtä paljon, ja tästä voidaan päätellä, että suurimman työn RY:ssä tekee todennäköisesti selkälihasten ryhmä. Tätä ei voida kuitenkaan sanoa varmaksi, sillä tässä tutkimuksessa ei mitattu selkälihasten EMG:tä. Tämän asian selvittämiseksi kaivataan lisää tutkimusta.

Tutkimuksessa analysoitiin myös rengashyppyjen nousukorkeudet ilmalentoajasta. Näiden lajihyppyjen nousukorkeuksiin ei löydy varsinaisia vertailukohtia, mutta kevennyshyppijä on jonkin verran voimistelijoilta mitattu. DiCagno ym. (2008) sekä Dyhre-Poulsen (1987) olivat mitanneet rytmisiltä voimistelijoilta kevennyshypyn korkeutta ja DiCagnon tutkimuksessa tuloksiksi oli saatu $27,0 \pm 5,0\text{cm}$ ja $29,0 \pm 4,0\text{cm}$. Dyhre-Poulsen oli omassa tutkimuksessaan saanut kevennyshypyn korkeudeksi $28,1 \pm 2,1\text{cm}$. Tässä tutkimuksessa ei mitattu erikseen kevennyshyppyä, mutta mukana oli siis tasaponnisteinen rengashyppy. Näiden lajihyppyjen nousukorkeuksiksi saatiin $33,4 \pm 0,03\text{cm}$ (RY) ja $34,7 \pm 0,04\text{cm}$ (RA). Eroavaisuudet kevennyshypyn ja lajihypyn nousukorkeuksien välillä johtuvat todennäköisesti käsien käytöstä, venys-lyhenemis –syklin paremmasta hyödyntämisestä sekä oppimisesta. Kevennyshypyssä käsien tulee olla lantiolla, kun taas lajihypyssä käsiä käytetään vauhdinottoon. Venymis-lyhenemis –syklin hyödyntäminen on tehokkaampaa, sillä laji-ponnistus on verrattavissa pudotushyppyyn. Lisäksi ero voi johtua oppimisesta ja tekniikan osaamisesta. Lajihyppijä toistetaan harjoituksesta toiseen, kun taas kevennyshyppy on voimistelijoille usein vieraampi.

Viimeisenä tutkimusongelmana oli alastulossa tuotettujen voimien riippuvuuden selvittäminen suhteessa hypyn korkeuteen. Oletuksena oli, että alastulossa tuotetut voimat eivät ole riippuvaisia hypyn korkeudesta. Harppaushypyssä hypyn pituudella ja lentoajalla ei ollut yhteyttä alustaan tuotetun pystyvoiman kanssa. Myöskään voimistelijoiden paino ei vaikuttanut alastulossa tuotettuun pystyvoimaan. Hypyn pituudella ja jarruttavalla vaakavoimalla kuitenkin havaittiin oleva yhteys, mikä on ihan luonnollista. Hypyn pituuden kasvaessa tuotetaan alustaan suurempi jarruttava voima siksi, että hyppy saataisiin pysähtymään. Kum-

massakaan rengashypyssä nousukorkeus ei vaikuttanut alastulossa tuotettuihin voimiin, mutta voimistelijoiden kehonpainolla oli tässä tapauksessa yhteys alastulon reaktivoimiin.

Carcia ym. (2005) tutkivat pudotushyppyjä ja raportoivat alastulon reaktivoimien olevan $3,64 \pm 0,77$ kertaa suuremmat kuin kehonpaino. Rengashypyssä reaktivoimat olivat $4,9 \pm 1,5$ (RY) ja $5,8 \pm 1,9$ (RA) kertaa suuremmat kuin voimistelijoiden kehon paino. Eron voisi olettaa johtuvan erilaisista nousukorkeuksista, mutta Carcian tutkimuksessa koehenkilöt pudottautuivat 30cm korkeudesta ja tämän tutkimuksen voimistelijoiden rengashyppyjen korkeudet olivat 33-34cm joten ero ei ole kovinkaan suuri. Lisäksi tässä tutkimuksessa havaittiin että, nousukorkeudella ja alastulon pystyvoimilla ei ole yhteyttä. Alastulon reaktivoimien ero johtuukin todennäköisesti siitä, että rengashypyssä jalat nousevat taaksepäin maksimaalisesti, jolloin jalat tulevat alas korkeammalta kuin tavallisessa pudotushypyssä, missä jalat ovat suorana alustaa kohti. Alustaan tuotetut reaktivoimat ovat kuitenkin huomattavan suuria. Harppaushypyn alastulossa alustaan tuotettu voima oli kesimäärin $6,4 \pm 1,3$ kertaa suurempi kuin kehon paino, mikä on vieläkin suurempi kuin kummassakaan rengashypyssä. Harppaushypyn reaktivoimaan vaikuttaa toki liikkeessä mukana oleva vauhti ja siitä aiheutuva suurempi jarruttava voima. Nämä suhteellisen suuret alastulon voimat tulisi valmentajien ottaa huomioon miettiessään, minkälaisia hyppyjä voimistelijoiden kannattaa harjoitella ja mitä hyppyjä otetaan kilpailuohjelmaan. Alastulossa tuotetut voimat ovat niin suuria, että jos esimerkiksi tutkimuksessa mukana olleesta taakse taivuttavasta rengashypystä tullaan alas väärällä tekniikalla, on varsinkin selän loukkaantumisriski suuri.

