

**KEIHÄÄNHEITTO SUORITUKSEN BIOMEKAANISET
MUUTTUJAT JA NIIDEN YKSILÖLLISYYS KAHDEN ERI
HEITTÄJÄN SUORITUKSISSA**

Riku Valleala

Pro gradu –tutkielma

Biomekaniikka

Kevät 2002

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Riku Valleala. 2002. Keihäänheittosuorituksen biomekaaniset muuttujat ja niiden yksilöllisyys kahden eri heittäjän suorituksissa. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 70 sivua.

Keihäänheitossa heiton pituuteen vaikuttavat ratkaisevimmin keihään lähtökulma, lähtökorkeus sekä lähtönopeus. Heittosuorituksen tärkeimmän osan muodostaa heiton vetovaihe, jonka aikana heittäjä tuottaa suurimman osan keihään lähtönopeudesta. Vetovaiheen aikana heittäjän tulee muuttaa suuri horisontaalinen nopeutensa tukijalan törmäyksen sekä lantion ja ylävartalon oikea-aikaisen toiminnan kautta keihääseen kohdistuvaksi energiaksi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää heittäjän alavartalon liikeratoja ja voimantuottoa, vartalon asentoja ja heittokäden lihasaktiivisuuksia sekä näiden yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Lisäksi pyrittiin tuomaan esille keihäänheittotekniikan yksilöllisyyttä eri heittäjien välillä. Mittausvaiheessa kaksi mieskeihäänheittäjää (ennätykset JKV: 77,95 m, KKI: 85,96 m) tekivät kumpikin vähintään 10 normaalia submaksimaalista heittosuoritusta sisähallissa heittopressuun. Suorituksista mitattiin heittoalustan reaktiivoimat voimalevyantureilla kolmessa suunnassa kahden viimeisen heittoaskeleen ajalta kummallekin jalalle erikseen. Lisäksi suoritukset kuvattiin kahdella high speed –kameralla (200 Hz) heittosuoritukseen nähden sivusta ja edestä ylhäältä kolmiulotteisen liikeanalyysin suorittamiseksi. Heittosuoritusten ajalta taltioitiin lisäksi lihasaktiivisuudet pintaelektrodeilla viidestä ylävartalon lihaksesta, jotka olivat palmaris longus, biceps brachi, triceps brachi, anterior deltoideus ja pectoralis major. Liikeanalyysiin sekä keihään lähtönopeuden ja muiden muuttujien välisen yhteyden selvittämiseen valittiin kuusi onnistunutta heittosuoritusta kummaltakin heittäjältä. Keihään lähtönopeudet olivat keskimäärin JKV:llä $24,3 \pm 0,9$ m/s ja KKI:llä $24,9 \pm 0,8$ m/s. Tukijalan keskimääräinen maksimaalinen resultanttivoima oli JKV:llä 8606 ± 634 N ja KKI:llä 8250 ± 573 N. Ristiaskeljalan vastaavat arvot olivat 4460 ± 1548 N ja 3114 ± 415 N. Heittäjälle JKV oli tyypillistä kehon massakeskipisteen nopeuden vähäinen lasku vetovaiheessa, millä oli merkitsevä yhteys ($r = -.89$; $p < .05$) keihään lähtönopeuteen. Lisäksi hänen heitoissaan vartalon takanojan suuruudella ristiaskeljalan tullessa maahan oli merkitsevä yhteys keihään vetoradan suurimpaan sivuttaispoikkeamaan ($r = .83$; $p < .05$) ja keihään lähtönopeuteen ($r = -.87$; $p < .05$). Ylävartalon lihasaktiivisuuks-

sista bicepsin esiaktiivisuus ($r = -.90$; $p < .05$) ja deltoideuksen vetovaiheen aikainen aktiivisuus ($r = -.93$; $p < .01$) korreloivat niin ikään keihään lähtönopeuteen. Heittäjälle KKI oli tyypillistä tukijalan pystyvoiman suuri törmäysvoimapiikki ja heittokäden toiminnan selkeä merkitys vetovaiheessa keihään kiihdyttämiseen. Vetoasentoon tultaessa keihään ja tukijalan maahantulokohdan välinen horisontaalinen etäisyys korreloi tukijalan maksimaaliseen resultanttivoimaan ($r = -.90$; $p < .05$), joka oli puolestaan yhteydessä tukijalan työntövoimaan ($r = .49$; $p < .05$). Tukijalan työntövoima sen sijaan korreloi positiivisesti keihään lähtönopeuteen ($r = .86$; $p < .05$). Lisäksi heittokäden kyynärpään laajalla liikkeellä vetovaiheessa (kyynärkulman minimi: $r = -.83$; $p < .05$ ja kulma keihään irrotushetkellä: $r = .81$; $p = .05$) oli keihään lähtönopeutta lisäävä vaikutus. Johtopäätöksenä voidaan todeta keihään lähtönopeuteen vaikuttavan keihäänheitossa useita biomekaanisia muuttujia, jotka ovat lisäksi erittäin yksilöllisiä luonteeltaan sekä vaikutukseltaan.

Avainsanat: keihäänheitto, biomekaniikka, reaktiovoima, lihasaktiivisuus, tekniikka, nivelmomentti.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	KEIHÄÄNHEITON PERUSTEKNIikka	6
2.1	Vauhti.....	6
2.2	Heittoaskeleet.....	7
2.3	Vetovaihe	9
3	KEIHÄÄNHEITTOsuorituksen BIOMEKAANiset TEKIjät	11
3.1	Etenemisnopeus	11
3.2	Törmäysvoimat	12
3.3	Segmenttien biomekaniikka	14
3.3.1	Vetoasento	15
3.3.2	Kineettinen ketju	16
3.3.4	KulmamuuTokset ja -nopeudet.....	19
3.3.5	Heittokäden voimantuotto	21
3.3.6	Lihasakiivisuusdet	22
3.4	Venymis-lyhenemissyklus	24
5	KEIHÄÄN LENTO	26
5.1	Lähtönopeus	26
5.2	Kulmaominaisuusdet	27
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	29
7	TUTKIMUSONGELMAT.....	30
8	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	30
8.1	Tutkimusasetelma	30
8.2	Koehenkilöt.....	31
8.3	Datan kerääminen	32
8.3.1	Liikeanalyysi	32

8.3.2	Heittoalustaan kohdistuneet voimat	32
8.3.3	Lihasktiivisuudet	33
8.4	Datan analysointi	34
8.4.1	Liikeanalyysi, voimamuuttujat sekä lihasaktiivisuudet.....	34
8.4.2	Tilastolliset menetelmät	35
9	TULOKSET	36
9.1	Kineettinen ketju – nivelpisteiden nopeudet.....	36
9.2	Vartalon asennot ja kulmat vetovaiheen aikana.....	40
9.3	Keihään lähtöominaisuudet.....	43
9.4	Tukijalan toiminta ja maan reaktivoimat	43
9.4	Heittokäden lihasaktiivisuudet ja kulmamuuttujat.....	49
10	POHDINTA	53
10.1	Kineettinen ketju – nivelpisteiden nopeudet.....	53
10.2	Vartalon asennot ja kulmat	55
10.3	Keihään lähtöominaisuudet.....	57
10.4	Alavartalon toiminta ja maan reaktivoimat.....	57
10.5	Ylävartalon toiminta ja lihasaktiivisuudet	61
10.6	Tulosten kriittinen tarkastelu	63
10.7	Yhteenveto	64
	LÄHTEET.....	66
	LIITE 1. Käänteisen dynamiikan laskukaavat	70

1 JOHDANTO

Keihäänheitto on räjähtävää voimaa ja nopeutta sekä ennen kaikkea taitavuutta vaativa laji. Heittosuorituksen aikana heittäjän on pystyttävä muuntamaan suuri vaakasuuntainen etenemisnopeus mahdollisimman suureksi keihään lähtönopeudeksi. Heiton tärkein vaihe eli vetovaihe tapahtuu ainoastaan 0,1 – 0,15 sekunnin aikana. Näin lyhyen ja suurin liikenopeuksia sisältävän ajanjakson tarkastelu pelkällä valmentajan silmällä ei ole aukotonta. Tekniikan analysoimiseksi ja parantamiseksi tarvitaankin avuksi erilaisia kehittyviä teknisiä menetelmiä.

Heittäjän suorituksen analysoinnin tarkkuutta voidaan lisätä muun muassa kaksi- tai kolmedimensionaalisen liikeanalyysin avulla. Liikeanalyysi mahdollistaa heittosuorituksen erilaisten kineettisten muuttujien tarkan analysoinnin. Keihäänheitto vaatii suorituksena erittäin tarkasti koordinoitua lihasten toimintaa, joiden selvittämiseen voidaan käyttää lihasten sähköisen aktiivisuuden mittaamista heittosuorituksen aikana. Tämän suuntaisia lihasaktiivisuuksien mittauksia on kuitenkin tehty vielä yllättävän vähän muutamaa tutkimusta lukuun ottamatta (Salchenko & Smirnov 1977, Korjus 1988). Keihäänheittäjä tuottaa heittosuorituksen aikana erittäin suuria voimia heittoalustaa kohti. Maahan kohdistuneiden voimien mittaaminen ja analysointi antaa niin ikään arvokasta lisätietoa heittäjän liikemäärästä ja sen muuttamisesta keihään lähtönopeudeksi.

Keihäänheitto on räjähtävän luonteensa lisäksi myös hyvin vahvasti tekniikka- ja taitolaji. Ihanteellisesta heittotekniikasta huolimatta jokaisella heittäjällä on yksilöllisiä piirteitä tekniikassaan. Eri heittäjillä heiton onnistumiseen voivat vaikuttaa hyvinkin eri tekijät. Tätä olettamusta tukee se, että lähes kymmenen vuoden tekniikkaseurannassa suomalaisilla huippuheittäjillä ei löydetty ryhmätasolla yhtään heiton pituuteen merkittävästi korreloivaa biomekaanista muuttujaa. Sen sijaan useita yksilöllisellä tasolla korreloivia tekijöitä löydettiin. (Norvapalo ym. 2000.) Tämä osaltaan tukee tarkkaa tekniikka-analyysiä, joka kohdistuu nimenomaan yksilöihin ja yksilöllisten heittotekniikoiden erityispiirteisiin.

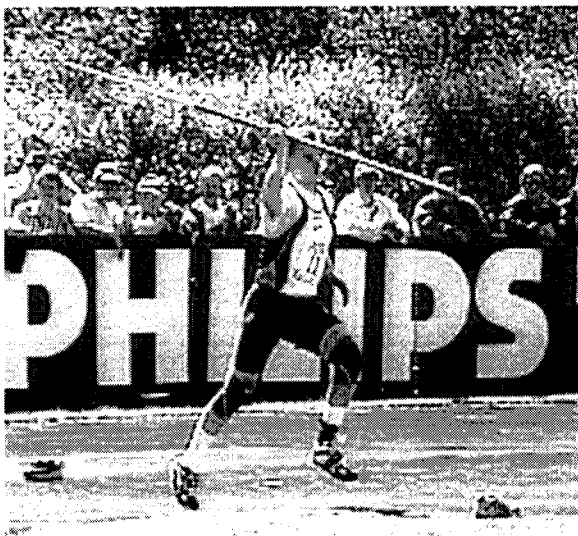
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää heittäjän alavartalon toimintaa ja voimantuottoa, vartalon asentoja ja heittokäden lihasaktiivisuuksia sekä näiden yhteyttä

keihään lähtönopeuteen. Lisäksi pyrittiin erilaisten muuttujien avulla tuomaan esille keihäänheittotekniikan yksilöllisyyttä eri heittäjien välillä.

2 KEIHÄÄNHEITON PERUSTEKNIikka

2.1 Vauhti

Vauhdin pituuden suhteen on yksilöllisiä eroja eri heittäjien välillä ja siinä lähtekö heittäjä liikkeelle rauhallisesti kävellen vai mahdollisimman nopeasti vauhtiaan kiihdyttäen. Tärkeintä kuitenkin on, että heittäjä ottaa vauhtia siten, että hän pystyy kiihdyttämään vauhtiaan vielä heittoaskelten aikana ja suorittamaan vedon kiihtyvistä vauhdista. Alkuvauhdin tulee olla helppoa, rentoa ja rytmikästä, jotta siirtyminen heittoaskeliin voi tapahtua luontevasti. Oikea juoksuasento; lantio ylhäällä, rinta pyöreänä ja ryhdikäs asento, auttaa siirtymisessä heittoaskeliin. Vauhdin pituudet vaihtelevat 20 – 35 metrin välillä. Keihään kannon tulisi myötäillä rentoa ja rytmikästä juoksua mahdollisimman pehmeästi. Kannossa on etenkin huomioitava, että keihästä kannetaan lähellä korvaa, olkapään yläpuolella ja käden tulee myötäillä keihään liikkeitä vauhdin aikana. Keihään kärki osoittaa kannettaessa heittosuuntaan yleensä joko vaakatasossa tai kärki hieman alaviistoon osoittaen (kuva 1). (Utriainen 1987.)



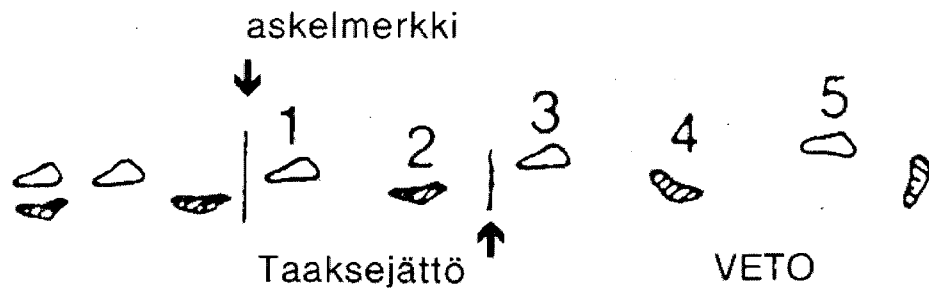
KUVA 1. Keihään kanto. (Norvapalo 2000).

Dmitrusenkon (1987) mukaan alkuvauhdin aikana heittäjän tulisi saavuttaa noin 2/3 maksimaalisesta vauhdistaan tasaisella vauhdin kiihdytyksellä. Askeltiheyden tulisi lisääntyä lähestyttäessä askelmerkkiä, jolta aloitetaan heittoaskeleet. Vauhti on tällöin noin 6 - 8 m/s, mutta se ei saisi kuitenkaan ylittää jokaiselle yksilölle optimaalisinta vauhtia, koska tällöin heittotekniikka ja liikkeen rytmi saattavat kärsiä.

2.2 Heittoaskeleet

Heittoaskelten tulee edetä eteenpäin mahdollisimman luontevasti ja rytmikkäästi. Rytmikin on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista keihäänheitossa. Rytmittämällä on merkitystä myös vauhdin kiihtymisen kannalta heittoaskelten aikana. Heittoaskelten alussa keihäs jätetään taakse ja samalla kierrytään heittokäden vastakkainen olkapää eteen ja jatketaan etenemistä kylki edellä. Heittäjän massakeskipisteen horisontaalista nopeutta pyritään lisäämään aktiivisella oikean jalan toiminnalla. (Dmitrusenko 1987.) Keihäs pyritään pitämään heittoaskelten aikana mahdollisimman kaukana takana, kuitenkin asennon tulee olla rento (Utriainen 1987).

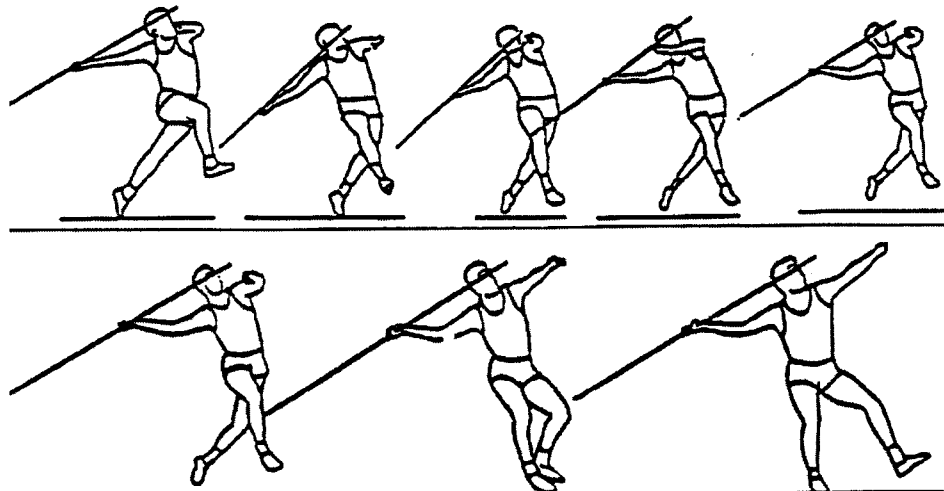
Heittoaskeleet muodostuvat yleensä joko 4, 5 tai 6 askeleen heittorytmistä. Tämä tarkoittaa askelten lukumäärää heittoaskelten aikana. Yleisimmin käytetään 5 askeleen heittotekniikkaa. Kyseinen tekniikka on käytännössä aloittelijallekin helpoin oppia. Nykyään varsinkin maailman huippuheittäjistä muutamat käyttävät ns. useamman askeleen tekniikkaa, jossa edetään keihäs takana ja kylki heittosuuntaan 6-8 askeleen ajan. 5 askeleen rytmisissä varsinaiset heittoaskeleet aloitetaan askelmerkiltä oikealla jalalla oletuksena, että heittäjä on oikeakätinen (kuva 2). Ensimmäisellä askeleella aloitetaan heiton rytmittäminen ponnistamalla oikealla jalalla voimakkaasti eteenpäin ja samalla aloitetaan keihään taakse jättö. Toisen askeleen aikana (vasen jalka) keihään tulisi olla jo takana suoralla kädellä noin olkapään korkeudella. Edettäessä heittoaskeleissa toiselta kolmannelle (oikealta vasemmalle) työnnetään vasenta jalkaa pitkälle eteenpäin, jotta saataisiin aikaan leveä asento, jolloin kauaksi eteen työnnetty vasen jalka vauhdittaa oikean jalan eteen tuontia ristiaskelhypähdykseen. (Utriainen 1987.)



KUVA 2. 5-askeleen heittorytmi. (Utriainen 1987).

Heittoaskelten toiseksi viimeinen askel eli ristiaskel on heiton tärkein vaihe. Ristiaskel on yleensä heittoaskelten pisin askel ja tukiaskel puolestaan huomattavasti lyhyempi, jolloin päästään nopeasti vetoasentoon menettämättä etenemisnopeutta. Tämä ei kuitenkaan pidä kaikilla heittäjillä paikkaansa. Esimerkiksi maailmanennätyksen omistavalla Jan Zeleznyllä kaikki kolme viimeistä heittoaskelta ovat lähes yhtä pitkiä (190 – 208 cm), mutta tukiaskel on Zeleznylläkin kestoltaan muita askelia lyhyempi (Šimon & Šipka 1994).

Ristiaskeleella pyritään aktiiviseen ja aggressiiviseen hypähdykseen suunnaten se mahdollisimman paljon eteenpäin. Ponnistava jalka – vasen jalka – ojennetaan voimakkaan ponnistuksen seurauksena täydellisesti varpaita myöten. Ponnistuksen tulee olla voimakas sekä nopea. Mitä parempi heittäjä sitä lyhyemmän on todettu vasemman jalan kontaktiajan olevan (Morris ym. 1997). Oikeaa polvea ja vasenta olkapäätä ”syötetään” aktiivisesti eteenpäin, ei liiaksi ylöspäin (kuva 3).



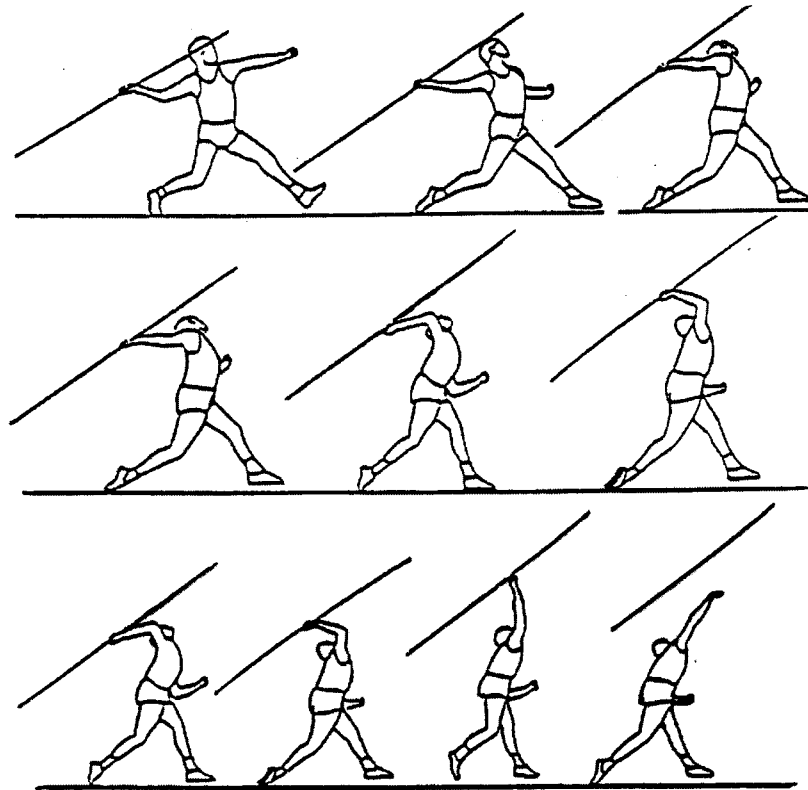
KUVA 3. Keihäänheiton ristiaskel. (Tidow 1996).

Ristiaskeseen aikana heittäjän tulisi vielä yrittää lisätä etenemisnopeuttaan mikäli mahdollista. Heiton onnistumisen kannalta on tärkeää päästä ristiaskeseen jälkeen hyvään ja tasapainoiseen vetoasentoon. Ristiaskeljalka eli oikea jalka tulee maahan noin 30 – 45° heittosuuntaan nähden oikealle kääntyneenä. Välittömästi oikean jalan tultua maahan pyritään aktiivisesti tukijalalle eli vasemmalle jalalle. (Utriainen 1987.) Irvingin (1995) mukaan ristiaskelvaiheessa tulisi erityistä huomiota kiinnittää ristiaskeljalan aktiivisen eteen viennin lisäksi jalan aktiiviseen alas painamiseen, mikä auttaa heittäjää säilyttämään lähestymisnopeutensa tai jopa lisäämään sitä ennen heittoa.

2.3 Vetovaihe

Vetovaiheen alkamisen rajaa on melko vaikeaa vetää, mutta yleisesti ollaan sitä mieltä, että vetovaihe alkaa ristiaskeljalan tultua kokonaan maahan. Useimmissa tutkimuksissa vetovaiheen alkuna pidetään kuitenkin vasta sitä hetkeä, jolloin heittäjän tukijalka osuu maahan. Tukijalan tulisi pysyä vedon aikana mahdollisimman hyvin suorana eli jalka ei saisi pettää polvesta kovinkaan paljon. Itse vedon tulee olla mahdollisimman suoraviivainen kuten kaikkien muidenkin liikkeiden, jotka tapahtuvat tukijalan maahantulon jälkeen. Varsinainen vetoasento saavutetaan, kun tukijalka tulee maahan. Viimeisen askelen eli niin sanotun veto- tai tukiaskeleen pituus on miesheittäjillä keskimäärin 190 – 200 cm (Norvapalo ym. 2000). Nopean vetovaiheen mahdollistamiseksi vartalon painopisteen tulee siirtyä mahdollisimman nopeasti ristiaskeljalta tukijalalle. (kuva 4.)

Keihään tulisi sijaita takana olkapään korkeudella (Utriainen 1987). Keihään laskeutumisen alemmaksi on todettu lisäävän myös sen kiertymistä vastakkaiselle puolelle, mikä puolestaan voi johtaa ei-toivottuun ellipsin omaiseen vetorataan. Riittävän korkealta takaa ja suoralla vedon liikeradalla heitettynä on mahdollista vähentää keihääseen kohdistuvaa poikittaista voimaa ja keihään ylimääräistä värähtelyä lennon aikana. (Morris & Bartlett 1994.) Anatomisesti olkanivelen liikkuvuus on sitä suurempi mitä korkeammalla heittokäden kyynärpää on verrattuna olkapäähän. Korkealla sijaitseva ja sisäkierrossa oleva kyynärpää mahdollistaa suuremman olkapään ulkokierron ja samalla luonnollisemman ja pehmeämmän käden liikeradan. (Ankonina 1975.)



KUVA 4. Keihäänheiton vetovaihe. (Tidow 1996).

Tukijalan maahan tultua vapaalla vasemmalla kädellä avataan rinta ja lyömällä oikea polvi kohti tukijalan kantapäätä aikaansaadaan oikea nilkan, polven ja lantion kääntyminen eteenpäin heittosuuntaan. Heittäjän tulee kuitenkin vielä tässä vaiheessa odottaa kädellä pitäen sitä mahdollisimman kaukana takana pitkän vedon mahdollistamiseksi. Nykyajan huippuheittäjällä vetomatka on keskimäärin 190 cm vaihteluvälin ollessa n. 180 – 210 cm heittäjän mittasuhteista ja heittotekniikasta riippuen (Norvapalo ym. 2000). Vetomatkan pitenemisellä on todettu olevan positiivista vaikutusta keihään lähtönopeuteen ($r = .67, p < .001$. Korjus 1988). Heitto alkaa suurista lihaksista ja jatkuu aaltoliikkeenä alhaalta ylöspäin käteen ja vetoon saakka. Oikea jalka pidetään vedon ajan takana maan tuntumassa. Tällä estetään ilmaan nousu sekä vartalon vasemman puolen taaksepäin kiertyminen vetovaiheen aikana. Vetovaiheen kesto (tukijalan maahan tulosta keihään irtoamiseen) on huippuheittäjillä 0,115 - 0,150 sekuntia. Hyvän tekniikan tunnusmerkkeihin liittyy myös oikea keihään lähtökulma ja hyökkäyskulma sekä rauhallinen, vaappumaton keihään lentoasento. (Utriainen 1987.)

