TAITOLUISTELUN KAKSOIS- JA KOLMOISLUTZIN LENTOVAIHEEN 3D-LIIKEANALYYSI

Jani Hartikainen

Biomekaniikan kandidaatin tutkielma

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Hartikainen, Jani. 2016. Taitoluistelun kaksois- ja kolmoislutzin lentovaiheen 3D-liikeanalyysi. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan kandidaatin tutkielma. 30s. 4 liitettä.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää kaksois- ja kolmoislutzin lentovaiheen kinemaattisten muuttujien eroja. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää, onko luistelijoiden, jotka onnistuivat kolmoislutzissa ja luistelijoiden, jotka eivät onnistuneet, kaksoislutzeissa eroa lentovaiheen aikana. Tutkittavina oli yksinluistelun maajoukkueen leiritykseen kuuluvia naisluistelijoita. Tutkimus toteutettiin 3D-liikeanalyysillä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että vaikeiden kolmois- ja neloishyppyjen onnistumisen kannalta tärkeimpiä tekijöitä ovat riittävän alaspäin suuntautuvan voiman tuottaminen ponnistusvaiheessa, riittävän pyörimisliikkeen liikemäärän tuottaminen lähestymis ja ponnistusvaiheen aikana sekä vartalon ja raajojen hitausmomentin hallinta ilmalennon aikana.

Tämän tutkimuksen tulokset tukivat aikaisempaa tutkimusta, sillä merkittävimmät erot havaittiin laskeutumisen viivästyttämisessä, pyörimisnopeudessa, lähestymisnopeuksissa ja ponnistushetken hitausmomentissa. Kolmoishypyissä massakeskipisteen laskeutui keskimäärin 5 cm matalammalle ja pyörimisnopeus oli 537 astetta/s suurempi kuin kaksoishypyssä. Lähestymisnopeuden havaittiin olevan keskimäärin 0,6 m/s hitaampi kolmoislutzisessa, ja koko kehon pyörimisliikkeen hitausmomentin 0,533kgm^{2}suurempi kuin kaksoislutzissa. Lentoaikaan liittyvissä muuttujissa ei havaittu eroja kaksois- ja kolmoishyppyjen välillä. Kaksois- ja kolmoishyppyjen väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kaksoishypyissä ei havaittu myöskään tilastollisesti merkitseviä eroja luistelija luokkien välillä. Kuitenkin kaksoishyppyjen lähestymisnopeus ja hyppykorkeus olivat hieman suurempia luistelijoilla, jotka onnistuivat kolmoishypyssä.

Tutkimuksen tulosten perusteella tärkein ero kaksois- ja kolmoislutzissa välillä on riittävän pyörimisnopeuden tuottaminen lähestymis- ja ponnistusvaiheen aikana, eikä niinkään lentoajan kasvattaminen. Tulosten perusteella lutz-hypylle on tyypillistä pyörimisnopeuden kasvattaminen vetämällä raajat lähelle pyörimisakselia ponnistuksen jälkeen. Tutkittavien homogeenisuus teki luistelijaluokkien välisestä vertailusta hankalaa, mutta mahdollisesti luistelijoiden edellytyksiä kolmoishypyn suorittamiseen voidaan selvittää analysoimalla kaksoishyppyjä.

Avainsanat: Liikeanalyysi, Taitoluistelu, 3D, Lutz

KÄYTETYT LYHENTEET

2L/3L	Kaksois-/kolmoislutz
DL	Laskeutumisen viivästyttäminen, Delaying the Landing
DLT	Direct Linear Transformation
Inertia	pyörimisliikkeen hitausmomentti
timetorotpos	Pyörimisasennon saavuttamiseen kuluva aika
timeinrotpos	pyörimisasennossa olo aika
Vh	ponnistushetken horisontaalinopeus
Vv	ponnistushetken vertikaalinopeus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO 1

2 TAITOLUISTELUN HYPYT 2

2.1 Biomekaaninen tutkimus 2

2.2 Kärkihyppyjen vaiheet ja suoritustekniset muuttujat 2

3 KOLMIULOTTEINEN LIIKEANALYYSI 8

3.1 Segmenttianalyysi ja massakeskipiste 8

3.2 Segmenttiparametrit ja hitausmomentti 9

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS 11

5 MENETELMÄT 12

5.1 Tutkittavat 12

5.2 Kuvausasetelma 12

5.3 Analyysi 13

6 TULOKSET 17

6.1Kaksois- ja kolmoislutzin vertailu 22

6.2 Luokkien väliset erot 23

7 POHDINTA 25

LÄHTEET 29

LIITTEET

1 JOHDANTO

Taitoluistelu on urheilulaji, jossa pyritään yhtä aikaa sekä teknisesti vaativaan että taiteelliseen ja musiikkia tulkitsevaan suoritukseen. Suorituksessa yhdistyvät eri elementit, kuten hypyt ja piruetit, joista pyritään muodostamaan taiteellisesti ja teknisesti eheä kokonaisuus. Taitoluistelussa on neljä eri kilpailumuotoa, joka ovat yksinluistelu, pariluistelu, jäätanssi ja muodostelmaluistelu. Olympialaisissa näistä ovat edustettuina miesten ja naisten yksinluistelu, pariluistelu ja jäätanssi. (Suomen taitoluisteluliitto 2014.)

Yksinluistelussa luistelija esittää ohjelmansa musiikin tahtiin. Kilpailuissa suoritus koostuu lyhyt- ja vapaaohjelmasta. Lyhytohjelman kesto on enintään kaksi minuuttia ja 50 sekuntia, sekä sen tulee sisältää kahdeksan vaadittua elementtiä. Lyhyt ohjelman painoarvo on yksi kolmasosa kokonaissuorituksen pisteistä. Vapaaohjelman kesto on miehillä neljä minuuttia ja 30 sekuntia. Naisilla vapaaohjelma kestää puolestaan tasan neljä minuuttia. Vapaaohjelmassa luistelija saa valita ohjelman elementit itse muutamia rajoituksia ja vaadittuja elementtejä lukuun ottamatta. On huomioitava, että rajoitukset ja vaaditut elementit ovat riippuvaisia kilpailusarjoista. Kilpailusarjat jakautuvat sukupuolen, iän ja taitotasovaatimusten mukaan. (Suomen taitoluisteluliitto 2014.)

Pystyäkseen kilpailemaan kansainvälisesti korkealla tasolla, luistelijoiden tulee pystyä kilpailuissa haastaviin kaksois-, kolmois- ja neloishyppyihin turvallisesti ja riittävällä varmuudella. Koska hypyt muodostavat merkittävän osan suorituksen kokonaispisteistä, biomekaanisia analyysejä on hyödynnetty hypyn onnistumiseen vaikuttavien suoritusteknisten muuttujien löytämiseen. Tutkimuksen tarkoituksena onkin tutkia kaksois- ja kolmoislutzin kinemaattisten muuttujien eroja hyppyjen lentovaiheessa naisten maajoukkueluistelijoilla

2 TAITOLUISTELUN HYPYT

Yksinluistelun kuusi perushyppyä ovat flippi, lutz, tulppi, ritti, salchow ja axel. Hypyt jaotellaan kärkihyppyihin, joita ovat flippi, lutz ja tulppi sekä kaarihyppyhin, joihin loput hypyt kuuluvat. Axel on hypyistä ainut, joka lähtee luistelijan eteenpäin suuntautuvasta liikkeestä.

2.1 Biomekaaninen tutkimus

Yksi ensimmäisistä aiheeseen keskittyneistä tutkimuksista vertaili kinemaattisia muuttujia eri hyppyjen välillä (Aleshinky, 1986). Tämän jälkeen tutkimuksen painopiste oli pitkään axel-hypyissä (Albert & Miller 1996; King ym. 1994), josta tutkimuksen painopiste siirtyi kolmoislutziin (King ym. 2001; 2002a) ja neloistulppiin (King ym. 2002b; 2002c; 2004).

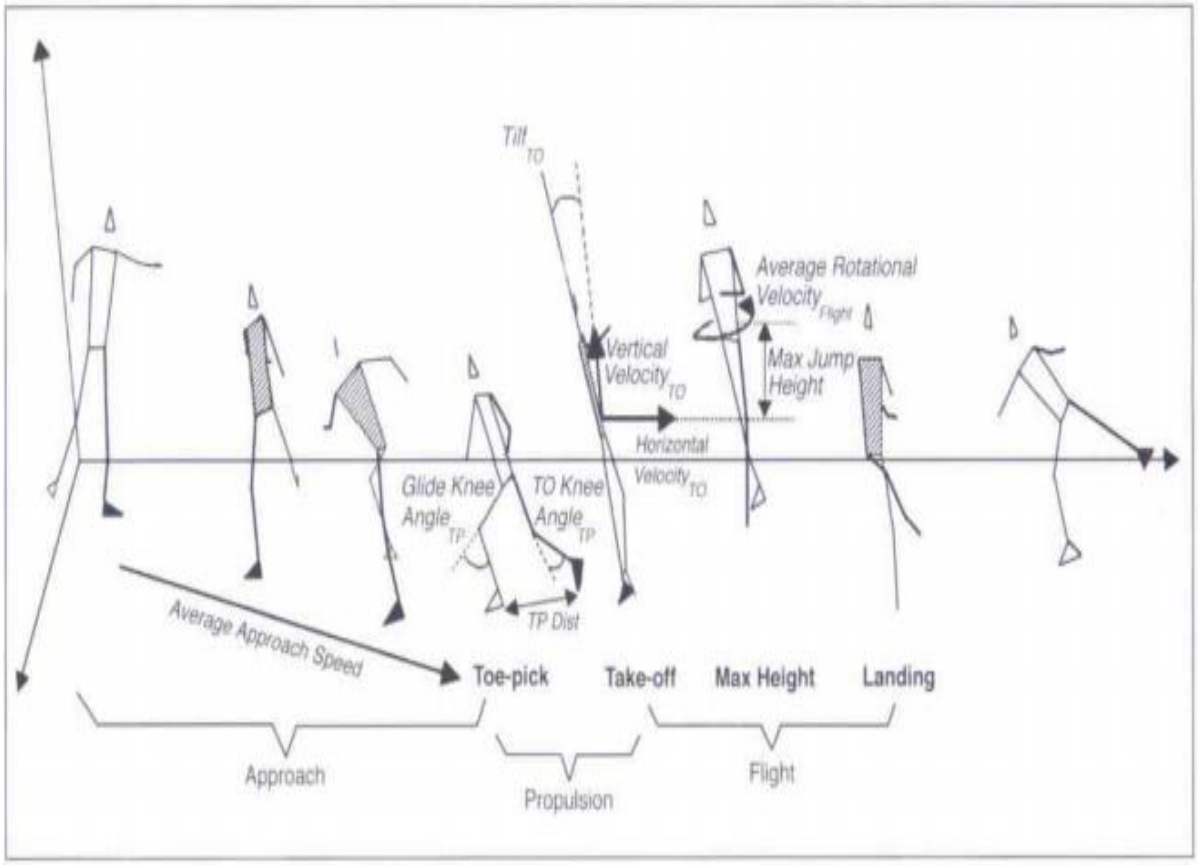
Tutkimukset ovat pääasiassa pyrkineet biomekaanisesti kuvaamaan eroja eritasoisten luistelijoiden käyttämien hyppytekniikoiden välillä. Osa tutkimuksista taas on pyrkinyt vertailemaan tärkeimpiä eroavaisuuksia esimerkiksi kolmois- ja neloishyppyjen välillä. King (2005) on puolestaan keskittynyt artikkelissaan luistelijoiden harjoittelun kohdentamiseen biomekaanisen tutkimuksen pohjalta.

2.2 Kärkihyppyjen vaiheet ja suoritustekniset muuttujat

Kärkihyppyjen osalta hypyistä on eroteltavissa neljä tärkeää hetkeä, jotka ovat kärkipiikin isku jäähän, ponnistushetki eli luistelijan viimeinen jääkontakti, lentovaiheen huippukohta ja laskeutuminen. Lisäksi hypyt voidaan jakaa neljään vaiheeseen, joka ovat lähestymis-, ponnistus-, lentovaihe ja laskeutuminen. Lähestymisvaihe sisältää hypyn vauhdinoton kärkipiikin jäähän iskemiseen asti. Ponnistusvaihe alkaa kärkipiikin iskusta ja päättyy luistelijan irtoamiseen jäästä. Lentovaihe määritellään luistelijan jääkontaktien väliseksi ajaksi ja laskeutuminen alkaa luistelijan uudesta jääkontaktista. (kuva 1, King ym. 2004.)

Tutkimusten perusteella on löydetty useita hyppyjen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä. King (2005) mukaan tärkeimpiä näistä ovat riittävän alaspäin suuntautuvan voiman tuottaminen ponnistusvaiheen aikana, riittävän pyörimisliikkeen liikemäärän tuottaminen lähestymis- ja ponnistusvaiheen aikana sekä vartalon hitausmomentin hallinta lentovaiheen aikana. Näitä

teknisiä yksityiskohtia hallitsemalla luistelija tasapainottaa pyörimisnopeutensa ja lentoaikansa saavuttaakseen tarvittavan määrän rotaatiota hyppyynsä.



KUVA 1. Tulpin vaiheet ja mitatut muuttujat (King ym. 2004).

