

**NAISTEN KEIHÄÄNHEITON BIOMEKAANINEN ANALYYSI  
HELSINGIN EM-KILPAILUISSA 2012**

Sini Kiiski

Biomekaniikka

Kandidaatintutkielma

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaajat: Riku Valleala,

Mikko Virnavirta

## TIIVISTELMÄ

**Sini Kiiski**, 2016. Naisten keihäänheiton biomekaaninen analyysi Helsingin EM-kilpailuissa 2012. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan kandidaatintutkielma, 48 s.

Keihäänheitto on räjähtävää voimaa ja nopeutta vaativa tekninen laji. Perustekniikka on kaikilla samanlainen, mutta tekniikassa on yksilöllistä vaihtelua. Suoritus alkaa alkuvauhdilla, josta siirrytään heittoaskeleisiin. Heittoaskelten viimeinen ristiaskel on tärkeä, jotta päästään mahdollisimman hyvin vetovaiheeseen. Vetovaihe kestää vain noin 100–150 millisekuntia ja sen aikana heittäjän tulisi pystyä tekemään monimutkainen liikeketju oikea-aikaisesti ja oikeassa järjestyksessä. Keihään lähtönopeus on tärkein yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa heiton pituuteen. Lähtönopeuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon, eikä niistä yksikään ole osoittautunut muita merkittävämmäksi.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää vuoden 2012 EM-kilpailuiden naisten keihäänheiton finalistien heittojen biomekaanisia muuttujia ja pyrkiä löytämään tekijöitä, jotka vaikuttavat heiton pituuteen ja keihään lähtönopeuteen. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, mitä eroja kuuden parhaan finalistin ja kuuden heikoimman finalistin heitoissa on. Tämän lisäksi haluttiin tarkastella kahden heittäjän yksilöllisiä eroja. Finaaliheitot kuvattiin kahdesta suunnasta Sony HD -videokameralla ja heitoista tehtiin liikeanalyysi APAS -liikeanalyysiohjelmistolla. Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS -tilasto-ohjelmalla.

Kuudella parhaalla heittäjällä oli tilastollisesti merkitsevästi parempi tulos, korkeampi lähtönopeus, pienempi tukijalan ja ristiaskeljalan sivusuuntainen etäisyys vetovaiheen alussa sekä suurempi lantiolinja tukijalan törmäyshetkellä kuin kuudella heikommalla. Kaikkien heittoja tarkasteltaessa tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio tuloksen kanssa oli lähtönopeudella, keihään irrotuskohdalla suhteessa tukijalkaan, tukijalan polvikulmalla vetovaiheen alussa sekä ristiaskeljalan ja tukijalan suoralla etäisyydellä vetovaiheen lopussa. Negatiivinen merkitsevä korrelaatio tuloksen kanssa oli ristiaskeljalan ja tukijalan sivusuuntaisilla etäisyyksillä vetovaiheen alussa ja lopussa sekä lantiolinjalla tukijalan törmäyksessä. Lähtönopeuden kanssa korreloi tilastollisesti merkitsevästi lähtökulma (negat.), keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (posit.) ja tukijalan pienin polvikulma vetovaiheen aikana (posit.). Rebrykin heitoissa tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita oli alavartalon muuttujissa, kun taas Stahlin heitoissa merkitseviä korrelaatioita oli ylävartalon muuttujissa.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että huipputasoisten naisheittäjien tekniikat eroavat biomekaanisten muuttujien osalta toisistaan. Lähtönopeus oli merkittävä tekijä onnistumisessa heitossa. Jalkojen etäisyydet olivat merkitseviä, joten naisfinalistien oli tärkeää saada tasapainoinen vetoasento. Jalkojen etäisyyksillä on myös tärkeä merkitys liikeketjun onnistumisessa. Lantiolinjan aikaisempi kääntyminen kohti heittosuuntaa voi mahdollistaa monimutkaisen liikeketjun tehokkaamman tekemisen vetovaiheen aikana. Tukijalan pitäminen mahdollisimman suorana vetovaiheen aikana mahdollistaa suuremman impulssin siirtämisen välineeseen ja suuremman keihään lähtönopeuden. Ryhmätasolla tulokset ovat suuntaa-antavia, mutta keihäänheittäjien yksilöllisten tekniikoiden takia heittäjien ja valmentajien kannalta olisi parempi tarkastella yhden heittäjän useampia heittoja.