3 KEIHÄÄNHEITTOSUORITUKSEN BIOMEKAANISET TEKIJÄT

3.1 Etenemisnopeus

Heittoaskelten etenemisnopeus vaihtelee paljonkin eri heittäjien kesken, eikä etenemisnopeudella ole todettu olevan selkeää yhteyttä heiton pituuteen (Utriainen 1987). Dmitrusenkon (1987) mukaan, kuten jo aikaisemmin todettiin, heittäjän etenemisnopeus askelmerkille tultaessa on noin 6 – 8 m/s. Heittoaskelten nopeuksia on mitattu muun muassa vuoden 1984 keihäänheiton olympiafinalisteilta saaden miehille nopeudeksi $5,19 \pm 0,62$ m/s. ja naisille $5,41 \pm 0,67$ m/s (Komi & Mero 1985). Vastaavasti vuoden 1976 Olympialaisten keihäänheiton miesfinalisteilla etenemisnopeuksien raportoitiin olleen 7,5 – 9 m/s, minkä paikkansapitävyyttä voidaan varmasti epäillä. Nopeutta heittoaskelten aikana voidaan tuntuvasti lisätä mikäli ne juostaan valmiiksi lantio heittosuuntaan kääntyneenä, mutta tämä voi puolestaan vaikeuttaa itse vetovaihetta ja oikean suoritusmekaniikan säilyttämistä. (Utriainen 1987.)

Utriaisien (1987) mukaan kehon painopisteellä tulisi olla suurin nopeutensa koko heittosuorituksessa tultaessa tukivaiheeseen eli tukijalan osuessa maahan. Kuitenkin etenemisnopeuden menettämistä tapahtuu yleensä jo ristiaskelen ja vetoaskelen välisenä aikana keskimäärin noin 1 m/s riippumatta heittäjän alkunopeudesta. Muun muassa liian voimakas vartalon takanoja tultaessa alas ristiaskeljalalle voi aiheuttaa horisontaalisen nopeuden menettämistä ennen tukijalan maahan tuloa. (Best ym. 1993.) Huippuheittäjien massakeskipisteen nopeudet ovat tukijalan maahan tullessa noin 6 - 7 m/s. (Best ym. 1993). Vastaavat arvot vuoden 1984 Olympialaisten finalisteilla oli miehillä $5,28 \pm 1,02$ m/s ja naisilla $5,36 \pm 0,90$ m/s (Komi & Mero 1985). Korjuksen (1988) tutkimuksessa keskimääräinen etenemisnopeus ennen tukijalan maahantuloa oli 4,83 m/s Tällä oli kyseisessä tutkimuksessa myös positiivinen yhteys keihään lähtönopeuteen ($r = .43$; $p < .05$).

Heittotekniikat ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä ja siten jollakin heittäjällä etenemisnopeus saattaa olla hyvinkin merkittävässä roolissa heiton onnistumisen kannalta ja toisella heittäjällä merkitsevää vaikutusta puolestaan ei ole. Norvapalo ja Viitasalo (2000)

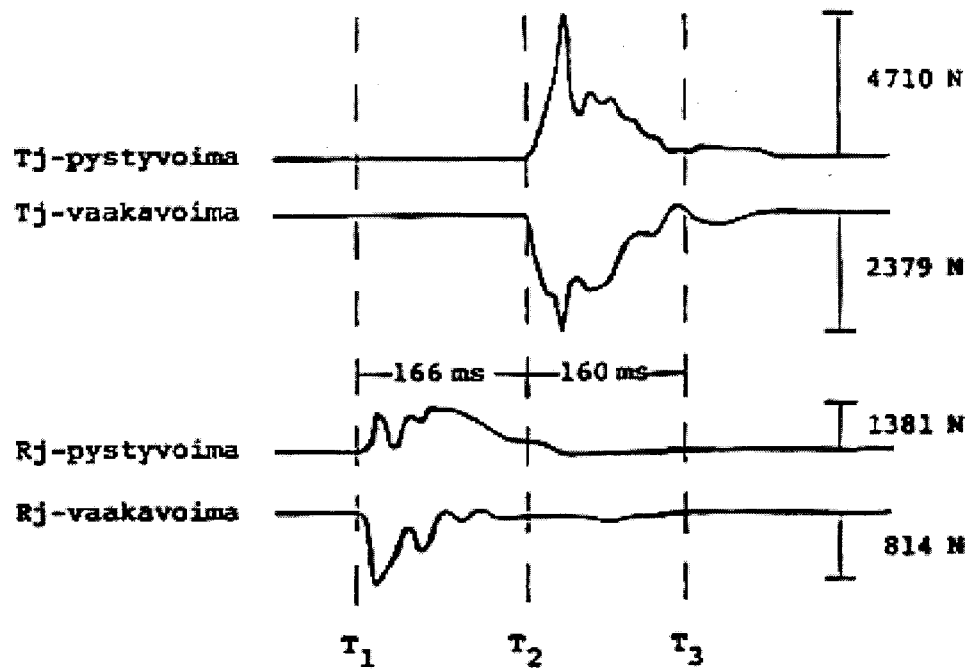
löysivät erään heittäjän etenemisnopeuden ja heiton pituuden välille merkitsevän korrelaation ($r = .60$; $p < .05$) useamman vuoden aikana tehdyn seuranta-projektin aikana.

Keihään irrotessa kehon massakeskipisteen horisontaalinen nopeus on huippuheittäjillä keskimäärin 3,53 m/s, kun vetovaiheen alkaessa se on 6,48 m/s eli horisontaalisen nopeuden menetys vetovaiheen aikana on noin 3 m/s. (Bartlett ym. 1996). Vastaavasti vuoden 1995 MM-kisojen keihäänheiton miesfinalisteilla massakeskipisteen horisontaalinen nopeus oli vetovaiheen alkaessa keskimäärin 6,0 m/s (5,0 - 6,7 m/s) ja vetovaiheen lopussa 3,2 m/s (2,5 - 3,9 m/s). Horisontaalisen etenemisnopeuden menetys vetovaiheen aikana vaihteli yksilöittäin ollen pienimmillään 31 %, suurimmillaan 59 %, ja keskimäärin kaikilla finalisteilla 46 %. (Morris ym. 1995.) Vuosien 1991 - 99 aikana tehdyissä mittauksissa suomalaisilla ja kahdella ulkomaisella huippuheittäjillä etenemisnopeuden väheneminen vetovaiheessa oli keskimäärin 2,88 m/s (Norvapalo ym. 2000). Kyseisten heittojen pituudet vaihtelivat välillä 82,58 - 87,68 m.

Komin ja Meron (1985) mukaan myös massakeskipisteen vertikaalisessa korkeudessa tapahtuu muutoksia vetovaiheen aikana siten, että massakeskipisteen nousu vetovaiheen aikana on kansainvälisen tason miehillä keskimäärin 8,4 cm ja naisilla 4,4 cm. Tämän seurauksena massakeskipisteen vertikaalinen nopeus keihään irrotushetkellä on miehillä 1,5 m/s ja naisilla 0,89 m/s. Heittäjien seuranta-tutkimuksissa vuosina 1991 - 1996 massakeskipisteen nousu oli miesheittäjillä keskimäärin 4,3 cm ja naisheittäjillä 5,0 cm (Norvapalo ym. 2000).

3.2 Törmäysvoimat

Heittoaskelten maahan kohdistuvia reaktiovoimia ovat tutkineet mm. Deporte ja Van Gheluwe (1988). He käyttivät tutkimuksessaan voimalevyanturia, jonka päältä heitto-suoritukset tehtiin. Mittauksissa saatiin kahdeksan heittäjän keskimääräiseksi maksimaaliseksi pystyvoimaksi tukiaskeleen aikana 5500 N (7,2 x heittäjän massa eli BW) ja risti-askeleessa 3780 N (5,0 x BW). Vastaavat voimat Korjuksen (1988) tutkimuksessa käyttäen myös voimalevyanturia olivat viidellä miesheittäjällä keskimäärin 5855 N ja 3005 N (kuva 5).



KUVA 5. Tukijalan (Tj) ja ristiaskeljalan (Rj) tuottamat pysty- ja vaakavoimat heiton lopussa yhdellä miesheittäjällä. (Korjus 1988).

Tukiaskeleen pitkittäissuuntaisilla voimilla on niin ikään merkityksensä askelkontaktin resultanttisen voimantuoton sekä voimantuoton suunnan suhteen. Maksimaaliseksi pitkittäissuuntaiseksi voimaksi Deporte ja Van Gheluwe (1988) mittasivat 4280 N (5,5 x BW) tukijalan kontaktissa ja 1290 N (1,7 x BW) ristiaskeljalan kontaktissa. Deporten ja Van Gheluwien (1988) tutkimuksessa saatiin edelleen tukiaskeleen keskimääräiseksi vertikaaliseksi ”työntövoimaksi” askeleen lopussa eli polven ojentuessa 2250 N. Vastaava työntövoiman arvo oli Korjuksen (1988) tutkimuksessa keskimäärin 1825 N. Pystyvoiman ja pitkittäissuuntaisen voimantuoton avulla voidaan laskea resultanttinen voimantuotto, jonka Korjuksen (1988) tutkimuksessa todettiin tukijalalla olevan keskimäärin 7283 N.

Askelkontaktien painejakaumia sekä reaktivoimia on mitattu joissakin tapauksissa erityisten painepohjallisten avulla. Erikoispuhjeilla rekisteröidyt plantaariset paineet voidaan muuttaa myös askelkontaktin kokonaisvoimantuotoksi. Bartlett ym. (1995) tutkivat plantaaristen paineiden muutoksia heittosuorituksen aikana ja saadut kokonais-

voimat tukijalan kontaktissa olivat n. 2,5 x BW paremman tason heittäjille ja n. 1,5 x BW alemman tason heittäjille. Kyseisen menetelmän luotettavuutta voidaan luonnollisesti epäillä tulosten poiketessa suhteellisen radikaalisti perinteisillä voimalevyillä mitatuista arvoista.

Maahan kohdistuvien reaktiivoimien yhteyttä keihään lähtönopeuteen on myös tutkittu. Heiton lähtönopeuden ja erilaisten voimamuuttujien välille on saatu seuraavanlaisia korrelaatioita: tukijalan maksimaalinen pystyvoima $r = .72$, tukijalan maksimaalinen resultanttivoima $r = .67$ ja tukijalan työnnon keskimääräinen pystyvoima $r = .59$. Sen sijaan kehon painoon suhteutettu tukijalan maksimaalinen pystyvoima korreloi lähtönopeuteen hieman heikommin korrelaatiokertoimen ollessa $r = .55$. Lisäksi ristiaskeljalan maksimipystyvoiman ja lähtönopeuden välille on löydetty negatiivinen korrelaatio $r = -.53$ eli liian suuri ristiaskeljalan pystyvoima alentaa keihään lähtönopeutta. (Korjus 1988.) Deporte ja Van Gheluwe (1988) totesivat, että tukijalan tuottaman työntövoiman suuruus oli selittävänä tekijänä heiton onnistumiselle yli puolessa kaikista analysoiduista heitoista.

3.3 Segmenttien biomekaniikkaa

Utraisen (1987) mukaan parhaan mahdollisen suorituksen saavuttamiseksi olisi keihäänheiton vetovaiheessa yritettävä vaikuttaa keihäaseen mahdollisimman pitkään mahdollisimman suurella voimalla keihään optimaalisen lentoradan suuntaan. Tähän päästään, kun aloitetaan vedon liikesarja suurilla hitailla lihaksilla päätyen oikein ajoitetusti pienten nopeitten käsilihasten toimintaan. Vetoliikkeen yhdistelmää kuvataan tapahtumaksi, jossa on kaksi akselisysteemiä; tukijalan yli lantionivelen toimiessa keskipisteenä sekä hartioiden, kyynärpään ja lantion ympäri. Tukijalan maahantörmäys aiheuttaa heittäjän vartaloon kiertomomenttia eteenpäin lantion ylitse. Tämän kiertomomentin suuruus riippuu heittäjän massakeskipisteen korkeudesta ja horisontaalisesta etäisyydestä tukijalkaan sekä tukijalkaan kohdistuvista erisuuntaisista voimista. Tukijalan yli tapahtuvat liikkeet kiihtyvät tukipuolen jarrituksen seurauksena ja kiertoakselien (hartia- ja lantiolinja) toiminta tuo lisäenergiaa muutoin ”yksidimensionaalisesti” toimivaan vartalon piiskaliikkeeseen.

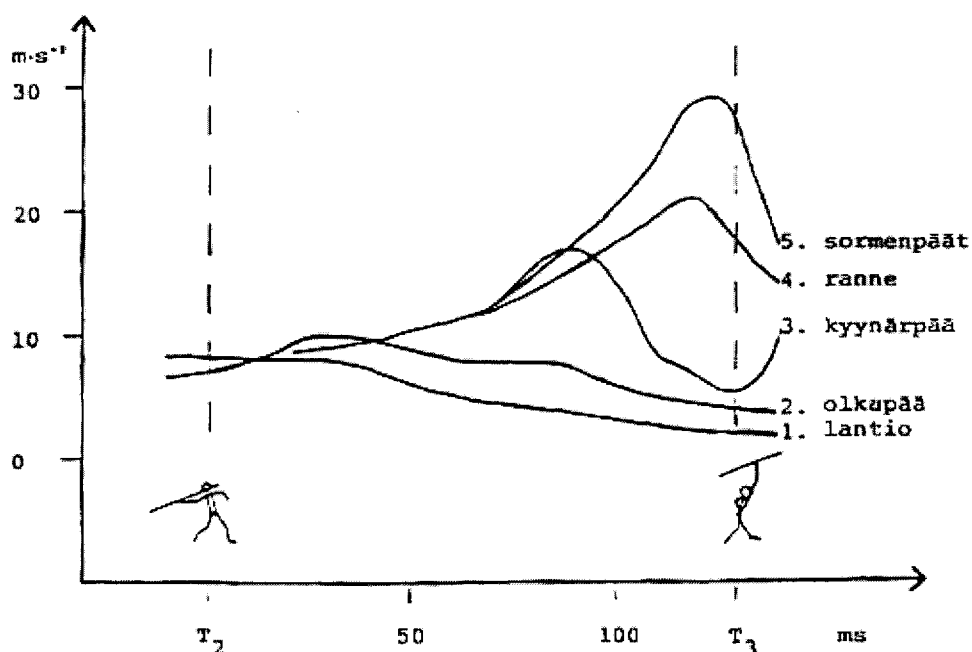
3.3.1 Vetoasento

Heittäjän tullessa vetovaiheeseen eli tukijalan saavuttaessa maan on erityisen tärkeää, että hartialinja on vielä mahdollisimman paljon kiertyneenä etummainen olkapää heittosuuntaan osoittaen. Tässä vaiheessa lantiolinja on yleensä kiertynyt jo jonkin verran heittosuuntaan nähden. Keihäänheittäjillä vuosina 1991 – 99 tehdyissä tutkimuksissa hartialinjan kulma heittosuuntaan nähden oli vetovaiheen alkaessa keskimäärin $150,5^\circ$ ja lantiolinjan vastaava $121,5^\circ$. Näin ollen hartia- ja lantiolinjojen välinen kierto oli keskimäärin 29° vedon alkaessa. Keihään irrotessa lantio on kääntynyt yleensä suoraan heittosuuntaan nähden ja hartialinja kiertynyt ohitse lantiolinjan aina n. 35° :een verran. (Norvapalo ym. 2000.) Eräessä keihäänheittäjillä tehdyssä tutkimuksessa hartia-lantiokulma oli vetovaiheen alussa 27° eli hartialinja oli 27° lantiolinjaa jäljessä (Campos ym. 1995). Göteborgin MM-kisojen miesten keihäänheiton finalisteilla lantion kulma vetovaiheen alkaessa oli keskimäärin 115° ja hartialinjan kulma n. 140° . Hartia- ja lantiolinjojen välinen kulma vedon alkaessa oli siten n. 35° tukien muiden saamia vastaavia tutkimustuloksia. Sen sijaan keihään irrotushetkellä kulma oli pienentynyt keskimäärin 0 asteeseen. (Morris ym 1997.)

Vartalon asennolla vetovaiheen alkaessa sekä ennen tukijalan maahantuloa on monia vaikutuksia heiton loppuvaiheen onnistumiseen. Hartia- ja lantiolinjojen ohella tärkeänä voidaan pitää mm. vartalon takanojan suuruutta ristiaskeljalan tullessa maahan. Takanojan suuruus on yhteydessä muutamissa tutkimuksissa raportoituun keihään ja tukijalan väliseen horisontaaliseen etäisyyteen. Tämän etäisyyden on todettu korreloivan käänteisesti keihään lähtönopeuteen ($r = -.56$) ja heiton pituuteen ($r = -.56$). (Kunz & Kaufmann 1983.) Toisaalta vartalon asennolla vetovaiheen alkaessa voi olla vaikutusta vetomatkaan, joka puolestaan pyritään pitämään yleensä mahdollisimman pitkänä. Vartalon takanojaan vaikuttaa niin ikään tukijalan sijainti ilmassa ristiaskeljalan tullessa maahan. Morris ym. (1997) totesivat Göteborgin MM-kisoissa tekemissään tutkimuksissa vasemman jalan sijainnilla olevan vaikutusta heiton loppuosan toteutumiselle. Heittäjillä, joilla tukijalka oli ehtinyt n. 50 cm ristiaskeljalan edelle ristiaskeljalan tullessa maahan, tukijalka tuli myös nopeimmin maahan eli 140 – 160 ms kuluttua. Heittäjillä, joilla tukijalka oli jopa taaempana kuin ristiaskeljalka, kului aikaa tukijalan maahantuloon 210 – 220 ms.

3.3.2 Kineettinen ketju

Tukijalan törmäysvoiman sekä kehon liike-energian siirtyminen kehon alaosista aina keihääseen asti voidaan nähdä eräänlaisena kineettisenä ketjuna. Eri nivelpisteiden absoluuttisia nopeuksia tarkasteltaessa voidaan arvioida sitä, miten hyvin heittäjä pystyy heitossaan hyödyntämään alkuvauhtiaan ja muuttamaan vauhdin kineettisen energian tukijalan törmäyksen kautta alavartalosta ylöspäin kulkeutuvaksi energiaksi. (kuva 6).



KUVA 6. Eri nivelpisteiden nopeudet heiton vetovaiheen aikana. T_2 = tukijalan maahantulo, T_3 = keihään irtoaminen kädestä. (Korjus 1988).

Luonnollisesti heittäjän tukijalan tulee toimia hyvänä tukena törmäyksessä, lantion lyönnin tapahduttava oikeaan aikaan ja keihään pysyttävä kaukana takana tehokkaan kaarijännitysasennon ja haluttujen lihasten esijännityksen saavuttamiseksi. Vasta kaarijännityksen purkautumisvaiheessa tulee esille heittokäden rooli liikeketjun päänä ja keihään viimeisimpänä kiihdyttäjänä ilmentäen heiton aikaisempien vaiheiden onnistumista. (Utriainen 1987.) Ketjun toimintaa kuvastaa osaltaan myös eri nivelpisteiden maksimaalisten nopeuksien ilmenemisajankohdat. Kineettisen energian siirtyminen heittäjän alavartalosta olkavarteeseen, kyynärvarteeseen ja lopulta keihääseen on todistettu tutkimuksissa Navarra ym. (1995) toimesta.

Eri tutkimuksissa nivelpisteiden nopeudet ovat olleet suhteellisen pysyvästi samoissa lukemissa. Eri tutkimusten tulosten vertailua vaikeuttaa kuitenkin se, että osassa tutkimuksista nivelpisteiden nopeudet on ilmoitettu suhteellisina kehon massakeskipisteen (mkp) nopeuteen ja toisissa absoluuttisina nopeuksina. Meron ym. (1994) mukaan Barcelonan Olympialaisten keihäsfinalin voittajan Jan Zeleznyn eri nivelpisteiden maksimaaliset nopeudet olivat: lonkka 5,2 m/s, olkapää 10,0 m/s, kyynärpää 17,7 m/s, ranne 22,7 m/s ja kämmen 24,7 m/s. Maksimaalisten nopeuksien ilmenemisajankohdat vedon alusta alkaen olivat 110 ms kestäneen vedon aikana: lantio 50 ms, olkapää 50 ms, kyynärpää 50 ms, ranne 80 ms ja kämmen 80 ms. Vaikka eri nivelpisteiden maksimaalisissa nopeuksissa ei eroja toiseksi tulleen Seppo Rädyn ja Zeleznyn välillä juuri ollut, niin Rädyllä esimerkiksi ranteen ja kämmenen maksiminopeuksien ilmenemisajankohdat olivat aivan vetovaiheen lopussa ja lonkan maksimi jo 20 ms kohdalla vedon alusta tarkasteltuna. Keskimääräiset nivelpisteiden maksiminopeuksien ilmenemisajankohdat Barcelonan 11 miesfinalistilla olivat 16 ms, 56 ms, 83 ms, 121 ms ja 127 ms. Vuosien 1991 – 99 aikana tehtyjen liikeanalyysien mukaan suomalaisilla huippuheitäjillä eri nivelpisteiden ilmenemisajankohdat olivat vetovaiheen alusta laskien keskimäärin seuraavat: olkapää ~70 ms, kyynärpää ~85 ms, ranne ~120 ms ja kämmen ~125 ms (Norvapalo ym. 2000). Keihään kiihdytyksestä tapahtuu vetovaiheen aikana suurin osa vasta viimeisten 50 ms aikana. Komin & Meron (1985) mukaan vuoden 1984 Olympiainfinaalissa miesheitäjät lisäsivät keskimäärin 55,1 % keihään lähtönopeutta vetovaiheen viimeisten 50 ms aikana. Vastaava nopeuden lisäys naisheitäjillä oli 49,9 %.

Vuoden 1992 Barcelonan Olympialaisten miesten keihäänheiton finaalisissa ylävartalon eri nivelpisteiden absoluuttiset maksiminopeudet olivat vetovaiheessa keskimäärin seuraavat: olkapää 9,1 m/s, kyynärpää 15,4 m/s, ranne 20,9 m/s ja kämmen 23,5 m/s (Mero ym. 1994). Eri nivelpisteiden maksimaalisia nopeuksia mittasivat myös Whiting ym. (1991) viidessä eri kilpailussa vuosina 1987 – 88. Heidän mukaansa kaikista analysoiduista heitoista 10 parhaan heiton nivelpisteiden maksiminopeudet vetovaiheessa olivat keskimäärin olkapää 9,2 m/s ja kyynärpää 16,6 m/s. Vuosina 1991 – 99 tehdyissä mittauksissa suomalaisilla sekä muutamalla ulkomaisella huippuheitäjällä maksimaaliset nivelpisteiden nopeudet olivat keskimäärin olkapää 10,1 m/s, kyynärpää 15,9 m/s, ranne 22,4 m/s ja kämmen 27,7 m/s (Norvapalo ym. 2000).

Morris ym. (1997) tutkivat keihäänheiton MM-finalistien suorituksia monilla eri muuttujilla. Heidän tutkimuksessaan nivelpisteiden maksiminopeudet vetovaiheen aikana suhteessa mkp:n nopeuteen kahdeksalla miesfinalistilla vaihtelivat seuraavasti: lantio 0,7 – 1,9 m/s, olkapää 3,6 – 7,7 m/s, kyynärpää 10,7 – 13,1 m/s ja ranne 17,5 – 20,9 m/s. Vastaavasti Bartlett ym. (1996) tutkivat eritasoisten keihäänheittäjien nivelpisteiden nopeuksia vetovaiheen aikana päätyen ns. eliittiryhmällä (heittojen keskimääräinen pituus 74,70m) seuraaviin tuloksiin suhteessa mkp:n nopeuteen: olkapää 4,59 m/s, kyynärpää 11,3 m/s ja kämmen 20,3 m/s. Sheffieldissä opiskelijoiden Maailmankisoissa (Best ym. 1993) mitattiin niin ikään nivelpisteiden maksiminopeuksia suhteessa mkp:n nopeuteen. Olkapään lineaarinen nopeus oli keskimäärin 4,0 m/s ja kyynärpään 8,1 m/s suhteessa mkp:n nopeuteen.

Best ym. (1993) raportoivat tutkimuksissaan kyynärpään maksiminopeuksiksi suhteessa kehon massakeskipisteen nopeuteen olevan 7,2 - 9,6 m/s, ollen varsin saman suuruisia sekä miehillä että naisilla. Sen sijaan olkapään maksimaalisissa nopeuksissa suhteessa massakeskipisteen nopeuteen oli jonkinasteisia eroja. Miehillä nopeus oli keskimäärin 4,4 m/s ja naisilla 3,4 m/s. Myös Bartlett ym. (1996) ovat raportoineet olkapään maksimaalisesta nopeudesta suhteessa massakeskipisteeseen eliittitason miehillä keskimäärin arvoja 4,59 m/s. ja alemman tason miesheittäjillä keskimäärin 2,74 m/s.