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että vertikaalinen nopeus ponnistusvaiheessa on vastaava niin hypyissä, joissa pyöritään useita kierroksia, kuin hypyissä, joissa pyöritään vähemmän. (Albert & Miller 1996; King ym. 1994). Tätä on havainnollistettu taulukossa 1. Kuitenkin on havaittu, että taitavammat luistelijat pystyvät tuottamaan myös suuremman vertikaalisuuntaisen nopeuden helpompiin hyppyihin (taulukko 2, King ym. 1994; 2002; 2002c; Albert & Miller 1996). Vertikaalinopeus ponnistushetkellä vaikuttaa merkittävästi hypyn korkeuteen. Hyppykorkeuden lisäksi lentoaikaa voidaan myös kasvattaa viivästyttämällä laskeutumista. Laskeutumisen viivästyttämisellä tarkoitetaan kehon massakeskipisteen laskemista alemmas suhteessa ponnistushetken sijaintiin. Tällä tavoin lentoaikaa kasvattamalla luistelijat voivat saada jopa 20 astetta lisää rotaatiota hyppyyn (King ym. 2004). King (1997) havaitsi eritasoisilla luistelijoilla selkeitä eroja hyppykorkeuksissa

taitavampien luistelijoiden hypätessä korkeammalle. Toisaalta saman luistelijan osalta ei ole havaittu eroja hyppykorkeuksissa eri hyppyjen välillä (Albert & Miller 1996; King ym. 1994).

TAULUKKO 1. Samojen luistelijoiden eri hyppyjen vertikaalinopeuden vertailua (muokattu King 2005).

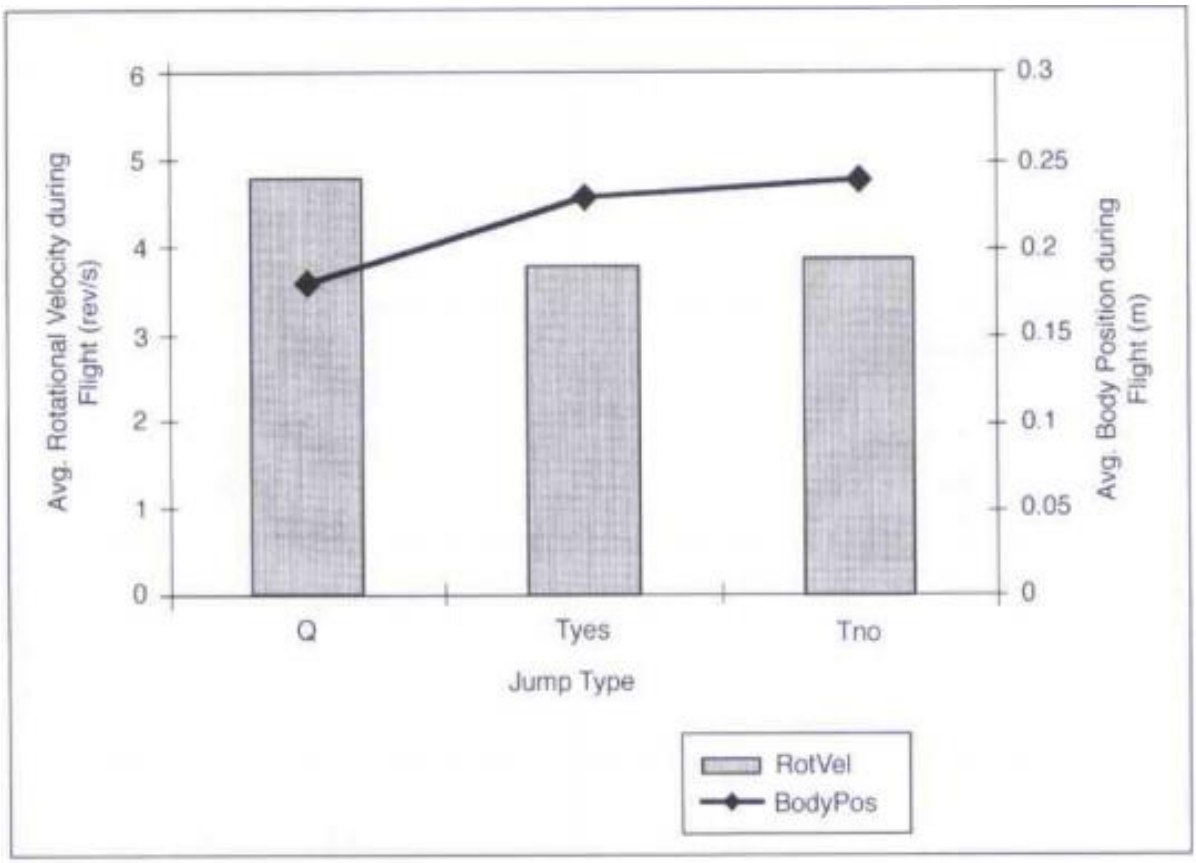
	Vertikaalinopeus ponnistushetkellä (m/s)	
Luistelijoiden taso	kolmoistulppi	neloistulppi
Olympiatason miesluistelijat	3.2 ± 0.4	3.3 ± 0.2
	axel	kaksoisaxel
Hyvät miesluistelijat	2.6 ± 0.1	2.6 ± 0.1
Hyvät naisluistelijat	2.3 ± 0.1	2.4 ± 0.1

TAULUKKO 2. Eritasoisten luistelijoiden ponnistuksen vertikaalinopeudet, kun luistelijat tekevät samaa hyppyä (muokattu King 2005).

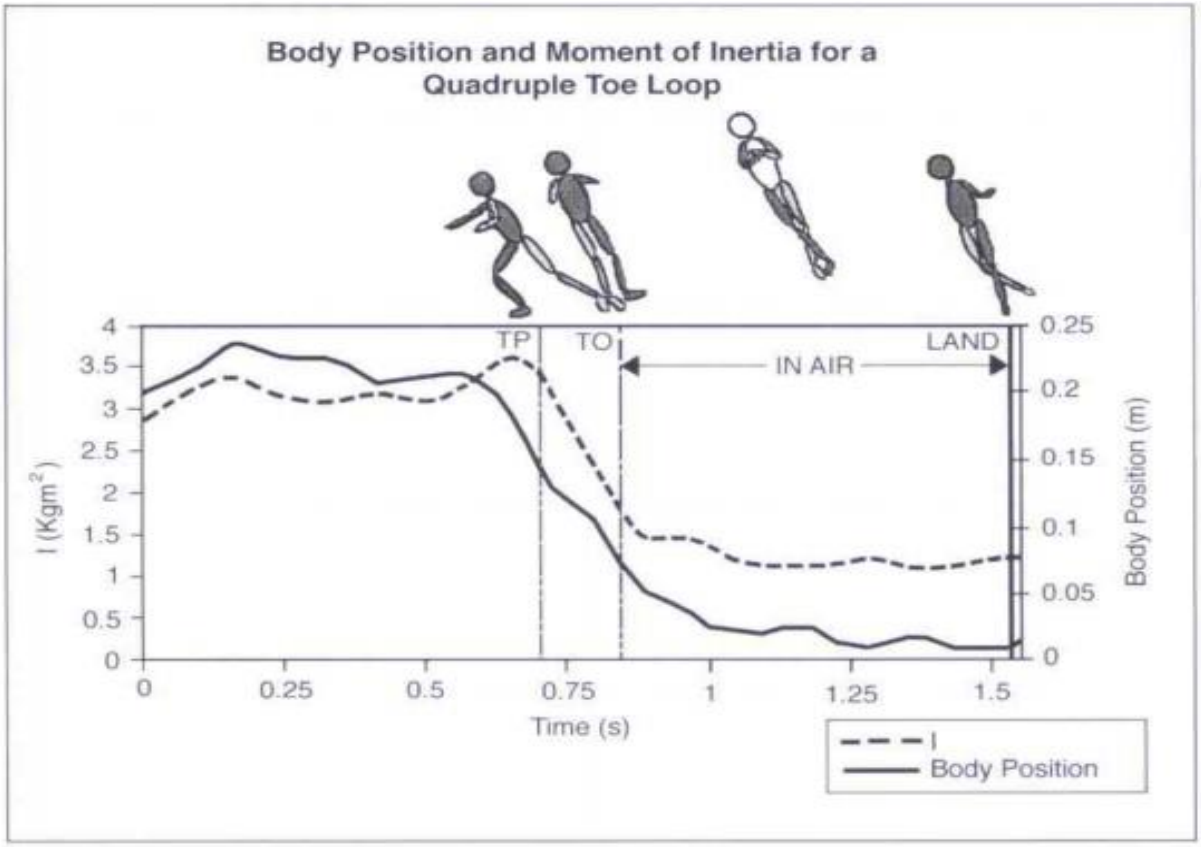
	Vertikaalinopeus ponnistushetkellä	
Hyppy	Luistelijat, jotka eivät onnistu kolmoisaxelissa	Luistelijat, jotka onnistuvat kolmoisaxelissa
Kaksoisaxel	2.6 ± 0.1	3.4 ± 0.3
	luistelijat, jotka eivät onnistu neloistulpissa	luistelijat, jotka onnistuvat neloistulpissa
kolmoistulppi	3.0 ± 0.1	3.3 ± 0.2

King (2005) mukaan luistelijan pyörimisnopeus lentovaiheen aikana riippuu pyörimisliikkeen liikemäärän ja hitausmomentin määrästä. Yleensä tutkimuksissa pyörimisliikkeen liikemäärä on määritetty, joko vertikaalisen akselin suhteen (Albert & Miller 1996) tai luistelijan läpi kulkevan pitkittäisakselin suhteen (King ym. 2004). Ponnistushetkellä luistelijat pyrkivät vähentämään hitausmomenttiaan kasvattaakseen pyörimisnopeuttaan pyörimisliikkeen liikemäärän pysyessä suhteellisen muuttumattomana (Albert & Miller 1996).

Pyörimisliikkeen liikemäärä määritellään hitausmomentin ja kulmanopeuden tuloksi. (Enoka 2008, 75-76). Pyörimisliikkeen liikemäärä on lentovaiheen aikana vakio ja tästä syystä luistelijat tuottavat vääntömomenttia jäähän valmistautumis- ja ponnistusvaiheen aikana tuottaakseen lentovaiheeseen tarvittavan pyörimisliikkeen liikemäärän. Ilmalennon aikana pyörimisnopeutta kasvatetaan hitausmomenttia vähentämällä eli luistelija vetää raajat lähemmäksi pyörimisakselia, mikä johtaa pyörimisnopeuden kasvuun. Kuvassa 2 on havainnollistettu keskimääräisen pyörimisnopeuden ja raajojen keskimääräisen etäisyyden välistä yhteyttä ja kuvassa 3 hitausmomentin ja raajojen etäisyyden välistä yhteyttä. (King ym. 2004.)



KUVA 2. Keskimääräisen pyörimisnopeuden ja raajojen keskimääräisen etäisyyden pyörimisakselista välinen yhteys (King ym. 2004). Pystypalkit kuvaavat keskimääräistä pyörimisnopeutta ja viivakuvaaja havainnollistaa vapaiden raajojen keskimääräistä etäisyyttä pyörimisakselista. Q-ryhmän luistelijat toteuttivat neloishypyn kilpailussa. Tyes-ryhmän luistelijoilla analysoitiin kolmoishyppyjään ja he olivat onnistuneet myös neloishypyssä. Puolestaan Tno – ryhmän luistelijat eivät olleet onnistuneet neloishypyissä.



KUVA 3. Raajojen keskimääräisen etäisyyden pitkittäisakselista ja hitausmomentin välinen suhde (King ym. 2004). Kuvasta havaitaan, kuinka raajojen pitäminen lähellä pyörimisakselinista vähentää laskennallista pyörimisliikkeen hitausmomenttia.

King ym. (2002a) mukaan käsien merkitys on kolmoislutzissa suurempi pyörimisliikkeen liikemäärän tuottamisessa kuin jalkojen. Heidän mukaansa pyörimisliikkeen liikemäärä tuotetaan pääasiassa ennen kärkipiikin iskemistä jäähän viemällä vasen käsi taakse ja ylös (horisontaalinen abduktio) ja oikea käsi eteen ja sisäänpäin (fleksio ja adduktio), sekä kiertämällä ja ojentamalla vartaloa samanaikaisesti.

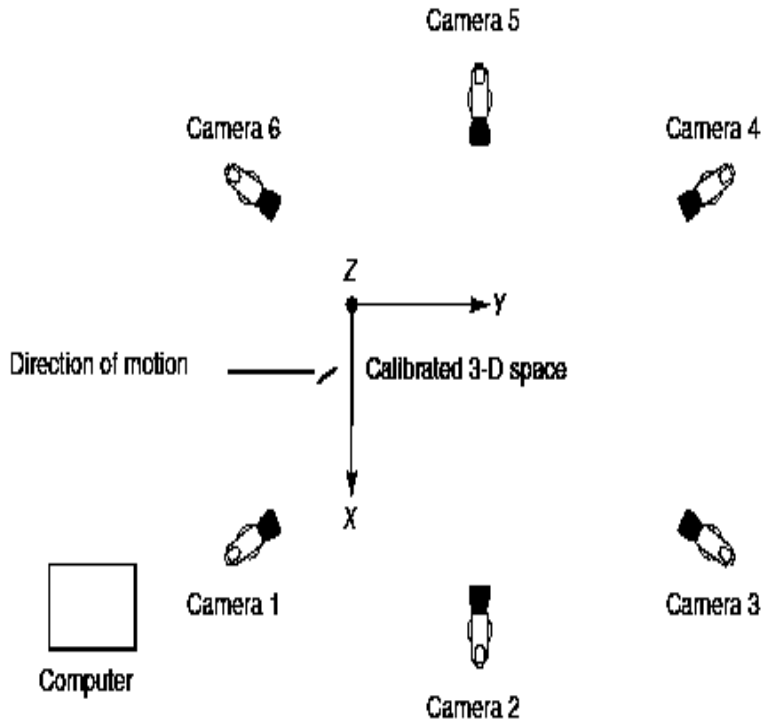
Hyppyissä, joissa pyöritään useita kierroksia, on havaittu pienempiä hitausmomentteja pyörimisakselin suhteen ennen ponnistushetkeä, kuin hypyissä, joissa suoritettavan rotaation määrä on vähäisempi (Albert ja Miller 1996; King ym. 2004). Mikäli hitausmomentinmäärä on vähäisempi ennen ponnistushetkeä, on luistelijoiden yleensä vaikeampi kasvattaa rotaationopeutta ilmalennon aikana, mutta toisaalta se mahdollistaa suuremman rotaationopeuden ponnistushetkellä (King 2005). Tässä lienee eroja eri hyppyjen välillä. Osassa hypyistä mahdollisesti pyritään pyörimisliikkeen nopeuden maksimointiin jo

ponnistushetkellä, kun taas osassa hypyistä pyritään pyörimisnopeus maksimoimaan ilmalennon aikana.