**Avainsanat:** keihäänheitto, biomekaniikka

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO .....	1
2 KEIHÄÄNHEITON TEKNIikka .....	3
2.1 Alkuvauhti .....	3
2.2 Heittoaskeleet .....	3
2.3 Vetovaihe .....	7
3 KEIHÄÄN LÄHTÖMUUTTUAJAT .....	10
4 HEITON PITUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ .....	14
5 LÄHTÖNOPEUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	20
6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	23
7 MENETELMÄT .....	25
8 TULOKSET .....	26
9 POHDINTA .....	34
LÄHTEET .....	40
LIITTEET .....	42

# 1 JOHDANTO

Keihäänheitto on erittäin tekninen laji, joka vaatii nopeutta ja räjähtävää voimaa. Nais-ten keihäs painaa 600 g ja miesten 800 g. Keihäänheittosuoritus voidaan jakaa useampaan vaiheeseen: alkuvauhti, heittoaskeleet ja vetovaihe. Keihään irtoamisen jälkeen heittäjä ei pysty vaikuttamaan keihään lentoon, mutta hän voi reagoida erilaisiin olosuhteisiin tekniikkaa muuttamalla. Ristiaskel ja vetovaihe ovat heiton tärkeimpiä vaiheita. Vetovaihe kestää vain noin 0,1–0,15 s (mm. Tidow 1996: noin 150 ms; Utriainen 1987, 55: 105–166 ms; Lehmann 2009: miehet 80–120 ms, naiset 100–120 ms; Korean Society of Sport Biomechanics 2011: 84–147 ms). Vetovaiheen aikana heittäjä pyrkii siirtämään aikaisemmin hankkimansa nopeuden tukijalan törmäyksen ja monimutkaisen liikeketjun avulla keihääseen. Oikein ajoitetut kiihtyvät ja jarruttavat vaiheet synnyttävät keihäälle annettavan impulssin (voima  $\times$  aika). Heittäjä pyrkii tuottamaan keihääseensä mahdollisimman suuren lähtönopeuden, sillä se on suurin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa heiton pituuteen. Heittäjillä on yksilöllisiä eroja siinä, miten he onnistuvat kasvattamaan keihään lähtönopeutta. Naisilla on enemmän yksilöllisiä heittotekniikoita, eivätkä he pysty suorittamaan heittoa yhtä ”puhtaasti” kuin miehet. Tämä saattaa johtua esimerkiksi naisten heikommista voimaominaisuuksista.

Keihään irrotushetkellä heittäjän siihen tuottamat lähtömuuttujat sekä aerodynaamiset tekijät vaikuttavat heiton pituuteen. Esimerkiksi lähtönopeus, lähtökulma, hyökkäyskulma ja sivuttaispoikkeama ovat lähtömuuttujia. Tuuliolosuhteisiin heittäjä ei pysty vaikuttamaan, mutta niihin voi reagoida esimerkiksi pyrkimällä muuttamaan joitakin lähtömuuttujia optimaalisemmaksi ja valitsemalla olosuhteisiin sopivamman välineen. Keihäänheittopiireissä on jo kauan pidetty lähtönopeutta tärkeimpänä tekijänä heiton pituuden kannalta ja suurelta osin se pitää myös paikkansa. Aina ei kuitenkaan korkeamman lähtönopeuden saanut keihäs lennä pisimmälle, jos muut lähtöominaisuudet eivät ole optimaalisia. Näin ollen optimaalisempaan asentoon keihäänsä heittänyt heittäjä voi heittää pidemmälle alhaisemmalla lähtönopeudella. Lukuisista tutkimuksista huolimatta ei ole löydetty yhtä yhteistä tekijää, joka vaikuttaisi selkeästi keihään lähtönopeuteen. Tästä johtuen urheilijan ja valmentajan kannalta olisi parempi tarkastella jokaisen

heittäjän heittoa yksilöllisesti ja pyrkiä löytämään henkilökohtainen tekijä, jonka avulla urheilija voi kasvattaa keihään lähtönopeutta.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, mitkä biomekaaniset tekijät vaikuttivat vuoden 2012 Helsingin EM-kilpailuiden naisten keihään finaaliheittäjien heiton pituuteen ja keihään lähtönopeuteen. Tuloksia tarkasteltiin koko ryhmän osalta sekä yksilöllisesti kahden heittäjän osalta. Tämän lisäksi heittäjät jaettiin kahteen ryhmään tuloksen perusteella ja tarkoituksena oli selvittää ryhmien välisiä eroja.

## 2 KEIHÄÄNHEITON TEKNIikka

Keihäänheitto on tekninen laji, joka koostuu alkuvauhdista, ristiaskelvaiheesta, vetovaiheesta ja keihään lennosta. Vetovaihe on kaikkein ratkaisevin vaihe heiton onnistumisen kannalta ja alkuvauhti sekä ristiaskeleet ovat vetovaiheeseen valmistavia vaihteita. Vauhdin kokonaispituus vaihtelee 20–35 metrin välillä. (Utriainen 1987, 50, 62, 67.) Jokaisella heittäjällä on yksilöllisiä piirteitä heittotekniikassaan, mutta perustekniikka on samanlainen kaikilla. Seuraavissa kappaleissa käsitellään keihäänheiton tekniikkaa yleisellä tasolla.