Eri nivelpisteiden lineaaristen maksiminopeuksien ja heiton pituuden välistä riippuvuutta on tutkittu suhteellisen vähän. Suomalaisilla miesheittäjillä vuonna 1988 tehdyssä tutkimuksessa kyynärpään lineaarisen maksiminopeuden ja keihään lähtönopeuden välille saatiin korrelaatio $r = .41$ (Korjus 1988). Lisäksi Ariel ym. (1980) löysivät tutkimuksissaan positiivisen korrelaation lantion oikean puolen maksimaalisen nopeuden sekä heiton pituuden välille. Norvapalo ym. (2000) löysivät seurantatutkimuksissaan v. 1991-1999 yksilötasolla muutamia merkitseviä yhteyksiä nivelpisteiden maksiminopeuksien ja keihään lähtönopeuksien välillä.

3.3.4 Kulmamuutokset ja -nopeudet

Nivelten kulmamuutoksista kiinnostavimpia ovat yleensä polvinivelen ja kyynärnivelen kulmat vetovaiheen alussa sekä muutokset vetovaiheen aikana. Vetovaiheen alussa eli tukijalan törmätessä maahan heittokäden tulisi olla vielä mahdollisimman takana ja kyynärpäähän lähes suorana mahdollisimman pitkän vetomatkan saavuttamiseksi. Tukijalan pysyessä törmäyksen aikana suorana on mahdollista siirtää heittäjän liike-energiaa mahdollisimman tehokkaasti kehon eri osien kautta keihääseen. (Utriainen 1987.)

Alaraajat. Tukijalan polvinivelen kulman tulisi vetovaiheen aikana pysyä luonnollisesti mahdollisimman lähellä 180° koko ajan. Yleensä nivel kuitenkin antaa hieman periksi huonon heittotekniikan tai riittämättömän alaraajojen voimatason takia. Mikäli polvi antaa periksi, tulee jalan kuitenkin ojentua mahdollisimman suoraksi ennen keihään irrotusta. Tukijalan polvikulma on huippuheittäjillä yleensä vetovaiheessa alimmillaan n. 140 - 150° ojentuen keihään irrotushetkellä n. 165 – 175°:een. (Morris ym. 1997.)

Polvinivelen kulmamuutokset myös osaltaan erottelevat hyvät heittäjät muista heittäjistä. Bartlettin ym. (1996) mukaan kansallisen tason heittäjillä polvikulman pieneneminen vetovaiheessa oli keskimäärin 12°, kun alemman tason heittäjillä vajoamista tapahtui keskimäärin 17°. Vastaavasti vuoden 1984 Olympiafinaalin miesheittäjillä polvikulman keskimääräinen pieneneminen oli 17° ja ojentuminen keihään irtoamishetkeen ainoastaan 8°. Naisheittäjillä vastaavat arvot olivat 13° ja 8°. (Komi & Mero 1985.)

Polvikulman mahdollisimman pieni muutos vetovaiheen aikana on yleensä positiivisesti yhteydessä heittäjän liikemäärän ja tukijalan törmäyksen kautta keihään lähtönopeuteen. Vuosina 1991 – 1999 tehdyissä seurantamittauksissa (Norvapalo & Viitasalo 2000) merkitsevin löydetty korrelaatio tukijalan alimman polvikulman ja keihään lähtönopeuden välille oli yhdellä miesheittäjällä ($r = .67$; $p < .01$).

Heittokäsi. Eri tutkimuksissa on mitattu seuraavanlaisia arvoja heittokäden kyynärkulmalle vetovaiheen alussa:

- Olympialaiset 1984, miesten keihäsfinaali: 101° - 133° (Komi & Mero 1985)
- Olympialaiset 1992, miesten keihäsfinaali: keskim. 124° (Mero ym. 1994)

- MM-kisat 1995, miesten keihäsfinali: keskim. 124° (Morris ym. 1997)
- AAA:n mest.kisat 1993, Englanti: keskim. 126° (Bartlett ym. 1996)

Vetovaiheen lopun eli käden ojentumisen on todettu tutkimuksissa olevan epätäydellistä, kuten seuraavat tutkimustulokset kyynärkulman suuruudesta keihään irtoamishetkellä osoittavat:

- Olympialaiset 1984, miesten keihäsfinali: 112° - 142° (Komi & Mero 1985)
- Olympialaiset 1992, miesten keihäsfinali: keskim. 123° (Mero ym. 1994)
- MM-kisat 1995, miesten keihäsfinali: keskim. 154° (Morris ym. 1997)

Kyynärpään minimikulma vetovaiheen aikana puolestaan kuvastaa sitä kuinka jäykällä tai vastaavasti ”löysällä” kyynärpäällä vetovaihe on suoritettu. Tähän vaikuttaa luonnollisesti myös jokaisen heittäjän persoonallinen heittotekniikka sekä heittokäden ojentajalihasten voimataso. Kyynärpään minimikulma vedon aikana on vaihdellut eri tutkimuksissa seuraavasti:

- Olympialaiset 1992, miesten keihäsfinali: keskim. 80° (Mero ym. 1994)
- MM-kisat 1995, miesten keihäsfinali: keskim. 92° (Morris ym. 1995)
- Liikeanalyysiaineistoa vuosilta 1991-96 keskim. 89° (Norvapalo ym. 2000)

Maailman huippuheittäjistä poikkeavaa heittotekniikkaa näyttää käyttävän Steve Backley, jolla kyynärkulma on vetovaiheen alussa keskimäärin 154° ja pienimmilläänkin vain 136° (Norvapalo ym. 2000). Keihäänheittoa muistuttaen myös baseballin heitossa on kyynärkulman todettu käyvän alimmillaan n. 90 asteessa heittoliikkeen aikana, ojentuen ennen pallon irtoamista kuitenkin n. 160 asteeseen (Feltner & Dapena 1986). Morris ym. (1997) tutki myös heittokäden eri nivelten kulmanopeuksia vetovaiheen aikana. Eri nivelten kulmanopeudet vaihtelivat seuraavasti: olkapään maksimaalinen kulmanopeus (yhdistettynä ojennus, loitonnuks ja horisontaalinen fleksio) 713 – 1330 °/s, kyynärpään maksimaalinen kulmanopeus 1780 – 2670 °/s (muista selvästi eroten Jan Zelezny 3220 °/s) ja olkapään mediaalisen rotaation eli sisäkierron keskimääräinen kulmanopeus 750 – 2050 °/s (Zelezny 2270 °/s) heittäjästä riippuen.

Vuoden 1992 Olympiainfinalisteilla (Mero ym. 1994) kyynärpään kulmanopeus vedon aikana oli suurimmillaan 1902 °/s ja tämä kulmanopeuden huippuarvo sijoittui 130 ms

vetovaiheen alun jälkeen. Olympiafinalisteilla vuonna 1984 kyynärpään kulmanopeudet keihään irrotushetkellä olivat miehillä keskimäärin 2385 °/s ja naisilla 1960 °/s (Komi & Mero 1985). Kyynärpään suurella maksimaalisella kulmanopeudella on todettu olevan yllättäen ristiriitaisesti joko positiivista tai negatiivista vaikutusta keihään lähtönopeuteen. Korjus (1988) sai tutkimuksessaan kyynärnivelen maksimaalisen kulmanopeuden ja keihään resultantin lähtönopeuden välille korrelaation $r = .63$. Sen sijaan vuoden 1984 olympiafinalisteilla todettiin suureen kyynärkulmanopeuden huippuarvon olevan yhteydessä huonoon heittosuoritukseen (Komi & Mero 1985).

Keihäänheiton aikaiset kyynärpään kulmanopeudet ovat kuitenkin selkeästi suurempia kuin esimerkiksi heittäjien harjoittelussaan paljon käytettävien kuntopallojen heitoissa. Kaksin käsin pään yli eteen kuntopalloa heitettäessä kyynärpään kulmanopeus kohoaa korkeimmillaan n. 1000 °/s (Cordasco ym. 1996). Feltner & Dapena (1986) tutkivat heittokäden kineettisiä ja kinemaattisia muuttujia baseballin syötössä. Mittauksissaan he saivat baseballin heitossa kyynärpään maksimaaliseksi kulmanopeudeksi n. 2400 °/s. Olkapään sisäkierron maksiminopeus oli sen sijaan parhaimmillaan n. 9000 °/s ja merkittävää oli, että olkapää oli pallon irtoamishetkellä edelleen muutaman asteen ulkokierrossa (suurimmillaan ulkokierto oli n. 90°).

3.3.5 Heittokäden voimantuotto

Heittokäden voimantuottoa voidaan arvioida lähinnä nivelpisteiden voimina eri suuntiin (suhteellisen epäkäytännöllinen), erilaisina vääntömomentteina (kulmamomentit) tai esimerkiksi voimantuoton tehokkuutena. Erilaisten heittokäden tuottamien voimien mittauksia on tehty hyvin vähän koskien keihäänheittoa, mutta sen sijaan baseballin heittoa on tutkittu suhteellisen paljon. Feltner ja Dapena (1986) totesivat olkavarren sisäkiertomomentin maksimiarvon (n. 75 Nm) ilmenevän juuri ennen olkapään maksimaalista ulkokiertoa. Tämä kuvastaa erittäin hyvin myös olkapään ulko/sisäkierto liikesysteemissä tapahtuvaa venymis-lyhenemissykliä ja siten olkapäätä liikuttavien lihasten elastisen energian hyödyntämistä. Olkapään horisontaalinen lähennysvoima (vaakatasossa liikuttaminen eteenpäin) oli niin ikään maksimissaan (n. 70 Nm) juuri ennen olkapään maksimaalista ulkokiertoa. Tämän jälkeen horisontaalinen lähennysvoima alkoi

vähentyä lähelle nollaa kuvastaen olkaparren liikkeen hidastumista johtaen näin distaalimpien osien (kynärvarsi, kämmen) kiihdyttämiseen.

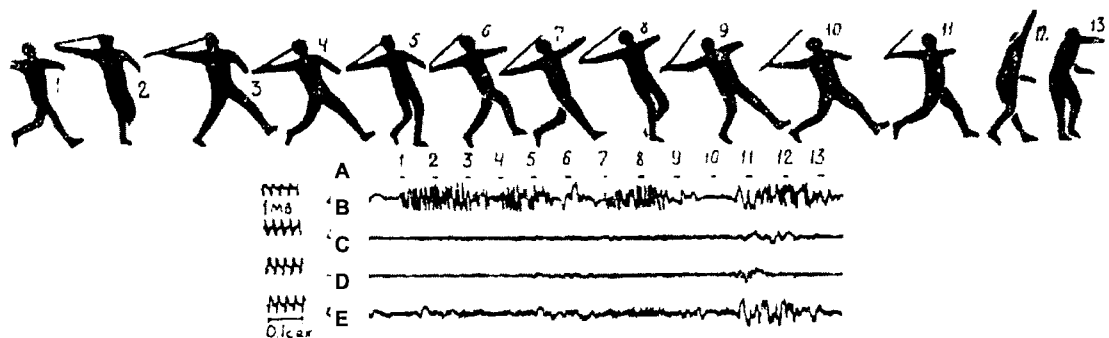
Keihäänheiton aikana olkapään voimantuotot ovat hieman erilaiset kuin baseballin heitossa. Eräässä tutkimuksessa analysoidussa yli 90 metrin heitossa olkapään maksimaalinen sisäkiertovoima oli n. 2,5 Nm/kg. Maksimaalista sisäkiertovoimaa käyrän muodossa myötäili myös kynärvarren varus-voimien tuotto. Kynärvarren ojennusvoiman eli vääntömomentin huippuarvo oli n. 3 Nm/kg. (Michiyoshi ym. 1999.) Toisessa tutkimuksessa kyynärpään maksimaalisen vääntömomentin mitattiin olevan baseballin heiton aikana ainoastaan n. 20 Nm ± 10 Nm. Kynärvarren varus-voimat olivat sen sijaan samaisessa tutkimuksessa n. 100 Nm ± 20 Nm ajoittuen juuri samaan ajankohtaan kuin olkaparren maksimaalinen ulkokierto. (Feltner & Dapena 1986.) Heittokäden eri lihasryhmistä on todettu olkapään lähentäjälihasten voimatason olevan merkitsevimmin vaikuttamassa baseballin heiton lähtönopeuteen. Tärkeimmät olkapään lähentäjälihakset ovat iso rintalihas sekä leveä selkälihas. (Bartlett ym. 1989.)

3.3.6 Lihasaktiivisuudet

Heittoliikkeissä yleensä aktiivisimpia lihaksia ylävartalon osalta ovat rintalihas, hartialihas, kolmipäinen olkalihas ja kaikki keskivartalon lihakset. Esimerkiksi kuntopallon heitossa kaksin käsin pään yli eteenpäin eri lihakset aktivoituivat suhteessa isometriseen (max-EMG) maksimitestiin seuraavasti (taakseventi/kiihdytys): supraspinatus 30/47 %, ylempi subscapularis 28/45%, alempi subscapularis 24/71%, trapezius 50/85% ja deltoideuksen etuosa 40/45 %. (Cordasco ym. 1996.) Korjuksen (1988) mukaan keihäänheitossa heittokäden lihasaktiivisuudet ovat maksimaalisissa heitoissa hieman suurempia kuin submaksimaalisissa (esim. IEMG: triceps 756 → 788 mV*s ja deltoideus 502 → 552 mV*s). Tämä näkyy osittain myös lihasten esiaktiivisuudessa, jossa maksimaaliset heitot aiheuttavat suuremmat lihasten esiaktiivisuudet.

Salchenkon & Smirnovin (1977) tutkimus on yksi harvoista tutkimuksista, joissa on kuvattu keihäänheittosuorituksen aikaisia lihasaktiivisuuksia havainnollisesti. Tarkastellessa erityisesti ylävartalon lihasten toimintaa (kuva 7) voidaan todeta ison rintalihaksen

sekä leveän selkälihaksen aktiivisuuden olevan varsin alhaista koko heiton loppuvaiheen ajan. Vetovaiheen aikana kummassakin lihaksessa havaitaan ainoastaan pientä aktiivisuutta, mikä kuvastanee kyseisten lihasten varsin pientä roolia heiton vetovaiheen voimantuotossa. Sen sijaan hartialihaksen on hyvin aktiivinen jo heiton viimeisten askelien aikana aktivoituen lähinnä keihään kannattelemisesta riittävän ylhäällä. Vetovaiheen alussa on havaittavissa lyhytaikainen pudotus hartialihaksen aktiivisuudessa, mikä tutkijoiden mielestä kuvastaa hartialihaksen esivenytysvaihetta vartalon kaarijännityksen syntyvaiheessa. Ranteen ulommainen koukistajalihas aktivoituu erityisesti vetovaiheen puolesta välistä eteenpäin, mahdollistaen keihään kiihdyttämisen vedon lopussa kyynärvarren lihasten avulla.



KUVA 7. Heiton vaiheet sekä lihasaktiivisuuskuvaajat ”taitavalla” keihäänheittäjällä. A - heiton vaiheet. Lihasaktiivisuuskuvaajat: B - hartialihaksen, C - leveä selkälihaksen, D - ison rintalihaksen ja E - ranteen ulomman koukistajalihaksen (Salchenko & Smirnov 1977).

Vertaillessaan hyviä ja huonoja keihäänheittäjiä Salchenko ja Smirnov (1977) totesivat huonoimmilla heittäjillä ylävartalon sekä jalkojen lihasaktiivisuuksien olevan korkeita heiton lähestymisvaiheessa sekä ristiaskelen aikana. Heiton vetovaiheessa huonojen heittäjien lihasaktiivisuudet kuitenkin olivat selvästi alhaisemmalla tasolla verrattuna hyviin heittäjiin, joiden lähestyminen vetovaiheeseen tapahtui ”rennommin” ja alhaisemmilla lihasaktiivisuustasoilla. Huonot heittäjät myös puristivat keihästä ennen vetovaihetta enemmän kuin paremmat heittäjät, mikä näkyy ranteen ulomman koukistajalihaksen aktiivisuuksista.

Korjus (1988) tutki lihasaktiivisuuksien yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Tutkimuksessa havaittiin seuraavia merkitseviä riippuvuuksia: deltoideuksen etuosan aktivoitumisen

alku vs. keihään lähtönopeus $r = .46$ ja kolmipäisen olkalihaksen suhteellinen aktiivisuus vedon aikana vs. keihään lähtönopeus $r = .41$. Tulokset osoittavat siten selkeästi, että heittoliikkeen kannalta olennaisten lihasten EMG-aktiivisuuksista on löydettävissä suoria yhteyksiä keihään lähtönopeuteen.

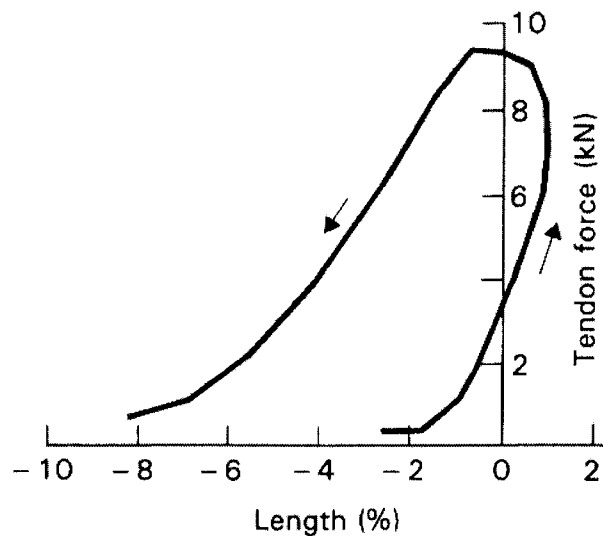
3.4 Venymis-lyhenemissyklus

Luonnollisessa liikkumisessa ilmenee harvoin tilanteita, joissa ihmisen lihastyö on pelkästään joko konsentrista tai eksentristä lihastyötä. Useimmissa liikkeissä kehon eri osiin vaikuttavat ajoittain erilaiset reaktivoimat (kuten maan reaktivoimat pikajuoksussa) tai jokin ulkopuolinen voima (esim. maan vetovoima) venyttää lihasta. Tällaisissa liikkeissä lihaksen eksentristä aktiivisuutta seuraa välittömästi konsentrisen lihastyö. Luonnollista eksentrisen ja konsentrisen lihastyön peräkkäistä yhdistelmää kutsutaan venymis-lyhenemissyklukseksi. (Komi 1992.)

Venymis-lyhenemissykluksessa liikkeen eksentrisen työvaiheen (negatiivinen työ) aikana varastoituu elastista energiaa lihaksen eri osiin, joka voidaan hyödyntää liikkeen konsentrisessa työvaiheessa (positiivinen työ). Näin ollen venymis-lyhenemis –tyyppinen lihastyö on tehokkaampaa kuin ilman esivenytystä tehtävä puhdas konsentrisen lihastyö. (Cavagna ym. 1968.) Venymis-lyhenemissykluksesta saatava hyöty riippuu lihaksen venytysnopeudesta, venytyksen pituudesta sekä kyseisen lihaksen aktivaatiotasosta venytyshetkellä. Luonnollinen juoksu on hyvin tyyppillinen venymis-lyhenemissyklusta vaativa liikemuoto, jossa venymis-lyhenemissyklusta tapahtuu lähes kaikissa nilkka-, polvi- ja lonkkanivelen ojennus- sekä koukistusliikettä tekevissä lihaksissa. (kuva 8). (Komi 1992.)

Venymis-lyhenemis –tyyppisessä lihastyössä lisähyöty verrattuna puhtaaseen konsentrisen lihastyöhön saadaan lihaksen elastisen energian sekä refleksipotentoitumisen (venytysrefleksi) kautta (mm. Bosco ym. 1982). Lihaksen rinnakkaisilla elastisilla komponenteilla tarkoitetaan lihaksen eri osia ympäröiviä kalvorakenteita (endo-, peri- ja epimysium). Rinnakkaiset elastiset komponentit vastustavat levossa olevan lihaksen venyttämistä ja siten tavallaan suojaavat ulkopuolisilta voimilta repimästä lihasta osiin.

Sen sijaan lihaksen peräkkäiset elastiset komponentit muodostuvat lihaksen luuhun kiinnittävästä jänteestä, lihaksen sarkomeerin proteiini-komponenteista kuten titiini-filamenteista sekä lihassupistuksen aikana toimivista aktiini- ja myosiini-filamenttien välille syntyvistä poikittaissilloista. Peräkkäiset elastiset komponentit toimivat venymis-lyhenemis -tyyppisessä lihastyössä jousen tapaan lisäenergian antajina. Liikkeen luonteesta (mm. venytyksen nopeudesta sekä pituudesta) riippuu saatavan lisäenergian määrä. (Huijing 1992.)



KUVA 8. Gastrocnemius-lihaksen voima-pituus -kuvaaja 5,78 m/s nopeudella tapahtuvan juoksun aikana (Komi 1992). Ylöspäin suuntautuva nuoli kuvastaa eksentristä lihastyövaihetta ja alaspäin suuntautuva vastaavasti konsentrista vaihetta. (Length = lihaspituus, Tendon force = jänteeseen kohdistuva voima).

Suoritettaessa heittoliikettä fiksoidulla olkavarrella (olkavarsi tuettuna pöydän päälle vartalosta sivulle vaakatasoon) on lihasten elastisilla ominaisuuksilla merkitystä aivan kuten heittoliikkeessä koko vartalon lihaksistolla. Kun kyseisessä heittoliikkeessä olkavarren sisäkierto seurasi välittömästi ulkokiertoa saavutettiin 21,9 % suurempi ranteen maksiminopeus verrattuna tilanteeseen, jossa heittäjä piti 1,5 sek. tauon ulko- ja sisäkierron välillä. (Elliot ym. 1999.)

Keihäänheittosuorituksen aikana lihasten elastisia ominaisuuksia pystytään hyödyntämään monissa kehon osissa. Tukijalan törmäyksen jälkeen heittokäden puoleinen lantio

lyödään eteen, jolloin hartialinjan vielä säilyessä alkuperäisessä kierrossaan syntyy kiertojännitys keskivartalon lihasten alueelle. Hetkeä myöhemmin niin sanotussa kaarijännitysvaiheessa venymistä tapahtuu lisäksi suorissa vatsalihaksissa sekä hartian seudun lihaksissa, kuten rintalihaksessa, leveässä selkälihaksessa, kolmipäisessä olkalihaksessa ja hartialihaksen etuosassa. Rinnan ja olkapään työntyessä eteenpäin ja kyynärpäähän noustessa ylöspäin keskivartalon lihasten sekä rinta- ja hartialihasten venymislyhenemis –syklinen konsentrisen työvaihe toteutuu. Samaan aikaan kyynärpäähän koukistuksessa hieman venytysvaihe vielä jatkuu kyynärniveltä ojentavassa kolmipäisessä olkalihaksessa sekä kyynärvartta hartiatason yläpuolella eteenpäin liikuttavassa leveässä selkälihaksessa. Vetovaiheen jatkuessa loppuun vapautuu loputkin elastisesta energiasta hartian ja olkavarren lihasten kautta. Vetovaiheen alkaessa aktiivisten lihasten tulee olla mahdollisimman rentoja, jotta elastisista komponenteista sekä venytysrefleksin kautta saadaan mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettyä elastista energiaa. (Terauds 1985.) Tutkimusten mukaan heittoliikkeen konsentrisen työvaiheen on todettu kestävän keskimäärin 60 – 65 ms eli 40 – 45 % koko vetovaiheen pituudesta (Navarro ym. 1995).

5 KEIHÄÄN LENTO

5.1 Lähtönopeus

Keihäänheittosuorituksessa pyritään optimaalisella suoritustekniikalla kiihdyttämään keihästä mahdollisimman paljon korkean lähtönopeuden aikaansaamiseksi. Käytännössä heittäjän tulee tuottaa voimaa keihääseen ja heittosuuntaan mahdollisimman paljon ja mahdollisimman kauan. Impulssin (voima x aika) suuretessa myös keihään lähtönopeus kasvaa. (Utriainen 1987.) Bartlett ja Best (1988) analysoivat eri tutkijoiden tutkimustuloksia ja tulivat siihen johtopäätökseen, että 62 – 72 % keihään lähtönopeudesta tuotetaan vetovaiheen aikana. Loput lähtönopeudesta on keihäällä jo tukivaiheeseen saavuttaessa ja tämä nopeus on luonnollisesti suhteessa heittäjän lähestymisnopeuteen.