King ym. (2004) havaitsivat lähes yhtä suuria lähestymisnopeuksia kolmois- ja neloistulppeissa. Neloishypyissä havaittiin jopa hieman hitaampia nopeuksia kuin kolmoishypyissä, mitä selitettiin luistelijoiden kokemuksella hypyn hallinnasta ja ajoituksesta. Hypoteesia suuremman lähestymisnopeuden hyödyistä tukee havainto, että luistelijat jotka onnistuivat neloishypyissä lähestyvät kolmoishyppyjään kovemmalla vauhdilla kuin ne, jotka eivät onnistuneet neloishypyissä.

3 KOLMIULOTTEINEN LIIKEANALYYSI

Kolmiulotteista (3D) dataa voidaan kerätä useilla erilaisilla sensoreilla, joita ovat akselerometrit, gyroskoopit ja mangetometrit, joihin kuuluvat elektromagneettiset sensorit lineaariset sensorit ja ryhmäsensorit. Yleisimmin käytettyjä ovat niin sanotut optiset ryhmäsensorit tai kamerat. Kameraryhmässä (kuva 4) jokainen kamera näyttää kuvausalueen omasta kuvakulmastaan ja tallentaa halutut kaksiuloitteiset (2D) koordinaatit halutuista pisteistä. Yksi yleisemmin käytettyjä metodeja 3D-koordinaattien arviointiin 2D-datan perusteella on Direct Linear Transformation –metodi (DLT). (Robertson ym. 2013, 35-36.)



KUVA 5. Tyypillinen usean kameran järjestelmä 3D- analyysin tekemiseen (Robertson ym. 2013, 36).

3.1 Segmenttianalyysi ja massakeskipiste

Newtonin gravitaatiolain mukaan kaikki kappaleet vetävät toisiaan puoleensa suorassa suhteessa niiden massoihin ja käänteisessä suhteessa etäisyyden neliöön. Paino mittaa kappaleen ja Maan välistä vetovoimaa Newtoneina. Paino on vahvasti riippuvainen massasta

ja jonkin verran riippuvainen kappaleen sijainnista maan pinnalla, esimerkiksi merenpinnan tasolla gravitaatiovoima on hieman suurempi kuin esimerkiksi 5000 metrin korkeudessa. (Enoka 2008, 46.)

Koska kappaleet ovat yleensä monimutkaisia, ajatellaan niillä olevan laskennallinen keskipiste, jota sanotaan massakeskipisteeksi, jonka suhteen kappaleeseen vaikuttavia voimia arvioidaan. Massakeskipiste kuvaa tasapainopistettä, jonka ympärille massa on jakautunut tasaisesti. Massakeskipiste saadaan määritettyä, jakamalla kappale osiin, joiden massat ja massakeskipisteet tunnetaan. Tätä sanotaan segmenttianalyysiksi. (Enoka 2008, 47.)

3.2 Segmenttiparametrit ja hitausmomentti

Segmenttianalyysin tekemiseksi tutkijat ovat kehittäneet segmenttiparametreja, jotka ovat arvioita ihmisten eri kehon osien massoista, pituuksista, ympärysmitoista ja massakeskipisteistä. (Enoka 2008,47). Segmenttiparametrien määrittämiseen on käytetty erilaisia metodeja ja niitä on tehty erilaisilla kohderyhmillä, joten tutkijoiden vastuulle jää oikeanlaisten parametrien valinta tutkimusasetelmaan sopivasti.

Hanavanin (1964) tutkimus on esimerkki matemaattisesta mallintamisesta, jossa keho esitetään geometrisinä kappaleina. Tämä malli mahdollistaa mallin soveltamisen yksittäisiin ihmisiin antropometristen mittausten avulla. Malli olettaa, että kappaleet ovat jäykkiä, segmentit erottuvat selkeästi toisistaan ja segmentin tiheys on vakio. Näin ei tietenkään todellisuudessa ole.

Dempsterin (1955) ja Chandlerin ym. (1975) tutkimukset puolestaan toteutettiin ruumiiden avulla. Tutkittavina oli miehiä ja tutkittavien valintaan oli tiukat kriteerit poikkeamien, kuten ylipainon osalta. Kuvantamistekniikan kehittyminen on sittemmin mahdollistanut parametrien kehittämisen elävillä ihmisillä ja suurilla, joukoilla. Esimerkiksi Zatsiorsky ja Selyanov ym. (1983) hyödynsivät gammasäteilyä ja luuston kiinnekohtia segmenttiparametrien määrittämiseen sadalta ihmiseltä. deLeva (1996) kehitti Zatsiorskyn ja Selyanovin (1983) mallia eteenpäin perustamalla segmenttijaot pääasiassa nivelten keskikohtien perusteella (Liite 1). deLevan (1996) segmenttiparametrit naisille on esitetty taulukossa 3. Virmavirran ja Isolehdon (2014) mukaan segmenttimallin valinnassa täytyy olla tarkkana, sillä valmiit mallit sopivat urheilijoille yleensä heikosti.

TAULUKKO 3. deLevan (1996) segmenttiparametrit naisille (Enoka 2008, 53). Segmenttien päätepisteet on esitetty liitteessä 1. Massa on ilmoitettu prosentteina koko kehon massasta ja massakeskipisteen sijainti prosentteina proksimaalisesta päästä.

Segmentti	Pituus (cm)	Massa (%)	Massakeskipisteen sijainti (%)
Pää	20.02	6.68	58.94
Vartalo	52.93	42.57	41.51
Ylä torso	14.25	15.45	20.77
Keski torso	20.54	14.65	45.12
Ala torso	18.15	12.47	49.20
Olkavarsi	27.51	2.55	57.54
Kyynärvarsi	26.43	1.38	45.59
Käsi	7.8	0.56	74.74
Reisi	36.85	14.78	36.12
Sääri	43.23	4.81	44.13
Jalka	22.83	1.29	40.14

Inertiamomentti eli hitausmomentti kuvaa kappaleen kykyä vastustaa liiketilan muutosta kiertoliikkeessä akselin ympäri (Enoka 2008, 49). Pienempi inertiamomentti on yhteydessä nopeampaan pyörimiseen (King 2004). Inertiamomentti eli hitausmomentti määritellään $I = \sum_{i=1}^{n} m_i \, r_i^2$, missä n on kappaleeseen kuuluvien segmenttien lukumäärä m_i on i:n segmentin massa ja r_i on i:n segmentin massakeskipisteen etäisyys pyörimisakselista. (Enoka 2008, 49).

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Taitoluistelusta on tehty 1980-luvulta 2000-luvun alkuun useita liikeanalyysitutkimuksia, joissa on selvitetty kattavasti eri näkökulmista hyppyjen biomekaanisia periaatteita. Kuitenkin viimeisimmät tutkimukset on tehty noin 10 vuotta sitten, joten taitoluistelun kehittymisen lajina ja myös liikeanalyysi ja kuvastekniikan kehittyminen avaavat mahdollisuuden hyppyjen biomekaanisen analyysin päivittämiseen.

Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia kaksois- ja kolmoislutzin kinemaattisten muuttujien eroja hyppyjen lentovaiheessa naisten maajoukkueluistelijoilla. Tavoitteena on löytää ne suoritustekniset tekijät, jotka vaikuttavat merkittävimmin kolmoishypyn onnistumiseen. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää, onko luistelijoiden, jotka onnistuivat kolmoislutzissa ja luistelijoiden, jotka eivät onnistuneet, kaksoislutzeissa eroa lentovaiheen aikana. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Suomen taitoluisteluliiton ja Kilpa- ja Huippu-urheilun tutkimuskeskuksen kanssa.

5 MENETELMÄT

Tutkimuksessa vertailtiin naisten kaksois- ja kolmoislutzia. Tutkimuksen luonne on lajianalyyttinen, jossa vertaillaan vaihtelua hyppyjen välisten kinemaattisten muuttujien osalta. Tutkittavina oli Suomen kärkitason luistelijoita, jotka tähtäävät vuoden 2018 Olympialaisiin tai nuorempia lupauksia, jotka tähtäävät 2022 Olympialaisiin.

5.1 Tutkittavat

Mittauksiin osallistui viisi naista, joilta pyrittiin kuvaamaan viisi suoritusta kaksoislutzista ja viisi yritystä kolmoislutzista. Yhteensä kuvattavia hyppyjä oli noin kymmenen kappaletta jokaista luistelijaa kohden. Lopulliseen analyysiin valittavien hyppyjen kriteereinä on onnistunut suoritus, valmentajien näkemys parhaimmista suorituksista sekä kuvatun videomateriaalin laatu. Analysiin kelpaavien kaksoislutzien määräksi tuli lopulta kymmenen ja analysointiin sopivia kolmoislutzeja saatiin yhteensä viisi kappaletta kolmelta tutkittavalta. Lopulta tutkimuksessa analysoitiin viisi kaksoishyppyä ja kolme kolmoishyppyä. Luistelijoiden tiedot on esitetty taulukossa 4.

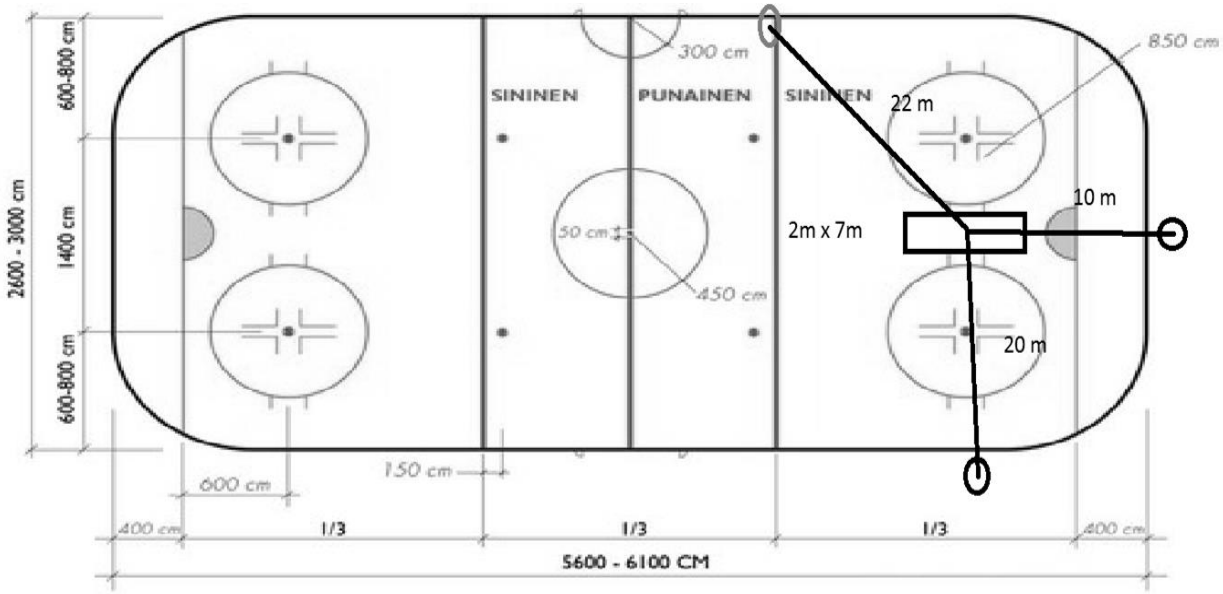
TAULUKKO 4. Luistelijoiden tiedot ja analysoitavien hyppyjen määrät. Luokka 1= ei onnistunutta kolmoishyppyä. Luokka 2 = Onnistunut kaksoishyppy.

ID	IKÄ(v)	PITUUS (cm)	MASSA (kg)	Luokka
1	16	163	56	2
2	17	163	55	2
3	22	165	46	1
4	16	166	51	1
5	17	157	50	2
Ka.	17,6	162,8	51,6	-
SD.	2,2	3,1	3,6	-

5.2 Kuvausasetelma

Liikeanalyysi kuvattiin kolmella kameralla (Baumer HXG20c - HX-Series, Baumer Ltd. USA), joista kaksi asetettiin 90 asteen kulmaan toisiinsa nähden. Kolmas kameroista asetettiin noin 140 asteen kulmaan muihin kameroihin nähden. Kamerat asetetaan siten, että kuvausalueen keskikohtaa asetetiin B-pisteiden väliin. (Kuva 6). Kuvausalue oli noin 7 metriä

pitkä ja 2 metriä leveä. Kamerat synkronoitiin käyttämällä valomerkkiä. Kuvausten aikana jäähallin valaistus pimennettiin mahdollisimman himmeäksi ja kameroiden suunnasta luistelijoihin kohdistettiin lisävaloa. Kameroiden kuvanopeudeksi asetettiin 100 kuvaa/s. Kuvauksessa hyödynnettiin kahta SIMI Motion (Simi Reality Motion Systems GmbH, Saksa) liikeanalyysijärjestelmää rinnakkain. Järjestelmä kalibroitiin käyttämällä kalibrointikeppejä mittausalueen kulmissa ja mitat kuvausaluesta mitattiin takymetrillä..



