

**REAKTIOVOIMANTUOTTO, NOPEUS JA TEKNIikka
PITUUSHYPYN PONNISTUSVaiHEESSA**

Antti M. J. Mero

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

VTEA006

Kevät 2011

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Mikko Virnavirta
Antti A. Mero

TIIVISTELMÄ

Mero Antti M.J. 2011. Reaktiovoimatuotto, nopeus ja tekniikka pituushypyn ponnistusvaiheessa. Valmennus- ja testausoppi. Kandidaatintutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 46 s.

Pituushypyn tulokseen vaikuttavat ponnistusvaiheessa eniten kehon massakeskipisteen lähtönopeus, mutta myös sekä massakeskipisteen lähtökorkeus että lähtökulma. Pituushyppyä on aikaisemmin tutkittu melko laajasti – eniten liikeanalyysimenetelmin. Sen sijaan reaktiovoimatutkimuksia löytyy paljon vähemmän. Tämän tutkimuksen tarkoitus olikin selvittää pituushyppysuorituksen kannalta keskeisiä reaktiovoimamuuttujia ja nopeuksia valmentajien tueksi ja arvioida niiden soveltuvuutta testipatteristoon.

Menetelmät. Koehenkilöinä oli kaksi kansallisen tason naishyppääjää ja yksi kansallisen tason mieshyppääjä (ikä $22,3 \pm 1,5$ vuotta, pituus $174,3 \pm 11,1$ cm, paino $58,7 \pm 2,5$ kg, ennätys $6,25 \pm 0,67$ m). Koehenkilöt suorittivat omatoimisen verryttelyn jälkeen kaksi pituushyppysuoritusta jokaisella kolmella eri askelmäärällä (kahdeksan, kaksitoista ja kuusitoista askelta). Hyppyistä mitattiin lähestymisnopeus, viimeisten askelten askelpituudet, kontaktiajat ja reaktiovoimat. Nopeuksia mitattiin sekä lasermittausjärjestelmän (tutka) että valokennojen avulla ja askelpituudet mitattiin alustaan kiinnitetyn paperin avulla. Kontaktiajat ja reaktiovoimat rekisteröitiin yhdeksän metriä pitkän voimalevyanturijonon avulla.

Tulokset. Mittausten pisimpien hyppyjen keskiarvo oli $5,76 \pm 0,78$ m. Pitkän vauhdin maksiminopeudeksi saatiin $8,69 \pm 0,72$ m/s, ponnistuksen resultanttinopeudeksi $8,05 \pm 0,76$ m/s, ponnistuskontaktin ajaksi 141 ± 13 ms ja ponnistuskulmaksi $18,5 \pm 1,0$ °. Pitkän vauhdin ponnistuskulman ero lyhyeen vauhtiin ($18,5 \pm 1,0$ vs. $23,7 \pm 1,4$) oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$; $n = 6$). Hyppääjien viimeisten askelten erot vaihtelivat heidän käyttämänsä ponnistustekniikan mukaan. Reaktiovoimat olivat kaikkein suurimmillaan ponnistuksen törmäysvaiheessa, jolloin maksimaalinen pystytörmäysvoima oli 5863 ± 997 N.

Pohdinta ja johtopäätökset. Merkittävimpanä tekijänä eri vauhtijuoksujen askelmäärien välillä korostui ponnistusta edeltävä askel. Vauhdin kasvaessa koehenkilöiden reaktiovoimat toiseksi viimeisellä askeleella pysyivät samoissa tai jopa laskivat, mikä johti mataliin hyppyihin. Vauhdin kasvaessa erittäin tärkeäksi tekijäksi muodostuukin siis ponnistusta edeltävän askeleen työntöaktiivisuus ja ponnistuksen törmäyksen sieto eli ponnistavan jalan lihasjäykkyys. Heterogeenisen ja pienen koehenkilöjoukon takia tulosten tilastollinen merkitsevyys jäi vähäiseksi. Koehenkilökohtaista yksilöllistä optimaalista tekniikkaa ei myöskään voitu tilastollisesti analysoida pienen suoritusmäärän takia. Pituushyppääjien testipatteristoon voisi ehdottaa mukaan seuraavia muuttujia: ponnistuskontaktista maksimipystyvoima ja keskimääräiset voima-arvot sekä törmäyksestä että työnnöstä (törmäys- ja työntöaika vaakavoiman avulla), impulssi ponnistuksen aktiiviselle piikille; kahdelta viimeiseltä askeleelta kontaktiajat, keskimääräiset resultanttivoimat ja suunnat (törmäys- ja työntövaihe) sekä askelpituudet radalle levitettävän paperin avulla. Nopeuksien mittaamiseen kannattaa käyttää sekä tutka- että valokennomittauksia.

Avainsanat: pituushyppy, biomekaniikka, reaktiovoima, nopeus, lasermittaus, tekniikka

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	5
2 PITUUSHYPYN TEKNIikka JA BIOMEKANIikka	6
2.1 Vauhti	7
2.1.1 Vauhdin rakenne	8
2.1.2 Viimeiset askeleet	9
2.1.3 Nopeus vauhdinotossa.....	9
2.2 Ponnistus	11
2.2.1 Ponnistuksen reaktiovoimantuotto.....	14
2.2.2 Ponnistuksessa vaikuttavat kulmat.....	16
2.3 Ilmalento ja alastulo	17
2.3.1 Ilmalennon aikana suoritettut liikkeet	17
2.3.2 Alastulon tekeminen.....	19
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	20
4 MENETELMÄT	21
4.1 Koehenkilöt	21
4.2 Koeasetelma	21
4.3 Aineiston keräys	22
4.4 Aineiston analysointi.....	23
4.5 Tilastolliset menetelmät	25
5 TULOKSET	26
6 POHDINTA	31
7 KIITOKSET.....	38
8 LÄHTEET.....	39

LIITE 1. VIIMEISTEN ASKELTEN KORRELAATIOKERTOIMET HYPPYPITUUTEEN	41
LIITE 2. KOEHENKILÖIDEN REAKTIOVOIMADATA.....	43
LIITE 3. KOEHENKILÖIDEN NOPEUDET	46

1 JOHDANTO

Pituushypyssä on merkittäviä eroja suorituksen optimaalisessa tekniikassa ja biomekaniisissa tekijöissä jopa maailmanluokan hyppääjillä. Itse suoritus koostuu juoksuvauhdista, ponnistuksesta, ilmalennosta ja alastulosta, joista vauhti ja ponnistus merkkäavat kaikista eniten hyppypituuteen (Tidow 1989). Hyppypituus riippuu eniten kehon massakeskipisteen lähtönopeudesta, mutta myös massakeskipisteen lähtökorkeudesta ja lähtökulmasta ponnistusvaiheessa. Massakeskipisteen lähtönopeuteen vaikuttavat juoksuvauhdin aikaansaama vaakanopeus sekä ponnistuksen tuottama pystynopeus. Ponnistuksessa aiheutuva vaakanopeuden menetys olisi oltava mahdollisimman pieni ja massakeskipisteen lähtökorkeuden tulisi olla mahdollisimman korkealla ponnistavan jalan irrotessa lankulta. Korkea lähtökorkeus yhdessä massakeskipisteen lähtökulman kanssa mahdollistavat hyppylle optimaalisen lentoradan. (Lees ym. 1994.)

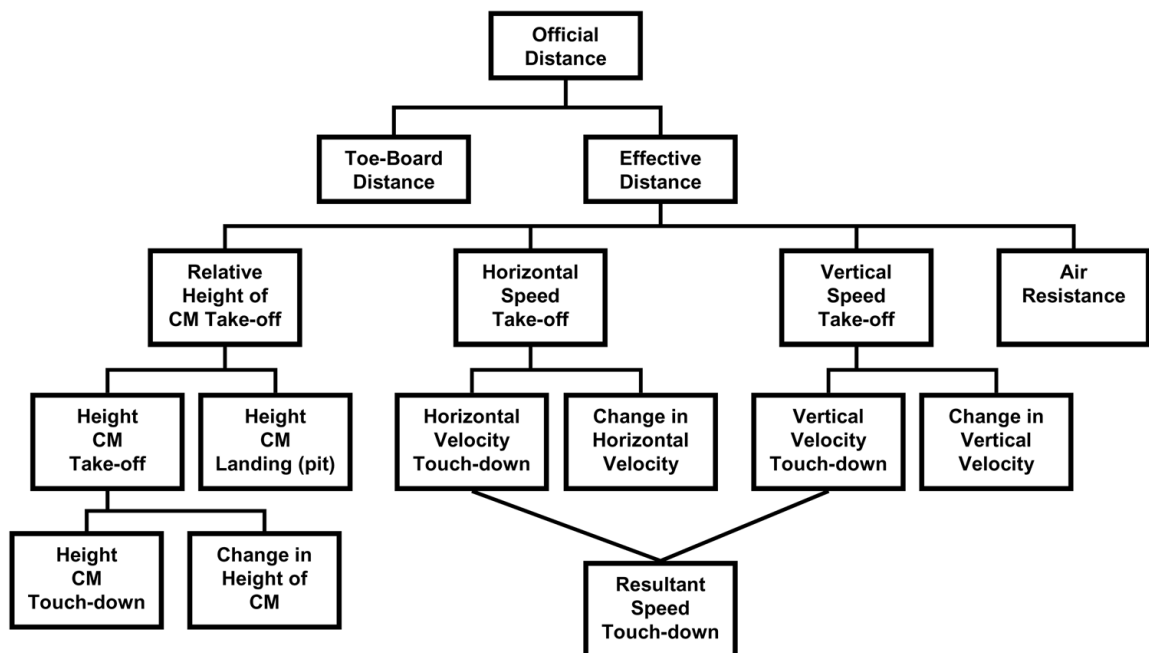
Pituushyppyä on tutkittu aikaisemmin paljon mm. liikeanalyysillä, joka mahdollistaa erittäin kattavan analyysin koko suoritustekniikasta. Liikeanalyysin mittaukset on mahdollista suorittaa helposti myös kisapaikoilla. Ainoastaan itse analyysivaihe on työläs. Reaktiivoimatutkimuksia löytyy sen sijaan paljon vähemmän, koska mittausten suorittaminen kisapaikalla on harvoin mahdollista. Reaktiivoimamittaukset onkin tavallisesti suoritettu harjoitus- ja testitilanteessa, mikä ei useinkaan mahdollista niin laadukasta koehenkilöjoukkoa kuin kisatilanne. Reaktiivoima-analyysi koko suorituksen tekniikasta ei ole myöskään niin kattava kuin liikeanalyysissä, mutta itse analyysivaihe on kevyempi suorittaa. Kolmas käytetty menetelmä on lasermittausjärjestelmä, joka mittaa hyppääjien vaakanopeutta vauhtijuoksun aikana. Mittaaminen onnistuu helposti kisapaikalla ja palaute hyppääjälle voi olla myös välitöntä. Kyseistä lasermittausjärjestelmää käytetään pituushypyssä jo melko paljon Suomessa.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin hyppääjien vauhtijuoksun nopeuden ja viimeisten askelien reaktiivoimamuuttujien vaikutusta hypyn pituuteen kolmella eri vauhdin pituudella. Lisäksi tarkoitus oli tutkia, miten nopeuden lisääminen vauhtijuoksuun vaikuttaa hyppääjien viimeisten askelien reaktiivoimamuuttujiin ja heidän tekniikkaansa. Lisäksi tarkoituksena oli kehittää valmennuksen tueksi testipatteristo keskeisimmistä muuttujista.

2 PITUUSHYPYN TEKNIikka JA BIOMEKANIikka

Pituushyppysuoritus voidaan jakaa eri vaiheisiin: vauhti, ponnistus, ilmalento ja alastulo. Vauhti ja ponnistus vaikuttavat hypättyyn pituuteen eniten (yli 95%). Ilmalennon ja alastulon päätehtävä on vain kehon tasapainon ylläpitäminen ja hypyn pituuden maksimointi. (Von Gerich & Kyröläinen 1988.)

Kuvio 1 on teoreettinen malli, joka kuvaa pituushyppysuorituksen lopputulokseen vaikuttavien biomekaanisten tekijöiden yhteyttä. Nämä muuttujat ovat kytköksissä toisiinsa ja tästä syystä jokainen muuttuja on enemmän tai vähemmän yhteydessä lopputulokseen. Merkittävimmät hyppypituuteen vaikuttavat muuttujat ovat hyppääjän painopisteen vaakaja pystynopeus sekä korkeus ponnistushetkellä. (Graham-Smith & Lees 2005.) Lintorhne (2007) listasi työssään tyypillisiä huippupituushyppääjän arvoja (taulukko 1).



KUVIO 1. Pituushyppysuorituksen lopputulokseen johtava deterministinen malli. CM = hyppääjän painopiste, take-off = ponnistuksen irtoaminen maasta, touch-down = ponnistuksen törmäys maahan. (Hay ym. 1986.)

TAULUKKO 1. Tyypilliset huippuhyppääjän arvot (Linthorne 2007).

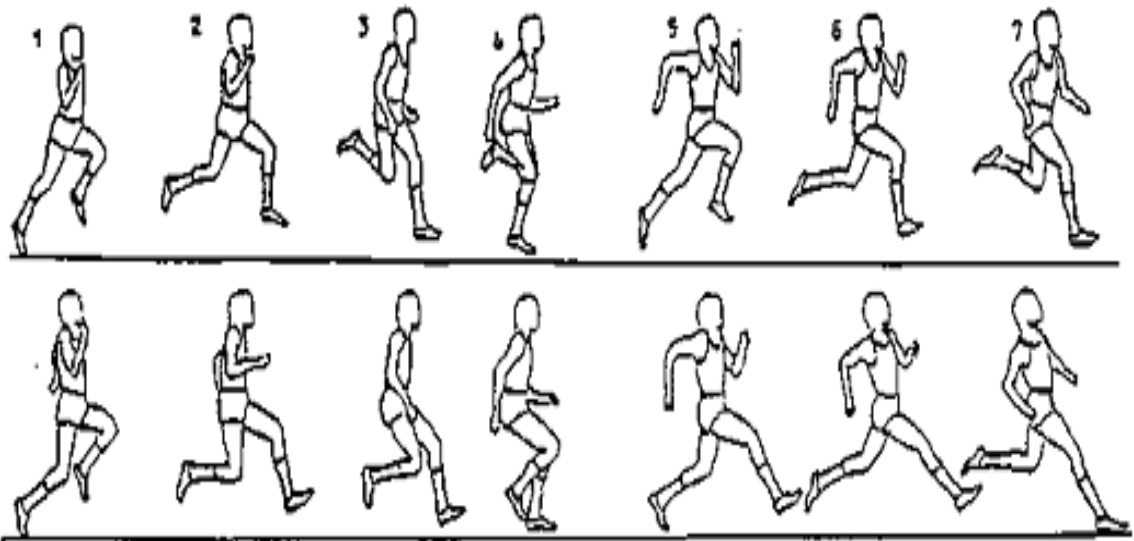
Muuttuja	Mies	Nainen
Hyppääjän pituus (m)	1,82	1,75
Hyppääjän paino (kg)	76	62
Hyppypituus (m)	8,00	6,80
Vauhdin pituus (m)	48	40
Vaakanopeus ponnistuksen törmäyksessä (m/s)	10,6	9,5
Pystynopeus ponnistuksen törmäyksessä (m/s)	-0,1	-0,1
Vaakanopeus ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	8,8	8,0
Pystynopeus ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	3,4	3,1
Ponnistuksen resultantinopeus (m/s)	9,4	8,6
Ponnistuskulma (°)	21	21
Vaakanopeuden muutos ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	-1,8	-1,5
Pystynopeuden muutos ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	3,5	3,2
Ponnistavan jalan kulma ponnistuksen törmäyksessä (°)	61	63
Polvikulma ponnistuksen törmäyksessä (°)	166	161
Ponnistuksen kesto (s)	0,11	0,11
Painopisteen korkeus ponnistuksen törmäyksessä (m)	1,03	0,96
Painopisteen korkeus ponnistuksen irtoamisessa (m)	1,29	1,20
Painopisteen korkeus alastulossa (m)	0,65	0,60
Painopisteen korkeuden ero ponnistuksen törmäys- ja irtoamisvaiheen välillä (m)	0,26	0,24
Painopisteen korkeuden ero ponnistuksen irtoamisen ja alastulon välillä (m)	-0,64	-0,60
Painopisteen korkein korkeus ilmalennon aikana (m)	1,88	1,69

2.1 Vauhti

Pituushypyssä vauhdin tarkoituksena on saavuttaa mahdollisimman suuri horisontaalinopeus, koska nopeus vauhdin lopussa ratkaisee pääosin hypyn pituuden (Bridgett & Linthorne 2006). Saavuttaakseen optimaalisen nopeuden hyppääjät käyttävät tiettyä määrää askelia. Miehet käyttävät normaalisti 19–22 askelta (42–46 metriä) ja naiset 18–22 askelta (37–43 metriä). Lyhyemmällä askelmäärillä juoksu ei yleensä ehdi kiihtyä täyteen vauhtiin, kun taas suuremmilla askelmäärillä energiaa kuluu turhaan juoksuvauhdin rytmituksen ja nopeuden ylläpitämiseen. (Weidner & Dichwach 1989.)

2.1.1 Vauhdin rakenne

Vauhti voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: kiihdytysvaihe, vakioaskeljuoksuvaihe ja ponnistukseen valmistautumisvaihe (kuvio 2). Kiihdytys koostuu tavallisesti ensimmäisistä kymmenestä askeleesta, jonka jälkeen vakioaskeljuoksuvaiheessa tarkoitus on ylläpitää kiihdytettyä nopeutta. Viimeinen vaihe koostuu ponnistukseen valmistavista viimeisistä askelista. (Weidner & Dichwach 1989.) Vauhdin alkuvaiheessa korostuu askelpituus ja lopussa askeltiheys (Tidow 1989).



KUVIO 2. Ylhäällä kuva vakioaskeljuoksusta ja alhaalla kahdesta viimeisestä askeleesta (Tidow 1989).