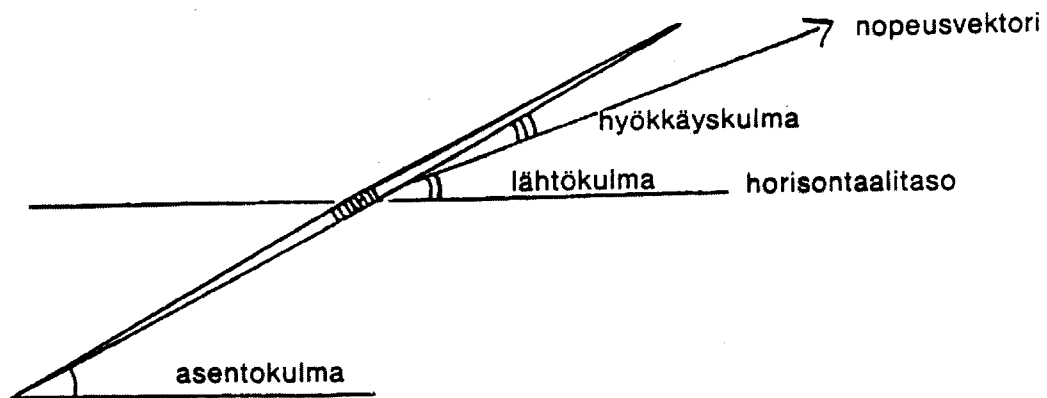
Keihään lähtönopeutta voidaan pitää tärkeimpänä heiton pituuteen vaikuttavana tekijänä (mm. Salo & Viitasalo 1994 ja Best ym. 1995). Salo ja Viitasalo 1994 havaitsivat, että

keihään lähtönopeuksia mitattaessa parhaiten heiton pituutta ennustaa 0,04 – 0,10 sek. irrotuksen jälkeen laskettu keihään nopeus. Keihään lähtönopeuden ja heiton pituuden välille on saatu tutkijoista, tutkittavista ja tutkimusolosuhteista riippuen eri tutkimuksissa erisuuruisia positiivisia riippuvuuksia (esim. Komi & Mero 1985: $r = .97$, Kunz & Kaufmann 1983: $r = .76$, Mero ym. 1994: $r = .77$, Whiting ym. 1991: $r = .29$).

”Lähtönopeus ratkaisee” on varsin yleisesti käytetty sanonta keihäänheitossa, mutta se pitää suurelta osin paikkansa. Esimerkiksi Göteborgin MM-kisojen naisten keihäänheiton voittajan Natalia Shikolenkon heiton lähtönopeus oli 25,9 m/s muiden finalistien jäädessä alle 24,5 m/s. Sama oli havaittavissa myös miesten finaalissa, jossa voittajan Jan Zeleznyn heiton lähtönopeus oli 31,4 m/s ollen 1,3 m/s suurempi kuin toiseksi parhaalla. Zeleznyn voittotulos oli tuolloin 89,06 m. (Korjus 1995.) Samansuuntaisia tuloksia saatiin mm. Tokion MM-kisoista, joissa heittojen pituuksilla 87,08 – 90,82 m lähtönopeudet vaihtelivat 29,0 – 30,0 m/s välillä (Ueya 1992). Barcelonan Olympialaisissa 1992 miesten keihäänheiton kolmen ensimmäisen tulokset ja niitä vastaavat lähtönopeudet olivat Zelezny: 88,18 m (29,2 m/s), Rätty: 86,60 m (28,9 m/s) ja Backley: 83,38 m (29,5 m/s) (Mero ym. 1994).

5.2 Kulmaominaisuudet

Utriais (1987) mukaan heittäjän kädestä irrotessa keihäällä on tietyt kulmaominaisuudet, jotka lähtönopeuden lisäksi määräävät lennon pituuden. Keihään lentosuunnan (nopeusvektori) ja horisontaalisen (vaakatason) muodostama kulma on keihään lähtökulma. Keihään asentokulma lasketaan horisontaalitason (vaakatason) ja keihään pitkittäisakselin välille. Keihään pitkittäisakselin ja nopeusvektorin välistä kulmaa kutsutaan hyökkäys- tai ryntökulmaksi. Hyökkäyskulmalla on suuri merkitys keihään lentoradalle etenkin heitettäessä joko vasta- tai myötätuuleen (kuva 9).



KUVA 9. Keihään kulmaominaisuudet. (Utriainen 1987).

Lähtökulma on teoriassa optimaalinen 45° :ssa, kun kappaletta heitetään tyhjiössä. Keihään aerodynaamisista ominaisuuksista ja ympäröivästä ilmanvastuksesta johtuen keihään ihanteellinen lähtökulma laskee huomattavasti ollen $30 - 35^\circ$. Optimaalinen lähtökulma on kuitenkin riippuvainen myös keihään lähtönopeudesta suuren lähtönopeuden vaatiessa hieman suuremman lähtökulman kuin alhainen lähtönopeus. Lisäksi keihäsmalli sekä tuuliolosuhteet vaikuttavat optimaaliseen lähtökulmaan huomattavasti. (Best ym. 1995.) Ihalaisen (1996) mukaan jokaisella heittäjällä on kuitenkin oma optimaalinen keihään lähtökulma, jonka tulisi löytyä kokemuksen kautta. Keihäänheittäjä pystyy teoriassa tuottamaan suurimman lähtönopeuden 20° :n lähtökulmalla ja kulman nosto tästä ylöspäin laskee lähtönopeutta 1 m/s jokaista 5 astetta kohden. Tätä väitettä tukee merkitsevät korrelaatiot, jotka on löydetty keihään lähtökulman ja lähtönopeuden välille: Viitasalo ja Korjus (1988), yksittäisellä miesheittäjällä $r = -.78$, $p < .01$ sekä Kunz ja Kaufmann (1983), 14 miesheittäjällä $r = -.63$.

Hyökkäyskulman kasvaessa ilmanvastus kasvaa, tämän takia on edullista heittää keihäs lähellä nollaa olevilla hyökkäyskulmilla. Keihään kärjen noustessa nopeusvektorin yläpuolelle hyökkäyskulma on positiivinen ja kärjen laskiessa nopeusvektorin alle negatiivinen. (Utriainen 1987.) Ihalaisen (1996) mukaan optimaalinen keihään hyökkäyskulma on tuulesta riippuen $0^\circ \pm 2^\circ$. Myös lähtökulma on erittäin kriittinen heiton pituuden kannalta. Kuitenkin Best ym. (1995) totesivat keihään lennon simulointitutkimuksissa, että optimaalinen hyökkäyskulma riippuu keihään lähtönopeudesta, keihäsmallista sekä tuu-

liolosuhteista. Esimerkiksi eräällä Nemethin keihäsmallilla optimaalinen hyökkäyskulma oli 28 m/s lähtönopeudella -6° ja vastaavasti 30 m/s lähtönopeudella $+2^\circ$.

Sama lähtönopeus, -kulma ja hyökkäyskulma eivät välttämättä aina anna samaa lentopituutta, vaan keihään pyörimisliike poikittaisakselin ympäri voi vaihdella tulosta. Keihään varteen kohdistuvat voimat, jotka pyrkivät saamaan keihäälle kulmanopeutta sen poikittaisakselin ympäri, muodostavat ns. alkusysäyksen. Tämän takia onkin tärkeää pyrkiä suuntaamaan kaikki voimat suoraan keihään varren suuntaisesti, ettei keihään liiallinen kiertyminen poikittaisakselin ympäri häiritse muuten onnistunutta heittoa. (Utriainen 1987.) Keihään varteen kohtisuorassa kohdistunut voima aiheuttaa niin ikään primaari- ja sekundaarioskillaatioita keihääseen. Primaarioskillaatiot ilmenevät keihään värähtelyä keihään lennon aikana ja ovat sitä vähäisempiä mitä jäykempi on keihäs. Suuri keihään oskillaatio lisää ilmanvastusta ja hidastaa keihään lentoa. (Terauds 1985.)

Edellä mainittujen kulmaominaisuuksien lisäksi keihään irtoamisesta voidaan vielä laskea muunkinlaisia kulmaominaisuuksia kolmedimensionaalisen liikeanalyysin avulla. Näistä ehkä tärkein on keihään asennon sivuttaispoikkeama keihään nopeusvektorin suuntaan nähden. Mitä suurempi on vartalon ja keihään kierto vetovaiheeseen tultaessa sitä suurempi on yleensä myös keihään asennon sivuttaispoikkeama irrotushetkellä (Morris & Bartlett 1994). Pieni sivuttaispoikkeama (oikeaan suuntaan) vedossa saattaa kuitenkin olla jopa heiton pituutta lisäävä tekijä keihään asennon ja pitkittäisakselinsa suhteen tapahtuvan pyörimisliikkeen aiheuttaman ”Magnusin nosteen” vaikutuksesta. (Bartlett ym. 1996).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ensinnäkin heittäjän alavartalon toimintaa ja voimantuoton suuruuksia heittosuorituksen kahden viimeisen askeleen aikana. Lisäksi pyrittiin selvittämään vartalon asentoja ja nivelten kulmia vetoaskeleen sekä varsinaisen vetovaiheen aikana. Heittokäden lihasaktiivisuuksien avulla kuvattiin ylävartalon ja erityisesti heittokäden toimintaa vetovaiheen aikana. Pyrkimyksenä oli arvioida myös

edellä mainittujen muuttujien yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Näiden lisäksi pyrittiin erilaisten muuttujien avulla tuomaan esille keihäänheittotekniikan yksilöllisyyttä eri heittäjien välillä.

7 TUTKIMUSONGELMAT

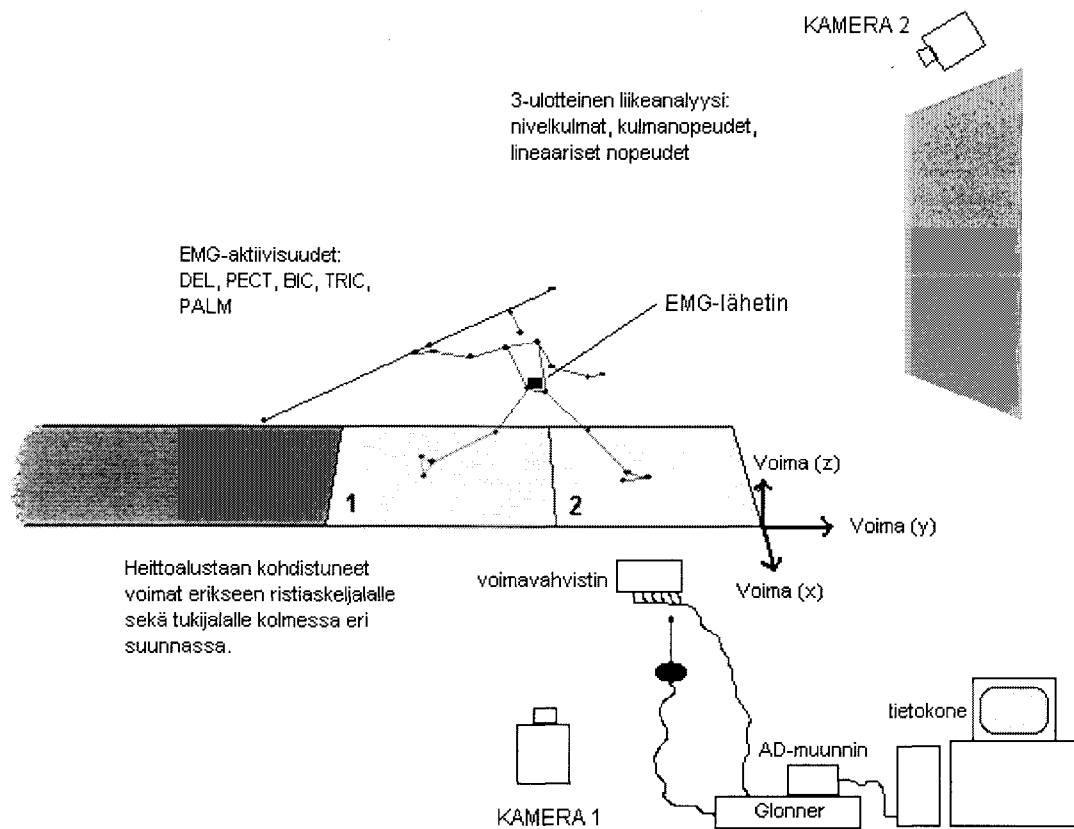
- Voidaanko keihään lähtönopeutta ennustaa vartalon alempien osien toiminnan kautta?
- Kuinka vartalon asennot vetovaiheen alussa sekä sen aikana vaikuttavat heiton loppuosan onnistumiseen?
- Kuinka suurina ovat heittäjän tuottamat maan reaktivoimat heittosuorituksen aikana?
- Mitkä ovat heittokäden kulma- ja nopeusominaisuuksien yhteydet keihään lähtönopeuteen?
- Kuvastavatko heittokäden lihasaktiivisuusmallit heittosuorituksen onnistumista eli keihään lähtönopeutta?
- Miten kahden saman tasoisen heittäjän suoritustekniikat mahdollisesti eroavat toisistaan?

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin 11.12.2000 Jyväskylän Hipposhallissa. Mittaustilanteessa heittäjät tekivät normaaleja submaksimaalisia (teho 85 – 95 %) keihäänheittosuorituksia erikseen hallin katosta roikkumaan asennettuun pressuun heittäen. Heittoalustana oli yleisurheilukentälle tyypillinen novotan-pinnoite. Kaikki heittäjät tekivät vähintään 10 onnistunutta heittosuoritusta. Onnistuneeksi heittosuoritus katsottiin, kun

kaikki mittalaitteet toimivat tarkoituksenmukaisesti ja heittäjä onnistui osuttamaan askeleensa maahan upotetuille voimalevyille halutulla tavalla (kuva10).



KUVA 10. Mittausjärjestelyt.

8.2 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 2 miespuolista kansainvälisen tason keihäänheittäjää. Heittäjien ennätykset olivat JKV: 77,95 m ja KKI: 85,96 m. Heittäjät olivat kehon mittasuhteiltaan jonkin verran toisistaan poikkeavia. Heittäjä JKV (193 cm/98,2 kg) oli pidempi ja hie- man kevyempi kuin heittäjä KKI (187 cm/105 kg). Näin ollen saattoi olettaa, että heit- täjien heittotekniikat voisivat erota toisistaan jonkin verran. Koehenkilöt olivat täysin tietoisia tutkimuksen kulusta sekä siihen mahdollisesti liittyvistä vaaratekijöistä. Mitta- utilanteessa heittäjältä KKI saatiin rekisteröityä kaikkiaan 24 heittoa, joista 22 heitossa

kaikki mitattavat muuttujat onnistuttiin taltioimaan virheettömästi. Heittäjällä JKV onnistuneita heittoa oli 6, kaikkiaan 13:sta heitosta.

8.3 Datan kerääminen

8.3.1 Liikeanalyysi

Heittosuoritukset kuvattiin kahdella high speed -kameralla (Peak System) kuvanopeudella 200 kuvaa/sek. Kahden kameran taltioima kuva mahdollisti kolmiulotteisen liikeanalyysin tekemisen. Yksi kameroista oli sijoitettu 90 astetta sivulle heittosuuntaan nähden kameran kuvakulman keskipisteen ollessa heittäjän keskivartalossa ristiaskeljalan maahantulohetkellä. Kuvausalaan mahtui heittosuoritus ristiaskelvaiheesta keihään irtamiseen saakka. Toinen kamera kuvasi heittosuoritusta edestäpäin heittopressun yläpuolelta n. 45 asteen kulmassa heittoalustaan nähden (kuva 10). Heittäjän nivelpisteet merkattiin heijastavilla merkeillä myöhempää videoaineiston digitoimista ja liikeanalyysiä varten. Lisäksi keihään perä, narukerän etuosa sekä kärki merkattiin keihään irtotusominaisuuksien analysoimista varten. Videotiedostoon lisättiin ristiaskeljalan kontaktin kohdalle merkkisignaali. Kyseinen signaali taltioitui samalla myös reaktiivoimat ja lihasaktiivisuudet tallentavan ohjelmiston yhdelle kanavalle. Tämä mahdollisti videokuvan ja muiden mitattujen muuttujien ajallisen synkronoinnin keskenään.

8.3.2 Heittoalustaan kohdistuneet voimat

Heittoalustaan kohdistuneita voimia mitattiin kahdella alustaan upotetulla vastusvenymäliuska-anturi -periaatteella toimivalla voimalevyllä (kuva 10). Heittäjä sovitti vauhdinottonsa siten, että heiton kaksi viimeistä askelta osuivat kumpikin eri voimalevyille. Täten saatiin mitattua erikseen sekä ristiaskeljalan että tukijalan voimantuotto. Voimalevyjen pintamateriaali oli samanlaista kuin muukin osa heittoalustaa ja mahdollisti näin ollen normaalin heittosuorituksen. Tukijalan voimia mitattiin Kistlerin voimalevyllä, jonka ominaistajuus on parempi kuin ristiaskeljalan voimantuotot mitanneella voimalevyllä. Voimalevyt mahdollistivat voimien mittaamisen kolmessa eri suunnassa. Mitta-

ussuunnat ja voimien vahvistukset olivat ristiaskeljalalle: pystyvoima (Fz) 4,3 mV/kg, vaakavoima (Fy) 8,5 mV/kg ja heittosuuntaan nähden sivuttaissuuntainen voima (Fx) 12,5 mV/kg sekä tukijalalle: (Fz) 4,3 mV/kg, (Fy) 3,9 mV/kg ja (Fx) 6,7 mV/kg. Voimasiignaali johdettiin voimavahvistimen kautta AD-muuntimelle, josta edelleen tietokoneeseen. Data tallioitiin Codas-ohjelmistolla tietokoneen muistiin. Keräystaajuudeksi tuli käytetystä yleistaajuudesta ja kanavien lukumäärän johdosta 833 Hz.

8.3.3 Lihasaktiivisuudet

Heittäjiltä mitattiin lisäksi heiton aikaisia lihasaktiivisuuksia ylävartalon viidestä eri lihaksesta. Mitatut lihakset olivat: pectoralis major (iso rintalihas), biceps brachi (hauslihas), triceps brachi (kolmipäinen olkalihas), palmaris longus (pitkä kämmenlihas) ja ant. deltoideus (hartialihaksen etuosa). Lihasaktiivisuuksien mittaamisessa käytettiin Beckman -tyyppisiä bipolaarisia pintaelektrodeja. Elektrodien asennuspaikoista poistettiin partakoneella ihokarvat ja hienolla hiomapaperilla kuollut iho. Iho puhdistettiin lisäksi lääkebenssiinillä. Ihon puhtauden riittävyys tarkistettiin mittaamalla iholle kiinnitetyn elektrodin napojen välinen vastus (ohmi, Ω), jonka tuli olla alle 10 K Ω . Tällä tavoin saavutettiin riittävän häiriötön EMG-signaali. Elektrodit kiinnitettiin ihoon teipeillä ja heittokädessä käytettiin lisäksi eräänlaista ”sukkaa” elektrodien liikkumisen minimoimiseksi heittosuorituksen aikana.

Heittäjän vyötärölle selän puolelle kiinnitettiin Glonnerin EMG-lähetin, johon johdot kustakin elektrodista liitettiin. Lisäksi yhteen kanavaan yhdistettiin suoliluun päälle asetettu maaelektrodi. EMG-signaali siirtyivät lähetinyksiköstä telemetrisesti Glonner - vastaanottimeen, jossa signaalit vahvistettiin 1000 kertaisesti. Vastaanotimesta EMG-signaali johdettiin edelleen AD-muuntimen kautta tietokoneelle ja Codas-ohjelmistoon. Emg-signaalien keräystaajuus oli 833 Hz.

8.4 Datan analysointi

8.4.1 Liikeanalyysi, voimamuuttujat sekä lihasaktiivisuudet

Kuten aikaisemmin jo todettiin, kaikkien muuttujien osalta saatiin taltioitua yhteensä 22 heittoa heittäjälle KKI ja 6 heittoa heittäjälle JKV. Kuitenkin lihasaktiivisuuksien osalta onnistuneiden heittojen ja siten analysoitujen heittojen määrä oli heittäjällä JKV yhteensä 13. Liikeanalyysiin otettiin kummaltakin heittäjältä 6 onnistunutta heittosuoritusta. Tulososiossa on erikseen mainittu eri muuttujien esittämisen yhteydessä analysoitujen suoritusten kokonaismäärä.

Liikeanalyysi. Liikeanalyysi tehtiin Peak Motus 32 –liikeanalyysiohjelmistolla. Kumpikin kuvatuista videonauhoista digitoitiin 3-ulotteisen liikeanalyysin suorittamiseksi. Kolmiulotteisten koordinaattien määrittämisessä ja laskemisessa ohjelmisto käytti Direct Linear Transformation (DLT) –tekniikkaa. Skaalatut raakakoordinaatit kolmessa eri dimensiossa suodatettiin käyttäen Butterworth-suodatinta 12 Hz taajuudella (Giakas ym. 1998). Suodattimen taajuus valittiin kokeilemalla eri taajuuksia 10 – 20 Hz väliltä ja valiten näistä järkevimmin käyrää suodattava taajuus. Kehon eri pisteiden paikkojen määrittämisessä ja digitoimisessa sekä kehon massakeskipisteen laskemisessa käytettiin Zatsiorskyn ja Seluyanovin (1983) 18 pisteen mallia. Motus 32 –ohjelmistolla voitiin laskea kaikkien digitoitujen pisteiden sekä massakeskipisteen nopeudet ja kiihtyvyydet sekä haluttujen kulmien suuruudet, kulmanopeudet ja –kiihtyvyydet. Liikeanalyysitietojen jatkokäsittely suoritettiin Excel 97 –taulukkolaskentaohjelmistolla.

Voimamuuttujat. Voimamuuttujien analysoinnin alkuvaiheessa käytettiin Fcodas –ohjelmistoa. Kyseisessä ohjelmassa voimadatasta valittiin halutun pituinen jakso, alkaen 200 ms ennen ristiaskeljalan kontaktia ja loppuen 200 ms keihään irrotuksen jälkeen, joka siirrettiin ascii-muodossa Excel 97 –taulukkolaskentaohjelmaan jatkokäsittelyjä varten. Excel 97 –ohjelmassa arvot muunnettiin voimalevyjen vahvistuksen mukaan kiloiksi ja Newtoniksi (N). Voimakäyristä laskettiin jokaiselle kontaktille voiman maksimiarvoja kontaktin eri vaiheista ja hyvin onnistuneita suorituksia kuvattiin myös voimamuuttujien raakakäyrien avulla.

Nivelmomentit. Heittäjän nilkka-, polvi- ja lonkkanivelen nivelmomenttien laskeminen suoritettiin käänteisen dynamiikan periaatteiden mukaisesti (Ariel Dynamics 2001). Laskukaavat (liite 1) kirjattiin Excel 97 –taulukkolaskentaohjelmistoon, jossa yhdistettiin tarvittavien nivelpisteiden (tukijalan varvas, nilkka, polvi ja lonkka) koordinaatit, segmenttien massaparametrit Zatsiorskyn ja Seluyanovin (1983) mukaan (suhteellinen massa, massakeskipisteen paikka ja gyraatiosäde) sekä tukijalkaan kohdistuneet maan reaktiovoimat (F_z ja F_y). Nivelmomentit laskettiin jokaisesta liikeanalyysiin mukaan otetusta heittosuorituksesta.

Lihasakiivisuudet. Lihasakiivisuuksien analysoinnissa käytettiin Fcodas –ohjelmistoa. EMG -data suodatettiin Fast Fourier Transformation –tekniikalla suodatustaajuuden ollessa 0-20 Hz ja tasasuunnattiin. Datasta valittiin alue, alkaen 200 ms ennen tukijalan kontaktia ja loppuen 200 ms keihään irrotuksen jälkeen, joka siirrettiin ascii-muodossa Excel 97 –taulukkolaskentaohjelmaan jatkokäsittelyjä varten. Lisäksi Fcodas ohjelmistolla laskettiin EMG-käyrien integraaleja lihasten esiaktiivisuudesta 200-100 ms ja 100-0 ms ennen vetovaiheen alkua sekä yhtenä kokonaisuutena vetovaiheen ajalta. Integroitujen EMG-arvojen ilmoittamisessa käytettiin keskimääräistä lihasaktiivisuutta (aEMG) mittayksiköiden ollessa millivolteja (mV). Excel 97 –ohjelman avulla lihasaktiivisuuksia kuvattiin tasasuunnattuina raakakäyriä aikanormalisoituna liikeanalyysi- sekä voimamuuttujien kanssa.

8.4.2 Tilastolliset menetelmät

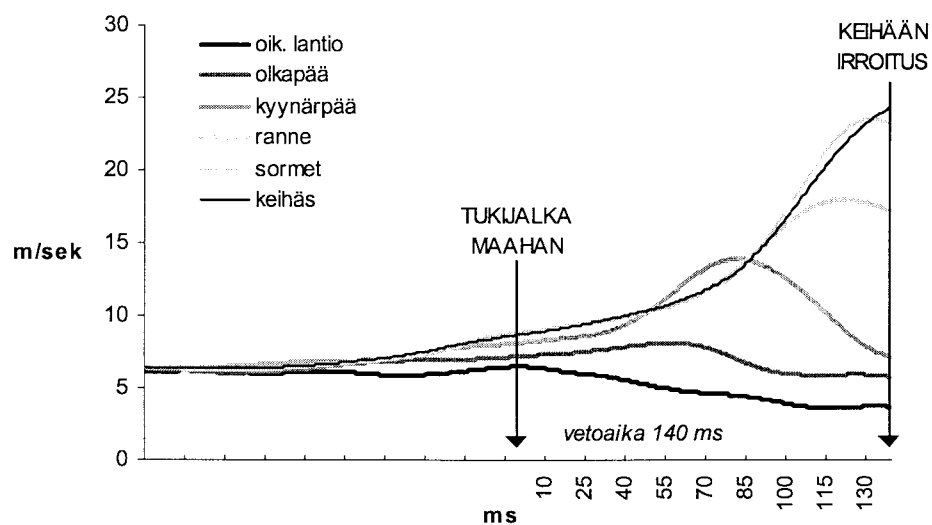
Aineiston tilastollista tarkastelua suoritettiin sekä SPSS 10.0 -tilastolaskuohjelmalla sekä Excel 97 –taulukkolaskentaohjelmalla. Tilastollisina menetelminä käytettiin eri muuttujien keskiarvoja ja keskihajontoja koehenkilöittäin. Eri muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin Pearsonin 2-suuntaisella korrelaatioanalyysillä, jossa alimman merkitsevyyden tasoksi asetettiin $p < .05$. Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin ainoastaan yksilöiden sisällä.