### 2.1 Alkuvauhti

Alkuvauhti on heittoon valmistelevaa vaihetta ja heittäjillä on yksilöllisiä eroja alkuvauhdin toteuttamisessa. Toinen heittäjä voi aloittaa juoksun suoraan askelmerkiltä, toinen voi ottaa muutaman kävelyaskeleen ja siirtyä siitä askelmerkin kohdalla juoksu- vauhtiin. Kaikki heittäjät eivät käytä askelmerkkiä, vaan aloittavat alkuvauhdin omien tunteuksiansa mukaan. Alkuvauhdin pituus vaihtelee heittäjien välillä, mutta yleisesti sopiva juoksuaskelten määrä on 8–12 askelta. Heittäjän tulisi pyrkiä juoksemaan helposti, rennosti ja rytmikkäästi sekä ylläpitämään ryhdikästä juoksuasentoa. Tämä helpottaa luontevaa siirtymistä heittoaskeleisiin. Alkuvauhdin voi juosta joko koko matkan tasaisesti kiihdyttäen tai aluksi nopeasti kiihdyttäen ja sen jälkeen vauhtia ylläpitäen. Keihästä kannetaan alkuvauhdin aikana olkapään yläpuolella, lähellä korvaa ja mahdollisimman lähellä vartalon keskilinjaa. Keihään kärki osoittaa heittosuuntaan joko vaakatasossa tai hieman alaspäin. (Utriainen 1987, 66–67.) Vapaa käsi liikkuu rentona vartalon vierellä ja keihästä kannatteleva heittokäsi pidetään lähes paikoillaan (Tidow 1996). Alkuvauhdin aikana rentous ja vaivattomuus ovat tärkeitä, joten sen takia myös heittokäsi voi liikkua hieman eteen- ja taaksepäin (Utriainen 1987, 66).

### 2.2 Heittoaskeleet

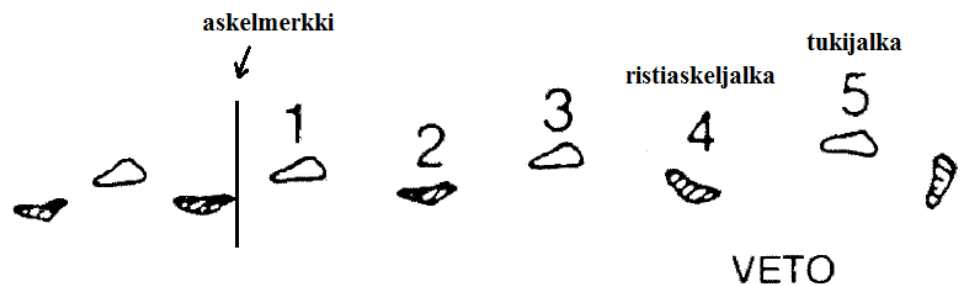
Heittoaskelten tarkoituksena on valmistaa heittäjä vetovaiheeseen. Ensimmäisen tai toisen heittoaskeleen aikana keihäs viedään mahdollisimman kauas taakse, olkapään

korkeudelle, ja juoksuasento muuttuu niin, että kylki osoittaa heittosuuntaan. Tämän takia eteneminen vaikeutuu ja heittäjä joutuu tekemään enemmän töitä jaloillaan, jotta alkuvauhdilla hankittu nopeus ei vähenisi. Heittoaskelten aikana pyritään nopeuden kiihdyttämiseen ja se on mahdollista vain, jos vartalo pysyy pystyasennossa, eikä kallistu taaksepäin. Heittäjän tulee pystyä kontrolloimaan keihästä koko heittoaskelvaiheen ajan eli keihään kärjen tulisi pysyä lähellä heittäjän kasvoja, noin posken korkeudella ja käden suorana takana hartian korkeudella. Jos käsi ”putoaa” alemmas, ylävartalo kallistuu taaksepäin ja vauhdin kiihdyttäminen tulee väkinäiseksi tai mahdottomaksi ja vauhti hidastuu. (Utriainen 1987, 53, 68, 75.)