Vauhdin rakenne on tärkeä vakioida harjoituksissa. Hyppääjillä on kilpailuissa vain kolme yritystä onnistua pääsemään jatkokierroksille. Näitä yrityksiä ei siis ole varaa tuhjata askelmerkkien muutoksiin tai viimeistelyyn kesken kisan, kun tarkoitus olisi keskittyä maksimoimaan hypyn pituus. Hyppääjät säätelevät viimeisten askelten rytmiä ja tiheyttä visuaalisen kontrollin strategiamallin mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että he arvioivat visuaalisen palautteen avulla etäisyyttä lankkuun ja yrittävät sovittaa askeleensa sen mukaan. Bradshawn ja Aisbettin (2006) tutkimuksen mukaan tarpeeksi aikaisin aloitettu visuaalisen kontrollin vaihe vauhdin aikana mahdollistaa tasapainoisemmat viimeiset askeleet ja näiden seurauksena myös pidemmät hyppypituudet. (Bradshaw & Aisbett 2006.)

2.1.2 Viimeiset askeleet

Viimeisten askelten tarkoitus on valmistautuminen itse ponnistukseen muuttamalla askelten rytmiä ja tiheyttä. Mitä suurempi vauhdin nopeus on, sitä vähemmän jää aikaa suorittaa viimeiset ponnistukseen valmistavat askeleet oikein. (Hilliard 2007.) Rytmimuutos alkaa jo 4-6 viimeisellä askeleella, mutta merkittävin muutos tapahtuu vasta kahdella viimeisellä askeleella. Toiseksi viimeisellä askeleella hyppääjän tulisi laskea massakeskipistettä selvästi alaspäin. Tämä mahdollistaa itse ponnistuksessa muutoksen sen kiihtyvyyden suunnassa ylöspäin. Jotta massakeskipiste laskisi ilman suurempaa pienenemistä horisontaalinopeudessa, tulisi toiseksi viimeistä askelta pidentää. Sen sijaan viimeinen askel tulisi olla nopea ja lyhyt. (Weidner & Dichwach 1989.) Maailmanluokan hyppääjä Lewis suoritti hyvin korostuneen oikeaoppisesti nämä kaksi viimeistä askelta, kun taas entinen maailmanennätysmies Beamon poikkeuksellisesti pidensi viimeistä askeltaan (taulukko 2).

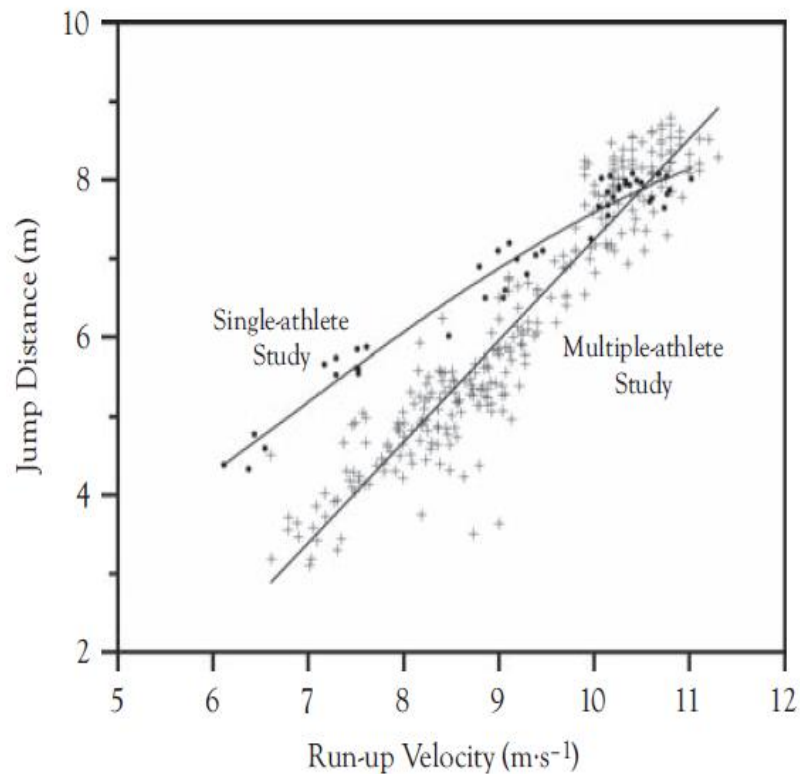
TAULUKKO 2. Toiseksi viimeisen ja viimeisen askeleen pituudet ennen ponnistusta sekä hyppypituus (Weidner & Dichwach 1989).

Nimi	Vuosi	Hyppypituus (m)	Toiseksi viimeinen askel (m)	Viimeinen askel (m)	Ero (m)
Paschek	1980	8,36	2,46	2,01	0,45
Dombrovski	1984	8,50	2,55	2,25	0,30
Lewis	1987	8,67	2,47	1,82	0,65
Myrics	1987	8,33	2,06	2,06	0,00
Hirsberg	1987	8,16	2,42	2,45	-0,03
Beamon	1968	8,90	2,40	2,60	-0,20
Drechsler	1984	7,21	2,30	2,13	0,17

2.1.3 Nopeus vauhdinotossa

Huippumieshyppääjät saavuttavat noin 10–11 m/s vaakanopeuden ennen ponnistusta. Vauhdin lisääntyessä ponnistukseen valmistautumiseen ja ponnistukseen jäävä aika (noin 120 ms) vähenee huomattavasti. Myös lankulle osumisen tarkkuus vaikeutuu. (Tidow 1989; Hilliard 2007.) Vauhdin nopeuden ja hyppypituuden välisestä korrelaatiosta löytyy paljon tutkimustietoa. Kuvio 3 kuvaa vauhdin korrelaatiota hyppypituuteen. Kuviosta voi nähdä, että usean hyppääjän tutkimuksessa (multiple-athlete study) korrelaatio on paljon

vahvempi kuin yksittäisen hyppääjän (single-athlete study) tutkimuksessa. Yksittäisen hyppääjän tutkimuksessa korrelaatio ei olekaan enää lineaarinen. Tämä tarkoittaa sitä, että huippuhyppääjillä vauhti ei ole enää niin suuri selittävä tekijä hyppypituuteen. Hyppyteknikka nousee tällöin erittäin oleelliseksi tekijäksi. (Linthorne 2007.)



KUVIO 3. Vauhdin nopeuden vaikutus hyppypituuteen usean hyppääjän ja yhden hyppääjän tutkimuksessa (Bridgett & Linthorne 2006).

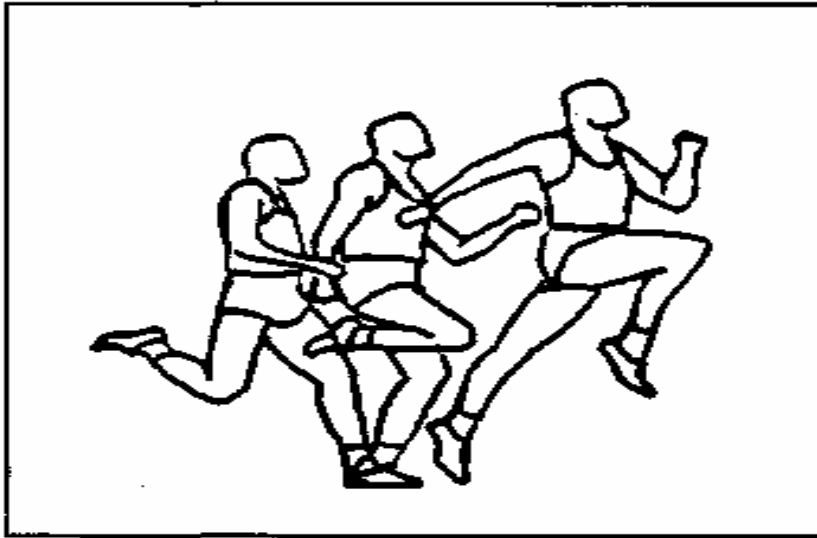
Nopeutta on mitattu aikaisemmin mm. ottamalla aikaa valokennoilla. Aika otetaan tavallisesti vauhdin lopusta viisi metriä ennen ponnistusta (välillä 6-1 m ennen lankkua). Miehillä juoksuvauhdin nopeus korreloi paremmin hyppypituuteen voimakkaamman ponnistuskapasiteetin vuoksi kuin naisilla. Kahdeksan metrin hyppyyn vaadittava aika miehillä on noin 0,48s ja kuuden ja puolen metrin hyppyyn vaadittava aika naisilla on noin 0,55 s. Esimerkkeinä 1988 vuoden olympialaisista Carl Lewis ja Heike Drechsler saavuttivat seuraavat ajat mitattuna 6-1 m ennen lankkua: Lewis 0,447 s hypyllä 8,72 m; Drechsler 0,501 s hypyllä 7,22 m. (Weidner & Dichwach 1989.) Taulukko 3 kuvaa tämän hetken maailman kärkihyppääjien ja Suomen kärkihyppääjien lankulletulonopeuksia.

TAULUKKO 3. Maailman ja Suomen kärkihyppääjien lankulle tulonopeuksia vuodelta 2009. 11-6 m ja 6-1 m kuvaavat keskinopeutta ko. etäisyyksiltä lankkuun; 1 m kuvaa hetkellistä nopeutta juuri ennen ponnistusta. (Keränen 2009; Mendoza ym. 2009.)

Hyppääjä	11-6 m (m/s)	6-1 m (m/s)	1 m (m/s)	Hyppypituus (m)
Phillips D. (Berliini 2009)	11,06	10,93	10,78	8,54
Mokoena G. (Berliini 2009)	10,37	10,33	10,34	8,47
Evilä T. (Kalevan kisat 2009)	10,24	10,25	10,25	8,19
Reese B. (Berliini 2009)	9,78	9,76	9,59	7,10
Lebedewa T. (Berliini 2009)	9,26	9,40	9,34	6,97
Pesola N. (SM-hallit 2009)	-	8,82	8,81	6,17

2.2 Ponnistus

Ponnistus on pituushypyn tärkein vaihe, mutta ilman oikeanlaista ponnistukseen valmistautumista itse ponnistus jää tehottomaksi. Vääränlaiset viimeiset askeleet johtavat mm. horisontaalinopeuden putoamiseen ponnistusvaiheessa. Massakeskipisteen tulisi saavuttaa mahdollisimman alhainen piste ponnistavan jalan iskeytyessä lankkuun ja vartalon tulisi olla pienessä takakenossa. Tämän seurauksena ponnistuksen edetessä massakeskipisteen kiihtyvyyden matka on pisin mahdollinen ja sen suunta on yläviistoon. Onnistuneen ponnistuksen saavuttamiseksi ponnistava jalka tulee iskeä lankkuun aktiivisesti painaen sitä taakse-alaspäin koko jalkapohja edellä. Lisäksi jalan lihasten on oltava esijännitettynä, jotta jalka ei pettäisi törmäyksessä. (Tidow 1989.) Hyppääjä ikään kuin siirtyy maata vasten suoraksi ojentuneen ponnistavan jalan yli (kuvio 4). Tätä kutsutaan myös pivot -mekanismiksi (pivot mechanism) ja sen avulla tuotetaan tarpeellinen vertikaalinopeus. (Graham-Smith & Lees 2005.)

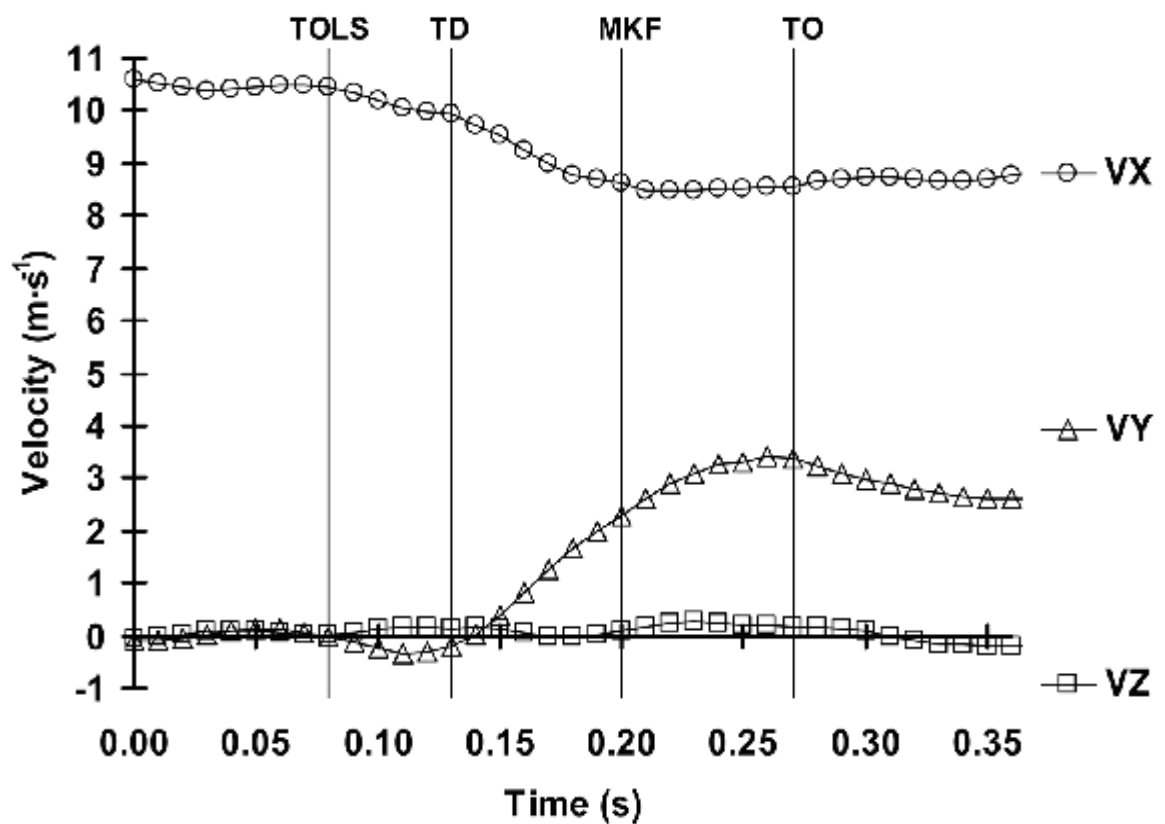


KUVIO 4. Ponnistuksen törmäys- ja irtoamisvaihe ja pivot -mekanismi (Tidow 1989).

Vartalo pysyy lähes pystysuorassa asennossa ehkä hiukan takakenossa. Vapaa jalka tulee tuoda polvi edellä kantapää pakaran kautta mahdollisimman nopeasti eteen – reisi suunnilleen vaakatasoon. Samalla vastakkainen käsi nousee tehokkaasti eteen-ylös. Nämä heilahtavat liikkeet tehostavat vielä lisää ponnistusnopeutta. (Weidner & Dichwach 1989.) Käsien heilahdusvaikutus hyppyjen tehokkuuteen on huomattu olevan miehillä merkittävämpi kuin naisilla. Todennäköisesti syynä tähän on miesten suurempi ylävartalovoima verrattuna naisiin. (Walsh ym. 2007.)

Ponnistuksen tarkoitus on tuottaa massakeskipisteen pystynopeutta säilyttäen kuitenkin suurin mahdollinen vaakanopeus. Tämän mahdollistaa ponnistavan jalan tuottama voima maata vasten. Jarrutusvoiman lisääminen ja näin vaakanopeuden putoaminen törmäyksessä on välttämätöntä suuremman massakeskipisteen pystynopeuden saavuttamiseksi. Itse törmäyksessä voimapiikki voi nousta jopa kymmenkertaiseksi hyppääjän painoon verrattuna. Vaikka törmäyksen jälkeen tuotettu voima pystysuunnassa putoaakin, nousee massakeskipisteen pystynopeus kuitenkin pivot -mekanismin ansiosta (kuvio 4). Tämän mekanismin onnistumiseksi tärkeäksi muodostuu ponnistavan jalan jäykkyysominaisuus (stiffness). Ominaisuus auttaa vartalon tukemisessa ja vastustaa törmäystä. Heikolla jäykkyydellä ponnistavan jalan nivelet eivät kestä törmäysvoimaa ja antavat periksi. Näin tuotettu vertikaalinopeus jää vaatimattomaksi. Ponnistuksessa jäykkyyttä voi tehostaa painamalla ponnistavaa jalkaa tehokkaasti lankkua vasten taakse-alaspäin. Törmäyksen jälkeen ponnistava jalka tulisi työntää irti maasta mahdollisimman nopeasti suoraksi

ojentuneena. Lyhyt voimantuottoaika lisää vielä edelleen massakeskipisteen vertikaalinopeutta ja estää ylimääräisen horisontaalinopeuden menetyksen. Nämä ponnistusta edeltävät toimenpiteet ja itse oikeaoppinen ponnistus mahdollistavat myös mahdollisimman korkean massakeskipisteen korkeuden ponnistuksen irtoamishetkellä (kuvio 4). (Graham-Smith & Lees 2005; Muraki ym. 2005.) Kuvio 5 kuvaa nopeuden vaihtelua ponnistuksen aikana ja taulukko 4 kuvaa maailman kärkihyppääjien painopisteen nopeuksia ponnistuksessa.



KUVIO 5. Keskiarvot 14 hyppääjän massakeskipisteen nopeuden muutoksista. TOLS = toiseksi viimeisen askeleen irtoaminen, TD = ponnistuksen törmäys, MKF = suurin polven koukistus, TO = ponnistuksen irtoaminen, VX = massakeskipisteen vaakanopeus, VY = massakeskipisteen pystynopeus, VZ = massakeskipisteen sivuttaisnopeus. (Graham-Smith & Lees 2005.)

TAULUKKO 4. Maailman kärkihyppääjien nopeuksia ponnistuskontaktin aikana. (mukailtu Ky-röläinen 1987).