9 TULOKSET

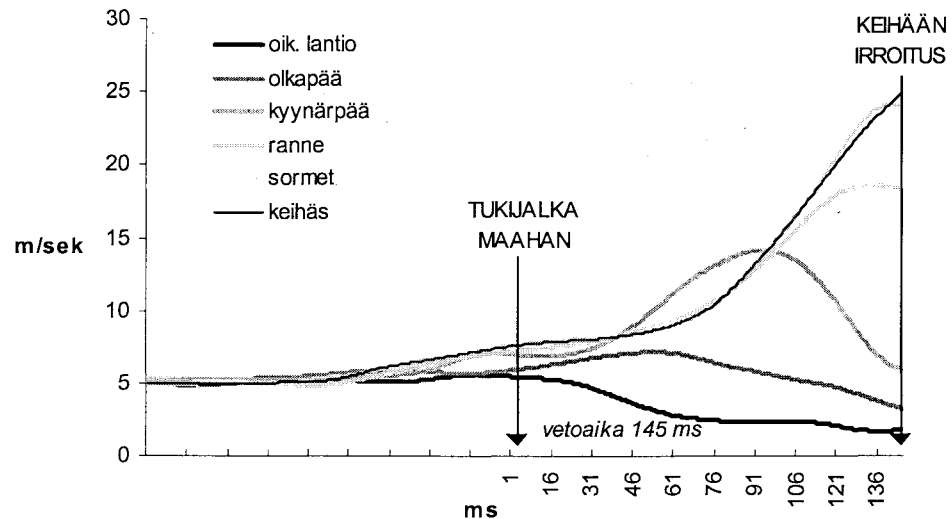
Liikeanalyysiin otettiin mukaan kummaltakin heittäjältä kuusi voima- ja emg-signaaleiltaan mahdollisimman hyvää heittosuoritusta. Voima- ja emg-analyyseissä on sen sijaan onnistuneiden heittojen määrästä riippuen mukana useampiakin suorituksia. Aineiston ajoittaisesta pienuudesta huolimatta tuloksissa on esitetty muutamia tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä eri muuttujien välillä. Suurin kiinnostus on ollut eri muuttujien yhteydessä keihään lähtönopeuteen, joka mitatuista muuttujista parhaiten ennustaa heiton pituutta (mm. Komi & Mero 1985: $r = .97$, Kunz & Kaufmann 1983: $r = .76$). Muiltakin osin tuloksia on pyritty havainnollistamaan mahdollisimman paljon erilaisten kuvaajien avulla.

9.1 Kineettinen ketju – nivelpisteiden nopeudet

Liikeanalyysin avulla laskettiin heittäjän eri nivelpisteiden nopeuksia ja kiihtyvyyksiä, nivelkulmia, kulmanopeuksia sekä epäsuorasti tiettyjä kehonosien etäisyyksiä. Nivelpisteiden lineaaristen nopeuksien avulla voidaan tarkastella heittoliikkeen kineettisen ketjun toimintaa eli voimantuoton ja heittoliikkeen nopeuden kasvamista siirryttäessä kehon alaosista kohti heittokättä ja keihästä (kuva 11 ja 12).



KUVA 11. Heittäjän JKV eri nivelpisteiden ja keihään kolmedimensionaaliset resultanttiset nopeudet kuuden heittosuorituksen keskiarvokuvaajina.



KUVA 12. Heittäjän KKI eri nivelpisteiden ja keihään kolmedimensionaaliset resultanttiset nopeudet kuuden heittosuorituksen keskiarvokuvaajina.

Vertailtaessa heittäjiä voidaan huomata KKI:n saavuttaneen hieman suuremman keihään loppunopeuden irrotushetkellä kuin JKV. Kuitenkin KKI:n lantion oikean puolen sekä olkapään keskimääräinen maksiminopeus olivat kumpikin 0,9 m/s alhaisempia kuin vastaavat nopeudet JKV:llä (taulukko 1). Ranteen ojennuksen merkitys liikeketjun ja keihään viimeisenä kiihdyttäjänä oli kummallakin heittäjällä merkittävä: ranteen maksiminopeuden ja keihään lähtönopeuden välinen ero oli noin 6 m/s.

TAULUKKO 1. Keihään sekä valittujen nivelpisteiden lineaariset maksiminopeudet, maksiminopeuden ajoittuminen millisekunneissa suhteessa tukijalan maahantuloon sekä prosentuaalisesti koko vetovaiheen alusta lukien kuuden heittosuorituksen keskiarvoina.

Muuttuja	Oik. lantio	Olkapää	Kyynärpää	Ranne	Sormet	Keihäs
JKV						
Maks. nopeus	6,5	8,1	13,9	17,9	23,5	24,3
Ajoitus (ms)	-5	+56	+77	+116	+131	+135
Ajoitus (%)		41,5	57,0	85,9	97,0	100
KKI						
Maks. nopeus	5,6	7,2	14,2	18,6	24,2	24,9
Ajoitus (ms)	-8	+59	+99	+139	+145	+150
Ajoitus (%)		39,3	66,0	92,7	96,7	100

Tarkasteltaessa keihään kiihtymistä vetovaiheen aikana voidaan todeta keihään vetovaiheen aikaisesta kiihtymisestä tapahtuneen JKV:llä 79,9 % ja KKI:llä 86,3 % vetovaiheen jälkimmäisen puoliskon aikana. Monissa aikaisemmissakin tutkimuksissa raportoidun vetovaiheen viimeisen 50 ms aikaisen kiihtymisen suuruus oli heittäjällä JKV: 64,8 % ja heittäjällä KKI: 60,6 %.

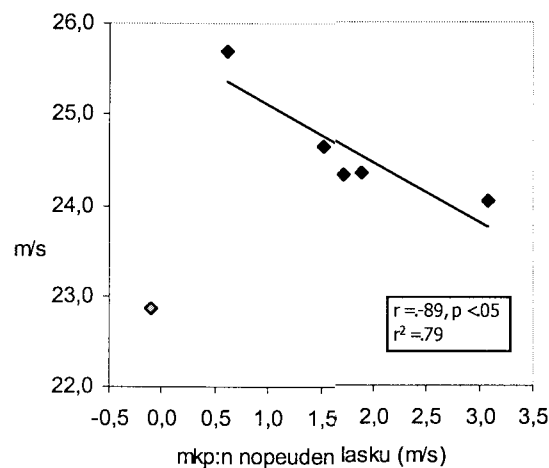
Korrelaatioanalyysissä ei tullut esille mitään merkitseviä ($p < .05$) korrelaatioita eri nivelpisteiden maksiminopeuksien tai maksiminopeuksien ajankohtien ja keihään lähtönopeuden välillä. Tämä johtunee osaltaan monien muuttujien suhteellisen pienestä hajonnasta. Ainoa mielenkiintoinen muuttujien välinen yhteys oli kyynärpään lineaarisen maksiminopeuden ajoittumisajankohdan sekä maksimaalisen kyynärkulmanopeuden välinen korrelaatio KKI:llä ($r = -.97$; $p < .01$). Tämän lisäksi kummallakin heittäjällä korreloi voimakkaasti ranteen lineaarinen maksiminopeus sekä sormien lineaarinen maksiminopeus (JKV: $r = .95$; $p < .01$ ja KKI: $r = .93$; $p < .01$).

Kineettisen ketjun toimintaan liittyy oleellisesti heittäjän massakeskipisteen (mkp) horisontaalisen ja vertikaalisen nopeuden muutokset tukiaskeleen ja vetovaiheen aikana (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Massakeskipisteen horisontaalinen ja vertikaalinen nopeus sekä nopeuden muutokset (Δ) ristiaskelkontaktin (RJ), tukiaskelkontaktin (TJ), keihään irrotuksen hetkellä ja vetovaiheen aikana.

Muuttuja	mkp:n horisontaalinen nopeus					vertik. nop.
	RJ	TJ	irrotus	Δ RJ-TJ	Δ TJ-irrotus	irrotus
JKV						
keskiarvo	6,71	5,79	4,39	0,93	1,40	2,07
keskihajonta	0,30	0,46	0,83	0,67	1,22	1,54
KKI						
keskiarvo	5,45	4,75	2,04	0,71	2,71	0,43
keskihajonta	0,22	0,19	0,34	0,24	0,37	0,66

Massakeskipisteen horisontaalisen nopeuden lasku tukiaskeleen aikana oli kummallakin heittäjällä varsin samansuuruista eri heittojen välillä keskiarvon ollessa JKV:llä $0,93 \pm 0,67$ m/s ja KKI:llä $0,71 \pm 0,24$ m/s. Vaihtelua löytyi sen sijaan mkp:n horisontaalisen nopeuden laskusta vetovaiheen aikana sekä vertikaalisesta nopeudesta keihään irrotushetkellä. Kun otettiin huomioon ainoastaan viisi parasta heittosuoritusta heittäjältä JKV, mkp:n vetovaiheen aikainen nopeuden lasku korreloi merkitsevästi keihään lähtönopeuden kanssa (kuva 13). Selkeästä riippuvuussuhteesta poikkesi analysoiduista heitoista lähtönopeudeltaan heikoin heittosuoritus. Samalla heittäjällä mkp:n horisontaalinen nopeus keihään irrotushetkellä korreloi negatiivisesti ($r = -.82$; $p < .05$) keihään hyökkäyskulmaan. Vastaavasti mkp:n vertikaalisella nopeudella keihään irrotushetkellä oli positiivinen yhteys keihään lähtökulmaan ($r = .87$; $p < .05$). Looginen yhteys löytyi myös vetoaskeleen pituudelle ja mkp:n nopeudella tukijalan maahantuloa hetkellä ($r = -.83$; $p < .05$).



KUVA 13. Keihään lähtönopeuden ja kehon massakeskipisteen horisontaalisen nopeuden vetovaiheen aikaisen vähenemisen välinen yhteys heittäjällä JKV.

Heittäjällä KKI mkp:n horisontaalisen nopeuden muutoksilla ei ollut merkitsevää yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Mkp:n horisontaalinen nopeus tukijalan maahantuloa hetkellä korreloi kuitenkin merkitsevästi keihään lähtökulmaan ($r = -.85$; $p < .05$) sekä hyvin merkitsevästi keihään vetoradan maksimaaliseen sivuttaispoikkeamaan ($r = .96$; $p < .01$).

9.2 Vartalon asennot ja kulmat vetovaiheen aikana

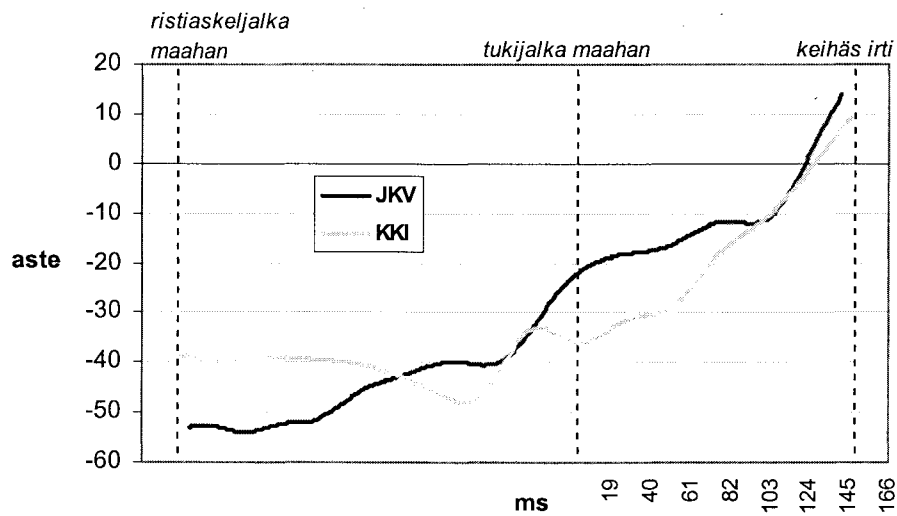
Vartalon asennolla tultaessa vetovaiheeseen eli tukijalan osuessa maahan on hyvin suuri vaikutus heiton loppuosan onnistumiselle. Analysoituja muuttujia heittäjän vetoasentoon liittyen olivat hartia- ja lantiolinjojen välinen kulma ylhäältä päin katsottuna (kuva 14), vartalon takanojan suuruus ristiaskeljalan maahan tullessa (oik. lonkka – oik. olkapää segmentin kallistus vertikaalilinjasta taaksepäin), keihään horisontaalinen etäisyys tukijalasta vedon alkaessa, vetomatka (keihään kulkema matka vedon aikana), vetoradan suurin sivupoiskeama sekä keihään irrotuskorkeus (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Vartalon asentoa ennen ja vetovaiheen aikana kuvaavia muuttujia kuuden heittosuorituksen keskiarvoina.

Muuttuja	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli
JKV			
Vartalon takanoja (aste)	28,5	1,30	26,5 – 29,9
Keihäs-tukijalka etäisyys (m)	1,40	0,07	1,34 – 1,50
Vetoaskeleen pituus (m)	1,80	0,03	1,77 – 1,85
Vetomatka (m)	1,79	0,06	1,72 – 1,86
Vetoradan sivupoiskeama (m)	0,33	0,04	0,28 – 0,39
Irrotuskorkeus (m)	2,22	0,06	2,15 – 2,28
KKI			
Vartalon takanoja (aste)	31,9	1,50	29,3 – 33,3
Keihäs-tukijalka etäisyys (m)	1,42	0,03	1,39 – 1,48
Vetoaskeleen pituus (m)	1,57	0,04	1,54 – 1,64
Vetomatka (m)	1,67	0,03	1,62 – 1,69
Vetoradan sivupoiskeama (m)	0,46	0,02	0,42 – 0,47
Irrotuskorkeus (m)	2,07	0,05	1,98 – 2,12

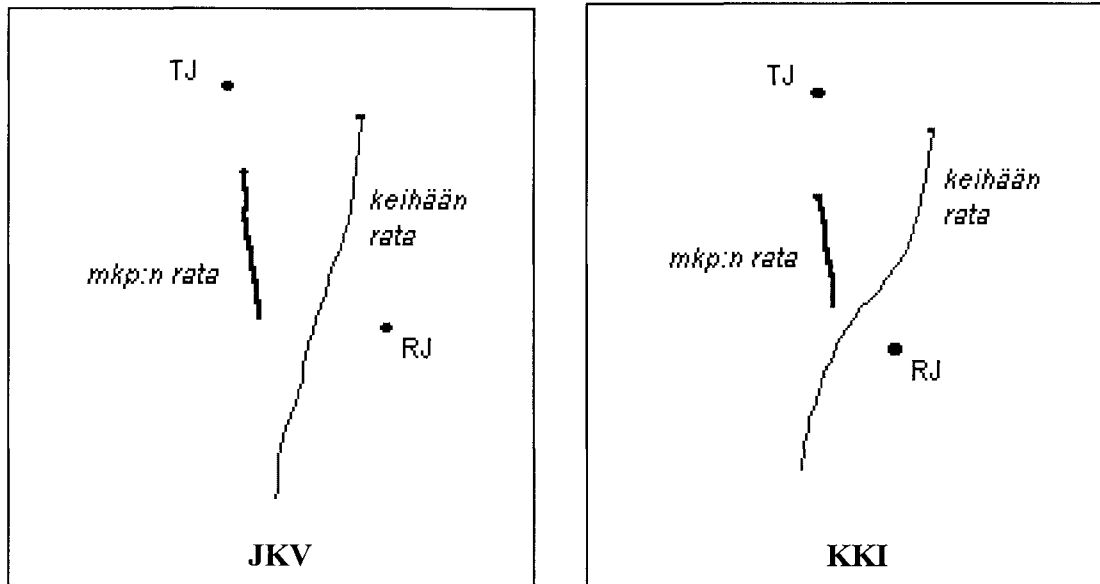
Heittäjällä JKV hartialinjan ja lantiolinjan välinen kulma ylhäältä päin katsottuna oli kuuden heittosuorituksen keskiarvona vetovaiheen alussa - 17,2° ja keihään irrotushetkellä 18,8°. Vastaavat arvot heittäjällä KKI olivat - 40,0° ja 6,1°. Kuvassa 14 on esitetty sen sijaan kummankin heittäjän parhaan heittosuorituksen hartia-lantio –kulman

muutokset. Kyseisessä heitossa JKV:llä hartialinja ohittaa lantiolinjan 20 ms ennen keihään irrotusta ja KKI:llä vastaavasti 15 ms ennen keihään irrotusta.



KUVA 14. Kummankin heittäjän hartia-lantio -linjojen välinen kulma heidän parhaimman heittosuorituksensa vetoaskeleen ja -vaiheen aikana.

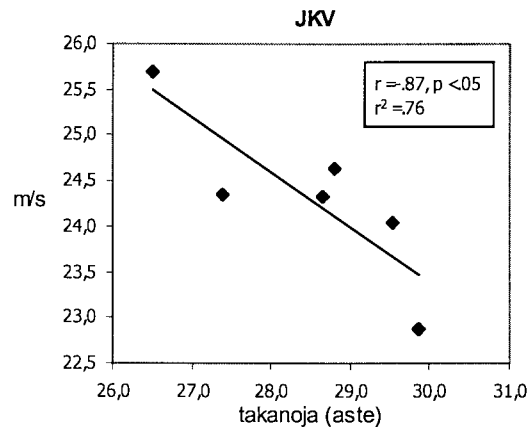
Vartalon asentoihin ja keihään kulkemaan vetomatkaan liittyy läheisesti myös heittäjän massakeskipisteen ja keihään radat vetovaiheen aikana. Heiton liikerata oli kummallakin heittäjällä loivan s:n muotoinen (kuva 15 ja 16).



KUVA 15 ja 16. Massakeskipisteen (mkp) ja keihään narukerän radat vetovaiheen aikana sekä tukijalan (TJ) ja ristiaskeljalan (RJ) sijainnit vetovaiheen lopussa ylhäältä päin tarkasteltuna. Heittosuunta kuvien yläreunaa kohti.

Ylhäältä päin tarkasteltuna heittäjän KKI keihään radassa oli enemmän sivupoikkeamaa kuin JKV:llä. Heittosuuntaan nähden vedon aikainen vetoradan suurin sivuttaispoikkeama oli KKI:llä 45,7 cm ja JKV:llä 28,3 cm heidän parhaissa heittosuorituksissaan. Molemmilla heittäjillä mkp:n liikerata näytti kulkevan vetovaiheen aikana hieman vasemmalle etuviistoon, kun samanaikaisesti keihään liikerata teki loivan s:n oikealle etuviistoon.

Keihään lähtönopeuden kanssa vartalon asentoa ja kulmia kuvaavista muuttujista korreloi merkittävästi ainoastaan vartalon takanojan suuruus heittäjällä JKV (kuva 17). Vartalon takanojan suuruus oli lisäksi merkittävässä yhteydessä vetoradan maksimaaliseen sivuttaispoikkeamaan ($r = .83$; $p < .05$).



KUVA 17. Heittäjän JKV vartalon takanojan ja keihään lähtönopeuden välinen yhteys.

Muihin analysoituihin muuttujiin korreloivat vartalon asentoa ja kulmia kuvaavat muuttujat seuraavasti:

JKV:	vetomatka vs. keihään irrotuskorkeus	$r = .94$	$p < .01$
	lantio-hartiakulma alussa vs. keihäs-tj. etäisyys	$r = -.86$	$p < .05$
KKI:	vetomatka vs. keihään irrotuskorkeus	$r = .94$	$p < .01$
	lantio-hartiakulma alussa vs. keihäs-tj. etäisyys	$r = -.89$	$p < .05$

9.3 Keihään lähtöominaisuudet

Liiketoimen analyysin avulla laskettiin lisäksi erilaisia keihään lähtömuuttujia, kuten keihään lähtökulma ja hyökkäyskulma (taulukko 4). Resultanttinen lähtönopeus on laskettu keihään kädestä irtoamishetkellä. Keihään lähtökulma ja hyökkäyskulma on laskettu keihään lennon ensimmäisen 10 ms ajalta. Keihään lähtönopeuksien keskihajonta oli analysoituissa kuudessa heittosuorituksessa suhteellisen pieni, mikä kuvastaa heittojen yhdenmukaista suoritustekniikkaa ja toisaalta myös suoritustehoa. Heittäjät poikkesivat toisistaan keihään lähtömuuttujien osalta erittäin vähän.

TAULUKKO 4. Keihään lähtömuuttujat. Taulukoissa on analysoituna kummaltakin heittäjältä kuusi heittosuoritusta.

Muuttuja	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli
JKV			
Lähtönopeus (ms)	24.3	0.9	22.9 – 25.7
Lähtökulma (aste)	37.5	2.2	34.9 – 41.4
Hyökkäyskulma (aste)	-2.0	3.0	-6.5 – 1.3
KKI			
Lähtönopeus (ms)	24.9	0.8	23.6 – 25.9
Lähtökulma (aste)	34.4	2.6	30.9 – 37.9
Hyökkäyskulma (aste)	-3.0	1.2	-4.2 – -1.3

9.4 Tukijalan toiminta ja maan reaktivoimat

Heittosuorituksen kahden viimeisen askeleen aikaansaamien maan reaktivoimien kuvaamisessa käytettiin seuraavia muuttujia:

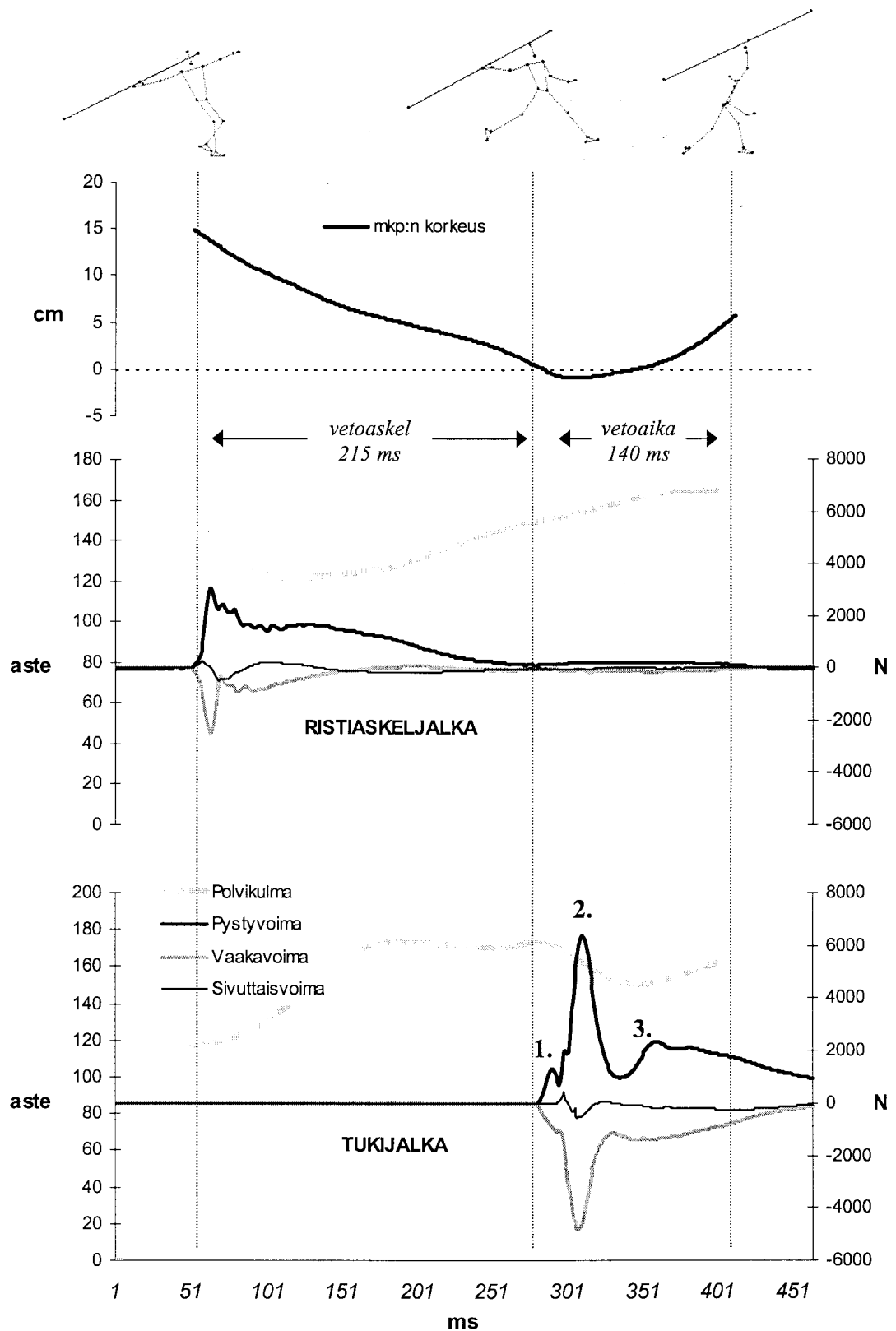
1. *pystyvoima* (F_z) = vertikaalisuuntainen voima
2. *vaakavoima* (F_y) = vauhdinottoradan suunnassa horisontaalisuuntainen voima
3. *sivuttaivoima* (F_x) = vauhdinottorataan nähden poikittainen horisontaalisuuntainen voima.