Kuten alussa todettiin, on joukkuevoimistelu laji, jossa oikeanlaisella tekniikalla on suuri merkitys. DiCagnon ym. (2008) tutkimuksessa, jossa vertailtiin rytmisen voimistelun kansainvälisiä huippuja ja kansallisen tason voimistelijoita, huomattiin, että kahden eri ryhmän hyppyjen välille ei saatu selviä eroja ponnistus- ja lentoajoissa. Kansainvälisen tason voimistelijat kuitenkin suorittivat parempia hyppyjä, joten todennäköisesti hyppytekniikalla ja lajitaidoilla on suurempi vaikutus onnistuneen hypyn suorittamisessa kuin ponnistusnopeudella ja lentoajalla. Oikeanlaisen tekniikan löytäminen tulee olemaan tulevaisuudessakin tutkijalle sekä lajin valmentajille haastava tehtävä, sillä tutkittaessa tanssijoita on havaittu että, eri tanssijoilla saattaa olla erilaisia lihasten rekrytointi malleja samoissa liikkeissä.

Samaa liikettä/ samalta näyttävää liikettä voidaan siis suorittaa monella eri tekniikalla. Parhaatkaan tanssijat eivät välttämättä tee samaa liikettä aina samalla lailla. (Wilson ym. 2008.) Vastaavanlaiseen ongelmaan törmättiin myös tässä tutkimuksessa, sillä lihasten aktiiviomalleissa oli havaittavissa todella suurta hajontaa. Oli täysin voimistelijasta riippuvaa, kuinka paljon mikäkin lihas aktivoitui lajihypyn eri vaiheissa.

Tähän tutkimukseen, niin kuin tutkimuksiin yleensä, liittyy monia virhelähteitä. Suurimmat virhelähteet ovat mitä todennäköisimmin EMG:n mittaamisessa. Yksi haaste oli saada elektrodi oikeaan paikkaan, jotta lihasaktiivisuutta voitaisiin mitata halutusta lihaksesta. Osalla koehenkilöistä varsinkin rectus femoriksen ja vastus lateraliksen erottaminen oli hankalaa, ja mitattaessa maksimivoimia huomattiin, että joillain rectus tuotti enemmän aktiivisuutta polven ojennuksessa kuin lonkan nostossa. Tämä vaikuttaa automaattisesti suhteellisiin lihasaktiivisuusmääriin. Yhtenä ongelmana oli tutkittavien liikkeiden dynaamisuus. Yleensä lihasaktiivisuuksia mitataan isomterisistä liikkeistä, joissa lihas ei liiku voimantuoton aikana. Pinta EMG:tä mitattaessa dynaamisen suorituksen aikana ongelmaksi muodostuu usein lihaksen liikkuminen suhteessa elektrodiin. (Merletti 2004. s.251.) Yksi suurimmista ongelmista pinta EMG:n mittaamisessa on lihasten välinen cross-talk. Cross-talkilla tarkoitetaan sitä, kun jonkin lihaksen päältä saatu signaali tulee todellisuudessa jostain toisesta lihaksesta. Joskus saattaa olla, että EMG-signaalia syntyy vaikka lihas ei oikeasti olisi aktiivisena. Cross-talkin selvittäminen on tutkijoille edelleenkin haastava ongelma, eikä tässä tutkimuksessa ollut resursseja perehtyä sen vähentämiseen. (Merletti 2004. s.91-97.)

8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää joukkuevoimistelun harppaus- ja rengashyppyjen reaktiivoimia ja lihasten aktivoitumismalleja. Tutkimuksessa huomattiin, että ponnistuksessa eniten kuormittuivat rectus femoris sekä vastus lateralis lihakset. Näiden lisäksi harppaushypyn ponnistuksessa myös gluteus kuormittui voimakkaasti. Ponnistuksen kontaktiajalla oli yhteys harppaushypyn lentoaikaan, mutta rengashypyssä vastaavaa yhteyttä ei havaittu. Harppaushypyssä jarruttavalla vaakavoimalla ja hypyn pituudella havaittiin myös merkittävä yhteys. Alustaan tuotetulla pystysuuntaisella voimalla ei ollut vaikutusta hypyn ilmalentoon.

Ilmalennon aikana harppaushypyssä eniten kuormittuvat lihakset olivat etujalan rectus femoris sekä takajalan gluteus maximus ja vastus lateralis. Molemmissa rengashypyissä eniten kuormittui gluteus maximus ja rengashypyssä jalat auki gluteuksen kuormittuminen on merkitsevästi suurempaa kuin renkaassa jalat yhdessä. Muiden lihasten aktivaatioilla ei ollut eroavaisuuksia.