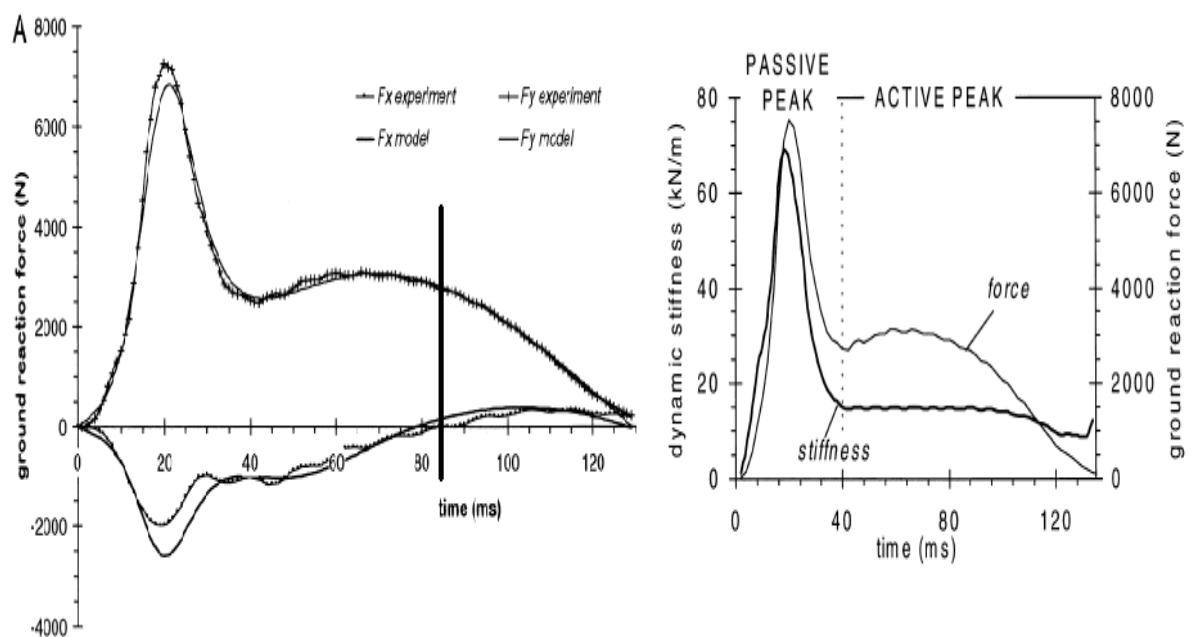
Muuttuja	Beamon	Lewis	Suomal. kans. taso (n=8)
Tulos (m)	8,90	8,71	6,95 ± 15
Nopeus ponnistuksen alussa (m/s)			
Vaaka	11,45	11,66	9,63 ± 0,16
Pysty	2,63	2,33	
Resultantti	11,76	11,89	
Nopeus ponnistuksen lopussa (m/s)			
Vaaka	11,12	10,20	8,40 ± 0,20
Pysty	3,92	4,00	3,00 ± 0,09
Resultantti	11,79	10,95	8,92 ± 0,22
Ponnistuskulma (°)	20,5	23,0	20,1 ± 1,0
Vaakanopeuden muutos ponnistuksen aikana (m/s)	0,33	1,46	1,23 ± 0,10

2.2.1 Ponnistuksen reaktiivoimantuotto

Teholajeissa, kuten pikajuoksu ja pituushyppy, tuotettua reaktiivoimaa suorituksessa voidaan mitata voimalevyillä. Tyypillisimmät voimalevyt mahdollistavat vaaka-, pysty- sekä sivuttaissuuntaisten reaktiivoimien mittaamisen. (Enoka 2002.) Näistä vaaka- sekä pystyvoimat ovat oleellisimmat. Vaakavoima voidaan esimerkiksi juoksussa tai ponnistuksessa jakaa jarruttavaan ja työntävään vaiheeseen. Jarruttava vaakavoima on aina negatiivista ja liike muuttuu työntäväksi, kun voima muuttuu positiiviseksi. Pystyvoima jaetaan jarruttavaan ja työntävään vaiheeseen normaalisti vaakavoiman mukaan. Pystyvoima on aina positiivista. Näistä voimista voidaan edelleen määrittää esimerkiksi juoksuaskeleen kontaktiaika, kulma, nopeus, impulssi jne. Pikajuoksun vakionopeuden askeleessa voimantuottoaika jakautuu tasaisesti jarrutus- ja työntövaiheeseen, joskin jarrutusvaihe on hieman lyhyempi kuin työntövaihe. (Mero & Komi 1986.)

Pituushypyn ponnistuksen voimakuvaaja poikkeaa jonkin verran pikajuoksuaskeleen mallista. Ponnistusvaiheessa törmäyksen suuri voima ja sen suunta ovat sellaisia, että ponnistuksen työntövaihe jää paljon lyhyemmäksi ja pienemmäksi kuin törmäysvaihe (kuviokuva 6). Ponnistuksen pystyvoimantuotto voidaan jakaa myös passiiviseen ja aktiivi-

seen piikkiin (kuvio 6). Passiivinen piikki kuvaa ponnistuksessa maksimaalista törmäysvoimaa, joka aiheutuu ensimmäisestä jalan kontaktista maahan. Törmäyksen suuruusluokka on seitsemän metrin hyppääjällä 8-12 kertaa kehon paino. Tästä syystä ponnistavan jalan jäykkyysominaisuus nousee tärkeäksi tekijäksi, jotta hyppääjä pystyy kestämään törmäyksen aiheuttavan voiman. Varsinainen aktiivinen voimantuotto ponnistuksessa alkaa vasta tämän passiivisen piikin jälkeen. (Kyröläinen 1987; Seyfarth ym. 1999.) Kyröläinen (1987) havaitsi työssään, että ponnistusta edeltävän askeleen työntövaihe on voimantuotoltaan suurempi kuin ponnistavan askeleen työntövaiheen voima. Merkittävä havainto oli myös, että keskimääräiset pysty- ja vaakavoimat ponnistuksen törmäysvaiheessa korreloivat merkitsevästi hyppypituuden kanssa ($r = .53$, $n = 65$, $p < .001$ ja $r = -.71$, $n = 65$, $p < .001$). Vaikka törmäysvoimat ponnistuksessa hidastavatkin painopisteen vaakanopeutta, ovat ne välttämättömiä pystyvoimantuoton kannalta. Taulukko 5 kuvaa suomalaisten pituushyppäjien reaktiovoimia. (Kyröläinen 1987.)



KUVIO 6. Kaksi kuvaajaa ponnistusvaiheen reaktiovoimista: Vasemmanpuoleisessa kuvaajassa pystyvoima (ylempi käyrä) ja vaakavoima (alempi käyrä) jaetaan törmäys- ja työntövaiheeseen vaakavoiman perusteella, siinä vaiheessa, kun vaakavoima muuttuu negatiivisesta positiiviseksi. Oikeanpuoleisessa kuvaajassa pystyvoima jaetaan passiiviseen ja aktiiviseen piikkiin, jossa ”stiffness” kuvaa ponnistavan jalan jäykkyysominaisuutta. (mukailtu Seyfarth ym. 1999.)

TAULUKKO 5. Suomalaisen pituushyppääjien analysoitujen hyppyjen kontaktiajat, maksimivoimat, keskimääräiset voimat ja impulssit. Hyppyjen pituudet olivat keskimäärin $6,81\text{m} \pm 0,38\text{m}$ ($n = 6$). (Kyröläinen 1987.)

Muuttuja	Ponnistusta edeltävä askelkontakti		Ponnistuskontakti	
	Keskiarvo \pm hajonta	n	Keskiarvo \pm hajonta	n
Kontaktiaika (s)	0,119 \pm 0,009	62	0,133 \pm 0,008	68
Maksimivoimat (N):				
Pystytörmäys	4099 \pm 942	53	7419 \pm 1152	66
Pystytyöntö	2066 \pm 348	60	3324 \pm 577	65
Vaakatörmäys	-1103 \pm 296	54	-4368 \pm 753	66
Vaakatyöntö	436 \pm 65	60	331 \pm 81	65
Keskimääräiset voimat (N):				
Pystytörmäys	1954 \pm 337	56	3167 \pm 471	65
Pystytyöntö	1145 \pm 207	59	1022 \pm 182	65
Vaakatörmäys	-364 \pm 65	58	-1116 \pm 130	65
Vaakatyöntö	255 \pm 45	59	217 \pm 49	65
Impulssit (Ns):				
Pystytörmäys	106 \pm 15	56	292 \pm 46	65
Pystytyöntö	74 \pm 17	59	42 \pm 11	65
Vaakatörmäys	-20 \pm 4	58	-103 \pm 13	65
Vaakatyöntö	16 \pm 4	59	9 \pm 3	65

2.2.2 Ponnistuksessa vaikuttavat kulmat

Vapaan kappaleen irtoamiskulmana optimaaliseen lentorataan pidetään tavallisesti 45° . On kuitenkin yleisessä tiedossa, ettei tämä päde pituushyppyyn, sillä maailmanluokan pituushyppääjillä kulmat vaihtelevat $15\text{--}27^\circ$. Hyppääjien ponnistusnopeus putoaisi suuremmilla kulmilla liikaa, minkä ei oleteta tapahtuvan vapaan kappaleen teoreettisessa mallissa. 45° ponnistuskulma vaatisi, että vaakanopeus ja pystynopeus olisivat yhtä suuria ponnistuksessa, mikä ei ole mahdollista lajissa kuten pituushyppy. (Linthorne ym. 2005; Linthorne 2007.) Linthorne ym. (2005) tutkimuksessa todelliseksi optimaaliseksi ponnistuskulmaksi saatiin noin $18\text{--}23^\circ$. Kulma vaihtelee hyppääjillä eri ponnistusnopeuksien ja ponnistavan jalan jäykkyysominaisuuksien mukaan, joten mitään tarkkaa optimaalista kulmaa ei voi yleistää. Optimaalisen kulman löytäminen on kuitenkin tärkeää onnistuneen suorituksen kannalta. Ilmalento ja hypätty matka ovat herkkiä ponnistuskulmalle, joten pieniäkään virheitä näissä kulmissa ei voi sallia. Ponnistuskulman pitäisi pysyä yhden asteen sisällä yksittäisen hyppääjän optimaalisesta kulmasta. (Linthorne ym. 2005.)

Ponnistavan jalan optimaalisena teoreettisena polvikulmana pidetään 170°. Ponnistuksen törmäysvaiheessa suurilla nopeuksilla polvikulma kuitenkin pienenee väkisin. Paremmat hyppääjät pystyvät kuitenkin säilyttämään suuremman polvikulman kuin huonommat. Linthornen (2007) mukaan sopivat polvikulmat maailmanluokan mies- (8 m) ja naishyppääjille (6,80 m) ovat 166° ja 161°. Optimaalisen ponnistustekniikan saavuttamiseksi hyppääjän tulisi asettaa ponnistava jalka lähes suoraksi massakeskipisteen etupuolelle lankulle noin 60–65° kulmaan vaakatasossa. Tämä pienoinen takakenoasento mahdollistaa parhaimman pystynopeuden pitäen samalla välttämättömän vaakanopeuden menetyksen minimaalisena. (Bridgett & Linthorne 2006; Linthorne 2007.) Mackenzién (2008) tutkimuksen mukaan ponnistava jalka tulisi asettaa suorana pitkälle eteen eikä missään nimessä siis lyhyenä vartalon alle. Vääränlainen lankulle tulokulma voi lyhentää jopa metrin hypyn pituutta huippuhyppääjillä. (Mackenzie 2008.)

2.3 Ilmalento ja alastulo

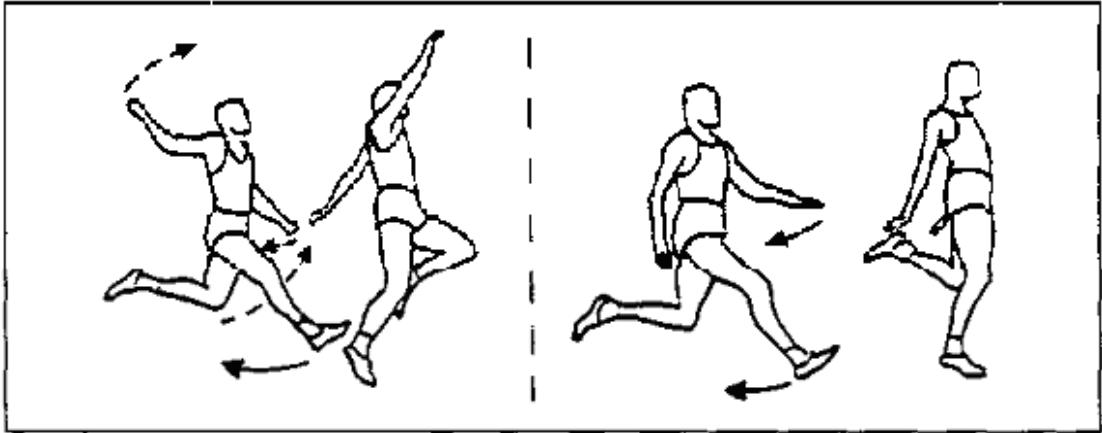
Hypätty pituus riippuu massakeskipisteen lähtökorkeudesta, lähtönopeudesta ja lähtökulmasta ponnistusvaiheessa (Lees ym. 1994). Itse ilmalennolla ja alastulolla on vain minimaalinen vaikutus hypyn lopputulokseen, koska massakeskipisteen lentorata on jo määrätynyt ponnistavan jalan irrotessa lankulta. Hypyn pituutta voidaan lisätä korkeintaan 20–30 cm hyvällä ilmalento- ja alastulotekniikalla. (Von Gerich & Kyröläinen 1988.)

2.3.1 Ilmalennon aikana suoritettavat liikkeet

Ilmalentovaiheen päätehtävät ovat tasapainon ylläpitäminen, eteenpäin aiheutuvan kierroksen vastustaminen ja alastuloon valmistautuminen (Weidner & Dichwach 1989). Yleisimmät ilmalentotekniikat ovat saksaustekniikka ja tempaustekniikka (kuviot 7 ja 8). Molemmat tekniikat ovat yhtä hyviä ja aloitteleva hyppääjä todennäköisesti valitsee tietyn tekniikan ponnistusvaiheessa tuotettujen voimien ja kulmien mukaan. (Tidow 1989.)

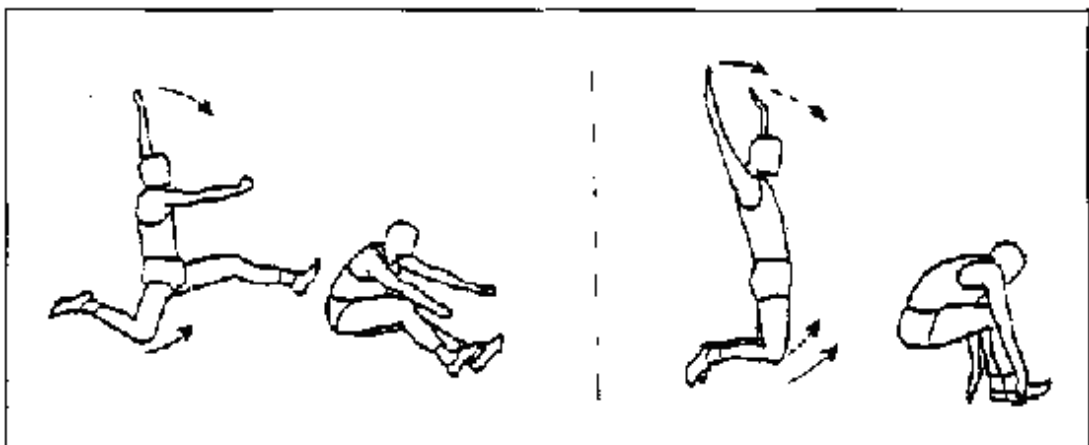
Saksaustekniikka koostuu 2,5–3,5 saksausaskeleesta ilmassa. Hyppääjä periaatteessa jatkaa juoksua ilmalennon aikana käsien tasapainottaessa saksausrytmiä omilla heiluttavilla

liikkeillään. Molemmat kädet pyörivät eteenpäin, mutta toinen käsi on 180° toista edellä. Ilmalennon loppuvaiheessa ylävartalo alkaa taipua eteenpäin ja myös molemmat kädet tuodaan eteen. (Tidow 1989.)



KUVIO 7. Vasemmalla kuva saksaustekniikasta ja oikealla kuva tempaustekniikasta (Tidow 1989).

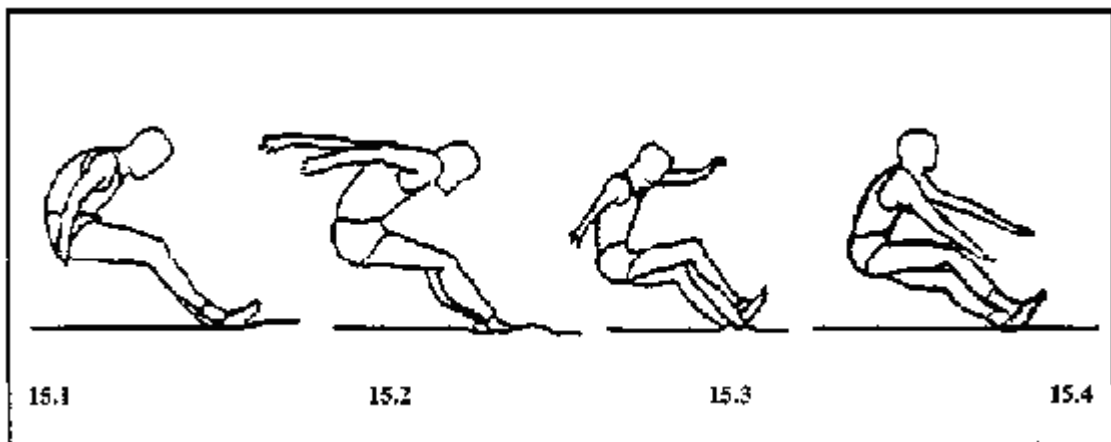
Tempaustekniikassa hyppääjän tulee laskea vapaa jalka alas ponnistavan jalan rinnalle ja etummainen käsi alas-taakse vastakkaisen käden rinnalle. Tämän jälkeen kädet tuodaan yhtä aikaa takakautta ylös, jolloin jalat odottavat vielä passiivisena hieman koukistuneena. Ilmalennon loppuvaiheessa kädet ja jalat tuodaan samanaikaisesti eteen samalla kallistaen ylävartaloa voimakkaasti eteen. (Tidow 1989.)