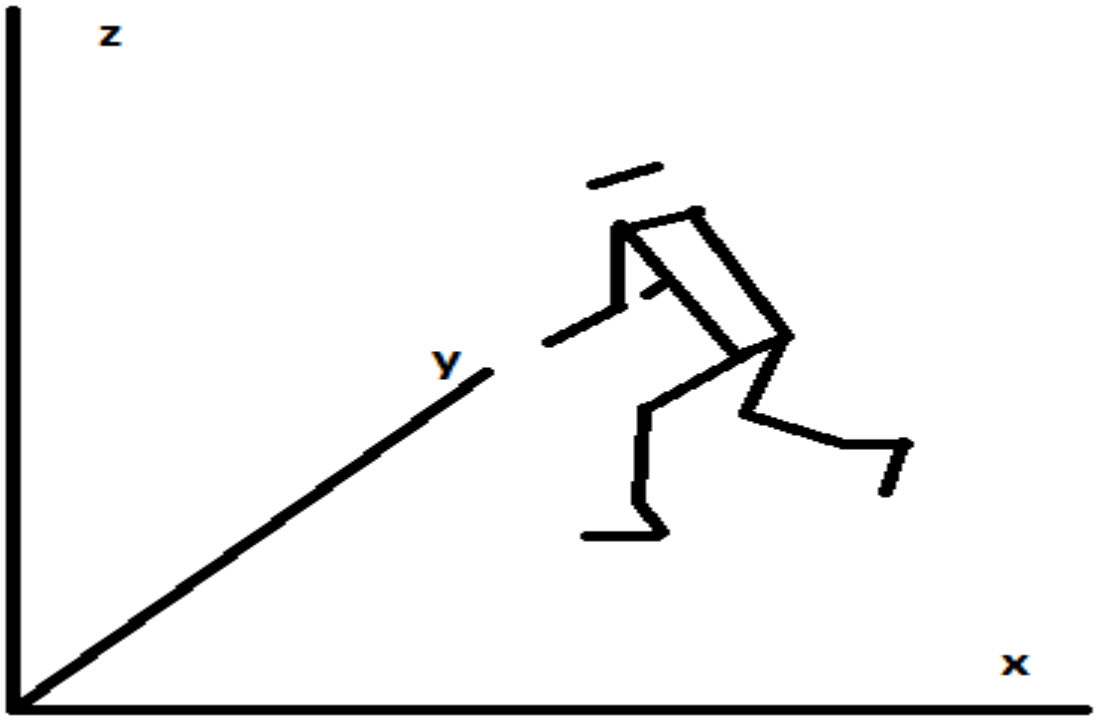
KUVA 6. Kuvausasetelma ja arvio kameroiden etäisyyksistä

Ennen kuvausten aloittamista luistelijat harjoittelivat hyppyjen tekemistä mittausalueelle. Mittaustilanteessa luistelijat suorittavat aluksi oman verryttelyn ennen jäälle menoa. Tämän jälkeen heijastavat merkit kiinnitettiin paikoilleen, jonka jälkeen luistelijat lämmittelivät jäällä vastakkaisella puolella kenttää kuvausalueelta katsottuna. Tämän jälkeen tehtiin kahdesta kolmeen harjoitushyppyä, jonka jälkeen varsinaiset kymmenen suoritusta. Kun yksi luistelija teki kaikki 10 suoritustaan, aikaa kului noin kahdesta kolmeen minuuttia suoritusten välillä ja yhteensä noin 20 - 30 minuuttia. Kun yhden luistelijan hypyt oli kuvattu, aloitti toinen luistelija omat suorituksena heti perään. Jokainen hyppy tallennetaan ja analyysiin valittavat hypyt päätettiin mittausten jälkeen. Heijastavien merkkien paikat on esitetty liitteessä 2.

5.3 Analyysi

Analyysissa koordinaatisto kalibroitiin seuraavasti: X-suunta oli leveys-suunta, Y-suunta oli pituus-suunta ja z-suunta oli korkeus. Analyysin materiaalin digitoinnissa hyödynnettiin DLT-

11 parametreja. Digitointi suoritettiin manuaalisesti digitoimalla joka kolmas kuva videolta ja saatu raaka-data täytettiin Interpolated spline-laskennalla ja suodatettiin tämän jälkeen. Analyysivaiheessa luistelijoista muodostettiin kolmiulotteinen malli (kuva 7), josta koko kehon ja yksittäisten segmenttien massakeskipisteet määritettiin hyödyntäen deLevan ym. (1996) materiaalia. Luistinten massaa ei huomioitu analyysivaiheessa (King 2004; King 1994).



KUVA 7. Luistelijasta muodostettu 3D-malli

Inertian määrittämiseen hyödynnettiin luistelijan massakeskipisteen läpi kulkevaa vertikaalisuuntaista suoraa. Analyysissä käytettävien pisteiden paikkakoordinaattien perusteella kaikille 14 segmentille laskettiin omat massakeskipisteet deLevan (1996) mukaisesti. Esimerkiksi vasemman olkavarren massakeskipiste määritettiin vasemman olkavarren proksimaalisen ja distaalisen pisteen painotetuksi keskiarvoksi. Kerroin 0,5754 tarkoittaa että segmentin massakeskipiste sijaitsee deLevan (1996) mukaan (0,5754 * segmentin pituus) etäisyydellä segmentin proksimaalisesta päästä. Esimerkiksi olkavarren massakeskipisteen koordinaatit laskettiin näin:

CG Upperarm left x= (0,5754*(acromion left x)+(1-0,5754)*(articulatio cubiti left x))

CG Upperarm left y= (0,5754*(acromion left y)+(1-0,5754)*(articulatio cubiti left y))

CG Upperarm left z= (0,5754*(acromion left z)+(1-0,5754)*(articulatio cubiti left z))

Pään massakeskipisteen ajateltiin sijaitsevan korvapisteiden läpikulkevan suoran puolivälissä. Vartalon massakeskipisteen määritys oli ainoa, joka poikkesi muista. Vartalon massakeskipisteen ajateltiin sijaitsevan manubrioum sternin ja lantion keskipisteen välisellä alueella. Lantion keskipiste määritettiin trochanter majoreiden väliseksi keskikohdaksi. Vartalon massakeskipisteen sijainti laskettiin näin:

CG TRUNK =((0,4151*manubrium sterni)+((1-0,4151)*(TM Left+TM Right)/2))

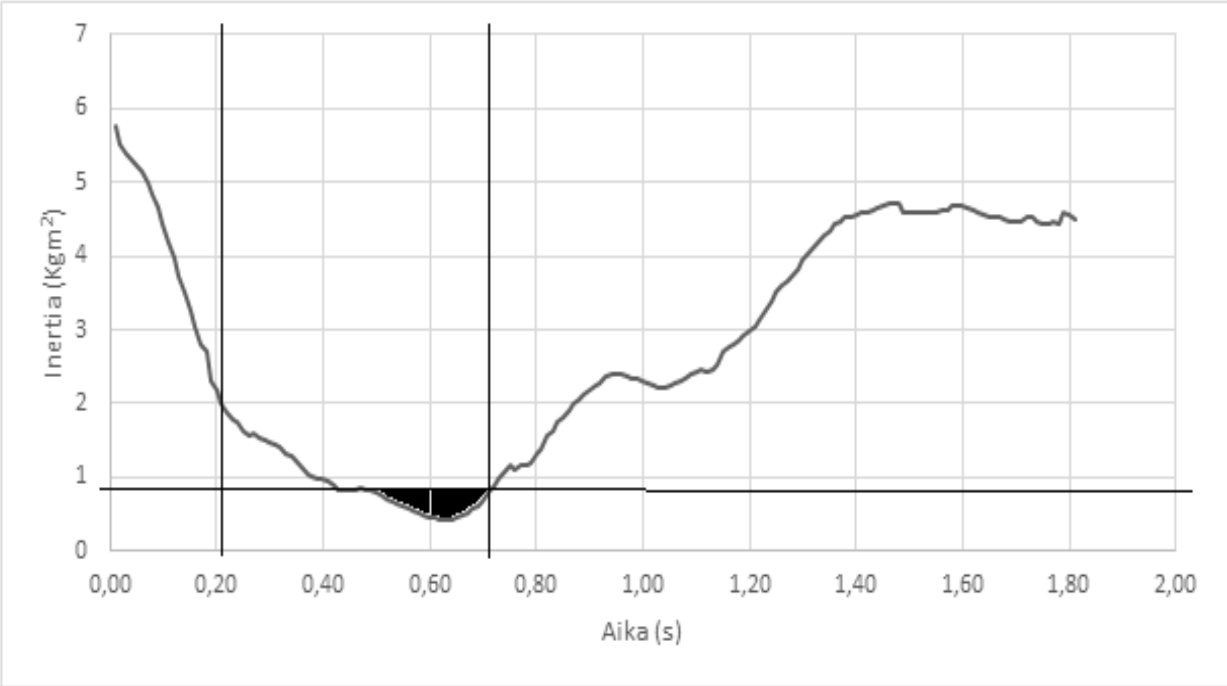
Kun segmenttien massakeskipisteet ja massat tunnettiin, voitiin kehon massakeskipiste määrittää painottamalla segmenttien koordinaatit segmenttien arvioiduilla massoilla. Inertiamomentin määrittämiseksi täytyi tuntea myös segmenttien etäisyydet pyörimisakselista. Pyörimisakseliksi määritettiin pystysuuntainen eli z-suuntainen massakeskipisteen läpikulkeva suora (Albert & Miller 1996). Tällöin segmenttien massakeskipisteen etäisyys pyörimisakselista saatiin määritettyä x- ja y- koordinaattien avulla kaavalla:

$R = \sqrt{((X_k-X_s)^2+(Y_k-Y_s)^2)}$, missä R on säde, X_k on kehonmassakeskipisteen x-koordinaatti ja X_s jonkin segmentinmassakeskipisteen x-koordinaatti. Y-koordinaateilla on vastaavat merkinnät.

Hyppy jaettiin neljään osaan, jotka ovat valmistautuminen, ponnistus, ilmalento ja laskeutuminen. Analyysi aloitetettiin noin 0,20-0,40 s ennen ponnistusta. Valmistautumisvaiheella tarkoitetaan liukuvaihetta ennen kärkipiikin iskemistä jäähän. Ponnistusvaihe kestää kärkipiikin iskemisestä jäähän luistelijan irtoamiseen jäästä. Ilmalennolla tarkoitetaan aikaa, jona luistelija ei kosketa jäätä. Laskeutuminen alkoi kun luistelija koskettaa uudestaan jään pintaa. Analyysin kohteina olivat seuraavat muuttujat ponnistus- ja lentovaiheesta.

Hyppykorkeus määritettiin massakeskipisteen vertikaalisuuntaiseksi siirtymäksi ponnistuksen ja huippukohdan välillä. Hypyn pituus määritettiin massakeskipisteen horisontaalisuuntainen siirtymä ponnistuksen ja laskeutumisen välillä. Lentoaika määritettiin luistelijan hypyn

kestoksi ponnistuksesta laskeutumiseen. Laskeutumisen viivästyttämisellä tarkoitettiin massakeskipisteen sijaintia laskeutuessa verrattuna ponnistukseen. Keskimääräinen rotaationopeus laskettiin jakamalla lentovaiheen pyöriminen asteina lentovaiheen kestolla. Pyörimisasennon saavuttamishetki määritettiin ajaksi, joka kului ponnistuksesta pyörimisasennon saavuttamiseen. Pyörimisasento määritettiin inertian perusteella, siten että pyörimiasento oli saavutettu, kun kokonaisinertia on yli 80 % päässä hypyn minimi-inertiasta (Kuva 9). Aika pyörimisasennossa tarkoitti aikaa, jona luistelija pysyy yli 80 % päässä hypyn minimi-inertiasta (kuva 9) Lähestymisnopeus oli luistelijan horisontaalisuuntainen nopeus ennen ponnistusta 0,1 sekunnin keskiarvona.



KUVA 9. Esimerkki pyörimisliikkeen hitausmomentin käyttäytymisestä hypyn aikana. Pystysuuntaiset viivat kuvaavat ponnistus- ja laskeutumishetkeä Vaakasuuntainen viiva kuvaa 80 % rajaa minimi hitausmomentista

Muuttujista tehtiin tilastolliset vertailut kaksois- ja kolmoishyppyjen välillä sekä luistelija ryhmien välillä kaksoishypyistä. Kaksois- ja kolmoislutzin väliseen vertailuun kelpuutettiin vain luistelijat, jotka kykenivät mittauksessa onnistuneeseen kolmoislutziin (Luokka 2, n=3). Hyppyjen välisiä keskiarvoeroja vertailtiin kahden riippuvan otoksen t-testillä sekä Wilcoxon merkittyjen sijalukujen testillä (liite 3). Luistelija ryhmien eroja verrattiin kahden riippumattoman otoksen t-testillä, sekä Mann-Whitneyn u-testillä (liite 4).

6 TULOKSET

Tutkimuksessa vertailtiin kaksois- ja kolmoislutzia (2L/3L), sekä luistelija ryhmien välisiä eroja kaksoishypyssä. Tulokset on esitetty taulukossa 5 ja 6. Tulokset on esitetty tutkittava kohtaisesti ja keskiarvoina. Keskiarvoista (Ka.) on laskettu myös keskiarvon keskihajonta (Sd.).