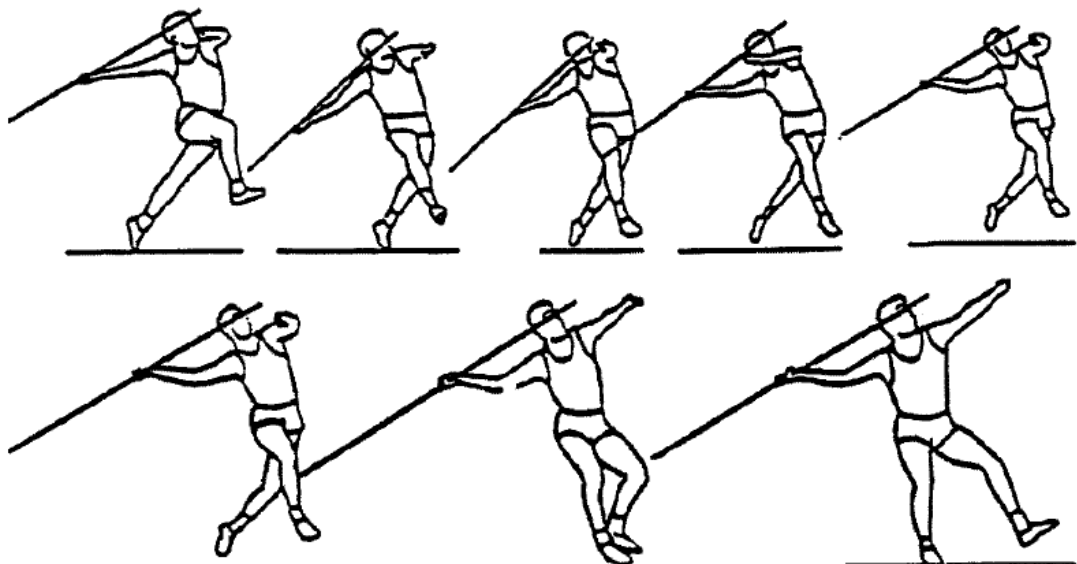
Askelten lukumäärä vaihtelee sen mukaan, mitä rytmiä heittäjä käyttää. Heittoaskelkia voi olla 4–6 (Utriainen 1987, 53, 68.), seitsemän (Tidow 1996) tai jollain enemmänkin. Heittäjälle ei voida ilmoittaa heittoaskelten optimaalisinta vaihtoehtoa, vaan suurin syy heittoaskelten määrään on se, että kyseinen askelmäärä tuntuu heittäjästä luonnollisimmalta (Tidow 1996). Utraisen (1987, 53, 68, 70) mukaan heittoaskelvaihe on 9–12 metriä pitkä riippuen askelten määrästä ja sen aikana luodaan pohja koko heittosuoritukselle. Heittäjän taito edetä heittoaskelilla määrää suurelta osin alkuvauhdin nopeuden, sillä heittoaskelten aikana tulisi pystyä kiihdyttämään nopeutta ja pitämään eteneminen vaivattomana, rentona ja rytmikkäänä. Jos lihaksisto ei pysy rentona, ei tekniikkaan kuuluvia liikkeitä pystytä suorittamaan nopeasti ja tehokkaasti. Liian kova vauhti aiheuttaa vetovaiheeseen tehottomuutta ja liian hiljainen vauhti korostaa liiaksi käsivetoa.

Askelmerkin kohdalla heittäjä voi siirtyä heittoaskeliin joko hypäten (eli ns. impulssiaskeleella) tai polkaisten (eli suoraviivaisesti, ilman hypähdystä). Askelmerkille tullaan parittoman askelmäärän (esim. 5-askeleen) rytmissä oikealla jalalla, jolla ponnistetaan voimakkaasti eteenpäin. Jos vartalo on takapainossa, liike suuntautuu liiaksi ylöspäin ja vauhti hidastuu. Heittoaskelten ensimmäiseksi askeleeksi lasketaan vasemman jalan kontakti ja sen aikana jatketaan askelmerkiltä aloitettua keihään taaksevientä. Kuvassa 1 on esitetty 5-askeleen heittorytmi. Askelmerkille tullaan parillisen askelmäärän (esim. 4-askeleen) rytmissä vasemmalla jalalla ja sitä seuraava oikean jalan kontakti on ensimmäinen heittoaskel. Kaikissa heittorytmeissä kolmanneksi ja toiseksi viimeisen askeleen väliä kutsutaan ristiaskeleeksi (kuva 2). Toiseksi viimeinen askelkontakti tulee ristiaskeljalalle (oikeakätisellä oikea jalka) ja viimeinen askel tukijalalle (oikeakätisellä vasen jalka). 5-askeleen vauhdilla heitettäessä heittoaskelten aikana on mahdollista

kiihdyttää vauhtia enemmän kuin 4-askeleen vauhdissa, joten yleensä 5-askeleen rytmillä heittävät eivät ota ihan niin kovaa alkuvauhtia kuin 4-askeleen rytmillä heittävät. (Utriainen 1987, 69, 70, 73, 75.)