KUVIO 8. Vasemmalla kuva saksaustekniikan loppuvaiheesta ja oikealla kuva tempaustekniikan loppuvaiheesta (Tidow 1989).

2.3.2 Alastulon tekeminen

Alastulon tekeminen tapahtuu juuri ennen hiekkaan kosketusta. Tärkeäksi muodostuu jalkojen vieminen pitkälle eteen niin, että kantapäät olisivat lonkan kanssa lähes samalla korkeudella. Polvikulma vaihtelee 150–170°. (Weidner & Dichwach 1989.) Alastulomalleja on neljää erilaista ja nämä voidaan luokitella käsien asentojen mukaan (kuvio 9). Mitään mallia ei ole kuitenkaan todistettu muita paremmaksi. Käsien liikkeillä voidaan vaikuttaa massakeskipisteen siirtymiseen eteenpäin, jonka tarkoitus on estää taaksepäin kaatuminen. Esimerkiksi käsien painaminen aluksi taakse ja alastulovaiheen loppuvaiheessa nopea tuominen eteen on tehokas keino siirtää massakeskipistettä eteenpäin ja estää taaksepäin kaatuminen. (Tidow 1989.) Alastulon loppuvaiheessa voidaan joko liukua alastulojäljen ohi, jolloin jalat potkaistaan pois liukuvan kehon alta, tai heittäytyä sivulle jomankumman käden ohjausliikkeen ansiosta (Von Gerich & Kyröläinen 1988).



KUVIO 9. Alastulon eri mallit vasemmalta oikealle: kädet sivuilla; kädet takana; toinen käsi edessä toinen takana; kädet edessä (Tidow 1989).

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää hyppääjien viimeisten askelien ja ponnistukseen vaikuttavien muuttujien vaikutusta hyppypituuteen kolmella eri vauhdin pituudella. Keskeisiä mitattavia muuttujia ovat viimeisten askelten askelpituudet, kehon painopisteen nopeus, reaktiivoimat sekä viimeisistä askelista että ponnistuksesta reaktiivoimien avulla laskettujen resultanttivoimien kulmat. Tutkimuksen ongelmat ovat seuraavat:

Tutkimusongelma 1: Eroaako lyhyellä vauhdilla suoritettujen ponnistusten pysty- ja vaakavoimantuotto täydellä vauhdilla suoritettujen ponnistusten vastaavasta voimantuotosta?

Tutkimusongelma 2: Pysyvätkö viimeisten askelien pituussuhteet samana sekä lyhyellä että täydellä vauhdilla hypättäessä?

Tutkimusongelma 3: Voidaanko reaktiivoimantuotosta laskea lisämuuttujia (esim. keskimääräinen ja maksimaalinen teho ponnistuksessa) käytännön valmennusta palvelemaan?

Tutkimuksen tuloksia hyväksi käyttäen tarkoitus oli täydentää ja kehittää tulevaisuutta varten käytännön testipatteristoa. Testejä voisi tehdä 2-4 kertaa vuodessa paikoissa, joissa on siihen laitemahdollisuudet – mm. leireillä Jyväskylän Hipposhallissa. Tarkoitus olisi antaa testeistä mahdollisimman nopea palaute urheilijoille. Testimuuttujien avulla olisi mahdollista parantaa yleisurheilun testaustoimintaa huippu-urheilussa tarjoamalla arvokasta tieteellistä tietoa urheilijoille ja heidän valmentajilleen.

4 MENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli kaksi kansallisen tason naishyppääjää ja yksi kansallisen tason mieshyppääjä. Koehenkilömäärä jäi valitettavan pieneksi loukkaantumisten ym. esteiden vuoksi. Koehenkilöiden tiedot löytyvät taulukosta 6. Paino mitattiin voimalevyanturilla kengät jalassa ja rasvaprosentti mitattiin ihopoimuista neljän pisteen menetelmällä (Durnin ja Rahaman 1967). Muut tiedot selvitettiin kyselemällä.

TAULUKKO 6. Koehenkilöiden kuvaus

	Ikä	Pituus	Paino	Rasvaprosentti	Ennätys (Pituus)
AM (Mies)	24	186 cm	61,2 kg	8,5 %	6,80 m
NP (Nainen)	22	164 cm	56,2 kg	22,6 %	6,46 m
SL (Nainen)	21	173 cm	58,7 kg	20,9 %	5,50 m

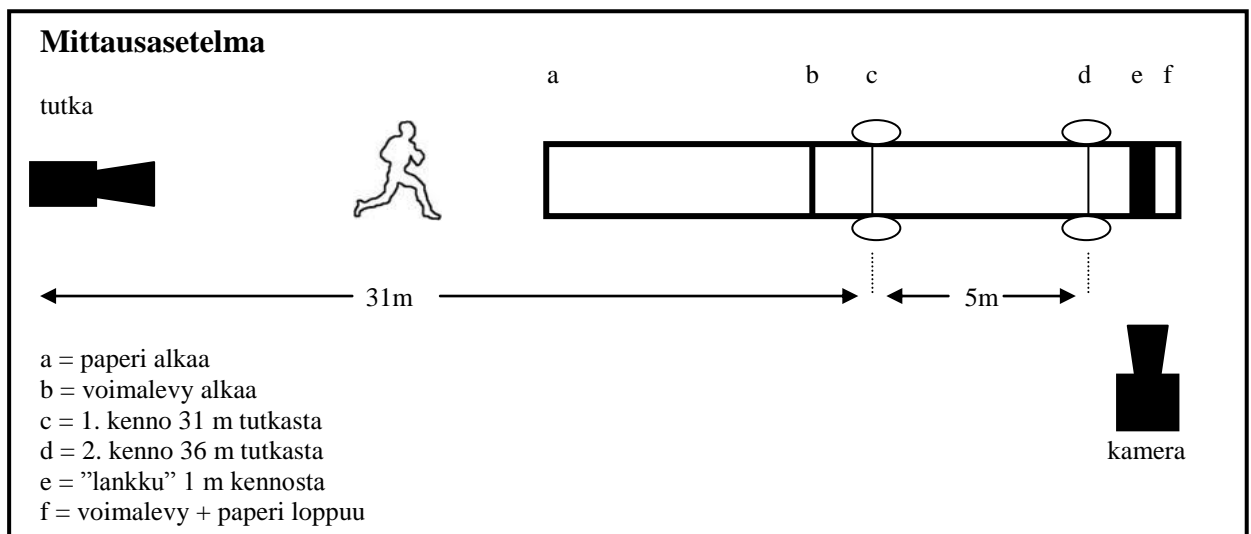
4.2 Koeasetelma

Mittaukset suoritettiin Jyväskylässä Hipposhallissa tammikuussa 2009. Ennen varsinaisia mittauksia koehenkilöille selitettiin mittausten kulku, jonka jälkeen he allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen. Koehenkilöt suorittivat omatoimisen verryttelyn sisältäen hölkkää, venyttelyä, aukaisuvetoja ym. Verryttelyn jälkeen jokainen koehenkilö suoritti yhteensä 6-9 maksimaalista hyppyä kolmella eri vauhdin pituudella seuraavasti:

- * 2-3 hyppyä 8 askeleen vauhdilla
- * 2-3 hyppyä 12 askeleen vauhdilla
- * 2-3 hyppyä 16 askeleen vauhdilla

Loppuvauhti ja ponnistus suoritettiin voimalevyn (7,2 m pitkä) päältä (kuvio 10). Koska voimalevy ei jatkunut enää lankun alle, täytyi ponnistus suorittaa voimalevyradalta. Tämä saattoi vaikuttaa jonkun verran heikentävästi hyppypituuksiin. Palautukset hyppyjen välissä olivat noin 4-6 min. Tutkalaitteistolla kohdistettiin lasersäde koehenkilön selkään hänen kaikissa hyppysuorituksissaan vauhtijuoksun nopeuden mittaamiseksi. Pituushyp-

pyjen jälkeen jokainen koehenkilö juoksi 1-2 kertaa 5 m lentävällä noin 35 m:n lähdöllä maksimaalisen juoksunopeuden mittaamiseksi (ajan mittaus valokennoilla sekä nopeuden mittaus tutkalla) sekä hyppäsi reaktivoimalevyn päällä seuraavat vertikaalihyppyt kahden minuutin palautuksella: 2 x 5 kpl päkiähyppyjä maksimaalisesti (5 hyppyä sarjassa) sekä 3 x kevennyshyppy maksimaalisesti. Lopuksi koehenkilön paino rekisteröitiin voimalevyn päällä ja häneltä mitattiin rasvaprosentti neljän pisteen ihopoimumenetelmällä (taulukko 6).



KUVIO 10. Mittausasetelma kuvattuna ylhäältä päin. Paperia käytettiin askelpituuksien mittaamisessa; kameralla kuvattiin suorituksen viimeiset askeleet.

4.3 Aineiston keräys

Juoksunopeus. Juoksunopeutta mitattiin Newtest -valokennolaitteiston ja lasermittausjärjestelmän (LAVEG Sport, Jenoptik, Jena, Saksa) avulla. Valokennot oli asetettu yhden ja kuuden metrin päähän kuvitellusta lankusta mittaamaan lähestymisnopeutta viimeisten askelten aikana. Laveg -tutka mahdollisti nopeuden mittaamisen koko suorituksen ajalta. Tutkan mittaama etäisyysdata kerättiin kannettavalle tietokoneelle valmistajan omalla ohjelmistolla 50 Hz keräystaajuudella. Laite sijoitettiin vauhtijuoksuradan päähän noin 40 metrin etäisyydelle ponnistuspaikasta ja noin 1,2 metrin korkeudelle. Ennen varsinaisten mittausten aloittamista järjestelmään asetettiin sopivat merkit osoittamaan hyppääjän sijaintia mittaamalla ensin etäisyys ponnistuspaikkaan (ensimmäinen merkki 0). Muiden merkkien paikat saatiin vähentämällä tästä etäisyydestä halutut välimatkat (11 m, 6 m ja

1 m). Hyppyjen aikana lasersade pyrittiin tähtäämään hyppääjän alaselkään, ja säilyttämään se tässä pisteessä mahdollisimman tarkasti ponnistushetkeen asti.

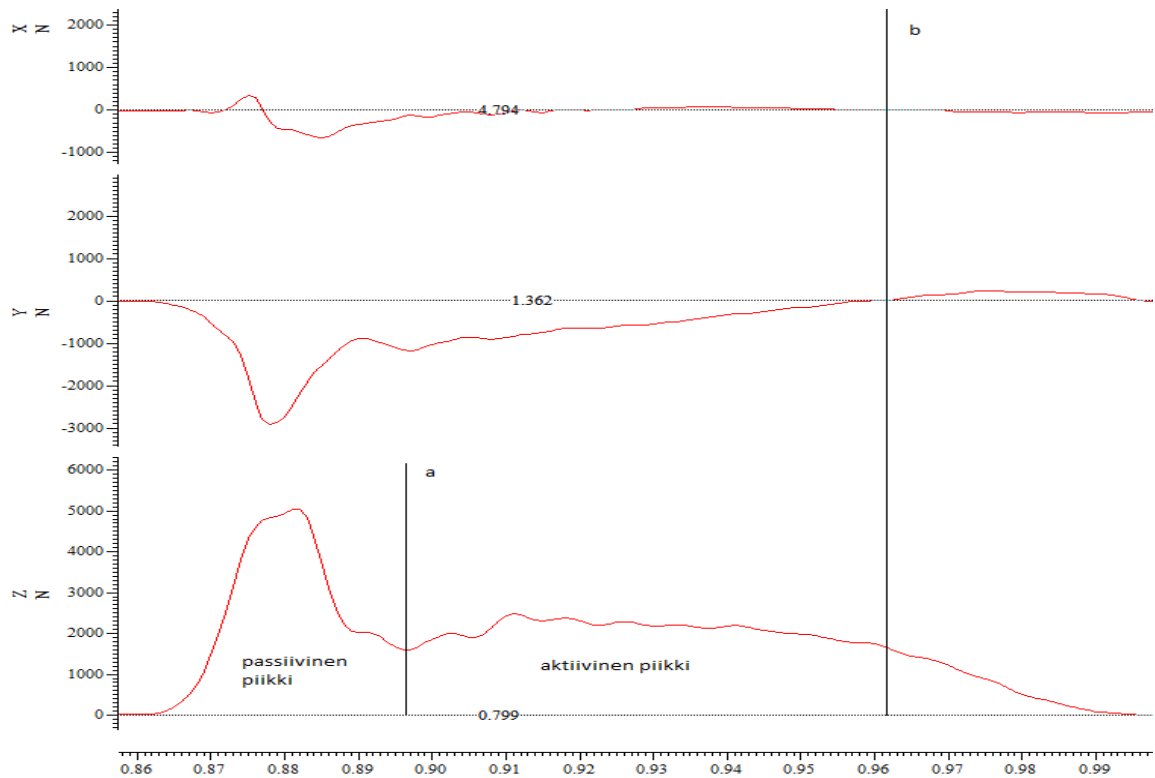
Reaktiivoimat. Mittauksissa kerättiin pysty-, vaaka- ja sivuttaissuuntaiset reaktiivoimat 7,2 m x 0,9 m kokoisella voimalevyjonolla (Raute Precision Oy, ominaisvärähtelytaajuu-det 180 ± 10 Hz vertikaalivoimille ja 130 ± 10 Hz horisontaalivoimille), jonka päällä oli Tartan -pinnoite. Voimasignaalien keräys tapahtui CED Signal -ohjelmalla (versio 3.08) näytteenottotaajuudella 1000Hz. Sivuttaissuuntaiset voimat saatiin ainoastaan kahdelta viimeiseltä askeleelta.

Askelmuuttujat. Askelpituus mitattiin paperin avulla (kuvio 10), joka oli levitetty teipeillä kiinnitettynä voimalevyjen päälle. Piikkareiden paperiin jättämien jälkien perusteella pituudet mitattiin mittanauhalla neljältä viimeiseltä askeleelta. Kaikki hyppyt mitattiin tarkasta ponnistuskohdasta kuvitellulta lankulta radalla.

Video. Hyppyt kuvattiin hyppääjän oikealta puolelta high-speed -videokameralla (Sony Handycam HDR-HC3E) (kuvio 10), jonka kuvanopeus oli $200 \text{ kuvaa} \cdot \text{s}^{-1}$. Kamera oli kohdistettu lankun kohdalle siten, että nauhalle tallentuivat vain kaksi viimeistä askelta ja hiukan ilmalentoa. Videomateriaalia käytettiin analysointivaiheessa vain apuna hyppy-suorituksen hahmottamisessa. Liikeanalyysia ei suoritettu.

4.4 Aineiston analysointi

Reaktiivoimadatasta määritettiin neljän viimeisen askeleen kohdalta kontaktiajat, törmäysajat (= jarrutusajat), työntöajat, lentoajat, maksimivoimat (pysty- ja vaakatörmäys sekä pysty- ja vaakatyöntö), keskimääräiset voimat (pysty- ja vaakatörmäys sekä pysty- ja vaakatyöntö), impulssit (pysty- ja vaakatörmäys sekä pysty- ja vaakatyöntö). Kahdelta viimeiseltä askeleelta määritettiin sivuttaisvoimista minimi- ja maksimiarvo. Kontaktit jaettiin törmäys- ja työntövaiheisiin vaakavoiman muuttuessa negatiivisesta positiiviseksi (Mero ja Komi 1986). Kuviosta 11 voi nähdä koehenkilö NP:n parhaan hypyn (5,98 m) ponnistuskontaktin reaktiivoimakäyrät.



KUVIO 11. Reaktiovoimakuvaaja ponnistuskontaktista: z = pystyvoima, y = vaakavoima, x = sivuvoima; y-akseli kuvaa voimaa (N), x-akseli kuvaa aikaa (s). a-viiva jakaa pystyvoiman passiiviseen ja aktiiviseen piikkiin; b-viiva jakaa kaikki kolme voimaa törmäys- ja työntövaiheeseen

Määritettyjen arvojen avulla laskettiin seuraavat muuttujat: askelfrekvenssi; keskimääräinen resultanttivoima törmäys- ja työntövaiheissa ja niiden keskimääräiset törmäys- ja työntökulmat; ponnistuksen pystynopeus; ponnistuksen resultanttinopeus; ponnistuskulma; ponnistavan jalan kulma ponnistuksen törmäysvaiheessa (= painopisteen kulma vaakatasoon nähden); keskimääräinen teho ponnistuksen työntövaiheessa. Näiden lisäksi reaktiovoimadatasta laskettiin kevennyshyppytulokset ja reaktiivisuushyppelyn teho käyttäen apuna kirjallisuudesta löytyviä laskukaavoja (Keskinen, Häkkinen & Kallinen 2004).

Kaavat lasketuille muuttujille:

1. Askelfrekvenssi = $1 / (\text{lentoaika ennen kontaktia} + \text{kontaktiaika})$
2. Keskimääräinen resultanttivoima $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, missä F_1 = keskimääräinen pystyvoima, F_2 = keskimääräinen vaakavoima
3. Keskimääräinen resultanttikulma $\alpha = \arctan(F_1 / F_2)$, missä F_1 = keskimääräinen pystyvoima, F_2 = keskimääräinen vaakavoima
4. Ponnistuksen pystynopeus $v = I / m$, missä v = nopeus, I = ponnistuskontaktin aktiivisen piikin impulssi (kuviot 6 ja 11), m = hyppääjän massa

5. Ponnistuksen resultanttinopeus $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, missä v_1 = ponnistuksen pystynopeus, v_2 = ponnistuksen vaakanopeus (vaakanopeus mitattiin Laveg –tutkalla)
6. Ponnistuskulma $\alpha = \arctan(v_1 / v_2)$, missä v_1 = ponnistuksen pystynopeus, v_2 = ponnistuksen vaakanopeus
7. Ponnistavan jalan kulma ponnistuksen törmäysvaiheessa $\alpha = \arctan(F_1 / F_2)$, missä F_1 = maksimipystytörmäysvoima, F_2 = maksimivaakatörmäysvoima
8. Keskimääräinen teho ponnistuksen työntövaiheessa $P = F \times v$, missä F = keskimääräinen resultanttityöntövoima, v on resultanttinopeus ponnistusvaiheessa

Ponnistuksen pystynopeus lasketaan tavallisesti luotettavasti liikeanalyysillä. Tässä tutkimuksessa se kuitenkin laskettiin reaktiivoimien perusteella. Tämä kaava olettaa, että painopisteen ylöspäin suunnattu voima ponnistuksessa alkaa pystysuuntaisen voimakäyrän kääntyessä toiseen nousuun (aktiivisen piikin alusta; kuviot 6 ja 11). Todellisuudessa se ei välttämättä aivan osu kohdalleen, mutta tällä menetelmällä saadut tulokset ovat kuitenkin järkeviä verrattuna kirjallisuudessa esiintyviin tuloksiin. Pystynopeutta käytettiin myös ponnistuksen resultanttinopeuden, ponnistuskulman ja ponnistuksen keskimääräisen työntötehon laskemiseen. Joten niihin tuloksiin on myös hyvä suhtautua varuksella.