4. *resultanttivoima* = kolmedimensionaalisista voimista laskettu resultanttinen voimantuotto kaavalla: **neliöjuuri** ($F_z^2 + F_y^2 + F_x^2$)

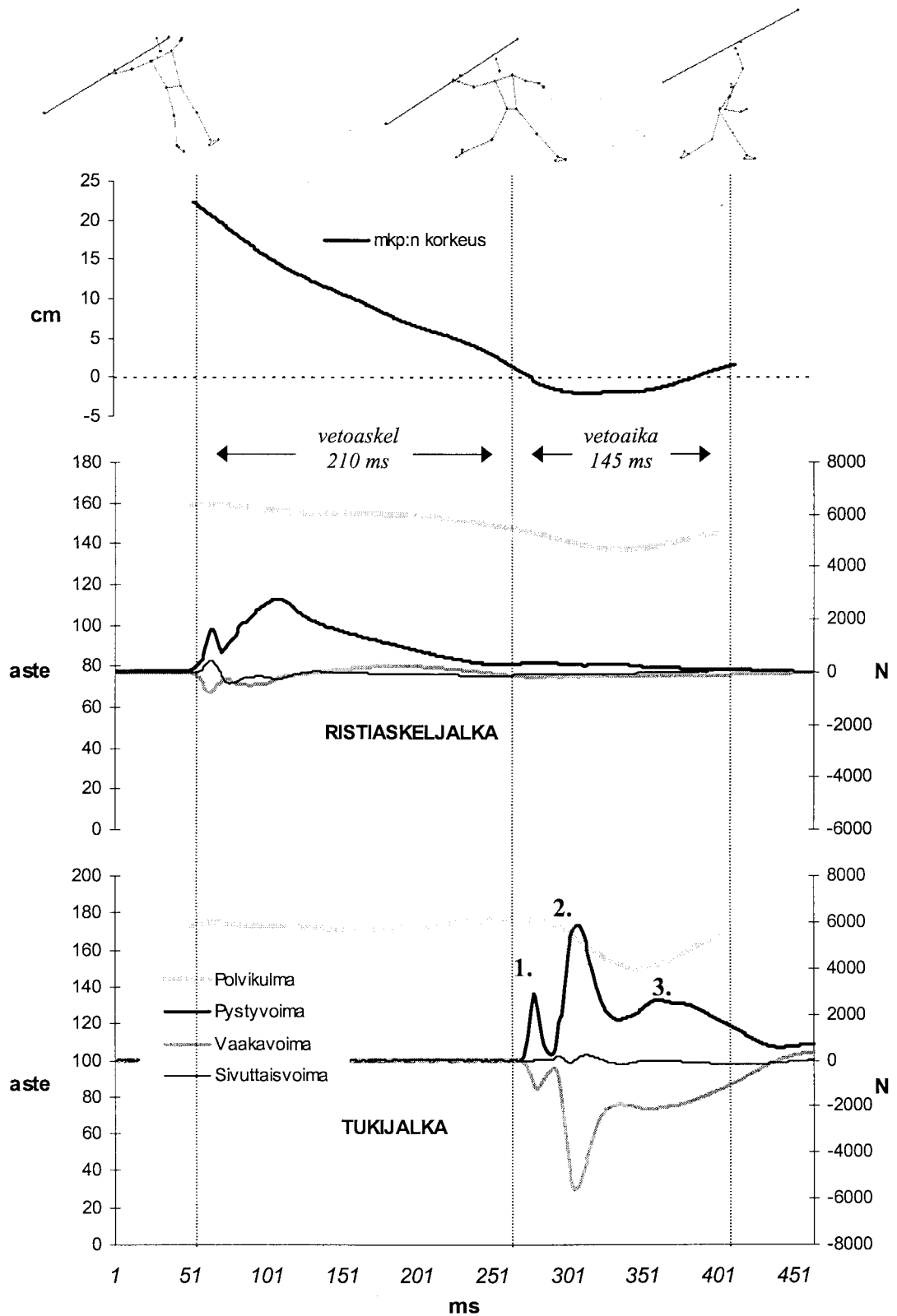
Suurimmat arvot em. voimissa saavutetaan yleensä tukijalan pystyvoimassa kuten tässäkin tutkimuksessa taulukosta 5 voidaan havaita. Analyysiin mukaan otettujen heittojen lukumäärä vaihtelee suhteellisen paljon sen takia, että heittäjällä JKV tukijalka ei viidessä ensimmäisessä heittosuorituksessa osunut kokonaan voimalevyn päälle, jolloin luotettavaa voimadataa ei saatu taltioitua.

Tukijalan pystyvoimassa on havaittavissa kummallakin heittäjän kolme eri huippukohtaa (kuvat 18 ja 19). Ensimmäinen voimahuippu on seurausta tukijalan kontaktin kantaan törmäyksestä maahan. Tämä huippukohta on havaittavissa erittäin selkeästi heittäjällä KKI. Toinen voimahuippu alkaa muodostumaan kun tukijalan koko jalkapohja on maassa ja reiden sekä pakaralan alueen lihakset pyrkivät mahdollisimman nopeasti pysäyttämään heittäjän massan liikkumisen eteenpäin. Heittäjän pyrkiessä koko ajan ojentamaan tukijalkaansa mahdollisimman voimakkaasti, jalka ojentuu vetovaiheen loppuosalla. Tämän ojentumisen seurauksena nähdään tukijalan pystyvoimassa viimeinen ja kolmas voimahuippu, jota kutsutaan myös tukijalan työntövoimapiikiksi (vrt. Korjus 1988 sekä Deporte ym. 1988).

Kummallakin heittäjällä on havaittavissa ristiaskeljalan vaakavoimassa positiivisia eli heittäjää eteenpäin työntäviä voimia ajoittuen vetoaskeleen puolivälistä eteenpäin (kuva 18 ja 19). JKV:llä kyseisen eteenpäin suuntautuvan työntövoiman maksimi on keskimäärin 68,9 N ja KKI:llä vastaavasti 242,5 N. Heittäjän JKV ristiaskeljalan vaakavoiman jarruttava voimahuippu on sen sijaan selvästi suurempi kuin KKI:llä, mikä saattaa aiheuttaa heittäjän etenemisnopeuden hidastumista. Massakeskipiste laskee vetoaskeleen aikana JKV:llä keskimäärin n. 15 cm ja KKI:llä 22 cm. Vetovaiheen aikana massakeskipiste laskee alussa edelleen hieman, mutta alkaa pian nousta ylöspäin varsinkin JKV:llä voimakkaasti. Massakeskipisteen keskimääräinen nousu on koko vetovaiheen aikana JKV:llä 5,7 cm ja KKI:llä 1,7 cm. Tukijalan polvikulma laskee vetovaiheen aikana pienimmillään JKV:llä keskimäärin 148 asteeseen ja KKI:llä 150 asteeseen. Polvikulman ojentuminen vetovaiheen loppua kohti on epätäydellistä kummallakin heittäjällä.



KUVA 18. Heittäjän JKV ristiaskeljalan ja tukijalan tuottamat voimat kolmessa eri suunnassa, polvikulmien muutokset sekä heittäjän massakeskipisteen korkeuden muutos vetoaskeleen ja vetovaiheen aikana kuuden heittosuorituksen keskiarvokuvaajina.



KUVA 19. Heittäjän KKI ristiaskeljalan ja tukijalan tuottamat voimat kolmessa eri suunnassa, polvikulmien muutokset sekä heittäjän massakeskipisteen korkeuden muutos vetoaskeleen ja vetovaiheen aikana kuuden heittosuorituksen keskiarvokuvaajina.

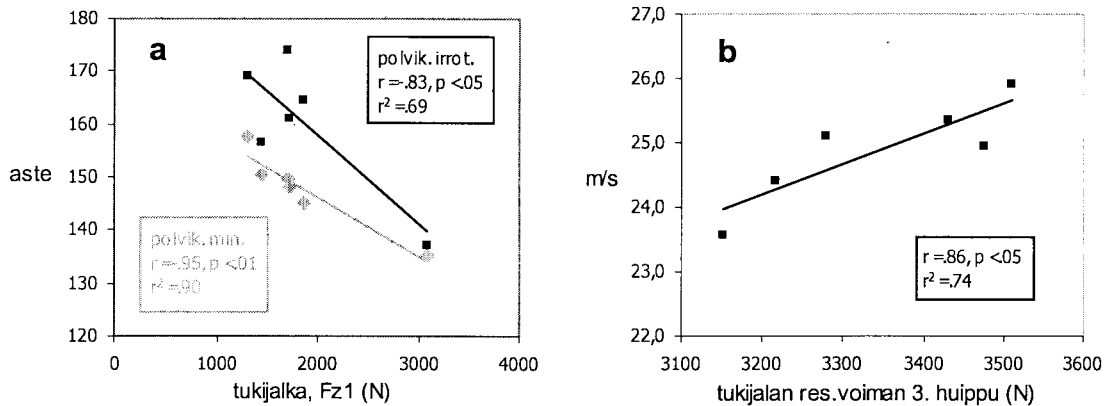
TAULUKKO 5. Heittäjien tukijalan 3-huippuisen pystyvoiman voimahuiput Fz1 max, Fz2 max ja Fz3 max sekä vaaka- (Fy max) ja sivuttaisvoiman maksimi (Fx max) keskiarvoineen ja hajontoineen. Ristiaskeljalalle laskettiin pystyvoiman osalta ainoastaan yksi maksimiarvo (Fz2 max). Lisäksi taulukoissa ristiaskeljalan sekä tukijalan resultanttivoiman maksimiarvo.

Muuttuja	RISTIASKELJALKA			TUKIJALKA		
	keskiarvo	keskihajonta	n	keskiarvo	keskihajonta	n
JKV						
Fz1 max	-	-	-	1854,6	637,5	6
Fz2 max	3265,4	702,2	7	6853,6	613,4	6
Fz3 max	-	-	-	2408,0	131,1	6
Fy max	2563,2	273,6	4	5224,8	208,3	7
Fx max	359,3	67,2	6	504,3	135,0	7
F resultantti	4459,8	1547,9	6	8605,9	634,0	7
KKI						
Fz1 max	-	-	-	2991,2	289,1	19
Fz2 max	2941,6	396,2	19	6023,4	402,1	19
Fz3 max	-	-	-	2656,6	85,3	19
Fy max	809,0	156,4	15	5719,9	389,3	19
Fx max	481,1	118,0	19	284,8	50,4	19
F resultantti	3113,6	414,7	19	8250,3	572,6	19

Heittäjän tuottamilla erisuuntaisilla maan reaktiivoimilla tai jalkojen polvikulmien muutoksilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Kuitenkin heittäjällä KKI tukijalan resultanttivoiman kolmas voimapiikki korreloi merkitsevästi ($r = .86$; $p < .05$) keihään lähtönopeuden kanssa (kuva 20b). Tämän lisäksi KKI:llä korreloivat keskenään heikosti tukijalan resultanttivoiman 2. ja 3. voimahuippu ($r = .49$; $p < .05$), kun otetaan huomioon kaikkiaan 18 heittosuorituksen arvot. Edellä mainittujen lisäksi heittäjällä KKI tukijalan toinen voimapiikki korreloi negatiivisesti keihäs-tukijalka etäisyyteen vetovaiheen alussa ($r = -.90$, $p < .05$).

Heittäjällä JKV tukijalan ensimmäisen voimapiikin arvo korreloi merkitsevästi tukijalan polvikulman muutoksien kanssa (kuva 20a). Toisin sanoen mitä suurempi ensimmäinen

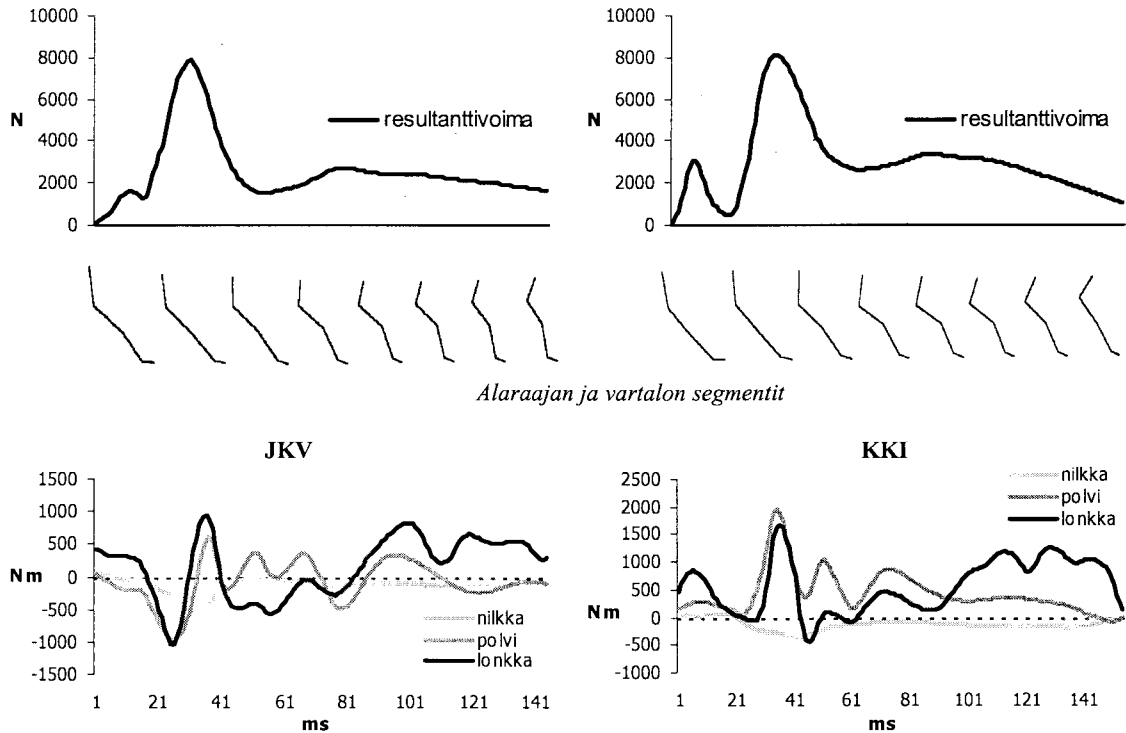
pystyvoiman törmäyspiikki oli, sitä enemmän heittäjän tukijalka taipui vetovaiheessa, eikä toisaalta ojentunut vedon loppua kohden yhtä voimakkaasti.



KUVA 20. **a)** Tukijalan pystyvoiman ensimmäisen voimapiikin sekä tukijalanpolvikulman muutosten välinen yhteys kuudessa heittosuorituksessa heittäjällä JKV. **b)** Tukijalan resultanttivoiman 3. voimahuipun ja keihään lähtönopeuden välinen yhteys kuudessa heittosuorituksessa heittäjällä KKI.

Tukijalan reaktiivoimien ja polvikulmien muutosten lisäksi alavartalon toimintaa kuvaajat osaltaan nilkka-, polvi- ja lonkkanivelen nivelmomentit (kuva 21). Niiden avulla voidaan arvioida toimivatko kyseiset nivelet koukistus- vai ojennussuunnassa heiton eri vaiheissa. Tämä puolestaan antaa jonkinlaista tietoa siitä, mitkä lihakset mahdolliset ovat aktiivisia heittosuorituksen vetovaiheen eri osissa. Laskukaavasta johtuen nilkkamomentissa positiivinen arvo tarkoittaa nilkan aktiivista koukistamista, polvimomentissa polven ojentamista ja lonkkanivelessä lonkan koukistamista (liite 1).

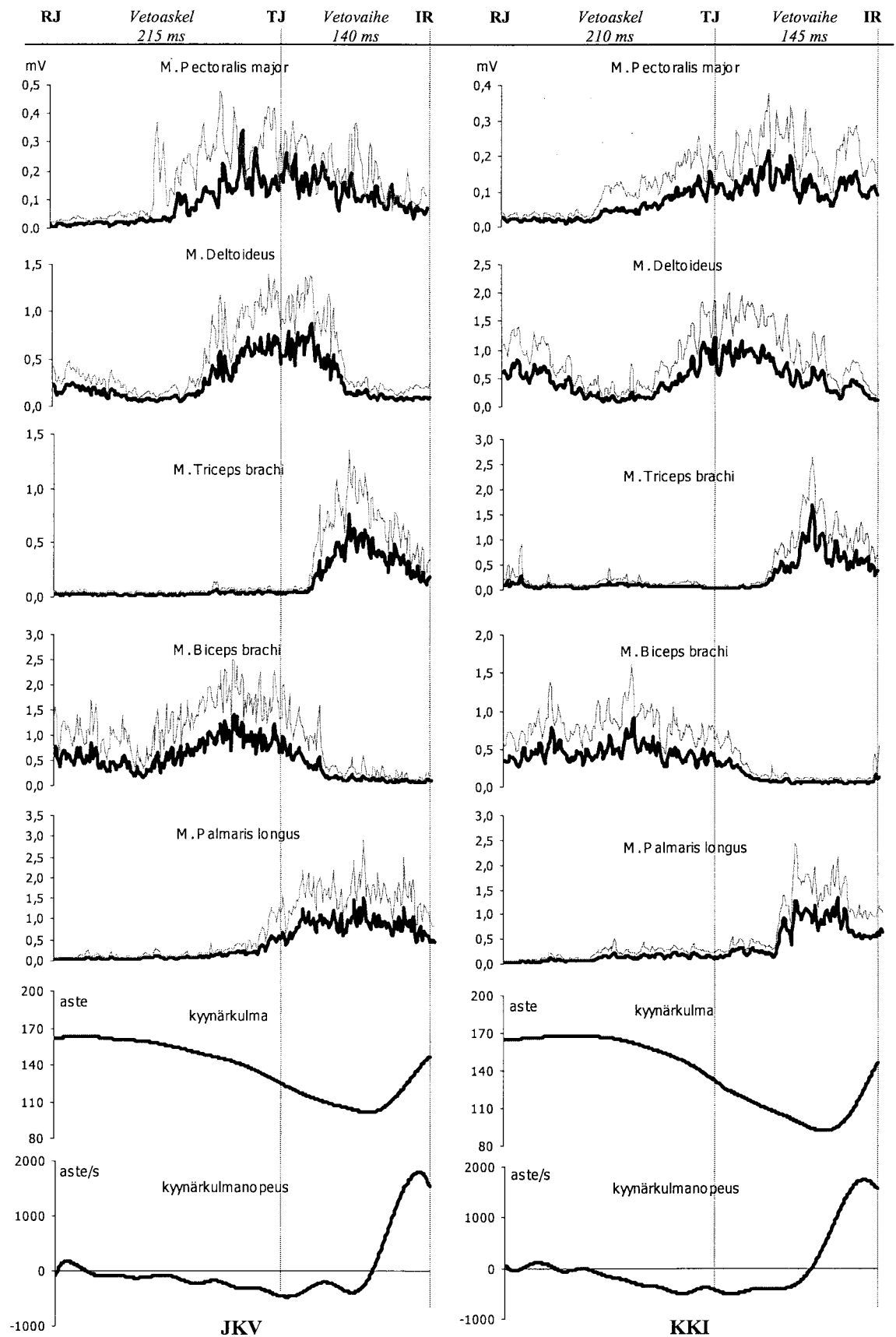
Nilkan nivelmomentit olivat kummallakin heittäjällä suhteellisen yhteneväiset niin muodoltaan kuin suuruudeltaan. Polvi- ja lonkkamomentit olivat KKI:llä selvästi suurempia kuin JKV:llä ja muodoltaan ne poikkesivat heittäjien välillä suhteellisen merkittävästi kuvastaen mahdollisesti erilaista alaraajojen toimintaa vetovaiheen aikana. Nivelmomenttien arvoja ei käytetty tilastollisessa analyysissä momenttiarvojen erittäin suuren suoritusten välisen vaihtelun vuoksi.



KUVA 21. Heittäjien JKV ja KKI vetovaiheen nilkka-, polvi- ja lonkkanivelten nivelmomentit, tukijalan resultanttivoima sekä oleellisten segmenttien tikku-ukkuvaaja (20 ms:n välein) kuuden heittosuorituksen keskiarvonakuvaajina.

9.4 Heittokäden lihasaktiivisuudet ja kulmamuuttajat

Heittokäden lihasaktiivisuuksilla pyrittiin kuvaamaan heittokäden toimintaa vetovaiheen aikana. Eri lihasten aktiivisuuksia ei keskenään voi vertailla, eikä myöskään samoja lihaksia eri heittäjien välillä. Näin ollen on keskityttävä eri lihasten toimintajärjestysten ja aktiivisuuksien alkamis- ja loppumishetkien vertailuun suhteessa vartalon muihin osiin ja erityisesti heittokäden kyynärpäähän kulmamuutoksiin. (kuva 22.) Selkeimmin voitiin tuloksista havaita kummankin heittäjän osalta deltoideuksen etuosan suuri aktiivisuus hieman ennen vetovaihetta sekä vetovaiheen alkuosan aikana, jolloin lihasta voimakkaasti venytetään. Agonisti-antagonisti lihaksina toimivien bicepsin sekä tricepsin toiminnassa näkyy selvä vuorottaisuus. Ennen vedon alkamista hauislihas on kummallakin heittäjällä varsin aktiivinen, mutta vedon alettua aktiivisuus loppuu vetovaiheen ensimmäinen kolmanneksen jälkeen kokonaan. Samanaikaisesti tricepsin aktiivisuus kasvaa huomattavasti ollen suurimmillaan vetovaiheen puolivälissä.

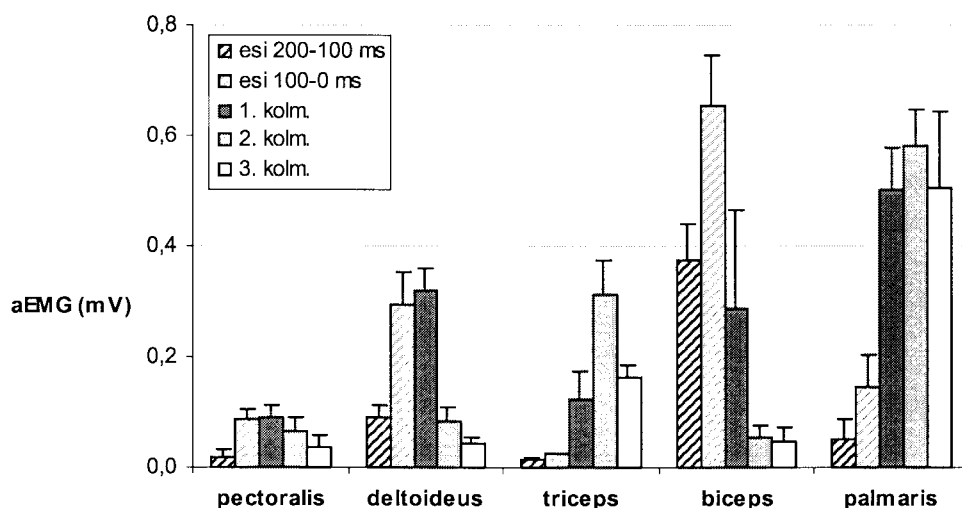


KUVA 22. Heittökäden lihasaktiivisuudet (aEMG sekä hajonta) ja kyynärpään kulmamuutokset kuuden heittosuorituksen keskiarvokuvaajina kummaltakin heittäjältä.

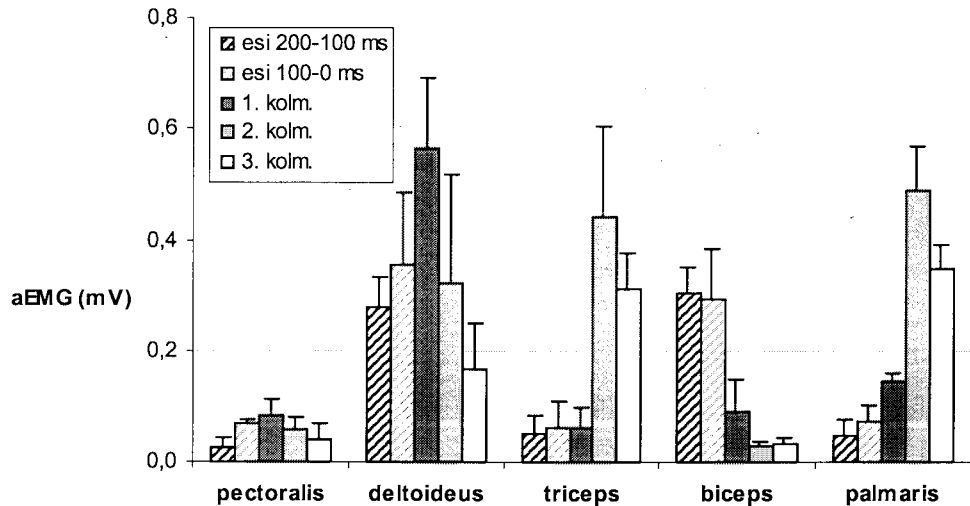
Aktivoitumismallien osalta ainoastaan palmaris longuksen toiminnassa heittäjät eroavat toisistaan. JKV:llä palmaris longus on lähes tasaisesti aktiivinen koko vetovaiheen ajan, kun puolestaan KKI:llä kyseinen lihas aktivoituu selvästi vasta vetovaiheen jälkimmäisen puoliskon aikana.