KUVA 1. 5-askeleen heittorytmi. (Mukaeltu Utriainen 1987, 68.)



KUVA 2. Ristiaskelvaihe, jolloin vasemmalla jalalla ponnistetaan voimakkaasti ja oikeaa jalkaa syötetään aktiivisesti eteenpäin. (Mukaeltu Tidow 1996.)

Ristiaskel on heiton tärkein vaihe ennen vetovaihetta. Ristiaskelvaiheeseen asti heittäjät pystyvät yleensä suorittamaan heittonsa teknisesti virheettömästi, mutta sen jälkeen voi tulla teknisiä ongelmia. Siitä alkavat myös suuret tekniset erot heittäjien välillä. Ponnistavalla jalalla (kolmanneksi viimeinen askel, oikeakätisellä vasen jalka) pyritään aktiiviseen ja aggressiiviseen ristiaskelhyppyähdykseen, minkä seurauksena vasen jalka ojentuu kokonaan varpaita myöten. Oikeaa polvea ja vasenta olkapäätä ”syötetään” aktiivisesti



eteenpäin. Oikea jalka eli ristiaskeljalja tuodaan polvi hieman koukussa ja päkiävoittoisesti maahan. Samaan aikaan vasemman jalan, eli tukijalan, tulisi olla siirtynyt jo ristiaskeljalan etupuolelle, jotta tukijalan maahantulo tapahtuisi mahdollisimman nopeasti ristiaskeljalan maahantulon jälkeen. Näin päästäisiin nopeasti kunnolliseen vetoasentoon kehon painopisteen nopeutta menettämättä. Tukijalan aktiivista maahantuloa auttaa vapaan käden tehokas ja oikein ajoitettu käyttö. Tukijalka tuodaan maahan joko kantapäätä edellä tai koko jalkapohjalle, jalkaterä suoraan eteenpäin osoittaen. Tukijalan etäisyys heittoviivasta tulisi olla sellainen, ettei heitettäisi liian kaukaa, eikä toisaalta astuttaisi heittoa yli, kun vauhti pysäytetään lopullisesti vetoaskeleen jälkeen otettavalla askeleella. (Utriainen 1987, 53, 70–71.) Vuoden 2009 maailmamestaruuskilpailuissa keskimääräinen tukijalan etäisyys heittoviivasta oli miesten mitalisteilla 2,97 m, muilla miesten finalisteilla 2,72 m, naisten mitalisteilla 2,60 m ja muilla naisten finalisteilla 1,94 m (Lehmann 2009). Vuoden 2011 MM-kilpailuissa kolmen parhaan naisen tukijalan etäisyys heittoviivasta oli keskimäärin 2,10 m. Mitalisteilla oli kuitenkin paljon eroavaisuuksia keskenään, sillä voittajan tukijalan etäisyys heittoviivaan oli 1,87 m, kakkosen 3,59 m ja kolmannen 0,95 m. (Korean Society of Sport Biomechanics 2011.)

Heittoaskelten pituudet kasvavat loppua kohden, vetoaskeleen ollessa kuitenkin selvästi ristiaskelta lyhyempi. Hyvän heittäjän tunnistaa siitä, että hän pystyy pidentämään askeliaan ristiaskeleeseen asti ja sitten tekemään lyhyemmän vetoaskeleen. Tämän ansiosta hyvät heittäjät pystyvät myös kiihdyttämään etenemisnopeuttaan toisin kuin heikommat heittäjät. (Utriainen 1987, 53.) Berliinin vuoden 2009 maailmanmestaruuskilpailuiden miesten kahdeksasta finalistista seitsemällä vetoaskel oli lyhyempi kuin ristiaskel. Kahdeksannella heittäjällä vetoaskel oli sentin pidempi kuin ristiaskel. Naisten kahdeksasta finaaliheittäjästä neljällä vetoaskel oli lyhyempi kuin ristiaskel ja neljällä vetoaskel oli pidempi kuin ristiaskel (mm. maailmanennätyksen haltijalla Barbora Spotakovalla ja edellisellä maailmanennätyksen haltijalla Osleidys Menendesillä). (Lehmann 2009.) Vuoden 2011 maailmanmestaruuskilpailuissa kolmella parhaalla naisella oli kaikilla pidempi ristiaskel kuin vetoaskel. Toiseksi sijoittuneella Barbora Spotakovalla ero oli vain yhden senttimetrin, mutta voittajalla (Maria Abakumova) ero oli 45 cm. (Korean Society of Sport Biomechanics 2011.)