Laveg -tutkan keräämä raakadata suodatettiin 7-pisteen jatkuvana keskiarvona järjestelmän omalla ohjelmistolla, jonka jälkeen datasta poimittiin hetkelliset nopeudet merkkien kohdilta (0, 1, 6 ja 11 m ponnistuskohdasta) sekä laskettiin keskimääräinen nopeus välillä 6-1 ja 11-6 metriä.

4.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS –ohjelman versiota 17.0. Muuttujille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Suorituksien eroja eri askelmäärillä tarkasteltiin käyttämällä yksisuuntaista varianssianalyysia (ANOVA) ja Games-Howell post-hoc –testiä. Viimeisten askelten muuttujien välistä yhteyttä hyppypituuteen analysoitiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Tilastolliset merkitsevyydet on tuloksiin merkitty symbolein: * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$ ja *** = $p < 0,001$.

5 TULOKSET

Taulukosta 7 voi nähdä koehenkilöiden nopeusvoimaominaisuuksia ja biomekaanisia muuttujia parhaasta pitkän vauhdin hypystä. Laveg -tutkalla saatujen nopeuksien ja valokennoilla mitattujen aikojen välinen korrelaatio oli vahva ($r = 0,92$; $p < 0,001$; $n = 18$).

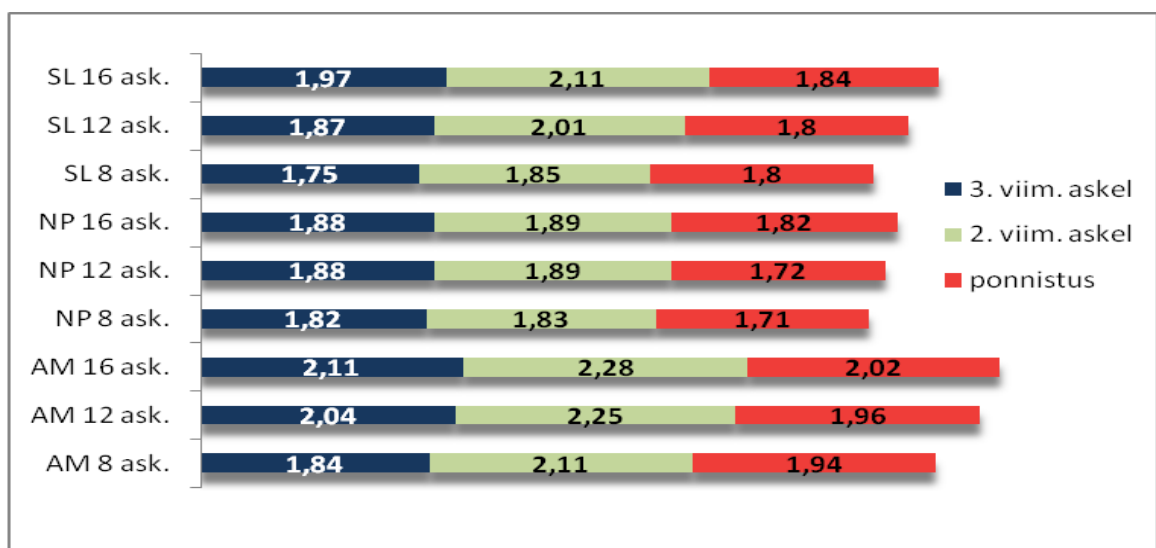
TAULUKKO 7. Koehenkilöiden nopeusvoimaominaisuuksia ja biomekaanisia muuttujia parhaasta pitkän vauhdin hypystä

Muuttuja	AM	NP	SL
Kevennyshyppy (cm)	53,4	48,5	44
Reaktiivisuushyppely (W)	64,8	66,4	48,9
Pitkän vauhdin paras hyppysuoritus (m)	6,67	5,98	4,83
Juoksuaika 6-1 m; lentävä 5 m (s)	0,518	0,593	0,661
Maksiminopeus (hetkellinen piikki) (m/s)	9,51	8,86	7,87
Nopeus 11-6 m lankusta (m/s)	8,96	8,07	7,52
Nopeus 6-1 m lankusta (m/s)	9,20	8,60	7,66
Nopeus 1 m lankusta (m/s)	8,83	8,44	7,54
Vaakanopeus ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	8,36	7,80	6,67
Pystynopeus ponnistuksen irtoamisessa (m/s)	2,80	2,89	2,12
Ponnistuksen resultanttinopeus (m/s)	8,82	8,32	7,00
Ponnistuskulma (°)	18,5	20,3	17,6
Ponnistavan jalan kulma ponnistuksen törmäyksessä (°)	67,5	60,3	60,3
Ponnistuksen kesto (s)	0,132	0,135	0,158
3. viimeisen askeleen askelpituus (m)	2,13	1,88	1,98
2. viimeisen askeleen askelpituus (m)	2,28	1,88	2,13
Viimeisen askeleen askelpituus (m)	2,05	1,89	1,83
Kahden viimeisen askeleen ero (m)	0,23	-0,01	0,30
Ponnistuksen työntövaiheen keskimääräinen teho (W)	9693	6631	4809

Kaikkien analysoitujen hyppyjen muuttujien korrelaatiokertoimet hyppypituuteen viimeisten askelten osalta löytyvät liitteestä 1 ($n = 18$). Korrelaatio on vahvempi muuttujien lähestyessä positiivista tai negatiivista arvoa yksi. Hyppypituuteen korreloivat erittäin vahvasti nopeusarvot heterogeenisen otosjoukon takia: maksiminopeus $r = 0,901$, $p < 0,001$; ponnistuksen resultanttinopeus $r = 0,938$, $p < 0,001$ ja vaakanopeus $r = 0,906$, $p < 0,001$.

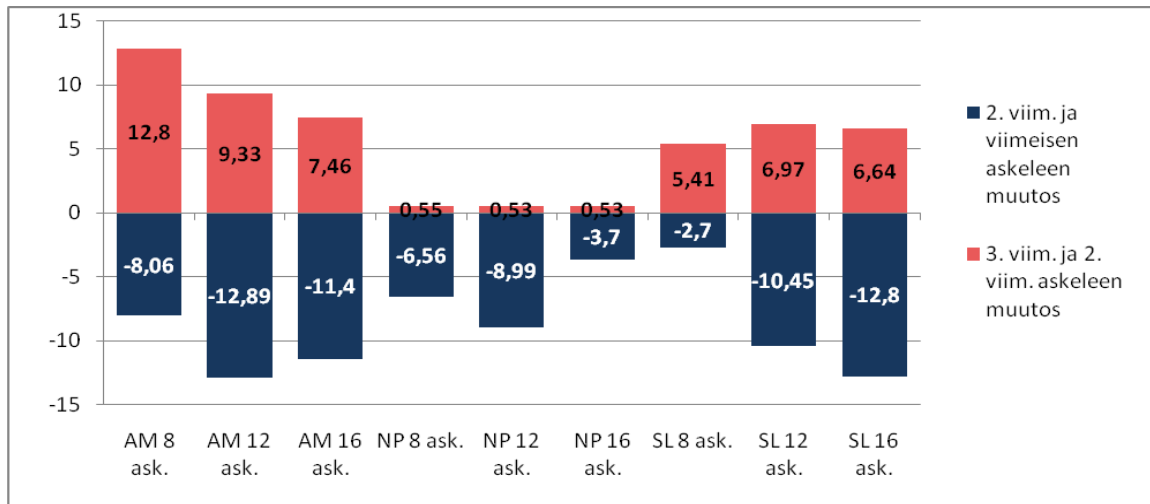
Samasta syystä ponnistuskulman korrelaatio jäi tässä tutkimuksessa pieneksi ($r = -0,163$, $p = 0,187$). Muita erittäin vahvoja korrelaatioita ponnistuskontaktissa osoittivat kontaktiaika törmäysvaiheessa $r = -0,895$, $p < 0,001$; maksimivoima ponnistuksen pystytyönnessä $r = 0,928$, $p < 0,001$ ja vaakatyönnessä $r = 0,762$, $p < 0,001$; keskimääräinen voima ponnistuksen pystytörmäyksessä $r = 0,920$, $p < 0,001$, pystytyönnessä $r = 0,894$, $p < 0,001$ sekä vaakatyönnessä $r = 0,785$, $p < 0,001$; impulssit ponnistuksen pystytyönnessä $r = 0,833$, $p < 0,001$ ja vaakatyönnessä $r = 0,720$, $p < 0,001$; keskimääräinen resultanttivoima ponnistuksen törmäysvaiheessa $r = 0,920$, $p < 0,001$ ja työntövaiheessa $r = 0,894$, $p < 0,001$; sivuttaisvoimista minimiarvo $r = -0,829$, $p < 0,001$. Ponnistusta edeltävän askelkontaktin muuttujien korrelaatiot hyppypituuteen jäivät pienemmiksi: kontaktiaika $r = -0,684$, $p = 0,001$; maksimivoima vaakatörmäyksessä $r = -0,736$, $p < 0,001$ ja pystytyönnessä $r = 0,574$, $p = 0,006$; keskimääräinen voima pystytörmäyksessä $r = 0,589$, $p = 0,005$; keskimääräinen resultanttivoima törmäyksessä $r = 0,586$, $p = 0,005$; sivuttaisvoimista maksimiarvo $r = 0,813$, $p < 0,001$. Muut tilastollisesti merkitsevät muuttujat löytyvät liitteestä 1. Liitteistä 2 ja 3 löytyvät kaikki mittauksissa mitatut arvot koehenkilökohteisesti.

Kuvio 12 kuvaa koehenkilöiden eri askelmäärillä suoritettujen hyppyjen kolmen viimeisen askeleen pituuksia ja kuvio 13 pituuksien välisiä muutoksia. Koehenkilöt AM ja SL käyttivät perinteistä ns. kaksoisponnistustekniikkaa (2. viimeisen askeleen pidennys ja viimeisen askeleen lyhennys) ja NP pelkkää viimeisen askeleen lyhennystä hyppyissään.



KUVIO 12. Koehenkilöiden eri askelmäärillä suoritettujen hyppyjen kolmen viimeisen askeleen keskiarvostetut pituudet (m) ($n = 2$).

Taulukot 8, 9 ja 10 kuvaavat eri askelmäärillä suoritettujen hyppyjen muuttujien eroja toisiinsa. Eniten ja suurimpia eroja löytyi 8 ja 16 askeleen välillä eritoten vauhtijuoksun nopeudessa. Sen sijaan 8 ja 12 askeleen välillä erot olivat jo pienempiä ja 12 ja 16 askeleen välillä ei löytynyt merkitseviä eroja lainkaan. Vauhdin lisääminen ei vaikuttanut ponnistuskontaktin eri muuttujiin juuri lainkaan (taulukko 9). Sen sijaan ponnistusta edeltävän askeleen muuttujissa (taulukko 10) löytyi paljon enemmän merkitseviä eroja vauhdin kasvaessa.



KUVIO 13. Koehenkilöiden eri askelmäärillä suoritettujen hyppyjen kolmen viimeisen askeleen väliset prosentuaaliset muutokset (n = 2).

TAULUKKO 8. Nopeuksien keskiarvojen vertailua eri askelmäärillä suoritetuissa hyppyissä. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$); 8 askeleen tähdet kuvaavat 8 ja 12 askeleen välisiä merkitseviä eroja; 12 askeleen tähdet 12 ja 16 askeleen, ja 16 askeleen tähdet 8 ja 16 askeleen välisiä merkitseviä eroja.

NOPEUDET (keskiarvo ± hajonta)				
Muuttuja	8 askelta		12 askelta	16 askelta
Tulos (m)	5,33 ± 0,68		5,65 ± 0,69	5,76 ± 0,78
Juoksuaika 5 m (s)	0,68 ± 0,04	*	0,60 ± 0,04	0,58 ± 0,06 *
Nopeudet (m/s)				
Maksiminopeus	7,63 ± 0,51		8,19 ± 0,66	8,69 ± 0,72 *
11-6 m	6,10 ± 0,84	*	7,47 ± 0,61	8,18 ± 0,66 **
6-1 m	7,29 ± 0,56		7,97 ± 0,63	8,47 ± 0,67 *
1 m	7,39 ± 0,42		7,84 ± 0,52	8,31 ± 0,61 *
Vaakanopeus lankulla	6,61 ± 0,73		7,19 ± 0,71	7,60 ± 0,73
Pystynopeus lankulla	2,89 ± 0,26		2,62 ± 0,37	2,55 ± 0,34
Resultanttinopeus lankulla	7,22 ± 0,76		7,59 ± 0,76	8,05 ± 0,76
n	6		6	6

TAULUKKO 9. Ponnistuskontaktin reaktiivoimien keskiarvojen vertailua eri askelmäärillä suoritetuissa hyppyissä. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (***p < 0.001, **p < 0.01, *p < 0.05); 8 askeleen tähdet kuvaavat 8 ja 12 askeleen välisiä merkitseviä eroja; 12 askeleen tähdet 12 ja 16 askeleen, ja 16 askeleen tähdet 8 ja 16 askeleen välisiä merkitseviä eroja.

PONNISTUSKONTAKTI JA SEN REAKTIOVOIMANTUOTTO (keskiarvo ± hajonta)			
Muuttuja	8 askelta	12 askelta	16 askelta
Kontakti- ja lentoajat (ms)			
Kontaktiaika	143 ± 9	141 ± 10	141 ± 13
Törmäysaika	98 ± 11	96 ± 11	96 ± 12
Työntöaika	45 ± 5	45 ± 5	45 ± 6
Lentoaika	72 ± 9	70 ± 10	73 ± 7
Frekvenssi (Hz)	4,70 ± 0,33	4,77 ± 0,37	4,70 ± 0,41
Askelpituus (m)	1,81 ± 0,11	1,82 ± 0,11	1,89 ± 0,11
Pystyvoimat (N)			
Maksimitörmäys	5418 ± 955	5458 ± 765	5863 ± 997
Maksimityöntö	1783 ± 394	1743 ± 336	1793 ± 314
Keskimääräinen törmäys	2281 ± 297	2294 ± 251	2282 ± 315
Keskimääräinen työntö	800 ± 252	800 ± 194	806 ± 175
Vaakavoimat (N)			
Maksimitörmäys	-2229 ± 348	-2656 ± 430	2970 ± 269
Maksimityöntö	305 ± 83	303 ± 74	310 ± 64
Keskimääräinen törmäys	-700 ± 65	-767 ± 59	-786 ± 68
Keskimääräinen työntö	187 ± 54	193 ± 50	200 ± 47
Sivuttaisvoimat (N)			
Minimi	-581 ± 195	-571 ± 142	-571 ± 162
Maksimi	633 ± 237	728 ± 307	777 ± 323
Resultanttivoimat (N)			
Keskimääräinen törmäys	2385 ± 291	2420 ± 249	2414 ± 318
Keskimääräinen työntö	822 ± 257	824 ± 197	831 ± 180
Törmäyskulma (°)	72,9 ± 2,0	71,4 ± 1,7	70,9 ± 1,3
Työntökulma (°)	76,6 ± 1,9	76,2 ± 2,7	76,1 ± 1,1
Impulssit (Ns)			
Pystytörmäys	220 ± 16	220 ± 14	218 ± 12
Vaakatörmäys	-68 ± 10	-74 ± 9	-76 ± 6
Pystytyöntö	37 ± 16	36 ± 12	38 ± 11
Vaakatyöntö	9 ± 3	9 ± 3	9 ± 3
Jalan kulma ponnistuksen törmäyksessä (°)	67,3 ± 4,5	64,0 ± 4,1	62,8 ± 3,6
Ponnistuskulma (°)	23,7 ± 1,4	*** 18,7 ± 0,9	18,52 ± 1,0
n	6	6	6

TAULUKKO 10. Ponnistusta edeltävän askelkontaktin reaktiivoimien keskiarvojen vertailua eri askelmäärillä suoritetuissa hyppyissä. Tilastollisesti merkitsevä ero on merkitty tähdillä (***) $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$); 8 askeleen tähdet kuvaavat 8 ja 12 askeleen välisiä merkitseviä eroja; 12 askeleen tähdet 12 ja 16 askeleen, ja 16 askeleen tähdet 8 ja 16 askeleen välisiä merkitseviä eroja.