Kyynärkulma oli heittäjällä JKV vetovaiheen alkaessa keskimäärin 121° , pienimmillään vedon aikana 96° ja keihään irtoamishetkellä 151° . Heittäjällä KKI vastaavat kyynärkulmat olivat 122° , 91° ja 146° . Heittäjällä JKV kyynärkulman ojentumisnopeuden maksimiarvo oli keskimäärin $1862^\circ/\text{sek.}$, suurimman yksittäisen arvon ollessa $2122^\circ/\text{sek.}$ KKI:llä vastaavasti keskimääräinen kyynärkulman ojentumisnopeuden maksimi oli $1762^\circ/\text{sek.}$ ja suurin yksittäisen heiton arvo $1919^\circ/\text{sek.}$ Kyynärkulman ojentumisnopeuden maksimi ajoittui kummallakin heittäjällä keskimäärin 10-15 ms ennen keihään irtoamishetkeä.

Integroiduilla lihasaktiivisuuksilla voidaan vielä tarkemmin tarkastella mm. eri lihasten esiaktiivisuuksia ja keskimääräistä aktiivisuutta vetovaiheen eri osien aikana. Esiaktiivisuudet analysoitiin kahdessa 100 ms:n jaksossa ennen vetovaiheen alkua ja vetovaiheen lihasaktiivisuudet jakaen jokaisen suorituksen vetovaihe ajallisesti kolmeen yhtä pitkään (45 – 50 ms) osaan. (kuva 23 ja 24.)



KUVA 23. Heittäjän JKV keskimääräiset (aEMG) lihasten esiaktiivisuudet sekä vetovaiheen 1., 2. ja 3:n kolmanneksen aktiivisuudet kuuden heittosuorituksen keskiarvoina.



KUVA 24. Heittäjän KKI keskimääräiset (aEMG) lihasten esiaktiivisuudet sekä vetovaiheen 1., 2. ja 3:n kolmanneksen aktiivisuudet kuuden heittosuorituksen keskiarvoina.

Korrelaatioanalyysissä käytettiin lihasten keskimääräisiä EMG-aktiivisuuksia (aEMG) ajalta 200 – 100 ms ja 100 – 0 ms ennen vetovaiheen alkua ja koko vetovaiheen keskimääräistä EMG-aktiivisuutta. Muutamilla EMG-aktiivisuuksilla ja heittokäden kyynärkulman muuttujilla oli tilastollisesti merkitsevä yhteys keihään lähtönopeuteen (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Keihään lähtönopeuden kanssa merkitsevästi ($p \leq .05$) korreloivat EMG- ja kyynärkulmamuuuttajat kummallakin heittäjällä.

Muuttuja	r	p	r ²
JKV			
Bicepsin esiaktiivisuus 100 – 0 ms	-.90	< .05	.81
Deltoideuksen vetoaktiivisuus	-.93	< .01	.87
KKI			
Kyynärkulman minimi vetovaiheen aikana	-.83	< .05	.69
Kyynärkulma irrotushetkellä	.81	= .05	.66

Ylävartalon lihasaktiivisuuksilla sekä heittokäden kulmamuuuttujilla havaittiin merkitseviä korrelaatioita moniin muihinkin muuttujiin kuin ainoastaan keihään lähtönopeuteen. Tärkeimmät näistä merkitsevistä yhteyksistä on mainittu myöhemmin pohdinnan yhteydessä.

10 POHDINTA

10.1 Kineettinen ketju – nivelpisteiden nopeudet

Eri nivelpisteiden nopeuksien osalta kummallakin heittäjällä voidaan havaita kehon osien liikkeiden kiihtyminen siirryttäessä alavartalosta ylävartaloon. Jokaisen segmentin nopeus hidastuu (negatiivinen kiihtyvyys) ennen ylemmän segmentin nopeuden kiihtymistä huippuunsa, mikä kuvastaa hyvin vartalon piiskamaista liikettä alkaen kehon alemmista osista ja kiihtyen kohti ylempiä osia sekä keihästä. Kehon eri nivelpisteiden nopeudet olivat suhteellisen lähellä muissa tutkimuksissa mitattuja vastaavia nopeuksia (mm. Mero ym. 1994, Whiting ym. 1991). Kuitenkin eri nivelpisteiden nopeudet ja keihään lähtönopeudet jäivät suhteellisen alhaisiksi ottaen huomioon kummankin heittäjän heittoennätykset ja niihin vaadittavat keihään lähtönopeudet. Keihään suhteellisen alhainen lähtönopeus tässä tutkimuksessa näkyy myös hieman alempina kyynärpään, ranteen ja sormien lineaarisina nopeuksina kuin tutkimuksissa, joissa heittojen lähtönopeudet ovat olleet 28 – 29 m/s. Selityksenä lienee tutkimuksen ajankohta, joka oli keskellä kovaa talven harjoituskautta, jolloin heittotehot ja irtiottokyky eivät varmastikaan olleet parhaassa mahdollisessa kunnossa. Kuten lantion ja olkapään maksimaalisista nopeuksista heittäjillä saattoi huomata, vartalon alempien segmenttien suuremmat nivelpisteiden nopeudet eivät välttämättä johtaneet suurempaan keihään lähtönopeuteen. Ranteen maksimaaliset nopeudet jäivät tutkimuksessa niin ikään yllättävän alhaisiksi verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin, joissa nopeudet ovat yleensä vaihdelleet 20 – 22 m/s välillä (mm. Mero ym. 1994 ja Norvapalo ym. 2000). Ranteen ja sormien nopeuden välinen merkitsevä positiivinen korrelaatio kuvasti kuitenkin ranteen automaattista toimintaa keihästä kiihdyttävän ”piiskaliikkeen” viimeisenä osana.

Molemmilla heittäjillä lantion oikean puolen maksimaalinen nopeus ajoittui 5 – 8 ms ennen tukijalan maahantuloa, mikä voi kuvastaa hieman liian aikaisin aloitettua lantion kääntöä ja heiton vetovaihetta. Lantion maksiminopeuden ajoittuminen poikkesi varsin paljon Meron ym. (1994) tutkimuksesta, jossa todettiin maksiminopeuden ajoittuneen miesheittäjillä keskimäärin 16 ms tukijalan maahan tulon jälkeen. Lantion käännön aikaisella aloittamisella voidaan toisaalta nopeuttaa hieman tukijalan maahantuloa ja mahdollistaa samalla parempi horisontaalisen liikenopeuden säilyminen ennen tukijalan maahantuloa.

Nivelpisteiden nopeuksien ajoituksissa heittäjät poikkesivat toisistaan selkeimmin kyynärpäähän nopeuden suhteen. Heittäjä KKI näyttää viivyttävän kyynärpäähän kiihdyttämistä pidempään kuin JKV käyttäen näin ollen mahdollisesti tehokkaammin hyväksi rinta- ja hartialihastensa elastista voimaa. Monet muutkin muuttajat myöhemmin tulevat osoittamaan heittokäden osuuden olleen heittäjällä KKI varsin merkittävässä asemassa vetovaiheen onnistumisen kannalta. Vetovaiheen viimeisen 50 ms:n aikainen keihään nopeuden kiihtyminen oli tässä tutkimuksessa suurempaa (60 – 65 %) kuin esim. Komin & Meron (1985) tutkimuksessa (keskim. 55 %). Tulos kuvastanee tämän tutkimuksen heittäjien tehokasta ja oikea-aikaista alavartalon toimintaa sekä hyvää kykyä hyödyntää tehokkaasti heitossa vaadittavien lihasten elastisia ominaisuuksia.

Heittäjien massakeskipisteen horisontaaliset nopeudet tukijalan maahantulohetkellä olivat hyvin lähellä Komin ja Meron (1985) sekä Morrisin ym. (1995) saamia tuloksia. Aikaisemmista tutkimuksista poiketen (vrt. Korjus 1988) mkp:n nopeudella tukijalan maahantulohetkellä ei ollut tilastollista yhteyttä keihään lähtönopeuteen. Mkp:n horisontaalista nopeutta menetti kumpikin heittäjä hieman alle 1 m/s tukiaskaleen aikana. Suurin ero heittäjien välillä oli mkp:n horisontaalisen nopeuden muutoksessa vetovaiheen aikana. Heittäjä JKV menetti horisontaalista nopeuttaan vetovaiheen aikana ainoastaan 24 % ja heittäjä KKI vastaavasti 57 %. Heittäjä JKV poikkeaa varsin selkeästi aikaisemmista tutkimuksissa saaduista tuloksista, joissa keskimääräinen nopeuden aleneminen on ollut noin 50 % (mm. Morris ym. 1995 ja Bartlett ym. 1996). Selityksenä heittäjän JKV pienemmälle nopeuden laskulle vetovaiheessa saattavat olla pienempi vartalon takanoja vetovaiheeseen tultaessa sekä suurempi keihään vectorata kuin heittäjällä KKI.

Massakeskipisteen nopeuksista tai niiden muutoksista korreloi keihään lähtönopeuden kanssa ainoastaan negatiivisesti heittäjän JKV mkp:n vetovaiheen aikaisen horisontaalisen nopeuden väheneminen lukuunottamatta lähtönopeudeltaan heikointa analysoitua heittosuoritusta. Toisin sanoen, mitä paremmin heittäjä JKV pystyi säilyttämään horisontaalisen nopeutensa vetovaiheen aikana sitä suurempi oli keihään lähtönopeus. Korrelaation laskemista ilman edellä mainittua huonointa heittosuoritusta voitiin pitää perusteltuna, sillä kyseinen suoritus poikkesi muidenkin muuttujien osalta selvästi muista heitoista. Kyseisessä heitossa polvi- sekä lonkkanivelen ojennusmomentit olivat suurimmat ja tukijalka ojentui suorimmaksi verrattuna muihin analysoituihin heittoihin.

Heittäjällä KKI tukijalan maahantulohetken mkp:n horisontaalisen nopeuden kasvaminen aiheutti selvästi ongelmia heiton vetovaiheen hallinnassa. Aikaisemmin mainittujen korrelaatioiden mukaan heittäjällä KKI mkp:n kasvanut nopeus tukijalan maahantuloheikellä lisäsi merkittävästi keihään vetoradan sivuttaispoikkeamaa sekä alensi merkittävästi keihään lähtökulmaa. Alhaisempaan keihään lähtökulmaan on toisaalta mahdollista tuottaa yleensä suurempi keihään lähtönopeus (Terauds 1985), mutta tässä tapauksessa kyseistä yhteyttä ei kuitenkaan havaittu.

10.2 Vartalon asennot ja kulmat

Vartalon asento on jokaisella heittäjällä jokseenkin yksilöllinen heiton vetovaiheen alkaessa. Hartia-lantio –linjojen välinen kulma vetovaiheen alkaessa oli heittäjällä JKV keskimäärin $-17,2^\circ$ ja heittäjällä KKI $-40,0^\circ$. Kumpikin tuloksista poikkeaa jonkin verran aikaisemmista tutkimuksista, joissa arvot ovat sijoittuneet yleensä edellisten arvojen väliin (mm. Campos ym. 1995, Morris ym. 1997 ja Norvapalo ym. 2000). Perinteisesti keihäänheiton vetovaiheessa puhutaan nopeasta lantion lyönnistä, jolloin lantiolinjan tulisi kiertyä heittosuuntaan hartialinjan edelleen pitäessä alkuperäisen suuntansa. Tämä näkyisi kuvan 13 kaltaisessa kuvaajassa hartia-lantio -linjojen välisen kulman äkillisenä suurentumisena eli suurempana negatiivisena arvona heti tukijalan maahantulon jälkeen. Heittäjällä KKI onkin havaittavissa jonkinasteista lantion lyöntiä, joka kuitenkin ajoittuu jo ennen tukijalan maahantuloa. Kuten aikaisemmin jo todettiin aikainen lantion lyönti todennäköisesti nopeuttaa tukijalan maahantuloa. Oleellista on, että kummalla-

kaan heittäjällä lantion lyöntiä ei tapahtunut siinä määrin kuin valmennuskirjallisuudessa tai heittotekniikan opettamisessa yleensä asiaa painotetaan.

Keihään ja tukijalan välinen etäisyys vetovaiheen alkaessa oli hyvin yhteneväinen kummallakin heittäjällä. Kuitenkaan mitään merkitseviä yhteyksiä vetopituutta mahdollisesti kuvaavan keihäs-tukijalka etäisyyden ja keihään lähtönopeuden välille ei löydetty. Keihään ja tukijalan välistä etäisyyttä sen sijaan kasvatti kummallakin heittäjällä merkitsevästi hartia-lantio –linjojen välisen kulman kasvaminen. Käytännössä tämä tarkoitti todennäköisesti parempaa hartialinjan suunnan pysymistä (vasen olkapää edessä) vetovaiheeseen tultaessa. Heittäjien vetoaskeleen pituus ja vetomatka poikkesivat toisistaan jonkin verran lähinnä heittäjien antropometristen mittaerojen takia. Kummallakin heittäjällä vetomatka korreloi positiivisesti ja hyvin merkitsevästi keihään irrotuskorkeuteen, mikä oli suhteellisen odotettua. Pidentynyt vetomatka luonnollisesti lisää vedon loppupäässä keihään irrotuskorkeutta ja toisaalta pitää alusta alkaen keihään vetoradan korkeampana koko vetovaiheen ajan.

Heittäjällä JKV vartalon takanojan suuruus tukijalan maahantulohetkellä oli merkitsevässä yhteydessä keihään lähtönopeuteen. Aikaisemmin mainitut muutkin muuttujien väliset yhteydet huomioiden voidaan todeta, että mitä pystymmässä asennossa heittäjä JKV tuli vetovaiheeseen sitä suurempi oli keihään vetorata ja sitä suurempi oli keihään lähtönopeus. Tämä tukee Morrisin ja Bartlettin (1994) havaintoa siitä, että vartalon suuri takanoja ja keihään laskeutuminen takana alemmas lisäävät ylävartalon kiertoa vastakkaiselle puolelle ja voivat johtaa vedon aikana ei-toivottuun kaarevaan keihään vetorataan.

Keihään vetoradan muoto vastasi aikaisempia tutkimustuloksia (Mero ym. 1994). Heittäjällä JKV vetorata oli muodoltaan varsin suora, joka varmasti osaltaan helpotti mkp:n horisontaalisen nopeuden säilyttämistä vetovaiheen aikana. Vetoradan sivuttaisliikkeillä on yleensä ainoastaan heiton irrotuskorkeutta ja lähtönopeutta alentava vaikutus. Heittäjällä KKI puolestaan vetoradan suuri sivupoikkeama oli varsin pysyvä heitosta toiseen hajonnan ollessa ainoastaan 2 cm kuvastaen näin hyvin pysyvää heittotekniikkaa. Toisaalta voidaan myös todeta valitettavasti tuloksen kannalta epäedullisen keihään vetoradan juurtuneen varsin vahvasti heittäjän KKI heittotekniikkaan.

10.3 Keihään lähtöominaisuudet

Keihään lähtönopeudet olivat tässä tutkimuksessa suhteellisen matalia heittäjien tasoon nähden. Mitatuilla 24 – 25 m/s lähtönopeuksilla voi odottaa heiton pituuden olevan n. 70 – 75 metriä riippuen luonnollisesti myös muista keihään lähtömuuttujista. Kummallakin heittäjällä keihään lähtökulma oli jonkin verran yli optimaalisen lähtökulman (30° – 35°), mikä johtui todennäköisesti siitä, että heittosuoritukset tehtiin sisähallissa heitto-pressuun. Tällöin heittäjä usein tiedostamattaankin heittää keihään hieman korkeampaan lähtökulmaan kuin ulkona heittäessään. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu keihään lähtönopeuden ja keihään lähtökulman välillä olevan ainakin jonkinasteista yhteyttä (mm. Norvapalo ym. 2000). Mitä pienempi keihään lähtökulma on sitä suurempi keihään lähtönopeus on mahdollista tuottaa. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan löytynyt merkitseviä tilastollisia yhteyksiä keihään lähtönopeuden ja muiden lähtömuuttujien välillä.

Massakeskipisteen horisontaalinen nopeus keihään irtoamishetkellä oli heittäjällä JKV negatiivisessa yhteydessä keihään hyökkäyskulmaan. Aikaisemminhan jo todettiin, että heittäjällä JKV mahdollisimman pieni horisontaalisen nopeuden väheneminen kasvatti keihään lähtönopeutta. Suuri horisontaalinen nopeus keihään irrotushetkellä heittäjällä JKV näyttää aiheuttavan keihään lähtönopeuden kasvattamisen lisäksi keihään hyökkäyskulman pienenemistä eli keihään ”kyntämistä”. Yleisperiaatteena kuitenkin heittäjä pyrkii yleensä heittämään lähelle nolla-hyökkäyskulmaa, jolla varmistetaan keskimääräisesti jokaiselle keihäsmallille optimaalinen lentorata.

10.4 Alavartalon toiminta ja maan reaktivoimat

Analysoidut maan reaktivoimat olivat hieman suurempia pysty- ja vaaka- ja resultanttivoimiltaan kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Deporte & Van Gheluwe 1988 ja Korjus 1988). Ristiaskeljalan pysty- ja vaakavoimat olivat heittäjällä JKV keskimäärin suurempia kuin heittäjällä KKI. Suuresta ristiaskeljalan vaakavoimasta voisi päätellä heittäjän JKV horisontaalisen nopeuden vähentyneen huomattavasti ristiaskeleen aikana. Horisontaalinen nopeus ei kuitenkaan heittäjällä JKV vähentynyt kuin 0,91 m/s, poik-

keamatta juuri ollenkaan heittäjän KKI vastaavasta nopeuden vähentymisestä. Heittäjän JKV ristiaskeljalan polvikulma pieneni askelkontaktissa alussa huomattavasti jalan antaessa myöten suurehkolle törmäykselle maahan, mutta jalka alkoi ojentua tämän jälkeen tasaisesti aina tukijalan kontaktiin ja keihään irtoamiseen saakka. Ristiaskeljalan toiminta olikin heittäjällä JKV todennäköisesti hyvin ratkaisevassa asemassa horisontaalisen nopeuden säilymisessä läpi vetoaskeleen ja varsinaisen vetovaiheen. Ristiaskeljalan liian aktiivinen ja ponnistava toiminta saattaa puolestaan vaikeuttaa vetovaiheen oikeaoppista aloittamista ristiaskeljalan polven ja lantion kääntämisellä.

Heittäjällä KKI ristiaskeljalan vaakavoimat olivat selvästi pienempiä kuin JKV:llä. Ristiaskeljalan vaakavoimissa ilmeni myös heittäjällä KKI ns. eteenpäin työntäviä voimia, vaikka kyseisellä heittäjällä jalan polvikulma pienikin koko askelkontaktin ajan ja aina vetovaiheen puoliväliin saakka. Heittäjän KKI ristiaskeljalan polvikulman pieneneminen aiheutti todennäköisesti myös vetoaskeleen aikana mkp:n selvästi suuremman (22 cm) vertikaalisen laskun kuin heittäjällä JKV (15 cm). Tästä johtuen heittäjän KKI vetoasento painui varsin matalaksi tukijalan maahan tullessa, minkä voi huomata selvästi myös heittäjän tikku-ukkuvaajasta (kuva 19). Matala asento estää heittäjää KKI hyödyntämästä täysin horisontaalista nopeuttaan lantion toiminnassa ja horisontaalinen nopeus hidastuu vetovaiheen aikana huomattavasti. Lisäksi vartalon vipuvarsien täysien pituuksien hyödyntäminen on puutteellista ja keihään irrotuskorkeus jää samanaikaisesti varsin matalaksi heittäjän pituuteen nähden.

Tukijalan ensimmäinen kantapään törmäyksen aiheuttama voimapiikki oli heittäjällä KKI erittäin suuri, eikä heittojen välillä ollut maksimiarvossa juurikaan hajontaa. Suuri ensimmäinen voimapiikki hidastaa heittäjän horisontaalista nopeutta liian aikaisin eli ennen kuin varsinaisen tukeva koko jalkapohjan kontakti maahan on saavutettu. Törmäyspiikin jälkeen tukijalan voimantuotto laskee hetkellisesti jopa lähes nolnaan ennen toista ja suurinta voimapiikkiä. Näin ollen heittäjä tavallaan turhaan menettää tehokasta vetovaiheen aikaa verrattuna siihen, että tukijalan koko jalkapohja saavuttaisi heti tukevan maakontaktin.

Heittäjällä JKV tukijalan ensimmäisen voimapiikin suuruus korreloi negatiivisesti sekä tukijalan pienimmän polvikulman että tukijalan loppukulman kanssa. Toisin sanoen mitä suuremmaksi tukijalan ensimmäinen voimapiikki kasvoi sitä enemmän polvinivel

antoi periksi vetovaiheen aikana. Näin ollen kyseisellä heittäjällä on todennäköisesti olemassa jokin tietty optimaalinen lähestymisnopeus, jolla ensimmäinen voimapiikki jää pienemmäksi ja tukijalan polvikulma säilyy parhaiten. Toisaalta muuttamalla nilkanivelen toimintaa tukijalan maahantulossa voimantuoton alkupiikkiä olisi varmasti mahdollista pienentää.

Tukijalan tuottamien voimien toista eli suurinta voimapiikkiä on yleisesti käytetty useimmissa tutkimuksissa tärkeimpänä tukijalan voimantuoton mittarina. Tässä tutkimuksessa toisella voimapiikillä ei ollut suoraa yhteyttä keihään lähtönopeuteen kummallakaan heittäjällä päinvastoin kuin mm. Korjus (1988) tutkimuksessaan havaitsi. Vaikka kummallakin heittäjällä tukijalan toinen voimapiikki oli lähes yhtä suuri, heittäjällä JKV voimannousu huippuunsa oli jyrkempää eli voimantuotonopeus oli suurempi. Tämä saattaa johtua juuri heittäjän KKI suuresta ensimmäisestä voimapiikistä, jonka takia absorboitavaa liikemäärä ei enää myöhemmässä vaiheessa ole suhteellisesti yhtä paljon kuin heittäjällä JKV.

Tukijalan polvikulman muutoksissa vetovaiheen aikana ei heittäjien välillä ollut juurikaan eroja ja tukijalan polvikulman pettäminen oli samaa suuruusluokkaa kuin vastaavissa aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Morris ym. 1997 ja Mero & Komi 1985). Polvikulmien suuruuksilla tai muutoksilla ei ollut niin ikään merkitsevää yhteyttä heiton lähtönopeuteen. Heittäjä JKV tuo tukijalan eteen polvi enemmän koukussa kuin heittäjä KKI, mikä nopeuttanee jalan eteen tuontia lyhyemmän vipuvarren takia. Tukijalan ojentumisen kanssa vetovaiheen lopussa samaan aikaan ajoittui reaktiovoimien kolmas voimapiikki eli tukijalan työntövoimapiikki, joka oli havaittavissa selvästi kummallakin heittäjällä.

Heittäjällä KKI tukijalan toisen voimapiikin kanssa korreloi negatiivisesti keihästä tukijalka etäisyys vetovaiheen alussa sekä positiivisesti tukijalan kolmas voimapiikki. Tämän lisäksi tukijalan resultanttivoiman kolmannen voimapiikin todettiin olevan positiivisessa yhteydessä keihään lähtönopeuteen heittäjällä KKI. Näistä kaikista merkittävistä yhteyksistä voidaan tehdä seuraava johtopäätös: heittäjällä KKI mahdollisimman pieni keihään ja tukijalan välinen etäisyys vetovaiheeseen tultaessa eli korkea vetoasento edesauttaa suuremman tukijalan toisen voimapiikin (Fz2) saavuttamista. Suuri toinen voimapiikki puolestaan suurentaa tukijalan työntövoimapiikkiä, jolla oli suoraan

positiivinen vaikutus keihään lähtönopeuteen. Työntövoimapiikin maksimiarvo kuvaakin heittäjän tukijalan voimatasoa varmasti paremmin kuin reaktiivoimien toinen voimapiikki, sillä työntövoimapiikki syntyy nimenomaan aktiivisesti reisilihaksilla polvikulman pienenemisen jarruttamisesta (eksentrinen lihastyö) ja aktiivisesta ojentamisesta (konsentrinen lihastyö). Tukijalan työntövoimapiikin tärkeään rooliin keihään lähtönopeuden suhteen päätyivät tutkimuksissaan myös Korjus (1988) sekä Deporte & Van Gheluwe (1988), tosin kummatkaan eivät raportoineet yhtä suurta korrelaatiokerrointa kuin tässä tutkimuksessa heittäjällä KKI löydettiin.

Keihäänheiton tukijalan toiminnan kuvaamisesta nivelmomenttien suhteen ei ole olemassa aikaisempia tutkimuksia, joten tämän tutkimuksen tulosten vertailtavuutta on vaikea määritellä. Jonkin verran viitteitä nivelmomenttien suuruudesta löytyy mm. juoksun suoritusanalyyseistä (Krabbe & Baumann 1995). Nivelmomenteja tarkastellessa voidaan huomata kummankin heittäjän nilkkanivelen toiminnan olleen malliltaan varsin samanlaista. Plantaarifleksorit olivat aktiivisina kummallakin heittäjällä koko vetovaiheen ajan pyrkien ojentamaan nilkkaniveltä. Suurin nilkan nivelmomentti ajoitui molemmilla heittäjillä samaan aikaan tukijalan suurimman resultanttivoiman kanssa. Suhteessa muiden nivelmomenttien suurimpaan arvoon heittäjällä JKV nilkkamomentin maksimi ilmeni noin 5 ms ennen polven ja lonkan nivelmomenttien maksimiarvoa. Heittäjällä KKI nilkkamomentin maksimi ilmeni puolestaan vasta noin 10 ms polven ja lonkan nivelmomenttien maksimiarvojen jälkeen. Nilkkamomentin maksimiarvoissa oli heittäjien välillä jonkin verran eroa: JKV 557 Nm ja KKI 371 Nm.