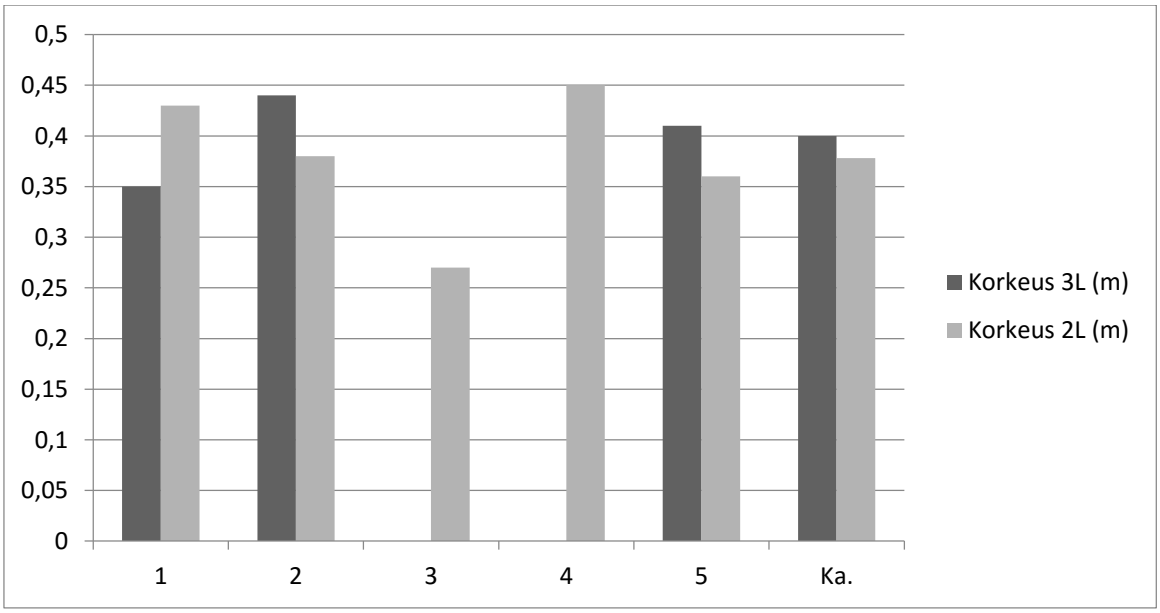
TAULUKKO 5. Hyppykorkeudet, hyppyjen pituudet, lentoajata, laskeutumisen viivästyttäminen. (DL= delaying the landing) ja ponnistushetken vertikaalinopeus (Vv)

ID	Korkeus 3L (m)	Korkeus 2L (m)	Pituus 3L (m)	Pituus 2L (m)	Lentoaika 3L (s)	Lentoaika 2L (s)	DL 3L(m)	DL 2L(m)	Vv2L(m/s)	Vv3L (m/s)
1	0,35	0,43	1,75	2,2	0,54	0,55	0,04	0,10	2,51	2,51
2	0,44	0,38	1,78	1,99	0,63	0,58	-0,06	-0,02	2,85	3,14
3	-	0,27	-	1,63	-	0,49	-	-0,02	2,29	-
4	-	0,45	-	1,99	-	0,58	-	0,1	3,14	-
5	0,41	0,36	1,95	2,05	0,59	0,54	-0,01	0,04	2,51	2,9
Ka.	0,4	0,378	1,83	1,972	0,59	0,548	-0,01	0,04	2,66	2,85
Sd.	0,01	0,07	0,11	0,21	0,04	0,04	0,05	0,06	0,30	0,26

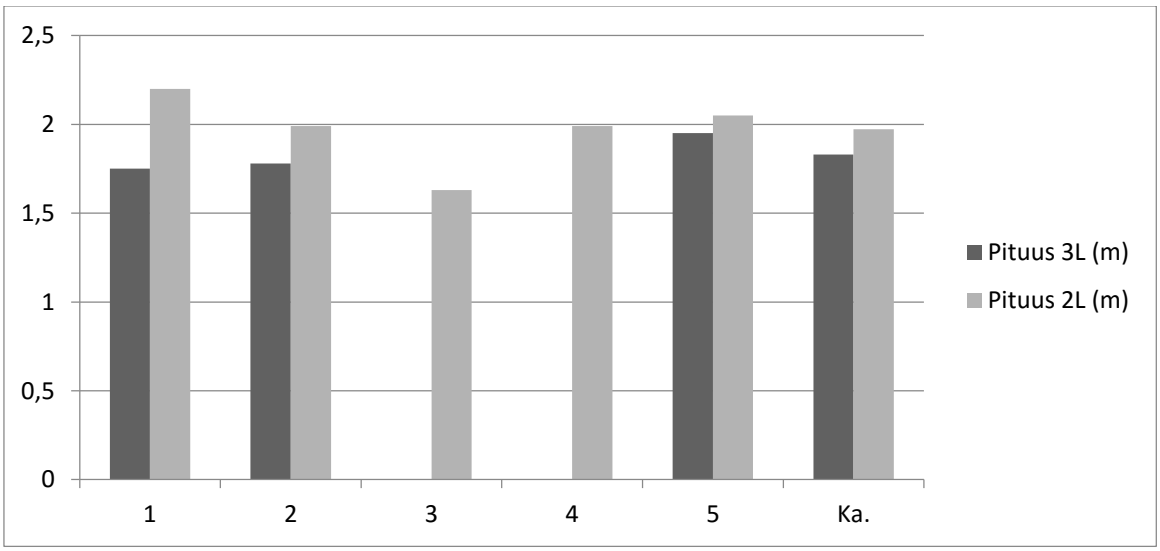
TAULUKKO 6. Hypyn ponnistushetken pyörimisliikkeen hitausmomentti (=Inertia), Aika pyörimisasentoon (time to rot. pos.), aika pyörimisasennossa (time in rot. pos.), rotaation nopeus (rot. nop.), horisontaalisuuntainen lähestymisnopeus (Vh) ja ponnistushetken vertikaalinopeus (Vv)

ID	Inertia 3L (kgm^2)	Inertia 2L (kgm^2)	Time to rot.pos 3L (s)	Time to rot. Pos 2L (s)	Time in rot pos 3L (s)	Time inrot.pos 2L (s)	Rot.nop 3L (astetta/s)	Rot nop 2L (astetta/s)	Vh 2L(m/s)	Vh 3L(m/s)
1	2,61	1,8	0,27	0,19	0,28	0,26	1844	1084	4,4	3,79
2	2,07	1,64	0,26	0,25	0,43	0,21	1560	1073	4,02	3,48
3	-	1,59	-	0,18	-	0,34	-	1266	4,05	-
4	-	1,5	-	0,23	-	0,18	-	1043	4,26	-
5	1,95	1,59	0,15	0,18	0,51	0,23	1606	1200	4,48	3,83
Ka.	2,21	1,62	0,23	0,21	0,41	0,24	1670	1133	4,24	3,70
Sd.	0,04	0,01	0,1	0,03	0,06	0,06	152	95	0,10	0,16

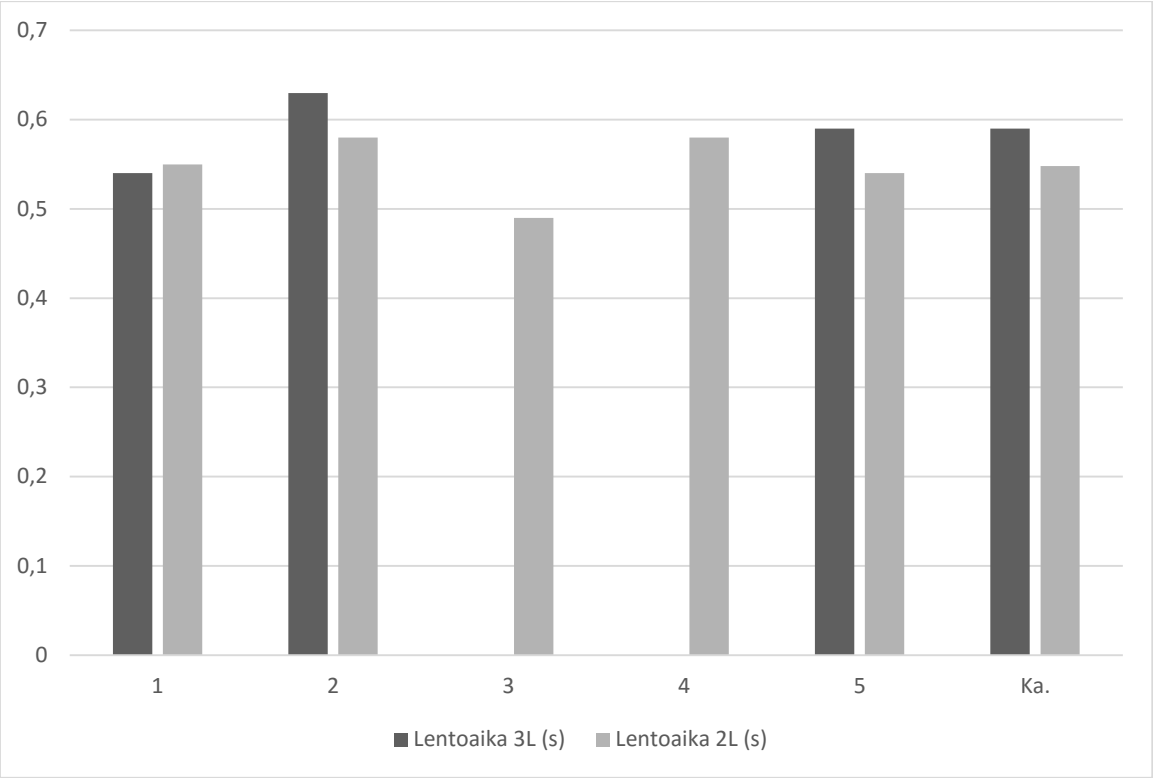
Koko ryhmän osalta kolmoishyppyjen havaittiin usein olevan hieman korkeampia kuin kaksoishyppyjen. Tutkittava numero 1 oli ainut, jonka kolmoishyppy oli matalampi kuin kaksoishyppy. Kaksoishypyt olivat tutkimusryhmällä yleisesti pidempiä kuin kolmoishypyt ja lentoajat kolmoishypyissä lentoajat olivat koko ryhmän keskiarvona suurempia. (uvat 10-13.)



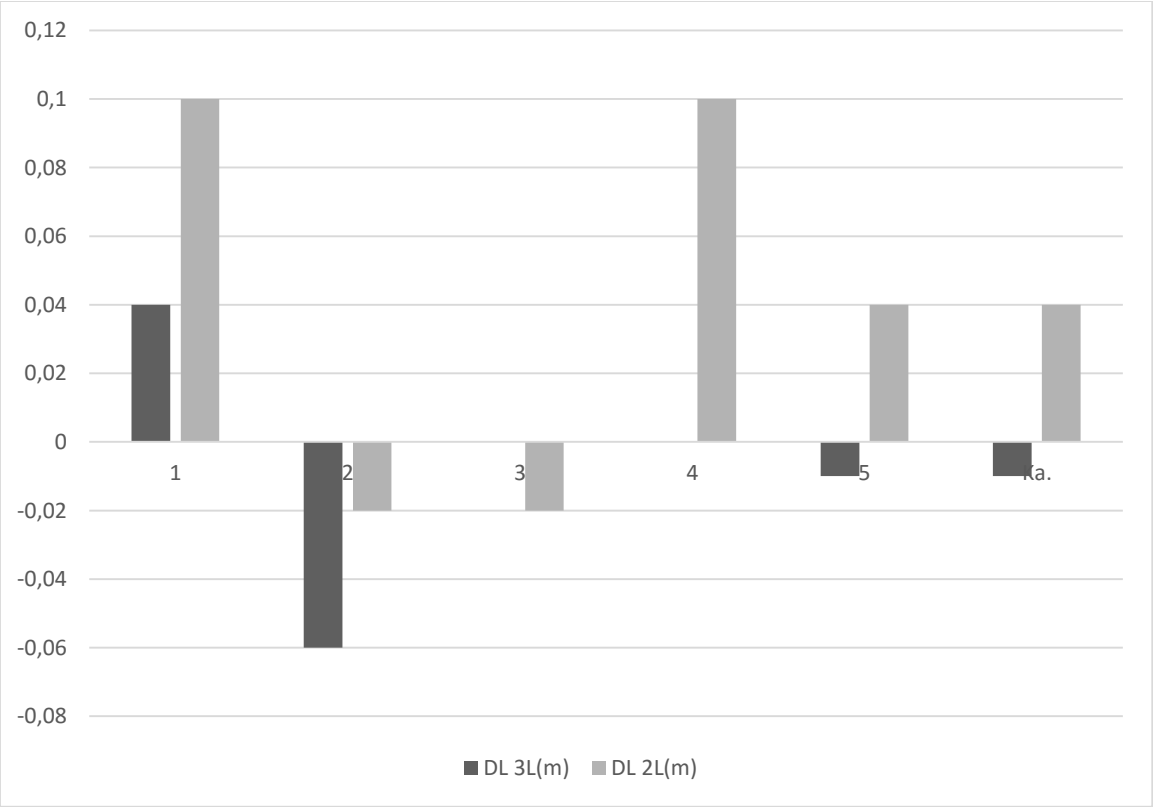
KUVA 10. Hyppykorkeudet



KUVA 11. Hyppypituudet



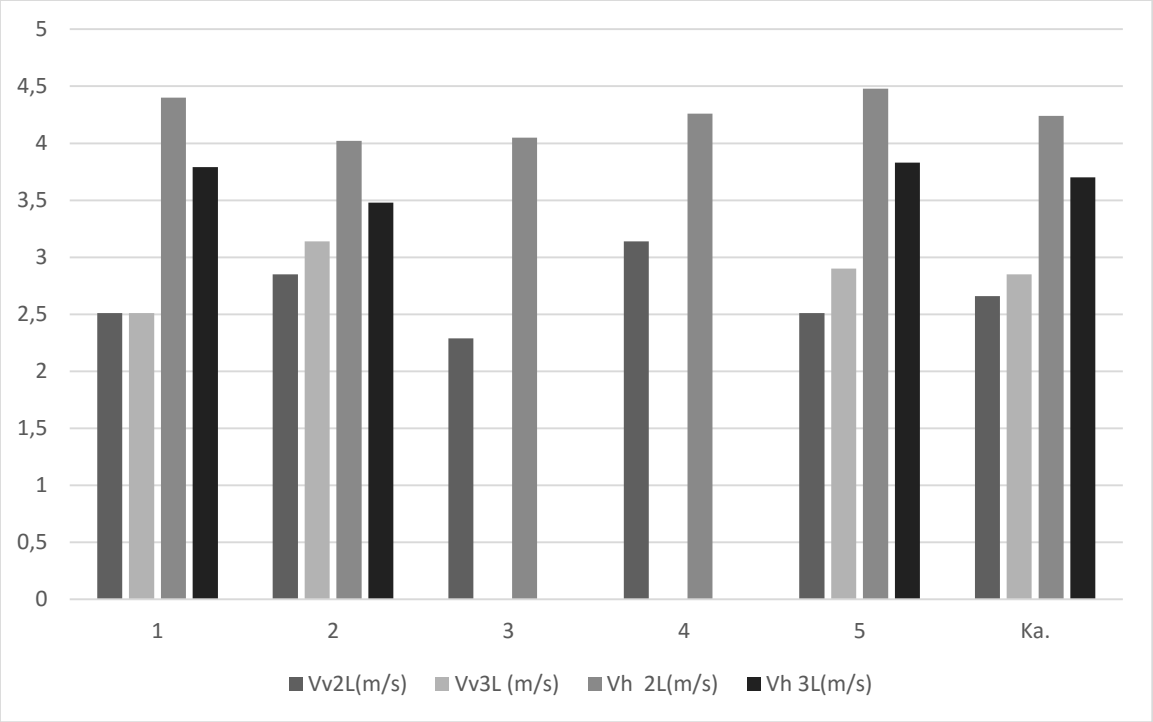
KUVA 12. Lentoajat



KUVA 13. Laskeutumisen viivästyttäminen (DL)