PONNISTUSTA EDELTÄVÄ ASKELKONTAKTI JA SEN REAKTIOVOIMANTUOTTO (keskiarvo \pm hajonta)			
Muuttuja	8 askelta	12 askelta	16 askelta
Kontakti- ja lentoajat (ms)			
Kontaktiaika	126 \pm 6	123 \pm 7	121 \pm 9
Törmäysaika	47 \pm 9	54 \pm 7	54 \pm 11
Työntöaika	79 \pm 6 *	69 \pm 4	67 \pm 2 **
Lentoaika	132 \pm 11	130 \pm 8	129 \pm 12
Frekvenssi (Hz)	3,89 \pm 0,19	3,96 \pm 0,19	4,02 \pm 0,29
Askelpituus (m)	1,93 \pm 0,14	2,05 \pm 0,17	2,09 \pm 0,18
Pystyvoimat (N)			
Maksimitörmäys	2500 \pm 787	3444 \pm 867	3639 \pm 1145
Maksimityöntö	1583 \pm 175	1525 \pm 141	1468 \pm 149
Keskimääräinen törmäys	1474 \pm 314	1453 \pm 301	1496 \pm 333
Keskimääräinen työntö	948 \pm 107 *	802 \pm 50	760 \pm 101 *
Vaakavoimat (N)			
Maksimitörmäys	-482 \pm 189	-729 \pm 335	-909 \pm 415
Maksimityöntö	359 \pm 75	330 \pm 60	318 \pm 45
Keskimääräinen törmäys	-99 \pm 35 *	-216 \pm 71	-256 \pm 104 *
Keskimääräinen työntö	218 \pm 40	180 \pm 29	176 \pm 31
Sivuttaisvoimat (N)			
Minimi	-356 \pm 182	-440 \pm 175	-468 \pm 153
Maksimi	342 \pm 285	487 \pm 433	514 \pm 483
Resultanttivoimat (N)			
Keskimääräinen törmäys	1478 \pm 312	1469 \pm 308	1519 \pm 344
Keskimääräinen työntö	973 \pm 109 *	822 \pm 53	780 \pm 104 *
Törmäyskulma (°)	85,9 \pm 1,8 **	81,7 \pm 1,2	80,6 \pm 2,4 **
Työntökulma (°)	77,0 \pm 2,1	77,4 \pm 1,7	77,0 \pm 1,1
Impulssit (Ns)			
Pystytörmäys	71 \pm 15	82 \pm 19	85 \pm 21
Vaakatörmäys	-5 \pm 3 *	-13 \pm 4	-15 \pm 7 *
Pystytyöntö	74 \pm 12 *	55 \pm 3	50 \pm 6 **
Vaakatyöntö	17 \pm 4	12 \pm 3	12 \pm 2 *
n	6	6	6

6 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hyppääjien viimeisten askelien ja ponnistukseen vaikuttavien muuttujien vaikutusta hyppypituuteen kolmella eri vauhdin pituudella. Monien hyppääjien loukkaantumisten, aikatauluongelmien ym. esteiden takia tämän tutkimuksen mittauksiin saatiin osallistumaan vain kolme koehenkilöä. Kukaan heistä suoritti alun perin laaditusta yhdeksästä hypystä vain kuusi. Näin pienen koehenkilö- ja suoritusmäärän takia otosjoukko jäi valitettavan pieneksi. Pienen otosjoukon lisäksi tämä koehenkilöjoukko oli kaiken lisäksi vahvasti heterogeeninen: yksi mies- ja kaksi eri tason naishyppääjää. Suurin ero koehenkilöiden pisimmän vauhdin hyppyssä oli jopa 1,84 m. Suurta hajontaa mittaustuloksiin lisäsi vielä koehenkilöiden hyppyjen vaihtelevuus heidän omaan tasoonsa nähden: AM 99,0% (ulkoradoilla), NP 95,4% (hallissa), SL 88,4% (hallissa) ennätyksistään. Lisäksi AM ja SL suorittivat kaikki hyppynsä pystylähdöllä (lähtö pysähtyneestä tilasta), kun taas NP käytti muutaman askeleen lentävää vauhtia vauhtijuoksussaan. Tämä lentävä vauhti mahdollisti NP:lle hieman suuremman nopeuden, mikä on syytä ottaa myös huomioon tulosten arvioinnissa. Kaikista näistä syistä täysin luotettavaa tilastollisesti merkitsevää vastausta ei tutkimusongelmiin tulosten perusteella saatu. Koehenkilöiden yksilöllisestä tekniikasta saadaan kuitenkin paljon mielenkiintoista ja käytännön valmennusta palvelevaa tietoa, vaikka yksilöllistä optimaalista tekniikkaa ei voitu tilastollisesti analysoida pienen suoritusmäärän takia.

Tutkimusongelma 1. Eroaako lyhyellä vauhdilla suoritettujen ponnistuksen pysty- ja vaakavoimantuotto täydellä vauhdilla suoritettujen ponnistuksen vastaavasta voimantuotosta? Mittauksissa vauhdit oli jaettu kahdeksaan, kahteentoista ja kuuteentoista askeleeseen. Kuusitoista askelta on harvalla hyppääjällä täysi vauhti, joten aivan täysivauhtisia suorituksia ei mittauksissa mitattu. Askelten lisääminen vauhtijuoksuun lisäsi nopeutta vauhdin aikana tilastollisesti merkitsevästi, mikä on toki odotettua. Vaakanopeuden muutos ponnistuksessa ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä, joskin se oli suuntaa-antava. Ponnistuskulmassa löytyi erittäin suuri tilastollisesti merkitsevä ero kahdeksan ja kahteentoista sekä kahdeksan ja kuudentoista askeleen välillä. Tämä merkitsi näissä mittauksissa sitä, että kahdeksan askeleen vauhdilla hyppyssä oli paljon suurempi ylöspäin tuotettu voima kuin muilla askelmäärillä suhteessa vauhtijuoksun nopeuteen. Toisin sanoen

vauhdin kasvaessa ponnistuksen ylöspäin tuotettu voima pysyi samana ja ponnistusta edeltävän askeleen voimantuotto jopa pieneni. Erikoista oli, että ponnistuskulman lisäksi löytyi vain yksi tilastollisesti merkitsevä ero ponnistavan askeleen reaktiivoimista: kahdeksan ja kuudentoista askeleen välillä maksimaalinen vaakatormäysvoima. Tämä on sinänsä ymmärrettävää, että ponnistuksen törmäysvoima suurenee, kun nopeus lisääntyy vauhtijuoksun pidentyessä. Outoa oli kuitenkin, ettei pystysuuntainen maksimaalinen törmäysvoima, eli ns. passiivinen piikki (Seyfarth ym. 1999), kuitenkaan suurentunut merkittävästi vauhdin kasvaessa. Alhainen passiivinen piikki viittaa tavallisesti mataliin hyppyihin (ns. hyppy menee läpi). Toisaalta korkea passiivinen piikki voi myös viitata vastaponnistukseen. Kaikki muut ponnistuksen muuttujat näyttivät pysyvän samoissa arvoissa vauhdin lisääntymisestä huolimatta. Eli voidaan sanoa, että tässä tutkimuksessa vauhdin lisääminen ei vaikuttanut ponnistavan askeleen kontaktin voimantuottoon.

Vaikka tähän tutkimusongelmaan ei ponnistusta edeltävää askelta alun perin yhdistettykään, löytyi sen muuttujista sen sijaan paljonkin merkitseviä eroja. Vauhdin lisääntyessä mm. edellä mainitun kontaktin työntöaika lyheni, mistä seurasi myös hieman pienentynyt pystytyönnön voimantuotto. Nämä yhdessä alhaisen ponnistavan jalan passiivisen piikin kanssa ovat yhteydessä pienentyneeseen pystynopeuteen ponnistusvaiheessa vauhdin lisääntyessä. Tämä pystynopeuden pieneminen ponnistusvaiheessa ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä tässä mittauksessa, vaikka osoittikin trendiä siihen suuntaan. Alhainen pystynopeus ponnistuksessa johtaa mataliin hyppyihin. Muista toiseksi viimeisen askeleen muuttujista keskimääräinen vaakatormäysvoima suureni ja törmäyksen resultanttikulma pieneni. Kulman pieneminen merkitsi kovemmissa vauhdeissa jalan asettamista hieman edemmäksi vartalon etupuolelle vastaanottamaan törmäystä (ns. kaksoisponnistukseen valmistautuminen). Tässä tutkimuksessa koehenkilöillä ponnistusta edeltävällä askelkontaktilla voimantuotto ei ollut riittävää vauhdin lisääntyessä, mikä oikeastaan aiheutti nämä muutamat tilastolliset merkitsevyydet. Vauhdin kasvaessa hyppääjän pitäisi työskennellä paljon aktiivisemmin toiseksi viimeisen askeleen kontaktissa verrattuna hitaamman vauhdin hyppyihin eikä siis tyytyä tasapaksuun voimantuottoon kontaktissa. Kovavauhtisten hyppyjen määrä pitäisi harjoituskauden lopussa ja kilpailukauden alussa olla riittävän suuri, jotta saavutettaisiin kilpailusuoritusta vastaavia korkeita reaktiivoimia kahdella viimeisellä askeleella. Ilman riittävää iskutusta hyppääjä ei ole valmis kovavauhtisiin kilpailuhyppyihin, koska hän ei joko kestä ponnistuksessa aiheutuvaa törmäystä, tai ei ehdi työntää ponnistusta edeltävällä askeleella riittävän tehokkaas-

ti. Tässä tutkimuksessa kaikki koehenkilöt eivät olleet valmiita kovavauhtisiin suorituksiin, mikä johti osalla jo aikaisemmin mainittuihin mataliin hyppyihin.

Tutkimusongelma 2. Pysyvätkö viimeisten askelten pituussuhteet samana sekä lyhyellä että täydellä vauhdilla hypättäessä? Askelpituuksia tarkasteltiin koehenkilökohtaisesti. AM käytti kaksoisponnistustekniikkaa, minkä takia hänen viimeisten askelten askelpituudet vaihtelivat tavallista enemmän: Lyhyellä vauhdilla hänen toiseksi viimeinen askeleensa oli suhteessa pitkään vauhtiin pidempi ja voimakkaampi. Tämä näkyi myös reaktiivoimissa suurempana työntövoimana. Lyhyellä vauhdilla hänen pystynopeutensa oli suurempi kuin pitemmillä. Kovemmilla vauhdeilla hän lyhensi viimeistä askelta tehokkaammin kuin hitaammalla kahdeksan askeleen vauhdilla, mikä saattoi olla yksi tekijä hieman mataliin pitkän vauhdin hyppyihin. SL käytti myös samaa kaksoisponnistustekniikkaa ja hänen askelpituuksien muutokset olivatkin hyvin samanlaisia kuin AM:llä. Ainoastaan hänen kahdeksan askeleen hyppynsä askelmuutokset erosivat hänen muista hypyistä: tavallista lyhyempi toiseksi viimeinen askel verrattuna viimeiseen ponnistavaan askeleeseen. SL sai myös parhaimmat ponnistusvaiheen pystynopeudet lyhyellä vauhdilla. Pitkän vauhdin hypyt eivät hänellä näissä mittauksissa menneet aivan hänen oman tasonsa mukaan. Suuresta viimeisen askeleen lyhennyksestä huolimatta hänen suuret ponnistusvaiheen törmäysvoimat ja pieni jalan kulma ponnistuksessa viittaisivat vastaponnistukseen. Vastaponnistuksessa ponnistava jalka on asetettu liiaksi eteen, että se kirjaimellisesti jarruttaa ponnistusta ja hypyt jäävät lyhyiksi. NP ei käyttänyt perinteistä kaksoisponnistustekniikkaa, vaan hän lyhensi hieman muutamaa viimeistä askeltaan (viimeistä muita enemmän) suhteessa maksimijuoksun askellukseensa. Kuvioista 11 ja 12 ei tätä näy, mutta hänen neljänneksi viimeinen askeleensa oli normaalijuoksuaskelta jopa hieman pidempi. Kolmanneksi ja toiseksi viimeisen askeleen välillä ei juuri muutosta ollut, mutta viimeinen askel lyhentyi hänellä jo selvästi (ei ilmene taulukosta 7). Tämä lankulletulotekniikka mahdollistaa paremman vaakanopeuden säilymisen lankulla kuin perinteinen kaksoisponnistustekniikka. Kaksoisponnistustekniikka sen sijaan mahdollistaa toiseksi viimeisen askeleen tehokkaamman voimantuoton ja näin suuremman pystynopeuden. Erilaisesta lankulletulotekniikasta huolimatta NP pystyi saavuttamaan suuren pystynopeuden ja lähes optimaalisen ponnistuskulman, joten hänellä tämä tekniikka näyttää toimivan. On hyvä kuitenkin huomioida, ettei tässä tutkimuksessa pystynopeutta ja ponnistuskulmaa ole laskettu luotettavammalla liikeanalyysillä (vaatii työlään videoanalyysin). Kaikilla koehenkilöillä oli enemmän tai vähemmän vaihtelua askelmuutoksissa

eri askelmäärän hyppysuorituksissa. Pienen otosjoukon takia mitään tilastollista analyysia ei kuitenkaan tehty eikä mitään eroavaisuuksia voitu yleistää.

Tutkimusongelma 3. Voidaanko reaktiovoimantuotosta laskea lisämuuttujia (esim. keskimääräinen ja maksimaalinen teho ponnistuksessa) käytännön valmennusta palvelemaan? Tässä tutkimuksessa laskettiin vain ponnistuksen työntövaiheen keskimääräinen teho. Tämä voidaan kirjoittaa muotoon $P = F \times v$, missä P on teho, F on ponnistuksessa tuotettu keskimääräinen resultanttityöntövoima ja v on resultanttinopeus ponnistusvaiheessa. Hetkellisen tehon tai maksimitehon laskeminen luotettavasti vaatisi tarkemman menetelmän mittaamaan nopeutta hetkellisesti (esim. tarkempi suuremman keräystaajuuden omaava tutka). Tehon mittaamisen selvittäminen voisi edelleen olla tulevaisuudessa yksi pituushyppytutkimuksen tutkimusongelmista, sillä tässä tutkimuksessa siitä ei saatu riittävästi irti eikä tutkimustietoakaan juuri löydy kirjallisuudesta.

Viimeisten askelten muuttujien korrelaatiot hyppypituuteen. Tämän tutkimuksen kaikkien analysoitujen hyppyjen tulosten perusteella voidaan ehdottaa mallia viimeisten askelten tekniikkaan. Käsiteltävänä ovat ainoastaan reaktiovoimatulosten perusteella saadut muuttujat.

Ponnistusta edeltävässä askeleessa kontaktiaika oli pitemmissä hyppyissä lyhyempi ja varsinkin ko. kontaktin lyhyt törmäysaika korostui. Sen sijaan työntöajalla ei näyttänyt olevan merkitystä. Törmäysvoimista vaakasuuntainen jarruttava maksimivoima oli suurempi pidemmissä hyppyissä lisääntyneen nopeuden takia (liitteessä 1 on hyvä huomioida, että ko. mitattu arvo oli negatiivinen). Pystysuuntaiset maksimi- sekä keskimääräinen törmäysvoima olivat myös erittäin korkeat, kuin myös resultanttivoima jarrutuksessa. Kontaktin työntävistä voimista ainoastaan ylöspäin suunnattu maksimaalinen voima korostui pidemmissä hyppyissä. Sivuttaisvoimat näyttivät myös lisääntyvän pidemmissä hyppyissä, mutta niitä tulisi kuitenkin yrittää välttää. Lyhyesti tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ponnistusta edeltävä askel tulisi painaa tehokkaasti maata vasten, kontaktin tulee olla lyhyt ja työntö tulisi suunnata tehokkaasti ylöspäin, eikä eteenpäin. Vauhtijuoksun aikaansaama vauhti hoitaa eteenpäin suunnatun nopeuden. Jarruttavien voimien korostuminen pidemmissä hyppyissä on välttämätöntä nopeuden lisääntyessä, mutta jarrutusta ei tietenkään tule yrittää korostaa, vaan yrittää löytää optimi.

Ponnistuskontaktissa pitempään hyppyyn korreloivat vahvasti kontaktin vaaka-, pysty- ja resultanttinopeus. Samalla tavalla, kuten edellisellä askeleella, lyhyempi kokonaiskontaktiaika sekä eritoten törmäysaika korreloi pidempiin hyppyihin. Reaktiovoimista lähes kaikki voimat kasvoivat enemmän tai vähemmän pitkissä hyppyissä. Resultanttikulma sekä ponnistavan jalan kulma törmäyksessä näyttivät tulosten perusteella kasvavan pidemmissä hyppyissä (heterogeeninen joukko), vaikka todellisuudessa niiden tulisi pienentyä (homogeeninen joukko). Tarkasteltaessa suori-

tuksia koehenkilökohtaisesti voitiin huomata, että molemmat kulmat kuitenkin laskivat pidemmissä hypyissä. Lyhyesti ponnistava jalka tulisi asettaa suorana tehokkaasti maata vasten, mutta kuitenkin riittävän eteen, mikä mahdollistaa optimaalisen suunnan hypyn lentoradalle. Ponnistusta edeltävän askeleen tehokas voimantuotto ylöspäin tulee olla riittävän tehokas, ettei ponnistuskontaktilla joudu enää pumppaamaan voimaa syvältä pienellä polvikulmalla. Vapaa jalka tulee ponnistuskontaktissa tuoda nopeasti eteen kantapää lähellä pakaraa terävällä polvikulmalla.

Tulevaisuuden tutkimusongelmat. Tulevaisuudessa mittausajankohta tulisi valita siten, että urheilijoita saisi huomattavasti enemmän mukaan testaukseen/tutkimukseen ja naisten ja miesten arviointi siis omina ryhminään. Hyppysuorituksia tulisi myös saada huomattavasti enemmän, jotta urheilijakohtainen luotettava tekniikka-analyysi olisi myös mahdollista. Tässä mittauksessa käytetty kahdeksan askeleen vauhti on ehkä hieman liian lyhyt vauhti mittaamaan pituushyppytekniikkaa, sillä monet hyppääjät ovat lankulla vielä kiihdytysjuoksun asennossa. Näin lyhyt vauhti ei vastaa kilpailusuoritusta eikä sitä näin ollen ehkä kannata ollenkaan käyttää tulevaisuuden mittauksissa. Todennäköisesti juuri liian lyhyestä vauhdista johtuen tässä tutkimuksessa suurimmat merkitsevät erot olivat juuri kahdeksan ja kuudentoista askeleen välillä. Kahdentoista ja kuudentoista askeleen välillä merkitseviä eroja ei ollut yhtä ainutta, vaikka joissain arvoissa oli kuitenkin havaittavissa trendiä: esim. maksimaalinen pystytörmäys. Osasyynä tähän oli todennäköisesti liian heterogeeninen otosjoukko. Koeasetelma kannattaisi tulevaisuudessa jakaa yksinkertaisesti lyhyeen ja pitkään vauhtiin: mahdollisesti 10 ja 16 askelta tai submaksimaalinen ja maksimaalinen vauhti nopeuden mukaan.