Kummallakin heittäjällä polvi- ja lonkkamomenttien toiminta oli keskenään hyvin yhteneväistä, mutta eroja heittäjien välillä oli paljon lukuunottamatta lonkkanivelen toimintaa vetovaiheen alkuosan jälkeen. Heittäjällä JKV tukijalan jalkapohjan saavuttua kokonaan maahan polven ja lonkan nivelmomentit kääntyvät hetkellisesti negatiivisiksi kuvastaen polvinivelen koukistamista ja lonkkanivelen ojentamista. Lonkkanivelen ojentumisella heittäjä pyrkii todennäköisesti jarruttamaan ylävartalon liian aikaista ja nopeaa liikkumista eteenpäin. Tämän negatiivisen jakson jälkeen kyseiset nivelmomentit kääntyvät positiivisiksi. Tässä vaiheessa myös tukijalka saavuttaa suurimman resultanttisen voimantuottonsa ja heittäjän polvinivel toimii aktiivisesti ojennussuunnassa pyrkien jarruttamaan polvikulman pienenemistä. Heittäjän JKV suurin keskimääräinen ojennusmomentti polvinivelessä oli 600 Nm ja suurin koukistusmomentti lonkkanivelessä 952

Nm. Vetovaiheen loppuosassa nähdään vielä uudestaan positiivista lonkkamomenttia kuvastaen heittäjän ylävartalon aktiivista osuutta vetovaiheen lopussa ylävartalon taittuessa lantiosta eteenpäin.

Heittäjällä KKI polven ja lonkkanivelen momenttien huippuarvot ovat selvästi suurempia kuin heittäjällä JKV. Suurimmat keskimääräisen momentit olivat heittäjällä KKI polvinivelelle 1948 Nm ja lonkkanivelelle 1668 Nm. Polven suurin ojennusmomentti oli noin neljä kertaa suurempi kuin vastaava maksimiarvo Krabben ja Baumannin (1995) tutkimuksen kantapää edellä tapahtuneessa juoksussa (n, 4,5 Nm x henkilön massa). Heittäjällä KKI polven ja lonkan nivelmomentit nousevat nopeasti huippuunsa tukijalan toisen voimapiikin kanssa samanaikaisesti. Samanaikaisesti tukijalan polven toimiessa aktiivisesti ojennussuunnassa tapahtuu lonkkanivelen voimakasta koukistamista. Heittäjällä KKI ylävartalo ohittaakin pystysuoran linjan selkeästi aikaisemmin kuin heittäjällä JKV. Ylävartalon aikainen toiminta näkyy myös vetovaiheen lopussa, jossa KKI:llä lantio jää selkeästi taakse eikä heittäjän vartalo pääse liikkumaan heiton suuntaan tukijalan ylitse .

10.5 Ylävartalon toiminta ja lihasaktiivisuudet

Heittokäden kyynärpään kulmamutokset olivat varsin samansuuruisia aikaisempien tutkimustulosten kanssa (mm. Mero ym. 1994, Morris ym. 1997). Kummallakin heittäjällä kyynärkulma kävi alimmillaan noin 90°:ssa ojentuen irrotushetkellä noin 150°:een. Heittäjälle KKI kyynärkulman muutokset olivat erityisen merkitsevässä asemassa heiton onnistumisen ja keihään lähtönopeuden kannalta. Kyynärnivelen pienin kulma vetovaiheen aikana korreloi negatiivisesti ja kyynärkulma keihään irrotushetkellä positiivisesti keihään lähtönopeuteen. Toisin sanoen, mitä enemmän heittäjän KKI kyynärpää kävi koukussa vedon aikana ja mitä suuremmaksi heittokäsi ojentui irrotushetkellä sitä suurempi oli keihään lähtönopeus. Tämä osaltaan vahvistaa heittäjällä KKI jo aikaisemmin todettua heittokäden toiminnan suurta merkitystä keihään kiihdyttämisessä.

Kyynärkulmanopeuden maksimi-arvot jäivät hieman Komin ja Meron (1985) tutkimuksen vastaavista arvoista. Kulmanopeuden muutoksilla ei tässä tutkimuksessa havaittu

olevan mitään yhteyttä keihään lähtönopeuteen, vaikka muutamiin muihin muuttujiin sillä näyttikin olevan vaikutusta. Kyynärkulmanopeuden maksimi korreloi heittäjällä JKV negatiivisesti sekä keihään irrotuskorkeuteen ($r = -.87$; $p < .05$) että vetomatkaan ($r = -.86$; $p < .05$), jotka ovat keskenään luonnollisesti yhteydessä myös toisiinsa. Heittäjällä KKI puolestaan vetoaskeleen ajalla oli negatiivinen yhteys ($r = -.90$; $p < .05$) kyynärkulmanopeuden maksimiarvoon eli kestoltaan lyhyt vetoaskel nopeutti varsinaista käsivetoa vetovaiheen aikana. Vetoaskeleen mahdollisimman lyhyeen pituuteen ja kesto-aikaan pyrkiminen kuuluukin jo keihäänheiton tekniikkaopetuksen perusteisiin.

Ylävartalon lihasaktiivisuusmallit eivät heittäjien välillä poikenneet juurikaan toisistaan, mikä sinänsä oli suhteellisen yllättävää. Kummallakin heittäjällä näkyi selvästi agonisti/antagonisti lihasten vuoroittainen toiminta bicepsin ja tricepsin lihasaktiivisuuksissa. Muista ylävartalon lihaksista pectoraliksien aktiivisuus näytti olevan varsin vaatimatonta ennen vetovaihetta sekä sen aikana. Tämä tukee vahvasti perinteistä olettamusta rintalihaksen vähäisestä roolista keihäänheiton vetovaiheessa. Sen sijaan deltoideuksen aktiivisuus oli merkittävää viimeisen 100 ms:n aikana ennen vetovaiheen alkua sekä vetovaiheen ensimmäisen kolmanneksen aikana, jonka jälkeen aktiivisuus selvästi väheni vedon loppua kohden. Tämä oli selkeästi nähtävissä molemmilla heittäjillä.

Heittäjällä JKV deltoideuksen vetoaktiivisuudella oli merkitsevä negatiivinen yhteys keihään lähtönopeuteen, mitä voidaan pitää aluksi suhteellisen yllättävänä löydöksenä. Kuitenkin tarkemmin asiaa tarkasteltaessa deltoideuksen suuri vetovaiheen aikainen aktiivisuus saattaa viedä heittokäden olkavartta vedon alkuvaiheessa liikaa sivulle aiheuttaen vetoradan ylimääräistä sivusuuntaista poikkeamaa. Lisäksi tilastollisessa analyysissä oli käytetty ainoastaan deltoideuksen koko vetovaiheen keskimääräistä aktiivisuutta, jolloin esimerkiksi vetovaiheen alun suurehkon aktiivisuuden mahdollista osuutta keihään kiihdyttämisessä ei pystytty erikseen erottelemaan. Deltoideuksen aktiivisuuden lisäksi heittäjällä JKV bicepsin viimeisen 100 ms:n aikainen esiaktiivisuus korreloi negatiivisesti keihään lähtönopeuteen. Bicepsin pieni esiaktiivisuus todennäköisesti lisäsi vetomatkaa käden pysyessä paremmin suorana vetovaiheen alussa sekä edesauttoi pienempää vetovaiheen aktiivisuutta bicepsissä, jonka tulee vetovaiheen aikana olla mahdollisimman passiivinen.

Kyynärniveltä ympäröivien lihasten toiminnassa tricepsin osalta on selvimmin nähtävissä jonkinasteista venymis-lyhenemis sykliä. Kyynärnivelen liike ei kuitenkaan ole aivan puhdas yhden nivelen yhdessä liikesuunnassa tapahtuva venymis-lyhenemis sykli, koska käsivarsi kiertyy syklin aikana lähes 180° pituusakselinsa ympäri ja samalla tapahtuu venytystä olkavarren sisäkiertäjälihakissa. Tricepsin venytys ei myöskään ole niin nopea, että monosynaptinen venytysrefleksi olisi havaittavissa tricepsin lihasaktiivisuuskuvaajassa. Tricepsin aktiivisuudessa nähdään kuitenkin suurin aktiivisuus juuri ennen pienintä kyynärkulmaa lihaksen jarruttaessa eksentrisesti kyynärkulman pienenemistä. Kulman pieneneminen ja tricepsin venyminen johtuu tässä vaiheessa vetoa olkapään ja kyynärpäähän aktiivisesta vetämisestä eteenpäin, bicepsin ollessa jo täysin passiivinen.

Heittäjällä KKI tricepsin vetoaktiivisuus korreloi positiivisesti ($r = .86$; $p < .05$) ja bicepsin vetoaktiivisuus negatiivisesti ($r = -.81$; $p < .05$) vetomatkaan. Vähäinen bicepsin aktiivisuus pitää heittokäden suorana mahdollisimman pitkään ja kasvattaa siten vetomatkaa ja toisaalta mahdollisimman suoralta kädeltä aloitettu veto mahdollisesti lisää venymis-lyhenemis sykliä ja sitä kautta tricepsin aktiivisuutta. Bicepsin esiaktiivisuutta viimeisen 100 ms:n aikana ennen vetovaihetta lisäsi merkitsevästi ($r = .93$; $p < .01$) palmariksen vastaavan ajan esiaktiivisuus. Tämä yhteys kuvastaa keihään pitämisen rennon otteen vaikutusta muihinkin ylävartalon lihasaktiivisuuksiin eli rennolla kämmenen otteella myös bicepsin lihasaktiivisuus ennen vetovaiheen alkua pysyi alhaisemmalla tasolla.

10.6 Tulosten kriittinen tarkastelu

Mahdolliset suurimmat virhelähteet tulosten analysointivaiheessa liittyvät lähinnä heittojen liikeanalyysiin ja momenttilaskuihin. Kolmedimensionaalisessa liikeanalyysissä toisen kameran kuva-alaa ei ollut aivan riittävästi zoomattu, jolloin heittäjän peittämä pinta-ala kuvasta jäi varsin pieneksi. Tämä luonnollisesti lisää suhteellisen virheen mahdollisuutta suoritusten digitointivaiheessa, sillä mitä pienempi digitoitava kohde näytöllä on, sitä suurempaa matkaa yksittäinen pikseli vastaa. Lisäksi digitoijasta johtuvan inhimillisen virheen mahdollisuus on aina olemassa. Nivelmomenttien laskemisessa koordinaattitietojen 200 Hz:n taajuus on voinut olla jonkinasteisena virhelähteenä, sillä

5 ms:n väliset näytteet hyvin nopeissa liikkeissä kuten keihäänheiton vetovaihe, saattaa vähentää analyysin tarkkuutta. Ainakin saadut nivelmomenttien kuvaajat olivat ilman tasoittamista hyvinkin ”kulmikkaan” muotoisia. Lihasaktiivisuudet olivat heittäjien välillä hyvin toisiaan vastaavia sekä aktiivisuusmalleiltaan että suuruuksiltaan. Tämän johdosta on oletettavaa, että EMG-mittaukset olivat onnistuneita ja esimerkiksi pinta-elektrodit oli kiinnitetty jokaiseen lihakseen fysiologisesti oikeaan paikkaan. EMG-aktiivisuuksien tallennustaajuutta (833 Hz) voidaan myös pitää riittävänä korkeataajuuksistenkin aktiivisuuksien rekisteröintiin. Lisäksi tilastollisiin tuloksiin, kuten korrelaatiokertoimiin, on suhtauduttava tietyllä varauksella johtuen vähäisestä suoritusten lukumäärästä, vaikkakin merkitseviä yhteyksiä muuttujien välillä tutkimuksessa löydettiin.

10.7 Yhteenveto

Tutkimuksen molemmilla heittäjillä löytyi selkeitä yksilöllisiä tekijöitä heittosuorituksen loppuvaiheesta ja keihään lähtönopeuteen vaikuttavissa tekijöissä. Heittäjälle JKV oli tyypillistä massakeskipisteen nopeuden säilyminen läpi vetoaskeleen ja vetovaiheen. Samalla heittäjällä vartalon pienempi takanoja ristiaskeljalan tullessa maahan mahdollisti suuremman vetoradan keihäälle sekä lisäsi keihään lähtönopeutta. Tukijalan pystyvoiman ensimmäisellä voimapiikillä oli lisäksi selkeä yhteys tukijalan polvikulman muutokseen vetovaiheen aikana. Ylävartalon lihasaktiivisuuksien osalta bicepsin alhainen esiaktiivisuus ja deltoideuksen suuri vetovaiheen aikainen aktiivisuus lisäsivät keihään lähtönopeutta. Heittäjän KKI suorituksille oli ominaista tukijalan pystyvoiman suuri törmäysvoimapiikki ja heittokäden toiminnan selkeä merkitys vetovaiheessa keihään kiihdyttämiseen. Vetoasentoon tultaessa keihään ja tukijalan välinen pieni etäisyys kasvatti tukijalan suurinta voimapiikkiä sekä tukijalan työntövoimaa, joka puolestaan vaikutti positiivisesti keihään lähtönopeuteen. Näiden lisäksi heittokäden kyynärpään laajalla koukistus- ojennus -liikkeellä oli keihään lähtönopeutta lisäävä vaikutus.

Yhteenvetona voidaan todeta, että jokaisella heittäjällä on omat kriittiset muuttujansa heittosuorituksen onnistumisen kannalta. Näiden muuttujien taustalla ovat mahdollisesti heittäjien antropometriset tekijät, fyysisten ominaisuuksien erilaisuus sekä luonnollisesti

nuorena opitun heittotekniikan perusteet. Tulosten perusteella jokaisen heittäjän tekniikkaa tulisi tarkastella yksilönä ja mahdollisuuksien mukaan tulisi selvittää mitkä ovat heiton onnistumisen kannalta kriittisimmät tekijät kullekin heittäjälle. Vaikeinta lienee kuitenkin selvittää, mitä tiettyjä ominaisuuksia heittotekniikassa muuttamalla yksittäisen heittäjän tulosta voitaisiin tehokkaimmin parantaa silloin, kun ei vielä tarkasti tiedetä kunkin muuttujan vaikutusta heiton pituuteen. Jokaisen heittäjän valmentaminen samojen metodien mukaisesta ei varmasti kaikilla heittäjillä tuota samanlaista tulosta. Jatkossa tulisikin entistä tarkemmin huomioida jokaisen yksilön erilaisuus sisältäen antropometriset eroavaisuudet ja erityiset lahjakkuustekijät sekä fyysisissä että henkisissä ominaisuuksissa.

LÄHTEET

- Ankonina, L. 1975. X-ray study of the javelin throw. *Track and Field* 3: 28-30.
- Ariel Dynamics 2001. Inverse dynamics, 2.3 Principles of Gait Dynamics (www-lähde) <http://www.sportsci.com/adi2001/adi/services/support/tutorials/gait/chapter2/2.3.asp>
- Ariel, G., Pettito, R.C., Penny, M.A. & Terauds, J. 1980. Biomechanical analysis of the javelin throw. *Track and Field Quarterly Review* 80, 9 - 17.
- Bartlett, L.R., Storey, M. & Simons, B. 1989. Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete. *The American Journal of Sports Medicine*, 17(1), 89 – 91.
- Bartlett, R. & Best, R. 1988. The biomechanics of javelin throwing: a review. *Journal of Sport Sciences* 6, 1 - 38.
- Bartlett, R., Müller, E., Rascher, C., Lindinger, S. & Jordan, C. 1995. Pressure distributions on the plantar surface of the foot during the javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 163 – 176.
- Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. & Morris, C. 1996. Three dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Sport Biomechanics* 12 (1), 58 – 71.
- Best, R.J., Bartlett, R.M. & Morris, C.J. 1993. A three dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sport Sciences* 11, 315 – 328.
- Best, R.J., Bartlett, R.M. & Sawyer, R.A. 1995. Optimal Javelin Release. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 371 – 394.
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V. & Luhtanen, P. 1982. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiology Scandinavia* 114, 557 – 565.
- Campos, J., Navarro, E., Vera, P. & Llobregat, R. 1995. Evaluation of kinematic parameters of javelin throwers in relation to performance. The use of three-dimensional data of the movement. *Biomechanics in Sports XII: International Society on Biomechanics in Sports*, 360 – 362.
- Cavagna, G. A., Dusman, B. & Margaria, R. 1968. Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology* 24, 21 – 32.

- Cordasco, F., Wolfe, I., Wootten, M. & Bigliani, L. 1996. An electromyographic analysis of the shoulder during an medicine ball rehabilitation program. *The American Journal of Sport Medicine* 24, 3, 386 – 392.
- Deporte, E. & Van Gheluwe, B. 1988. Ground Reaction forces and moments in javelin throwing. *Biomechanics XI-B*, Amsterdam, Free University Press, 575 – 581.
- Dmitrusenko, O. 1987. The contemporary javelin technique. *Modern Athlete and Coach* 25 (2), 3 - 6.
- Elliot, B.C., Baxter, K.G. ja Besier, T.F. 1999. Internal Rotation of the Upper-Arm Segment During a Stretch-Shorten Cycle Movement. *Journal of Applied Biomechanics* 15(4), 381 – 395.
- Feltner, M. & Dapena, J. 1986. Dynamics of the Shoulder and Elbow Joints of the Throwing Arm During a Baseball Pitch. *International Journal of Sport Biomechanics* 2, 235 – 259.
- Giakas, G., Tsirakos, D., Morris, C. & Baltzopoulos, V. 1998. *Journal of Sport Sciences*, Jan. 16(1), 8 – 9.
- Huijing, P. A. 1992. Mechanical muscle models. Teoksessa Komi P.V. (toim.) *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, 130 – 168.
- Ihalainen, K. 1996. Suoritusanalyysi. *Heitto- & Hyppyuutiset* 1, 22 – 23.
- Irving, S. 1995. Javelin throwing: a sprint event. *Track and Field Coaches Review* (3), 26 - 27.
- Komi, P.V. & Mero, A. 1985. Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers. *International Journal of Sport Biomechanics* 1, 139-150.
- Komi, P. V. 1992. *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications.
- Korjus, T. 1988. Keihäänheittäjän biomekaanisten muuttujien ja alustaan kohdistuvien voimien suhteista keihään lähtönopeuteen ja –kulmaan. Pro Gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Korjus, T. 1995. Keihäsprojekti. *Heitto- & Hyppyuutiset* 5.
- Krabbe, B. & Baumann, W. 1995. Influence of running style on loads acting to the lower extremity. XVth Congress of the International Society of Biomechanics. Häkkinen, K. (toim.) *Book of Abstracts*, Jyväskylä.
- Kunz, H. & Kaufmann, D.A. 1983. Cinematographical analysis of javelin throwing techniques of decathletes. *British Journal of Sports Medicine* 17, (3), 200 – 204.

- Mero, A., Komi, P.V., Korjus, T., Navarro, E. & Gregor, R.J. 1994. Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics* 10, 166 – 177.
- Michiyoshi, A.E., Kazushi, S., Hironori, N. ja Tokiko T. 1999. Three-dimensional kinetic analysis of the throwing arm and torso motion for elite male javelin throwers. XVIIth ISB Congress. Book of Abstracts. Calgary.
- Morris, C. & Bartlett, R. 1994. The height of carry of the javelin and its relationship with throwing performance. Teoksessa Viitasalo, J. ja Kujala, U. (toim.) *The Way to win*. Helsinki.
- Morris, C., Bartlett, R. & Fowler, N. 1997. Biomechanical analysis of the men`s javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* 2 – 3, 31 – 41.
- Navarro, E., Campos, J., Vera, P. & Chillaron, E. 1995a. A kinetic energy model of human body applied to 3d-analysis of javelin throwing. XVth Congress of International Society of Biomechanics. Häkkinen K. ym. (toim.), Book of Abstracts, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä, 668 – 669.
- Navarro, E., Campos, J., Vera, P. & Chillaron, E. 1995b. A procedure for determining the acceleration phase in javelin throwing. *Biomechanics in Sports XII: International Society on Biomechanics in Sports*, 357 – 359.
- Norvapalo, K & Viitasalo, J.T. 2000. Javelin throwing technique during the final foot strike. 5th Annual Congress of the European College of Sport Science, Short Communications, Jyväskylä, 534.
- Norvapalo, K., Ihalainen, K., Korjus, T., Salo, A. & Viitasalo, J. 2000. Keihäänheiton biomekaniikka – heittosuorituksen liikeanalyysi v. 1991 – 1999. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, KIHU. Jyväskylä.
- Salchenko, I & Smirnov, A. 1977. Muscle activity in the javelin throw. *Legkaya Atletika* 5, 14 – 15.
- Salo, A. & Viitasalo, J.T. 1994. Influence of Javelin Release Parameters on the Range of Throw. Kirjassa Viitasalo, J. ja Kujala, U. (toim.) *The Way to win*, Helsinki.
- Šimon, J. & Šipka, I. 1994. Results of analysis of Jan Zelezny`s javelin throw technique and their pedagogic use. International Seminar EAA, Nymburk.
- Terauds, J. 1985. *Biomechanics of the javelin throw*. Academic Publishers, Del Mar, California, USA.

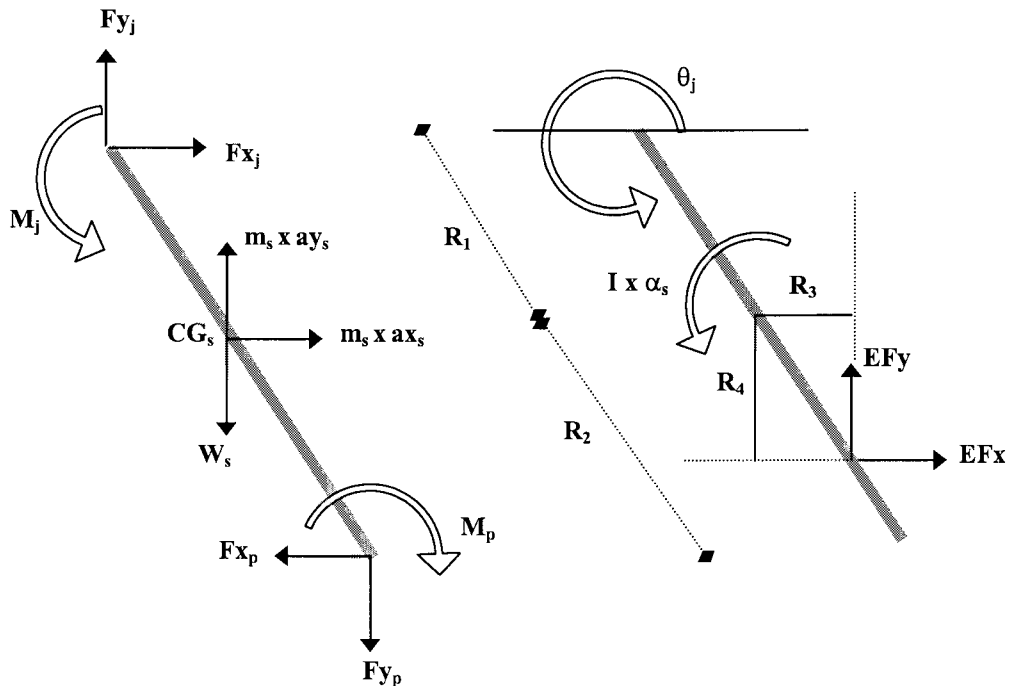
- Tidow, G. 1996. Model technique analysis sheets – Part X: The javelin throw. *New Studies in Athletics* 1, 45 – 62.
- Ueya, K. 1992. The men's throwing events. *New Studies in Athletics* 7 (1), 57 – 65.
- Utriainen, E. 1987. Keihäänheitto. Suomen Urheiluliitto.
- Viitasalo, J.T. & Korjus, T.K. 1988. On-line measurement of kinematic characteristics for the javelin. XIth International Congress on Biomechanics. Teoksessa De Groot, G. (toim.), *Biomechanics XI-B*, 582 – 587.
- Whiting, W., Gregor, R. & Haluska, M. 1991. Body segment and release parameter contributions to new-rule javelin throwing. *International Journal of Sport Biomechanics* 7, 111 – 124.
- Zatsiorsky, V. & Seluyanov, V. 1983. The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body. Teoksessa Matsui, H. & Kobayashi, K. (toim.), *Biomechanics VIII-B*, Champaign, Human Kinetics, 1152 – 1159.

LIITE 1

Heittäjän tukijalan nivelmomenttien laskemisessa käytetyt käänteisen dynamiikan laskukaavat (inverse dynamics)

www-lähde: Ariel Dynamics

(<http://www.sportsci.com/adi2001/adi/services/support/tutorials/gait/chapter2/2.3.asp>)



$M_j =$	$I_s \times \alpha$	(s1)
	$+ R_1 \times \cos\theta_j \times F_{yj}$	(s2)
	$- R_2 \times \sin\theta_j \times F_{xj}$	(s3)
	$- R_3 \times Efy$	(s4')
	$- R_4 \times Efx$	(s5')
	$+ R_2 \times \cos\theta_j \times F_{yp}$	(s4)
	$- R_3 \times \sin\theta_j \times F_{xp}$	(s5)
	$+ M_p$	(s6)

$$F_{yj} = m_s \times a_{y_s} + W_s + F_{yp} - Efy'$$

$$F_{xj} = m_s \times a_{x_s} + F_{xp} - Efx'$$