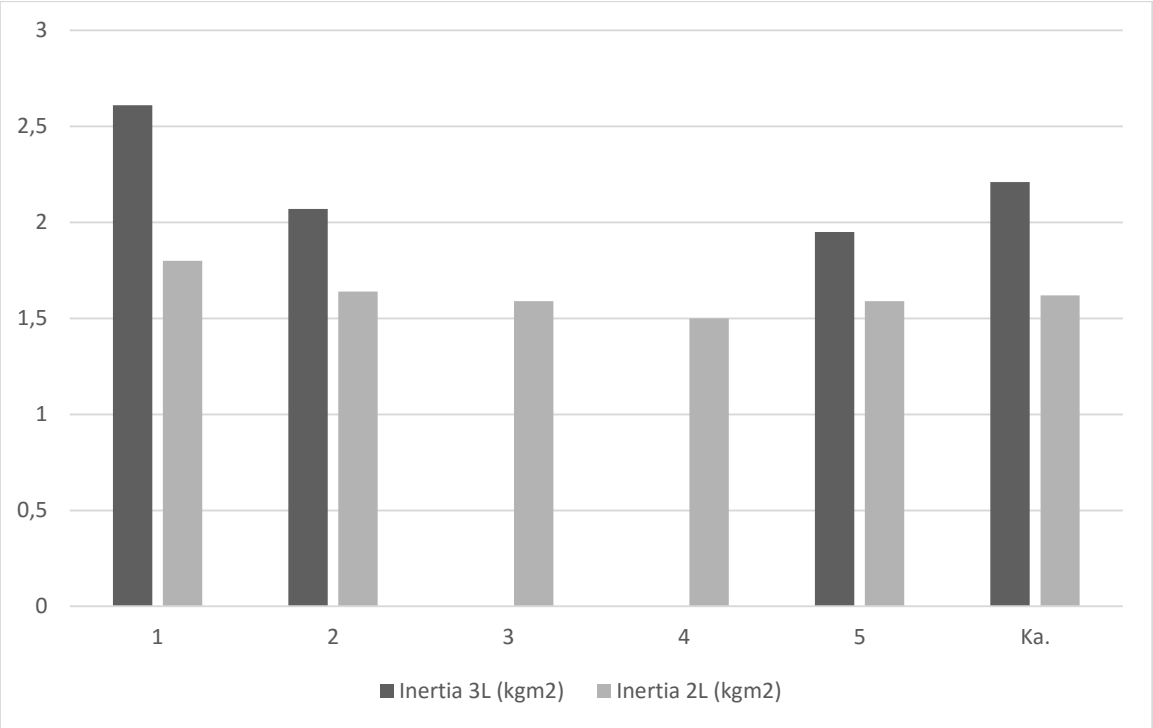
Ponnistushetken vertikaalinopeudella havaittiin kolmoishypyssä olevan vahva positiivinen korrelaatio kolmoishyppyjen lentoajan (r=0,997) ja hyppykorkeuden (r=0,999) kanssa. Kaksoishyppyjen osalta korrelaatio kaksoishyppyjen hyppykorkeuksiin oli myös vahva (r=0,884).

Kuvassa 14 havaitaan, että ponnistushetken vertikaalisuuntaiset nopeudet ovat yleisesti hieman suurempia kolmoishypyssä kuin kaksoishypyssä. Ponnistushetken horisontaalinopeudet ovat hieman suurempia kaksoishypyissä kuin kolmoishypyissä. (Kuva 14)

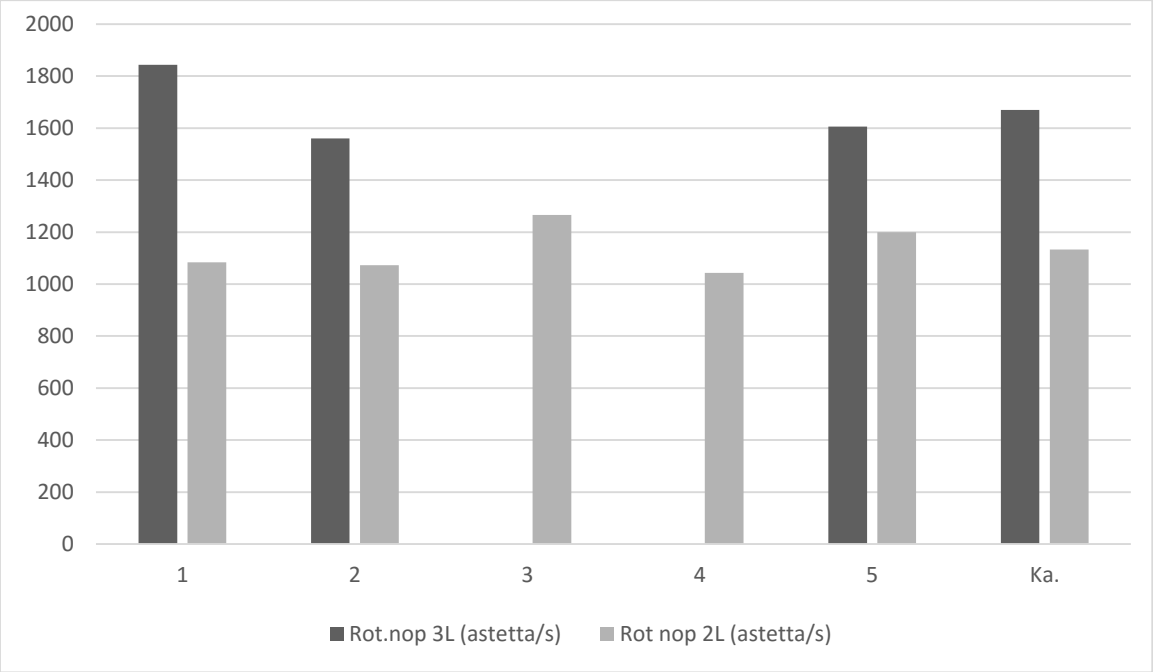


KUVA 14. Ponnistushetken vertikaalisuuntaiset nopeudet (Vv) ja horisontaalisuuntaiset nopeudet (Vh)

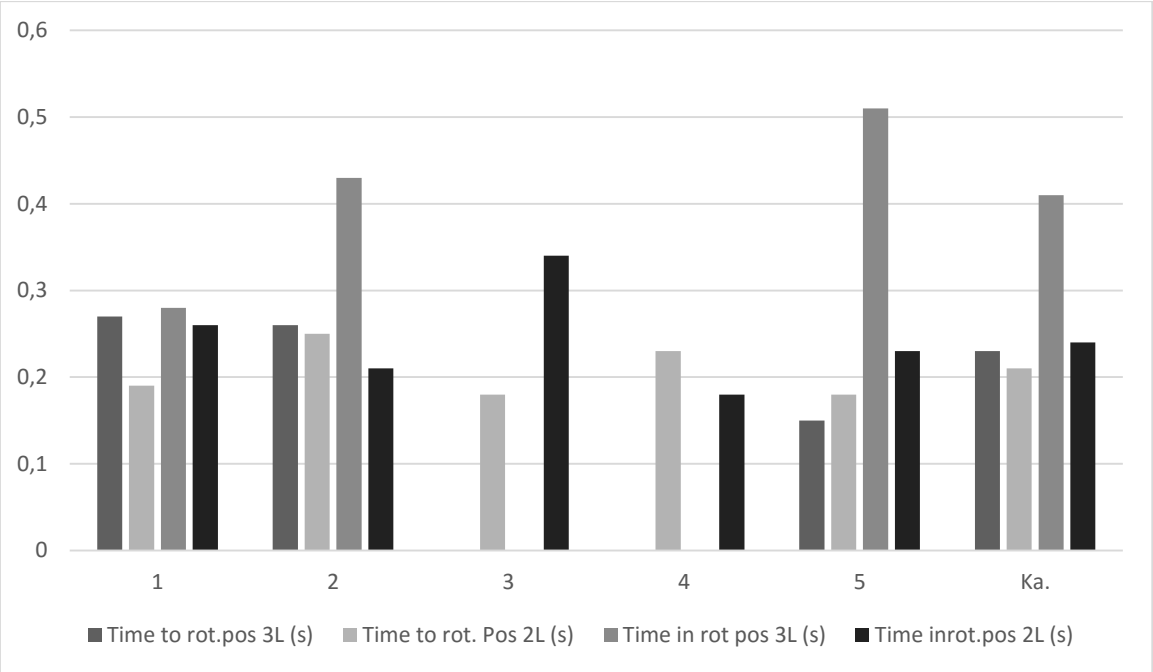
Ponnistushetkellä lasketuista pyörimisliikkeen hitausmomenteista havaittiin kolmoishypyistä selkeästi suurempia arvoja kuin kaksoishypyistä (kuva 15). Kolmoishyppyjen keskimääräiset pyörimisnopeudet olivat myös selkeästi suurempia kuin kaksoishypyissä (kuva 16). Kuvasta 17 havaitaan, että pyörimisasento saavutettiin kaksois- ja kolmoishypyissä lähes yhtä nopeasti. Kuvasta 17 havaitaan myös, että kolmoishypyissä pyörimisasennossa oltiin hieman pidempään kuin kaksoishypyissä.



KUVA 15. Pyörimsliikkeen hitausmomentit ponnistushetkellä



KUVA 16. Keskimääärinen pyörimisnopeus



KUVA 17. Pyörimisasennon saavuttamishetki (timetorotpos) ja pyörimisasennossa olo ajat (timeinrotpos)

6.1Kaksois- ja kolmoislutzin vertailu

Kaksois- ja kolmoislutzia vertailtiin keskinään vain luokkaan 2 kuuluvilla luistelijoilla. Tuloksista havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0,05$) laskeutumisen viivästyttämisessä, pyörimisnopeudessa, lähestymisnopeudessa ja ponnistushetken pyörimisliikkeen hitausmomentissa. (Taulukko 7.) Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevä muutoksia minkään muuttujan osalta (liite 3).

Luistelijoiden massakeskipisteen havaittiin olevan laskeutuessa keskimäärin viisi senttimetriä korkeammalla kuin kolmoislutzeissa. Pyörimisnopeuden havaittiin myös olevan keskimäärin 551 astetta/s nopeampaa kolmoislutzeissa kuin kaksoislutzeissa. Hyppyjen korkeudessa, hyppyjen pituudessa ja lentoajoissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. (Taulukko 7)

Lähestymisnopeuksien havaittiin olevan kaksoislutzeissa keskimäärin noin 0,6 m/s nopeampia kuin kolmoislutzissa. Ponnistushetken vertikaalinopeudessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, kuten ei myöskään pyörimisasennon saavuttamiseen kuluvassa ajassa, eikä pyörimisasennossa olo ajassa. Ponnistushetken pyörimisliikkeen hitausmomentin

havaittiin olevan kolmoislutzissa noin 0,53 kgm^2suurempi kuin kaksoislutzeissa. (Taulukko 7.)

TAULUKKO 7 Kaksois- ja kolmoislutzin muuttujien keskiarvojen erot, keskihajonnat, keskiarvon keskivirhe, luottamusvälin ala- ja yläraja, t-testin tulos (t),) ja merkitsevyys (sig.).

Muuttuja	Keskiarvoero	Sd.	Std. Mean Error	alaraja	yläraja	t	sig.
Hyppykorkeus 2L/3L (m)	-0,01	0,078	0,045	-0,204	0,184	-0,222	0,845
Hyppypituus 2L/3L (m)	0,253	0,179	0,103	-0,191	0,698	2,452	0,134
Lentoaika 2L/3L (s)	-0,03	0,035	0,02	-0,116	0,056	-1,5	0,272
DL 2L/3L (m)	0,05	0,01	0,006	0,025	0,075	8,66	0,013**
Rotaationopeus 2L/3L(astetta/s)	-551	185,476	107,084	-1011,7	-90,254	-5,145	0,036*
timetorotpos 2L/3L (s)	-0,02	0,056	0,032	-0,158	0,118	-0,622	0,597
timeinrotpos 2L/3L (s)	-0,173	0,136	0,079	-0,511	0,165	-2,205	0,158
Vh2L/3L (m/s)	0,6	0,056	0,032	0,461	0,738	18,665	0,003*
Vv 2L/3L (m/s)	-0,228	0,202	0,117	-0,729	0,276	-1,938	0,192
Inertia 2L/3L (Kgm^2)	-0,533	0,242	0,14	-1,135	0,068	-3,815	0,062*

*tulos on tilastollisesti merkitsevä p <0,05 **tulos on tilastollisesti merkitsevä p=0,01. Tilastollisia merkitsevyyksiä ei havaittu Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testillä.