Alastulossa alustaan tuotetut voimat olivat 4,9-6,4 kertaa suuremmat kuin voimistelijoiden kehon paino. Alustaan tuotetut voimat eivät olleet riippuvaisia hyppyjen nousukorkeuksista. Harppaushypyssä myöskään voimistelijoiden kehonpaino ei vaikuttanut alastulon pystyvoimaan, mutta hypyn pituudella ja jarruttavalla vaakavoimalla oli yhteys. Rengashyppyjen alastulolla ja voimistelijoiden kehonpainolla oli havaittavissa yhteys.

9 LÄHTEET

Carcia C., Eggen J., and Shultz S.: 2005 Hip-Abductor Fatigue, Frontal-Plane Landing Angle, and Excursion During a Drop Jump, *J Sport Rehabil*;14:321-331.

Chockley C.: 2008 Ground reaction force comparison between jumps landing on the full foot and jumps landing en pointe in ballet dancers, *Journal of Dance Medicine & Science*, Volume 12, Number 1.

Cortes N., Onate J., Abrantes J., Gagen L., Dowling E.,
And Van Lunen B.: 2007. Effects of Gender and Foot-Landing Techniques on Lower Extremity Kinematics During Drop-Jump Landings, *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 289-299.

DiCagno A., Baldari C., Battaglia C., Brasili P. Merni F., Piazza M., Toselli S. Ventrella A.R., Guidetti L.: 2008. Leaping ability and body composition in rhythmic gymnasts for talent identification. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 48:341-6.

Dyhre-Poulsen P.: An analysis of splits leap and gymnastic skill by physiological recordings. 1987. *European Journal of Applied Physiology* 56:390-397

Enoka R. M.: 2002 *Neuromechanics of human movement*, third edition. s. 53, 196, 273-275.

Goodwin P. C., Koorts K., Mack R., Mai S., Morrissey M. C., Hooper D. M.: 1999. Reliability of leg muscle electromyography in vertical jumping. *European journal of applied physiology*, 79: 374-378.

IFAGGa, International Federation of Aesthetic Group Gymnastics. Viitattu tammikuussa 2010 www.ifagg.com

IFAGGb, 2005. International Federation of Aesthetic Group Gymnastics. International rules of aesthetic group gymnastics.

Kinser A. M., Ramsey M. W., O'Bryant H. S., Ayres C. A., Sands W. A. and Stone M. H.: 2007. Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts, Official Journal of the American College of sports medicine

Koutedakis Y., Stavropoulos-Kalinoglou A., and Metsios G.: 2005. The Significance of Muscular Strength in Dance, review article, Journal of Dance Medicine & Science, Volume 9, Number 1.

Merletti R., Parker P. A.: 2004 Physiology, Engineering and Noninvasive Applications. s.91-97, 251, 346.

Mero A., Nummela A., Keskinen K. L., Häkkinen K.: Urheiluvalmennus, VK-Kustannus Oy. s.293

Mero A., Komi P. V.: 1991. EMG, Force, and Power Analysis of Sprint-Specific Strength Exercises, Journal of Applied Biomechanics, 10, 1-13

Rönkkö P.: 2006 Kestävyyssuorituskyky, suorituksen rasittavuus sekä ohjelman rakenne joukkuevoimistelussa, Kandidaatin tutkielmaseminaari, Jyväskylän Yliopisto.

Russell T. N., William D. B.: 2004 Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School, Journal of Athletic Training; 39(3):254–258

SENIAM, <http://www.seniam.org/>, viitattu 13.1.2010.

SVOLiA, Suomen Voimisteluliitto. Viitattu tammikuussa 2010 <http://svoli-fi-bin.directo.fi/@Bin/4328ac14354fd102a332fd461abec0d5/1259144758/application/pdf/1266964/Huippuvoimistelun%20strategia.pdf>

Svoli 2002. Suomen Voimisteluliitto. Joukkuevoimistelun lajikoulutus, II-taso

Svoli 2003. Suomen Voimisteluliitto. Fyysisen valmennuksen koulutus, II-taso.

Svoli 2007. Suomen Voimisteluliitto: Joukkuevoimistelun SM-säännöt, Hyväksytyt 2010.

Svoli. 2009. Suomen Voimisteluliitto: Fyysisen valmennuksen peruskoulutus –materiaali
Takala H. Analysointu vuoden 2008 joukkuevoimistelun suomenmestaruuskilpailuiden finaali suoritukset.

Walshe A. and Wilson G.: 1997. The Influence of Musculotendinous Stiffness on Drop Jump Performance, Can. J. Appl, Physiol. 22(2): 117-132.

Wilson M., Kwon Y-H.: 2008 The Role of Biomechanics in Understanding Dance Movement A Review, Journal of Dance Medicine & Science, Volume 12, Number 3.