Naisilla näyttää olevan enemmän yksilöllistä vaihtelua ristiaskeleen ja vetoaskeleen pituuksien suhteissa, joka saattaa johtua naisten heikommista voimaominaisuuksista.

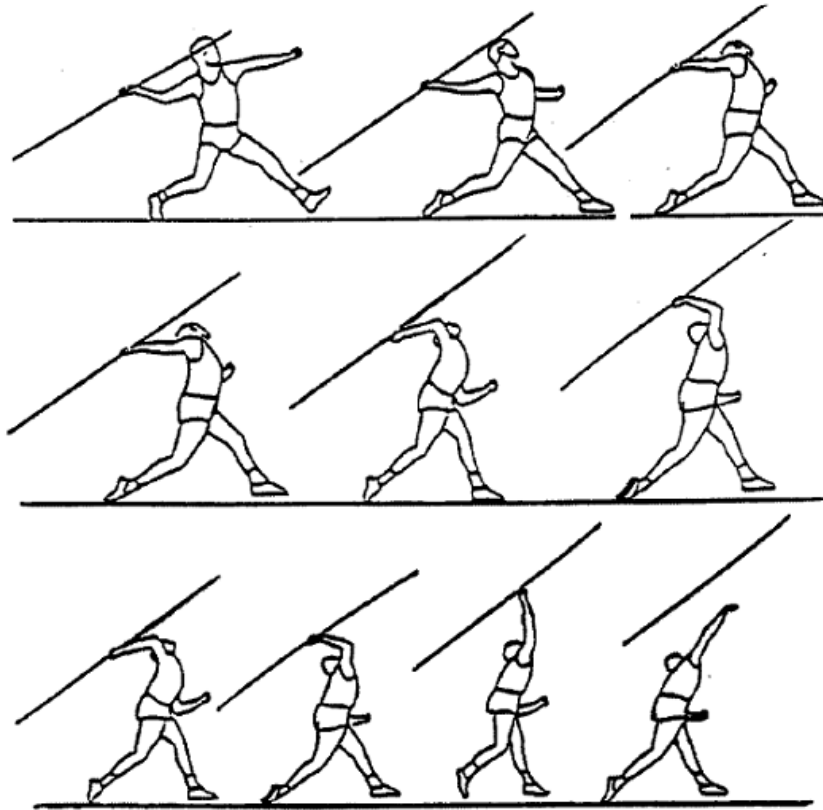
Keihäänheittopiireissä onkin tiedostettu, että naiset eivät pysty toteuttamaan heittoa yhtä optimaalisella ja tehokkaalla tekniikalla kuin miehet. Utraisen (1987, 55, 71) mukaan ristiaskelvaiheen lopussa on tärkeää, että heittäjällä ei tulisi vielä ristiaskelvaiheessa ollenkaan ”nyt minä vedän”-tunnetta, vaan rentous olisi säilytettävä vetovaiheen alkamiseen asti ja heittäjän asennon pysyttävä lähes samana kuin aiempien heittoaskelten aikana: lantion tulisi olla 45 asteen kulmassa heittosuuntaan nähden, hartioiden jopa yli 90 asteen kulmassa heittosuuntaan nähden ja keihään mahdollisimman kaukana takana.

Heittoaskelten etenemisnopeus vaihtelee heittäjien välillä hyvin paljon. Etenemisnopeuden suhteen tärkeintä on se, että heittäjä pystyy kiihdyttämään vauhtiaan vielä kahdella viimeisellä askeleella ja sen jälkeen tekemään tehokkaan vedon. (Utriainen 1987, 54.) Vuoden 1984 olympiafinalisteilla heittoaskelten aikana etenemisnopeus oli miehillä  $5,19 \pm 0,62$  m/s ja naisilla  $5,41 \pm 0,67$  m/s. Tukijalan maahan tullessa etenemisnopeus oli miehillä  $5,28 \pm 1,02$  m/s ja naisilla  $5,36 \pm 0,90$  m/s. (Komi & Mero 1985.) Tauchin ym. (2009) mukaan vuoden 2007 MM-kilpailuissa miesten finalisteilla painopisteen etenemisnopeus oli oikean jalan maahan tullessa  $6,52 \pm 0,32$  m/s ja tukijalan maahan tullessa  $5,98 \pm 0,47$  m/s.