Tässä tutkimuksessa ei analysoitu erikseen arvoja ponnistuksen aktiiviselle piikille (kuvio 6), vaan ponnistus oli jaettu yksinkertaisesti törmäys- (jarrutus) ja työntövaiheeseen kuten pikajuoksututkimuksissa. Tulevaisuudessa kannattaisi myös kokeilla jakaa ponnistusvaiheen pystyvoimat aktiiviseen ja passiiviseen piikkiin. Aktiivinen piikki alkaa maksimaalisen törmäyksen jälkeen voiman kääntyessä uuteen nousuun (Seyfarth ym. 1999). Mitattavat arvot olisivat passiivisen piikin maksimiarvo sekä aktiivisen piikin keskimääräinen ja maksimiarvo. Aktiivisesta piikistä kannattaa myös analysoida impulssi, jonka avulla voidaan laskea pystysuuntainen nopeus ja ponnistuskulma. Tämä ei kuitenkaan ole yhtä luotettava menetelmä kuin liikeanalyysillä suoritettu, koska esim. jako passiiviseen ja aktiiviseen piikkiin on myös enemmän tai vähemmän epätarkka. Näiden kahden eri menetelmän välinen korrelaatio tulisi kuitenkin selvittää tulevaisuudessa.

Testipatteristo. Pituushyppääjien testipatteristoon voisi ehdottaa mukaan seuraavia muuttujia, jotka mitattaisiin esimerkiksi 10 ja 16 askeleen vauhdeilla. Ponnistuskontaktista maksimipystyvoima ja keskimääräiset voima-arvot sekä törmäyksestä että työnnöstä (törmäys- ja työntöaika vaakavoiman avulla), impulssi aktiiviselle piikille; kahdelta viimeiseltä askeleelta kontaktiajat, keskimääräiset resultanttivoimat ja suunnat (törmäys- ja työntövaihe) sekä askelpituudet radalle levitettävän paperin avulla. Nopeuksien mittaamiseen kannattaa käyttää sekä tutka- että valokennomittauksia. Luotettava tehon mittaaminen vaatii vielä lisätutkimusta. Tarkkaa tehoa ponnistuksen eri vaiheille on vaikea saada tutkalla mitatun nopeuden avulla, sillä häiriön määrä mittauksessa on liian suuri. Keskimääräinen teho sen sijaan voidaan laskea.

Testaus kilpailuissa. On yleisessä tiedossa, että kilpailutilanteessa tulokset ovat parempia kuin harjoituksissa. Tässä mittauksessa reaktivoimat saatiin monelta askeleelta, mutta se tuskin kilpailutilanteessa on mahdollista nykyisin muualla kuin juuri Jyväskylän Hipposhallissa. Voimalevyjä olisi kuitenkin hyvä saada myös kilpailuihin. Tämä vaatisi vähintään lankkuun rakennetun voimalevyanturin, jota pystyisi sitten kuljettamaan kisapaikoille. Valitettavasti pelkkä voimalevytankku olettaa, että ponnistuskontakti osuisi aina kokonaan lankulle. Koska näin harvoin käy kilpailutilanteessa, tulisi voimalevy kuitenkin rakentaa ylettymään riittävästi lankun eteen radalle. Tätä on käytännössä mahdotonta rakentaa monelle eri kilpailupaikalle. Laveg -tutkan käyttö kilpailuissa onnistuu helposti. Sen voi sijoittaa joko hyppääjän taakse tai hyppääjän eteen pituuskasan toiselle puolelle. Tässä tutkimuksessa tutka oli hyppääjän takana, mutta erittäin pitkällä kilpailuvauhdeilla tutka joudutaan sijoittamaan niin kauas hyppääjän taakse, että tähtääminen hyppääjän selkään hänen lähestyessä lankkua vaikeutuu huomattavasti. Onkin ehkä suotavaa asettaa tutka hyppääjän eteen ja kohdistaa se hyppääjän rintaan. Hyppääjän lähestyessä lankkua tähtäämisen pitäisi myös helpottua. Valokennojen käyttö ajan mittausta varten pitäisi olla myös mahdollista kilpailutilanteessa. Tähän voi joutua tosin hankkimaan erillisen luvan, sillä kennot kilpailutilanteessa voivat olla kilpailijoille sekä mahdollisesti myös yleisölle (isommat kisat) häiriöksi. Kennot on hyvä sijoittaa yhden ja kuuden metrin päähän lankkusta mittaaman lentävää viittä metriä. Tämä väli on lähestymisnopeuden kannalta olennaisin kohta mitata aikaa. Lisäksi sitä on käytetty laajasti myös muissa pituushyppymittauksissa, mikä mahdollistaa tulosten vertailua.

Loppuyhteenvedo. Johtopäätöksenä tutkimuksesta voi todeta, että ponnistuksen mallin ei pitäisi mitenkään merkittävästi muuttua eri askelmäärän vauhtijuoksulla, mikäli hyppääjä on fyysisesti valmis kovavauhtisiin hyppysuorituksiin. Lyhyen vauhtijuoksun suoritusmekaniikan mallia voi siis verrata täysivauhtisen hyppysuorituksen malliin, kunhan vauhtijuoksun matka ei vain ole liian lyhyt. Kovemalla vauhdilla kaikki tapahtuu vain paljon nopeammin. Mittausten perusteella voidaan todeta, että tämän testipatteriston suorittaminen harjoituksissa on turvallista ja yksinkertaista hyppääjälle. Sen sijaan mittaajille ja analyysoijille se on työlästä. Testipatteristo on periaatteessa valmis käytäntöön

7 KIITOKSET

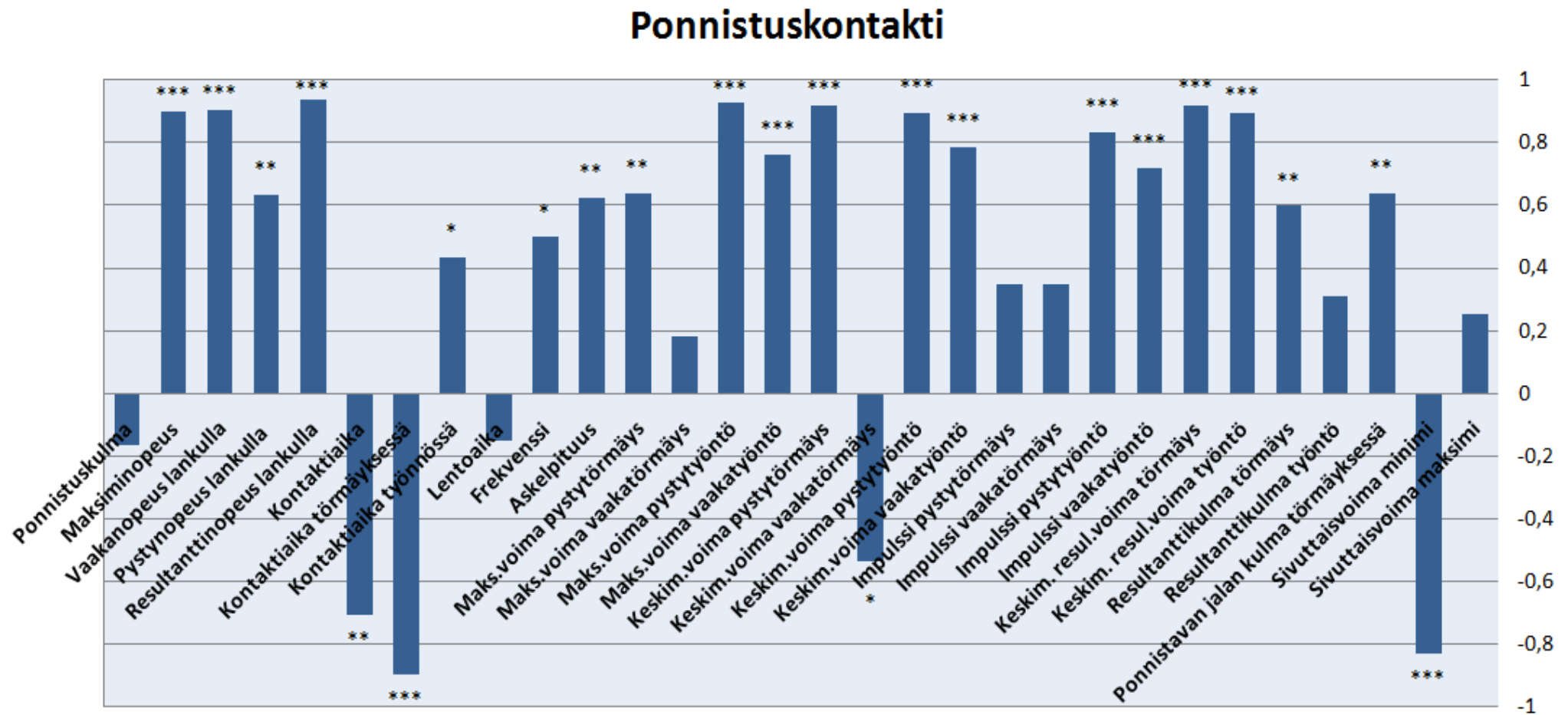
Kiitokset työn ohjaajille, koehenkilöille sekä heidän valmentajilleen kärsivällisyydestä, avusta sekä osallistumisesta tähän yli kaksi vuotta kestäneeseen projektiin. Kiitän lisäksi Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskusta (KIHU) ja Tapani Kerästä LAVEG -mittauslaitteiston lainaamisesta ja pikakurssin antamisesta sekä Markku Ruuskasta ja muuta liikuntabiologian laitoksen henkilökuntaa, jotka avustivat mittausjärjestelyissä.

8 LÄHTEET

- Bradshaw, E.J., Aisbett, B. 2006. Visual guidance during competition performance and run-through training in long jumping. *Sports Biomechanics* 5 (1), 1
- Bridgett, L., Linthorne, N.P. 2006. Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences* 24 (8), 889
- Durnin, J. & Rahaman, M. 1967. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition* 21, 681
- Enoka, R. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Champaign, IL: Human kinetics.
- Graham-Smith, P., Lees, A. 2005. A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Sciences* 23 (9), 891
- Hilliard, C. 2007. Technical preparation and coaching drills for the long jump. *Modern Athlete & Coach* 45 (3), 7
- Keränen, T. 2009. Suomalaisten miesten ja naisten vauhdinjuoksunopeudet pituushypyssä. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, Jyväskylä. www.kihu.fi. Luettu 10.11.2009.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K., Kallinen, M. 2004. *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntalääketieteellinen Seura ry, Helsinki
- Kyröläinen, H. 1987. Hermolihasjärjestelmän toiminta pituushypyssä kahden viimeisen askeleen aikana. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu-työ.
- Lees, A., Graham-Smith, P., Fowler, N. 1994. A biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and takeoff characteristics of the men's long jump. *Journal of Applied Biomechanics* 10 (1), 61
- Linthorne, N.P., Guzman, M.S., Bridgett, L.A. 2005. Optimum take-off angle in the long jump. *Journal of Sports Sciences* 23 (7), 703
- Linthorne, N.P. 2007. Biomechanics of the long jump. Teoksessa Hong, Y. & Bartlett, R. (toim.) *Routledge Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*. Routledge, London, 340–353.
- Mendoza, L., Nixdorf, E., Isele, R., Günther, C. 2009. *Biomechanics Report World Championships 2009 Berlin*. Deutscher Leichtathletik-Verband, Germany. www.iaaf.org. Luettu 8.1.2010.
- Mero, A. & Komi, P.V. 1986. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at

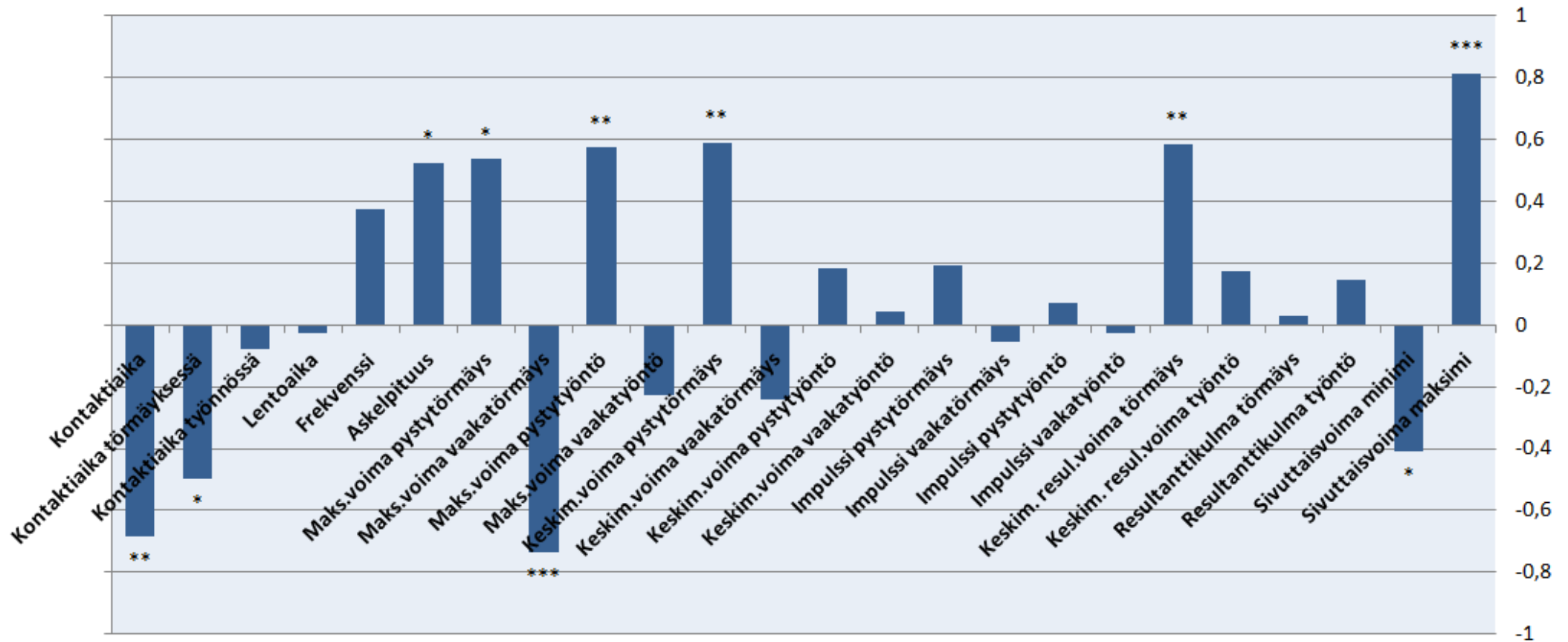
- submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology* 55, 553-561.
- Mackenzie, R.J. 2008. Why the long jump takeoff foot must be planted far in front of the body. *Track Coach* 184, 5877
- Muraki, Y., Ae, M., Yokozawa, T., Koyama, H. 2005. Mechanical properties of the take-off leg as a support mechanism in the long jump. *Sports Biomechanics* 4 (1), 1-15
- Seyfarth, A., Friedrichs, A., Wank, V., Blickhan, R. 1999. Dynamics of the long jump. *Journal of Biomechanics* 32, 1259-1267
- Tidow, G. 1989. Model technique analysis sheet for the horizontal jumps – the long jump. *New Studies in Athletics* 3, 47 – 62
- Von Gerich, S., Kyröläinen, H. 1988. *Pituushyppy, kolmiloikka*. Suomen Urheiluliitto. Painokaari Oy, Helsinki.
- Walsh, M.S., Böhm, H., Butterfield, M.M., Santhosam, J. 2007. Gender bias in the effects of arms and countermovement on jumping performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(2), 362–366
- Weidner, H., Dickwach, H. 1989. Characteristics of the long jump technique. *Der Leichtathlet* 27

LIITE 1. VIIMEISTEN ASKELTEN KORRELAATIOKERTOIMET HYPPYPITUUTEEN



KUVIO. Ponnistuskontaktin sekä vauhtijuoksun muuttujien korrelaatiokertoimet hyppypituuteen (n = 18). Tilastollisesti merkitsevä kerroin on merkitty tähdillä (***) $p < 0,001$, **) $p < 0,01$, *) $p < 0,05$)

Ponnistusta edeltävä askelkontakti



KUVIO. Ponnistusta edeltävän askelkontaktin muuttujien korrelaatiokertoimet hyppypituuteen (n = 18). Tilastollisesti merkitsevä kerroin on merkitty tähdillä (***) $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$)

LIITE 2. KOEHENKILÖIDEN REAKTIOVOIMADATA (suoritusten hyppypituudet löytyvät liitteestä 3)