6.2 Luokkien väliset erot

Luokkien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja minkään muuttujan osalta. Hyppy korkeuksissa, lentoajassa ja hyppyjen pituuksissa havaittiin luokkaan 2 kuuluvien luistelijoiden saavan parempia arvoja muuttujille. Hyppy korkeuden osalta ero oli 3 cm ja

hyppyjen pituuden osalta 27 cm. Myös lähestymisnopeuden havaittiin luokan 2 luistelijoilla olevan noin 0,15 m/s suurempi. Tilastot analysoitiin myös Mann-Whitneyn u-testillä, jonka mukaan luokkien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja (Liite 4)

TAULUKKO 8. Eri luistelija luokkien erot kaksoislutzissa. Erot eivät tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$)

Muuttuja	Luokka	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
hyppykorkeus2L (m)	1,00	2	0,36	0,13	0,09
	2,00	3	0,39	0,04	0,02
hyppypituus2L (m)	1,00	2	1,81	0,25	0,18
	2,00	3	2,08	0,10	0,06
Lentoaika2L (s)	1,00	2	0,54	0,06	0,05
	2,00	3	0,56	0,02	0,01
DL2L (m)	1,00	2	0,04	0,08	0,06
	2,00	3	0,04	0,06	0,035
rotaatio2L (astetta/s)	1,00	2	1154	157,68	111,50
	2,00	3	1119	70,364	40,62
timetorotpos2L (s)	1,00	2	0,21	0,04	0,03
	2,00	3	0,21	0,04	0,02
timeinrotpos (s)	1,00	2	0,26	0,11	0,08
	2,00	3	0,23	0,03	0,02
Lähestysmisnopeus2L (m/s)	1,00	2	4,16	0,15	0,11
	2,00	3	4,30	0,25	0,14
Verticalnop2L (m/s)	1,00	2	2,72	0,60	0,43
	2,00	3	2,62	0,20	0,11
Inertiatakeoff2L	1,00	2	1,48	0,03	0,02
	2,00	3	1,68	0,11	0,06

7 POHDINTA

Tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja kaksois- ja kolmoislutzin välillä ponnistushetken pyörimisliikkeen hitausmomentin, pyörimisnopeuden, lähestymisnopeuden ja laskeutumisen viivästyttämisen osalta riippuvien muuttujien t-testillä. Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testillä tilastollisia merkitsevyyksiä ei havaittu. Kaksois- ja kolmoislutzien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja hyppyjen korkeuksissa, hyppyjen pituuksissa, lentoajoissa, pyörimisasentoon pääsyn, pyörimisasennossa olo ajan ja ponnistushetken vertikaalinopeuden osalta. Luistelijaryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja kaksoishypyissä.

Hyppykorkeuden osalta tulokset tukevat aikaisempien tutkimusten havaintoja siitä, että saman luistelijan osalta hyppykorkeuksissa ei ole juurikaan eroja ilmassa suorittettavan rotaation määrän kasvamisesta huolimatta (Albert & Miller 1996; King ym. 1994). Tässä tutkimuksessa kolmoishypyt olivat noin 1 cm korkeampia kuin kaksoishypyt (Taulukko 7). King (1997) havaitsi eritasoisilla luistelijoilla selkeitä eroja hyppykorkeuksissa taitavampien luistelijoiden hypätessä korkeammalle. Tässä tutkimuksessa luistelijat. jotka kykenivät kolmoishyppyyn, hyppäsivät keskimäärin noin 3 cm korkeammalle kuin luistelijat, jotka eivät kyenneet kolmoishyppyyn. Ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$). Tämä voi kuitenkin kertoa mahdollisesti pienestä taso erosta luistelijoiden välillä.

Ponnistushetken vertikaalinopeudella havaittiin korreloivan vahvasti kolmoishyppyjen korkeuteen ja lentoaikaan. Vertikaalinopeudet ja hyppykorkeudet ja lentoajat eivät kuitenkaan merkitsevästi eronneet kaksois- ja kolmoishyppyjen välillä. Lentoaikaan voidaan kuitenkin vaikuttaa myös laskemalla painopiste alemmas laskeutuessa kuin ponnistushetkellä. Laskeutumisen viivästyttämisessä havaittiinkin pientä eroa kaksois- ja kolmoishyppyjen välillä. Kolmoishypyissä massakeskipiste oli laskeutumishetkellä keskimäärin 5 cm alempana kuin kolmoishypyssä. King ym. (2004) mukaan tällä tavoin luistelijat voivat saada jopa 20 astetta lisää rotaatiota hyppyyn.

Koska lentoaikaa liittyvissä muuttujissa ei havaittu juurikaan eroja lentoaikaan liittyvien muuttujien välillä, täytyy siirtymä kaksoishypystä kolmoishyppyyn selittää muulla tavoin. Hyppyjen keskimääräinen pyörimisnopeuden havaittiin olevan kolmoishypyissä noin 550 astetta nopeampaa kuin kaksoishypyissä. Kasvanutta keskimääräistä pyörimisnopeutta selittää

erot ponnistushetken pyörimisliikkeen hitausmomentissa, jotka olivat kolmoishypyissä suurempia kuin kaksoishypyissä. Ponnistuksen jälkeen luistelija pyrkivät vetämään raajat lähemmäs pyörimisakselia, kasvattaakseen pyörimisnopeutta ilmalennon aikana. Tulokset ovat kuitenkin ristiriidassa aikaisempien tutkimusten kanssa (Albert ja Miller 1996; King ym. 2004), joiden mukaan hyppyissä, joissa pyöritään useita kierroksia, on havaittu pienempiä hitausmomentteja pyörimisakselin suhteen ennen ponnistushetkeä, kuin hypyissä, joissa suoritettavan rotaation määrä on vähäisempi. Mikäli hitausmomentinmäärä on vähäisempi ennen ponnistushetkeä, on luistelijoiden yleensä vaikeampi kasvattaa rotaationopeutta ilmalennon aikana, mutta toisaalta se mahdollistaa suuremman rotaationopeuden ponnistushetkellä (King 2005). Tämän vuoksi eroja tutkimusten tulosten välillä voidaan selittää eri hyppyjen teknisten suoritusperiaatteiden eroilla, sillä Albert ja Miller (1996) tutkivat axelhyppyä ja King ym. (2004) tulppihyppyä.

Lähestymisnopeuksien havaittiin olevan kaksoislutzeissa keskimäärin noin 0,6 m/s nopeampia kuin kolmoislutzissa. Lisäksi luistelijoiden, jotka onnistuivat kolmoishypyissä, havaittiin lähestyvän kaksoishyppyä hieman suuremmalla nopeudella, kuin luistelijat, jotka epäonnistuivat kolmoishypyssä. Tulokset ovat linjassa Kingin ym. (2004) tutkimuksen kanssa, jossa havaittiin samankaltaista muutosta miesten kolmois- ja neloistulppien välillä.

Tutkimuksen selkein heikkous lienee tutkittavien homogeenisuus ja tutkittavien vähäinen määrä. Kaikki tutkittavat kuuluivat yksinluistelun maajoukkue leiritykseen, joten mahdolliset taitotasoerot jäivät suhteellisen pieniksi. Ryhmien vertailu kaksoishypyissä olisi todennäköisesti ollut mielekkäämpää, mikäli ryhmien välillä olisi ollut suurempi ero taitotasossa. Lisäksi tutkittavien määrä (n=5) ja analysoitavien hyppyjen määrä (n=8) jäi vähäiseksi. Kuitenkin suuremman tutkittava määrän paikalle saaminen maajoukkueleirin yhteydessä tehtäviin mittauksiin olisi lisännyt kustannuksia merkittävästi. Lisäksi useamman hypyn sisällyttäminen manuaalisesti tehtävään koko kehon 3D-liikeanalyysiin olisi kasvattanut työmäärän kohtuuttomaksi.

Tutkimuksen haasteena oli myös analysointi kelpoisten kolmoislutzien määrä (n=5, joista analysoitiin kolme). Suurin ongelma liittyi mahdollisesti tutkimustilanteen erilaisuuteen verrattuna harjoitus- tai kilpailutilanteisiin. Toinen ongelma on hypyn haastavuus, jolloin myös sen tekeminen ei ole mahdollista, ellei luistelija ole lähellä maajoukkuetasoa mikä puolestaan rajoittaa tutkittavien määrää. Lisäksi luistelijoiden tuli kyetä toteuttamaan hyppy

rajatulla alueella, jolloin koko hyppy kyettiin taltiomaan kaikilla kameroilla. Tämä osaltaan vaikutti myös hyppyjen onnistumiseen mittausten aikana. Tutkittavien ja analysoitavien hyppyjen vähäinen määrä heikentää myös tilastollisen vertailun mielekkyyttä. huomattavaa kuitenkin on, että näinkin vähäisellä määrällä kaksois- ja kolmoishyppyjen välillä havaittiin eroja samoissa muuttujissa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa

Tutkimuksen suurimmat epätarkkuustekijät liittyvät 3D-liikeanalyysin toteuttamiseen. Tutkimuksessa käytettävä mittausalue oli suhteellisen laaja, jolloin kuvauksessa saattaa olla lievää optista vääristymää kameroiden kuvausalueen reunoilla. Itse kuvausalue kalibroitiin takymetrillä avulla, jolloin kalibrointiarvot saatiin mitattua todella hyvällä tarkkuudella.

Tutkimuksen suurin yksittäinen haaste ja epätarkkuustekijä oli heijastavien merkkien näkyminen pyörimisliikkeen aikana. Vaikka hypyt kuvattiin kolmella kameralla, suurena ongelmana oli, etteivät merkit näkyneet vähintään kahdessa kamerassa koko hypyn ajan. Tämä teki automaattisesta digitoinnista mahdotonta ja monien merkkien osalta jouduttiin turvautumaan paljolti silmämääräiseen arviointiin kehon eri segmenttien asentojen perusteella. Lisäksi epätarkkuutta tuo erilaisten ennuste- ja suodatusalgoritmien käyttö analyysin tekovaiheessa. Tästä johtuvaa epätarkkuutta pyrittiin vähentämään tarkistamalla digitoidut pisteet täytön ja suodatuksen jälkeen ja korjaamalla pisteet oikealle kohdalle tarvittaessa.

Kehon pyörimisakselina päädyttiin käyttämään massakeskipisteen läpi kulkevaa vertikaalisuuntaista suoraa (Albert & Miller 1996). Luistelijoilla on kuitenkin taipumusta kallistua hypyn aikana suhteessa vertikaalisuuntaan, mikä heikentää pyörimisliikkeeseen liittyvien muuttujien mittaustarkkuutta. Mittaustarkkuutta voitaisiin lisätä luomalla luistelijalle pyörimisakseli pään, vartalon ja toisen jalan massakeskipisteen läpikulkevasta suorasta.

Kehonmassakeskipisteen määrityksessä hyödynnettiin deLevan (1996) segmenttiparametreja. Kuidenkin heijastavia markkereita ei kyetty kiinnittämään täsmälleen samoihin kohtiin vaan digitoidessa jouduttiin arviomaan todellinen sijainti merkkien ja kehon segmenttien asentojen perusteella. Segmenttiparametrit ovat yleistyksiä, joten ne eivät myöskään sovi yksilöihin täydellisesti. Tätä olisi mahdollisesti voitu yksilöllistää luomalla yksilökohtaiset segmenttiparametrit esimerkiksi Hanavanin (1964) mallin mukaisesti. Luistinten massaa ja

massakeskipistettä ei myöskään otettu huomion laskennassa, mikä johtaa mahdollisesti jalkojen merkityksen aliarvioimiseen pyörimisliikkeen tuottamisessa.

Kokonaisuutena liikeanalyysi osoittautui käyttökelpoiseksi työkaluksi taitoluistelun hyppyjen tutkimuksessa. Jatkotutkimusten kannalta olisi tärkeää erityisesti keskittyä luistelijoista luotavan mallin yksinkertaistamiseen ja tutkimuskysymysten tarkempaan asetteluun. Esimerkiksi pyörimisliikkeen tuottamista voitaisiin tutkia mahdollisesti analysoimalla hartia- , lantio ja luistinlinjan suhdetta toisiinsa lähestymis- ja ponnistusvaiheen aikana. Jatkotutkimuksiin voisi mahdollisesti myös yhdistää kiihtyvyysanturi- ja lihasaktiivisuusmittauksia.

LÄHTEET

Albert, W.J. & Miller, D.I. (1996). Take-off Characteristics of single and double axel figure skating jumps. Journal Of Applied Biomechanics. 12. 72-87

Aleshinky, S.Y. (1986). What biomechanics can do for figure skating: Part 2. Skating 63 (10) 11-15.

Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds, H. M., & Young, J. W. (1975). Investigation of inertial properties of the human body, Air Force Aerospace Medical Research Lab Wright Patterson AFB OH.

deLeva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters.Journal of biomechanics, 29(9), 1223-1230.

Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seated operator: geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body, with special reference to the limbs.

Enoka, R. M. (2008). Neuromechanics of human movement. 4. painos. Champaign, IL Human kinetics.

Hanavan Jr, E. P. (1964). A mathematical model of the human body (Air Force Aerospace Medical Research Lab Wright Patterson AFB OH

King, D.L (1997) A biomechanical analyysia of the Axel: critical parametres of successful jumps. Profesional Skater Magazine, tammi-/helmikuu.