### 2.3 Vetovaihe

Vetovaihe alkaa tukijalan maahantulosta ja päättyy keihään irtoamiseen heittäjän kädestä (kuva 3) (esimerkiksi Tidow 1996; Utriainen 1987, 72). Se kestää vain noin 100–150 millisekuntia (mm. Tidow 1996: noin 150 ms; Utriainen 1987, 55: 105–166 ms; Lehmann 2009: miehet 80–120 ms, naiset 100–120 ms; Korean Society of Sport Biomechanics 2011: 84–147 ms). Vetovaiheen aikana heittäjä pyrkii vaikuttamaan keihäseen mahdollisimman pitkään mahdollisimman suurella voimalla keihään optimaalisen lentoradan suuntaan. Tukijalan ja heittokäden kämmenen etäisyyden tulisi olla siis mahdollisimman suuri tukijalan tullessa maahan. Vetovaiheen suoraviivaisuus on yksi tärkeimmistä hyvän heiton edellytyksistä. Tärkeämpää on kuitenkin se, että vetovaiheen aikana suoritettava liikesarja toteutetaan oikea-aikaisesti ja oikeassa järjestyksessä. Vetoliikettä voidaan kuvata kahden akselisysteemin tapahtumaksi: 1) tukijalan yli sekä 2) hartioiden, kyynärpään ja lantion ympäri. Kehon painopisteen nopeuden tulisi olla korkeimmillaan juuri ennen tukijalan maahantuloa, minkä jälkeen alkaa voimakas jarrutus.

(Utriainen 1987, 55–56, 73.) Bartlettin ym. (1996) tutkimuksessa miesten eliittiryhmän (heiton pituudet  $74,7 \pm 4,77$  m) painopisteen nopeus oli keihään irrotessa  $3,53 \pm 0,58$  m/s, kun tukijalan tullessa maahan se oli  $6,48 \pm 0,35$  m/s.



KUVA 3. Keihäänheiton vetovaihe. (Mukaeltu Tidow 1996.)

Tukijalka pyritään pitämään lähes suorana, mutta siihen kohdistuvat suuret reaktiivoimat aiheuttavat sen koukistumisen. Heiton onnistumisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että tukijalka ei koukistuisi alle 150 (Tidow 1996) tai 160–165 (Utriainen 1987, 56) asteen. Tämän lisäksi tukijalan ojentuminen koukistumisen jälkeen on välttämätöntä onnistuneessa heitossa. (Tidow 1996; Utriainen 1987, 55, 72.) Taulukossa 1 on vuoden 1999 Maailmanmestaruuskilpailuiden miesten keihään finaaliheittäjien polvikulmat tukijalan maahan tullessa, maksimaalisessa fleksiossa sekä keihään irrotushetkellä. Kaikki muut paitsi Backley ja Gatsioudis pystyivät suoristamaan tukijalkaansa koukistumisen jälkeen ennen keihään irtoamista (Campos ym. 2004).

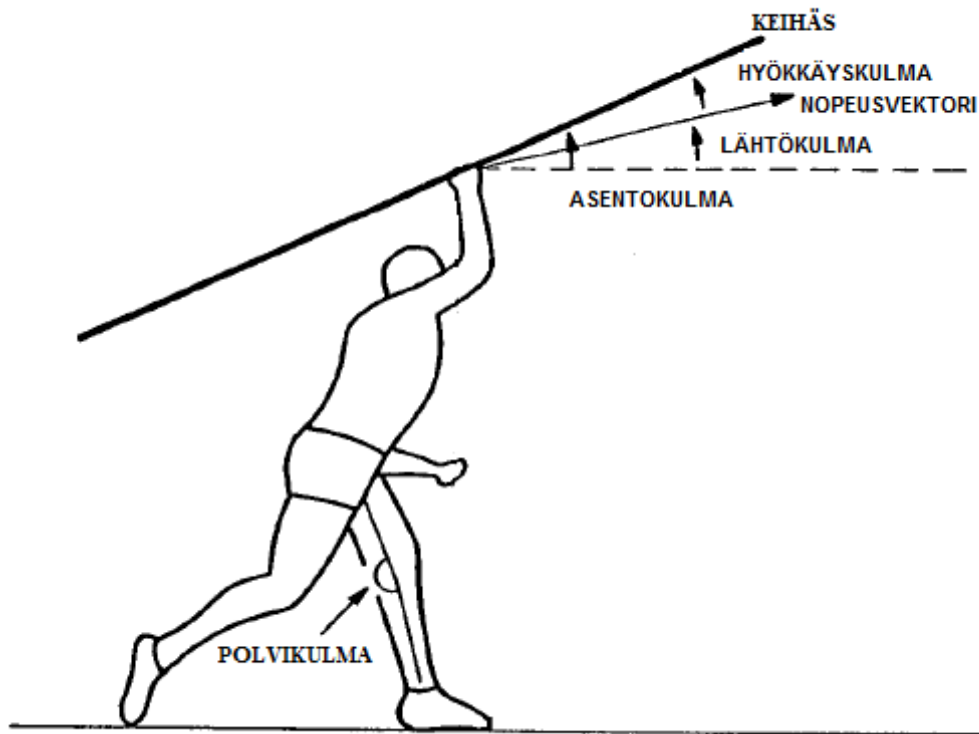
TAULUKKO 1. Tukijalan polvikulma (°) tukijalan maahan tullessa (T2), maksimaalisessa fleksiassa vetovaiheen aikana (maks. flex.) sekä keihään irtoamishetkellä (T3) (Campos ym. 2004).