AM 8 askelta	Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nssi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaisvoimat (N)			
	kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi		
1.	4. viim. as	118	13	105			1,9	1444	-657	2200	497	934	-291	1427	306	14	-4	147	32	978	1459	72,7	77,9				
	3. viim. as	117	33	84	128	4,08	1,89	2038	-750	2095	539	1318	-138	1402	329	44	-5	116	27	1325	1440	84	76,8				
	2. viim. as	124	35	89	148	3,68	2,13	3270	-677	1817	407	1875	-44	1100	238	69	-2	93	20	1875	1125	88,7	77,8	78,3	-466	475	
	ponnistus	142	91	51	72	4,67	1,94	6499	-2188	2166	411	2690	-796	1068	249	245	-72	54	12	2797	1096	74	76,9	71,4	-763	1004	
2.	4. viim. as	114	11	103	144	3,88	1,91	1501	-597	2051	549	1053	-227	1348	349	13	-3	139	36	1077	1392	77,8	75,5				
	3. viim. as	118	35	83	113	4,33	1,79	1811	-681	1878	529	1261	-106	1249	336	42	-4	104	28	1265	1293	85,2	74,9				
	2. viim. as	127	48	79	135	3,82	2,08	3624	-745	1761	426	1836	-83	1036	272	90	-4	83	22	1837	1071	87,4	75,3	78,4	-622	863	
	ponnistus	140	87	52	78	4,59	1,94	6724	-2168	2269	412	2578	-702	1119	265	224	-61	59	14	2672	1150	74,8	76,7	72,1	-888	626	
AM 12 askelta	Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nssi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaisvoimat (N)			
	kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi		
1.	4. viim. as	112	35	78			2,07	2302	-574	2178	501	1584	-106	1326	318	57	-4	102	24	1587	1364	86,2	76,5				
	3. viim. as	107	40	67	127	4,27	2,1	2347	-871	1912	496	1619	-142	1079	290	66	-6	73	19	1625	1115	85	75,5				
	2. viim. as	120	59	61	140	3,85	2,28	4689	-1170	1713	323	1865	-312	881	191	110	-18	55	12	1891	901	80,5	77,8	76	-683	1056	
	ponnistus	132	81	51	83	4,65	1,97	5329	-1994	2081	395	2452	-713	1000	259	206	-60	48	12	2554	1033	73,8	75,5	69,5	-716	743	
2.	4. viim. as	109	38	71			2,05	2454	-837	2116	464	1686	-106	1188	271	59	-4	89	20	1689	1218	86,4	77,2				
	3. viim. as	105	42	63	114	4,57	1,98	1959	-907	1721	416	1458	-214	988	249	61	-9	62	16	1474	1018	81,7	75,9				
	2. viim. as	120	52	68	133	3,95	2,21	4278	-1143	1693	356	1799	-286	839	205	94	-15	60	15	1822	864	81	76,3	75	-583	1026	
	ponnistus	140	91	52	71	4,74	1,94	6927	-2859	2125	398	2690	-880	1010	254	245	-80	52	13	2830	1041	71,9	75,9	67,6	-765	1230	
AM 16 askelta	Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nssi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaisvoimat (N)			
	kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi		
1.	4. viim. as	105	37	68			2,17	2224	-766	2123	482	1588	-177	1224	302	56	-8	87	21	1598	1261	83,6	76,1				
	3. viim. as	104	44	60	116	4,55	2,09	2323	-915	1801	431	1644	-231	975	259	74	-10	58	16	1660	1008	82	75,1				
	2. viim. as	115	49	66	136	3,98	2,28	4323	-1233	1622	373	1811	-280	898	230	91	-14	58	15	1832	927	81,2	75,6	74,2	-550	970	
	ponnistus	144	88	56	74	4,59	1,98	6392	-2768	2127	365	2549	-839	974	235	224	-74	54	13	2683	1002	71,8	76,4	66,58	-722	1190	
2.	4. viim. as	108	40	68			2,18	2556	-822	2105	486	1663	-169	1663	311	80	-8	72	20	1671	1184	84,2	74,8				
	3. viim. as	106	41	65	118	4,46	2,13	2151	-964	1746	429	1526	-228	1526	266	64	-10	59	16	1543	1008	81,5	74,7				
	2. viim. as	123	55	68	130	3,95	2,28	5322	-1611	1685	322	1970	-409	851	190	108	-22	54	12	2012	872	78,3	77,4	73,16	-702	1273	
	ponnistus	132	85	47	78	4,76	2,05	7613	-3151	2159	409	2703	-892	1064	277	235	-78	50	13	2846	1099	71,74	75,4	67,51	-731	1028	
lentävä 5m	1. askel	110	51	59			2,17	2305	-1048	2067	490	1722	-240	1069	294	88	-12	67	19	1738	1108	82,1	74,6				
	2. askel	100	40	60	130	4,35	2,22	2460	-1016	2400	514	1760	-251	1366	316	70	-10	85	20	1777	1402	81,9	77				
	3. askel	101	41	60	132	4,29	2,2	2287	-987	2259	542	1687	-271	1343	320	66	-11	85	20	1708	1380	80,8	76,6				
	4. askel	106	42	64	136	4,13	2,25	2613	-929	2158	510	1775	-195	1343	308	78	-9	73	20	1785	1174	83,7	74,8				

NP	Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nssi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaisvoimat (N)		
	kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi	
8 askelta	2. viim. as ponnistus	121	41	80	128	4,01	1,85	1534	-365	1367	252	1095	-82	835	165	45	-3	68	13	1098	851	85,72	78,82	76,62	-176	247
		140	98	42	55	5,13	1,89	4411	-2035	1741	249	2157	-665	746	157	209	-64	32	7	2257	762	72,87	78,12	65,23	-488	367
8 askelta	2. viim. as ponnistus	119	45	74	119	4,2	1,81	2089	-477	1582	278	1415	-122	980	176	67	-6	72	13	1420	995	85,07	79,82	77,14	-135	138
		129	89	40	70	5,03	1,73	4812	-1733	1808	266	2249	-609	761	160	200	-54	32	7	2329	777	74,85	78,13	70,19	-409	403
12 askelta	2. viim. as ponnistus	118	47	71	118	4,24	1,9	2866	-442	1485	266	1152	-144	760	153	68	-8	50	10	1161	775	82,87	78,62	81,23	-226	304
		131	92	39	60	5,24	1,72	5186	-2414	1717	241	2268	-734	802	164	213	-69	30	6	2383	819	72,07	78,44	65,04	-545	519
12 askelta	2. viim. as ponnistus	116	46	70	125	4,15	1,88	2432	-482	1401	255	1260	-144	754	134	58	-8	53	8	1268	765	83,48	79,92	78,79	-272	232
		137	96	41	56	5,18	1,72	4710	-2522	1820	244	2282	-752	839	143	213	-73	37	6	2402	851	71,76	80,32	61,83	-526	321
16 askelta	2. viim. as ponnistus	116	45	71	112	4,39	1,88	2737	-617	1400	289	1200	-133	630	160	66	-7	41	10	1207	650	83,68	75,75	77,3	-325	280
		135	96	39	67	4,95	1,89	5072	-2894	1807	267	2291	-784	780	165	220	-75	34	7	2421	797	71,11	78,06	60,29	-650	375
16 askelta	2. viim. as ponnistus	111	44	67	119	4,35	1,9	2321	-643	1315	247	1136	-143	688	144	52	-7	49	10	1145	703	82,83	78,18	74,52	-295	234
		124	85	39	63	5,35	1,75	5405	-2738	1772	305	2281	-739	722	193	201	-65	30	8	2397	747	72,05	75,03	63,13	-551	429

NP keskiarvoistetut tulokset	Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nssi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)				
	kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys		
8 askelta	4. viim. as	113	43	71	160	3,67	1,96	2064	-545	2082	428	1340	-168	1253	258	59	-8	88	18	1351	1279	82,9	78,3		
	3. viim. as	110	33	78	139	4,03	1,82	1733	-571	1793	478	1044	-131	1141	280	35	-4	90	22	1052	1175	82,9	76,2		
	2. viim. as	120	43	77	124	4,11	1,83	1811	-421	1475	265	1255	-102	908	171	56	-5	70	13	1259	923	85,4	79,3	76,9	
	ponnistus	135	94	41	63	5,08	1,71	4612	-1884	1775	258	2203	-637	754	159	205	-59	32	7	2293	770	73,9	78,1	67,7	
12 askelta	4. viim. as	106	44	62	154	3,87	2,05	2113	-643	2115	410	1480	-191	1221	238	63	-9	80	15	1492	1243	82,9	79		
	3. viim. as	107	34	73	132	4,2	1,88	1780	-645	1781	451	1157	-143	1115	275	39	-6	81	19	1165	1145	83	76,8		
	2. viim. as	118	47	71	122	4,2	1,89	2649	-462	1443	261	1206	-144	757	144	63	-8	52	9	1215	770	83,2	79,3	80	
	ponnistus	134	94	40	58	5,21	1,72	4948	-2468	1769	243	2275	-743	821	154	213	-71	34	6	2393	835	71,9	79,4	63,4	
16 askelta	4. viim. as	104	40	64	142	4,09	2,01	1987	-729	1988	395	1339	-215	1145	229	54	-9	74	15	1355	1167	81	78,7		
	3. viim. as	105	38	67	117	4,51	1,88	1773	-717	1575	398	1242	-128	915	237	49	-5	63	16	1248	945	84,1	75,5		
	2. viim. as	114	45	69	116	4,37	1,89	2529	-630	1358	263	1168	-138	659	152	59	-7	45	10	1176	677	83,3	77	75,9	
	ponnistus	130	91	39	65	5,15	1,82	5239	-2794	1790	286	2286	-744	751	179	211	-70	32	8	2409	772	71,6	76,5	61,7	
lentävä 5n	1. askel	92	34	58	124	4,63	1,95	1918	-790	1917	406	1318	-211	1115	238	45	-7	67	14	1334	1140	80,9	77,95		
	2. askel	100	40	60	114	4,67	1,91	1895	-890	1820	449	1349	-215	1041	253	55	-9	64	15	1366	1071	80,94	76,33		
	3. askel	96	37	59	122	4,59	1,93	1933	-744	1893	429	1271	-222	1121	251	46	-8	66	15	1290	1148	80,09	77,38		
	4. askel	100	40	60	119	4,57	1,98	1903	-940	1772	431	1323	-249	962	251	52	-10	59	15	1346	994	79,34	75,37		

SL 8 askelta		Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nsi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaivoimat (N)	
		kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi
1.	4. viim. as	134	44	90	121	3,92	1,63	1731	-295	1807	526	1191	-90	1157	306	54	-4	103	27	1194	1197	85,7	75,2			
	3. viim. as	130	41	89	128	3,88	1,74	1517	-419	1631	506	1165	-61	1151	305	47	-2	94	27	1167	1191	87	75,2			
	2. viim. as	128	56	72	137	3,77	1,9	2299	-319	1506	409	1334	-133	853	233	76	-8	61	17	1341	884	84,3	74,7	82,1	-325	198
	ponnistus	148	107	41	79	4,41	1,76	5059	-2655	1239	241	2098	-745	462	141	225	-80	19	6	2226	483	70,5	73	62	-476	769
2.	4. viim. as	134	47	86	121	3,92	1,68	1723	-282	1780	484	1276	-80	1132	287	60	-4	96	24	1279	1168	86,4	75,8			
	3. viim. as	127	44	83	136	3,8	1,76	1564	-443	1605	459	1195	-73	1022	266	53	-3	87	23	1197	1056	86,5	75,4			
	2. viim. as	136	58	78	123	3,86	1,8	2186	-307	1466	381	1289	-128	886	221	76	-8	69	17	1295	913	84,3	76	82	-409	131
	ponnistus	157	113	44	75	4,31	1,79	5004	-2597	1474	251	1912	-682	644	149	216	-77	28	7	2030	661	70,4	77	62,6	-461	629
SL 12 askelta		Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nsi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaivoimat (N)	
		kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi
1.	4. viim. as	122	45	77	133	3,92	1,84	1984	-471	1994	499	1462	-150	1130	266	66	-7	88	21	1470	1161	84,1	76,8			
	3. viim. as	124	53	71	115	4,18	1,84	1684	-715	1696	457	1338	-191	1036	271	71	-10	74	19	1352	1071	81,9	75,3			
	2. viim. as	132	62	70	134	3,76	2,05	3329	-591	1434	396	1340	-220	802	202	83	-14	55	14	1358	827	80,7	75,9	79,9	-434	148
	ponnistus	155	109	46	74	4,37	1,79	5120	-2972	1352	280	2029	-769	547	166	219	-83	25	8	2170	572	69,2	73,1	59,9	-484	736
2.	4. viim. as	122	50	72	130	3,97	1,88	1949	-511	1941	485	1520	-147	1138	280	76	-7	82	20	1528	1172	84,5	76,2			
	3. viim. as	120	50	70	131	3,98	1,9	1708	-747	1659	433	1388	-172	988	257	69	-9	68	18	1399	1021	82,9	75,4			
	2. viim. as	132	60	72	130	3,82	1,97	3068	-545	1424	385	1300	-192	775	195	78	-12	56	14	1314	799	81,6	75,9	79,9	-439	155
	ponnistus	151	108	43	75	4,42	1,8	5473	-3173	1361	257	2044	-752	603	174	221	-81	25	7	2178	628	69,8	73,9	59,9	-391	819
SL 16 askelta		Kontaktiaika (ms)			Lentoai ka (ms)	Frekve nsi	Askelpi tuus	Maks. voima (N)				Kesk. voima (N)				Impulssit (Ns)				Kesk. resultanttivoim		Resultanttikulma (°)			Sivuttaivoimat (N)	
		kokonais	törmäys	työntö				pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	pystytör mäys	vaakatö rmäys	pystyty öntö	vaakaty öntö	törmäys	työntö	keskim. törmäys	keskim. työntö	maks. törmäys	minimi	maksimi
1.	4. viim. as	120	52	68	134	3,94	1,97	1998	-577	2008	504	1555	-193	1175	306	81	-10	79	20	1567	1214	82,9	75,4			
	3. viim. as	122	58	64	126	4,03	1,95	1728	-809	1617	428	1362	-262	905	247	78	-15	58	16	1387	938	79,1	74,7			
	2. viim. as	136	72	64	130	3,76	2,09	2975	-678	1371	324	1377	-285	723	165	101	-21	46	11	1406	742	78,3	77,1	77,2	-418	111
	ponnistus	158	112	45	78	4,27	1,85	4983	-2838	1485	255	1881	-708	667	163	213	-80	30	7	2010	687	69,4	76,3	60,3	-443	799
2.	4. viim. as	115	53	62	130	4,08	1,95	2210	-662	2003	434	1697	-194	1113	268	90	-10	68	16	1708	1145	83,5	76,5			
	3. viim. as	117	53	64	133	4	1,98	1811	-939	1682	400	1497	-233	962	240	79	-12	62	15	1515	991	81,2	76			
	2. viim. as	125	60	65	146	3,89	2,13	4154	-673	1415	355	1481	-288	769	164	89	-17	50	11	1509	786	79	78	80,8	-517	218
	ponnistus	153	107	46	80	4,29	1,83	5713	-3430	1405	259	1989	-755	630	164	213	-81	29	8	2127	651	69,2	75,4	59	-328	842
lentävä 5m	1. askel	122	56	66	125	4,05	1,93	1846	-835	1846	429	1382	-274	997	251	76	-15	66	17	1409	1028	78,8	75,9			
	2. askel	118	57	61	119	4,22	1,93	1741	-847	1736	417	1397	-287	922	248	80	-16	56	15	1426	955	78,4	74,9			
	3. askel	124	62	62	118	4,13	1,9	1767	-928	1748	450	1423	-330	954	269	88	-20	59	17	1461	991	76,9	74,3			
	4. askel	121	55	66	128	4,02	2	1956	-685	1757	473	1433	-200	950	283	79	-11	63	19	1447	991	82	73,4			

LIITE 3. KOEHENKILÖIDEN NOPEUDET

AM	pituus (m)	Ponnistuskulma (°)	lentävä 6-1m (s)	Nopeus 11m (m/s)	Nopeus 11-6m (m/s)	Nopeus 6m (m/s)	Nopeus 6-1m (m/s)	Nopeus 1m (m/s)	Nopeus lankulla (m/s)	Maksimi nopeus (m/s)	Pystynopeus lankulla (m/s)	Resulttinopeus lankulla (m/s)
8 askelta												
1.	6,01	23,7	0,659	5,7	6,6	7,5	7,7	7,7	7,33	8,14	3,22	8,01
2.	6,09	21,7	0,618	5,58	6,48	7,38	7,83	7,83	7,68	8,07	3,06	8,27
12 askelta												
1.	6,2	17,7	0,567	7,82	8,17	8,52	8,73	8,49	7,79	8,97	2,49	8,18
2.	6,5		0,549								3,04	
16 askelta												
1.	6,36	18,6	0,508	8,93	8,96	9	9,2	8,93	8,24	9,41	2,78	8,7
2.	6,67	18,5	0,518	8,73	8,96	9,2	9,2	8,83	8,36	9,51	2,8	8,82
lentävä 5m			0,524			9,49	9,49	9,49		9,74		

NP	pituus (m)	Ponnistuskulma (°)	lentävä 6-1m (s)	Nopeus 11m (m/s)	Nopeus 11-6m (m/s)	Nopeus 6m (m/s)	Nopeus 6-1m (m/s)	Nopeus 1m (m/s)	Nopeus lankulla (m/s)	Maksimi nopeus (m/s)	Pystynopeus lankulla (m/s)	Resulttinopeus lankulla (m/s)
8 askelta												
1.	5,42	25,4	0,682	6,05	6,62	7,18	7,54	7,4	6,11	7,77	2,9	6,76
2.	5,37	24,5	0,686	6,77	6,83	7,2	7,5	7,62	6,54	7,8	2,98	7,19
12 askelta												
1.	5,73	19,9	0,63	7,6	7,8	8	8,23	8	7,8	8,5	2,82	8,29
2.	5,78		0,625								2,94	
16 askelta												
1.	5,98	20,3	0,593	7,9	8,07	8,42	8,6	8,44	7,8	8,86	2,89	8,32
2.	5,93	18,2	0,609	7,8	8,07	8,23	8,43	8,52	7,8	8,59	2,57	8,21
lentävä 5m			0,58			8,7	8,81	8,92		8,96		

SL	pituus (m)	Ponnistuskulma (°)	lentävä 6-1m (s)	Nopeus 11m (m/s)	Nopeus 11-6m (m/s)	Nopeus 6m (m/s)	Nopeus 6-1m (m/s)	Nopeus 1m (m/s)	Nopeus lankulla (m/s)	Maksimi nopeus (m/s)	Pystynopeus lankulla (m/s)	Resulttinopeus lankulla (m/s)
8 askelta												
1.	4,54	22,5	0,719	3,88	5	6,12	6,53	6,93	6	6,94	2,49	6,5
2.	4,55	24,3	0,728	3,94	5,05	6,15	6,65	6,83	5,99	7,06	2,71	6,57
12 askelta												
1.	4,77	18,7	0,641	6,69	7	7,31	7,46	7,35	6,47	7,58	2,19	6,83
2.	4,9	18,3	0,638	6,59	6,91	7,23	7,45	7,5	6,68	7,7	2,21	7,04
16 askelta												
1.	4,83	17,6	0,661	7,45	7,52	7,6	7,66	7,54	6,67	7,87	2,12	7
2.	4,79	17,8	0,616	7,41	7,48	7,55	7,75	7,58	6,73	7,88	2,16	7,22
lentävä 5m			0,625			7,8	7,87	7,94		8,05		