King, D.L., (2005). Performing triple and quadruple figure skating jumps: Impilications for training. Canadian Journal of Applied Physiology. 30.(6). 743-753

King, D.L., Arnold, A.S., Smith, S.L. (1994). A kinematic comparison of single, double and triple axels. Journal of Applied Biomechanics.10. 51-60

King, D.L. Smith S., Casey, K.(2001) How'd they do that triple lutz? Part 1. Skating 78 (12) 48-49

King, D.L. Smith S., Casey, K. (2002a) How'd they do that triple lutz? Part 2. Skating 79 (1) 64-65

King, D.L. Smith S., Casey, K. (2002b) How'd they do that toe-loop? Part 1. Skating 79 (3) 62- 63,76.

King, D.L. Smith S., Casey, K. (2002c) How'd they do that toe-loop? Part 2. Skating 79. (4). 70-71

King, D.L., Smith, S.,Higginson, B.K., Muncasy,B., Scheirman,G.L. (2004). Characteristics of triple and quadruple figure skating jumps performed during the Salt Lake City 2002 Winter Olympics. Sport Biomechanics 3 109-123

Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013).Research methods in biomechanics. 2.painos. Human Kinetics.

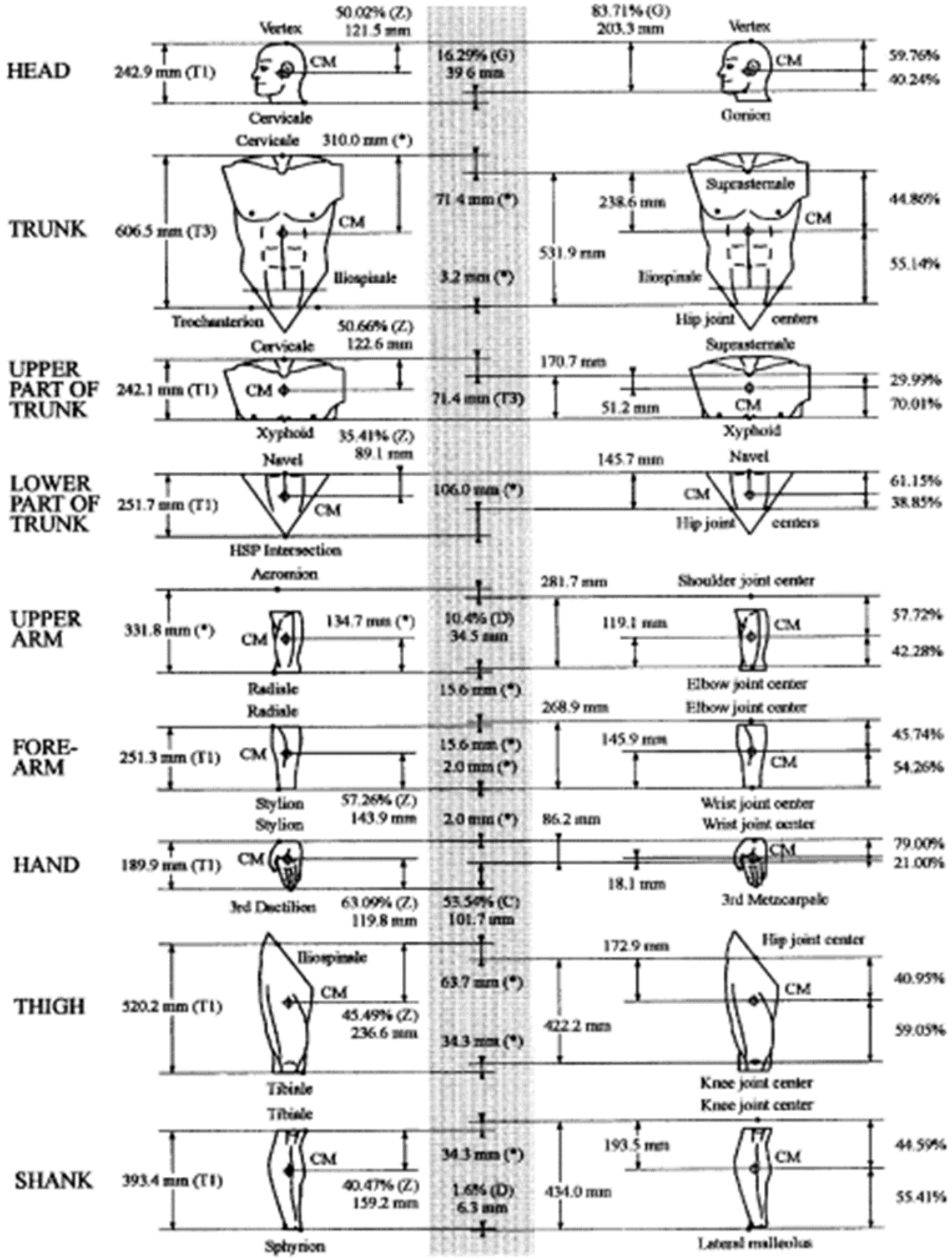
Suomen taitoluisteluliitto. Sääntökirja 23. 12/2014.Viitattu 4.12.2015.www.stll.fi/tapahtumat-kilpailut/kilpailuasiat/kotimaan-kilpailuasiat/saannot/saantokirja-23/

Virmavirta, M., & Isolehto, J. (2014). Determining the location of the body′ s center of mass for different groups of physically active people. Journal of biomechanics, 47(8), 1909-1913.

Zatsiorsky, V., Selyanov, V. (1983) The mass and inertia charcteristics of the main segments of the human body. Biomechanics. 1152-1159 Human Kinetic, IL.

LIITTEET

LIITE 1. deLevan (1996) muutokset Zatsiorsky ym. (1983) segmenttien määritykseen



LIITE 2 Heijastavien markkereiden asettelu

1. ja 2. Korvakäytävän aukosta noin 0,5 cm kasvoihin päin

3. ja 4. Acromionin kärki

5. Rintalastan yläosa

6. ja 7. kyynärnivelen nivelrako

8. ja 9. Rannenivelen keskikohta

10. ja 11. Keskisormen tyvi

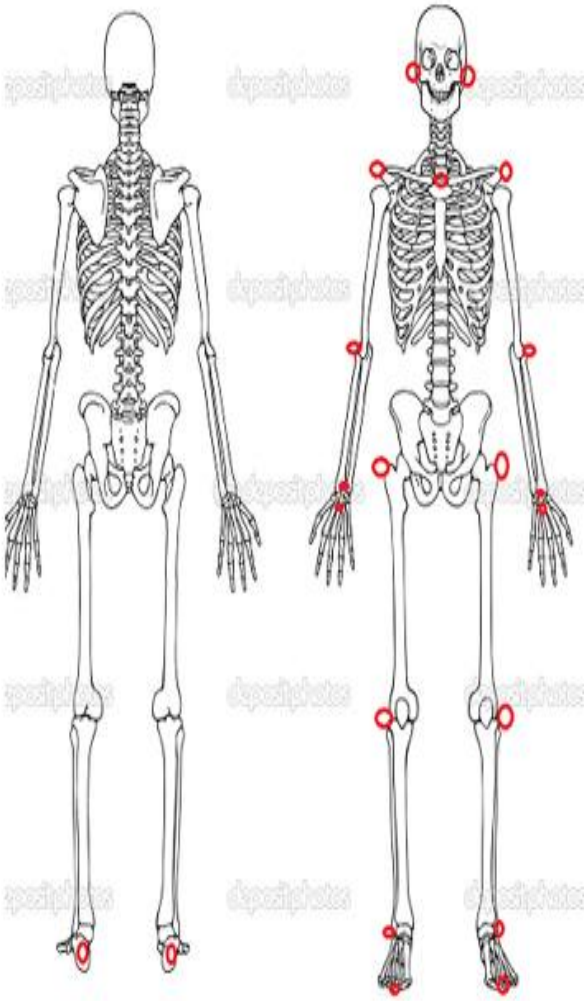
12. ja 13. Trochanter major

14. ja 15. polvinivelen nivelrako

16. ja 17. nilkan malleoli (luistin)

18. ja 19. luistimen kärki

20. ja 21. kantapäät



LIITE 3. Wilcoxon merkittyjen sijalukujen testi

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Hyppykorkeus3L - hyppykorkeus2L	Negative Ranks	1[a]	3,00	3,00
	Positive Ranks	2[b]	1,50	3,00
	Ties	0[c]		
	Total	3		
Hyppypituus3L - hyppypituus2L	Negative Ranks	3[d]	2,00	6,00
	Positive Ranks	0[e]	,00	,00
	Ties	0[f]		
	Total	3		
Lentoaika3L - Lentoaika2L	Negative Ranks	1[g]	1,00	1,00
	Positive Ranks	2[h]	2,50	5,00
	Ties	0[i]		
	Total	3		
DL3L - DL2L	Negative Ranks	3[j]	2,00	6,00
	Positive Ranks	0[k]	,00	,00
	Ties	0[l]		
	Total	3		
rotaatio3L - rotaatio2L	Negative Ranks	0[m]	,00	,00
	Positive Ranks	3[n]	2,00	6,00
	Ties	0[o]		
	Total	3		
timetorotpos3L - timetorotpos2L	Negative Ranks	1[p]	2,00	2,00
	Positive Ranks	2[q]	2,00	4,00
	Ties	0[r]		
	Total	3		
timeinrotpos3L - timeinrotpos	Negative Ranks	0[s]	,00	,00
	Positive Ranks	3[t]	2,00	6,00
	Ties	0[u]		
	Total	3		
lähestymisnopeus3L - Lähestysmisnopeus2L	Negative Ranks	3[v]	2,00	6,00
	Positive Ranks	0[w]	,00	,00
	Ties	0[x]		
	Total	3		
Verticalnop3L - Verticalnop2L	Negative Ranks	0[y]	,00	,00
	Positive Ranks	2[z]	1,50	3,00
	Ties	1[aa]		
	Total	3		
Inertiatakeoff3L - Inertiatakeoff2L	Negative Ranks	0[ab]	,00	,00
	Positive Ranks	3[ac]	2,00	6,00
	Ties	0[ad]		
	Total	3		

a. Hyppykorkeus3L < hyppykorkeus2L
b. Hyppykorkeus3L > hyppykorkeus2L
c. Hyppykorkeus3L = hyppykorkeus2L
d. Hyppypituus3L < hyppypituus2L
e. Hyppypituus3L > hyppypituus2L
f. Hyppypituus3L = hyppypituus2L
g. Lentoaika3L < Lentoaika2L
h. Lentoaika3L > Lentoaika2L
i. Lentoaika3L = Lentoaika2L
j. DL3L < DL2L
k. DL3L > DL2L
l. DL3L = DL2L
m. rotaatio3L < rotaatio2L
n. rotaatio3L > rotaatio2L
o. rotaatio3L = rotaatio2L
p. timetorotpos3L < timetorotpos2L
q. timetorotpos3L > timetorotpos2L
r. timetorotpos3L = timetorotpos2L
s. timeinrotpos3L < timeinrotpos
t. timeinrotpos3L > timeinrotpos
u. timeinrotpos3L = timeinrotpos
v. lähestymisnopeus3L < Lähestysmisnopeus2L

w. lähestymisnopeus3L > Lähestysmisnopeus2L

x. lähestymisnopeus3L = Lähestysmisnopeus2L

y. Verticalnop3L < Verticalnop2L
z. Verticalnop3L > Verticalnop2L
aa. Verticalnop3L = Verticalnop2L

ab. Inertiatakeoff3L < Inertiatakeoff2L

ac. Inertiatakeoff3L > Inertiatakeoff2L

ad. Inertiatakeoff3L = Inertiatakeoff2L

Test Statistics[a]

	Hyppykorkeus3L - hyppykorkeus2L	Hyppypituus3L - hyppypituus2L	Lentoaika3L - Lentoaika2L	DL3L - DL2L	rotaatio3L - rotaatio2L	timetorotpos3L - timetorotpos2L	timeinrotpos3L - timeinrotpos	lähestymisnopeus3L - Lähestysmisnopeus2L	Verticalnop3L - Verticalnop2L	Inertiatakeoff3L - Inertiatakeoff2L
Z	,000[b]	-1,604[c]	-1,089[d]	-1,604[c]	-1,604[d]	-,535[d]	-1,604[d]	-1,604[c]	-1,342[d]	-1,604[d]
Asymp. Sig. (2-tailed)	1,000	,109	,276	,109	,109	,593	,109	,109	,180	,109

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. The sum of negative ranks equals the sum of positive ranks.

c. Based on positive ranks.

d. Based on negative ranks.

LIITE 4. Mann-Whitney u-testi

Ranks

	Luokka	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Ikä	1,00	2	3,25	6,50
	2,00	3	2,83	8,50
	Total	5		
Pituus	1,00	2	4,50	9,00
	2,00	3	2,00	6,00
	Total	5		
Massa	1,00	2	2,00	4,00
	2,00	3	3,67	11,00
	Total	5		
hyppykorkeus2L	1,00	2	3,00	6,00
	2,00	3	3,00	9,00
	Total	5		
hyppypituus2L	1,00	2	1,75	3,50
	2,00	3	3,83	11,50
	Total	5		
Lentoaika2L	1,00	2	2,75	5,50
	2,00	3	3,17	9,50
	Total	5		
DL2L	1,00	2	3,00	6,00
	2,00	3	3,00	9,00
	Total	5		
rotaatio2L	1,00	2	3,00	6,00
	2,00	3	3,00	9,00
	Total	5		
timetorotpos2L	1,00	2	2,75	5,50
	2,00	3	3,17	9,50
	Total	5		
timeinrotpos	1,00	2	3,00	6,00
	2,00	3	3,00	9,00
	Total	5		
Lähestysmisnopeus2L	1,00	2	2,50	5,00
	2,00	3	3,33	10,00
	Total	5		
Verticalnop2L	1,00	2	3,00	6,00
	2,00	3	3,00	9,00
	Total	5		
Inertiatakeoff2L	1,00	2	1,50	3,00
	2,00	3	4,00	12,00
	Total	5		