	<b>Parviainen</b>	<b>Gatsioudis</b>	<b>Zelezny</b>	<b>Hecht</b>	<b>Henry</b>	<b>Contzález</b>	<b>Backley</b>
<b>T2</b>	170	171	178	175	173	158	171
<b>max.flex</b>	161	152	163	141	158	146	137
<b>T3</b>	168	153	166	147	173	155	137

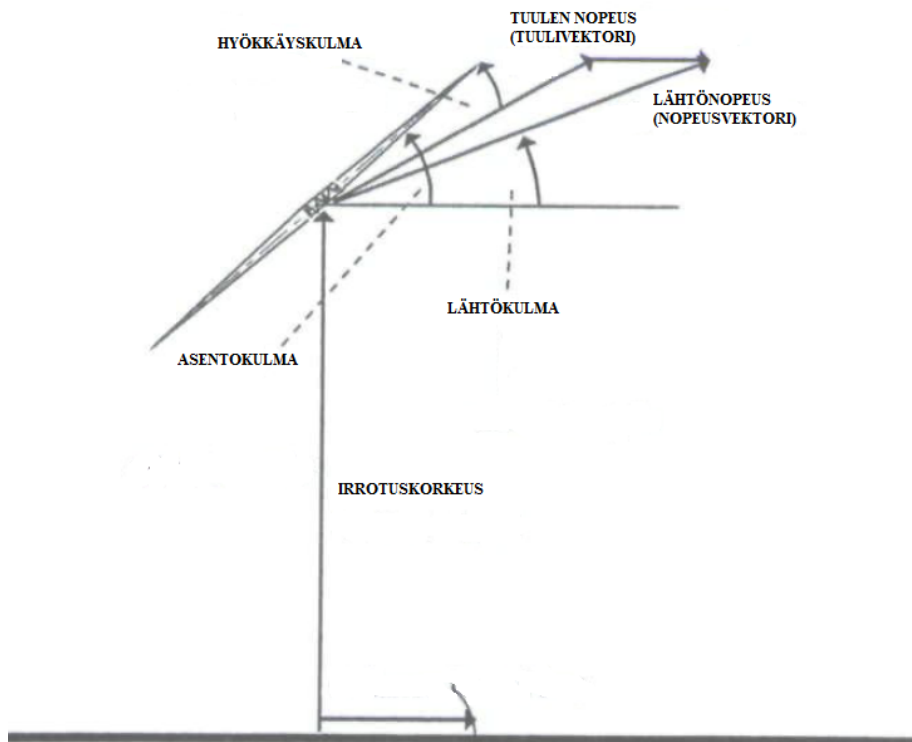
Tukijalan maahantulon jälkeen vapaan käden liikettä jatketaan, jotta rinta saadaan ”auki” ja ristiaskeljalan polvi lyödään tukijalan kantapäätä kohti, jotta ristiaskeljalan nilkka, polvi ja lantio kääntyvät heittosuuntaan. Ristiaskeljalalla ei saisi ponnistaa ja heittokäden tulisi olla vielä takana olkapään korkeudella, sillä muuten vartalon kaarijännityksen muodostaminen ei onnistu. Rintakehä ja olkapää työntyvät eteenpäin ja samanaikaisesti heittokäden kämmen kääntyy sisäänpäin ja kyynärpää nousee ylös, jonka seurauksesta käsiveto alkaa. Vedon tulisi tapahtua tukijalan päältä ja mahdollisimman korkealta. Käsivedon aikana lisätään hieman keihään lähtönopeutta. (Utriainen 1987, 72.)

### 3 KEIHÄÄN LÄHTÖMUUTTUJAT

Irrotushetkellä olevat keihään lähtömuuttujat eli alkuominaisuudet ja aerodynaamiset tekijät vaikuttavat keihäänheittosuorituksen pituuteen (esimerkiksi Utriainen 1987, 58; Viitasalo ym. 2003; Bartlett ym. 1996). Lähtömuuttujia ovat muun muassa lähtönopeus, lähtökulma, lähtökorkeus, hyökkäyskulma ja asentokulma (kuvat 1 ja 2). Kulmaominaisuudet eivät pysy muuttumattomina lennon aikana, joten samoilla lähtönopeuksilla ja kulmaominaisuuksilla lähtevät heitot eivät välttämättä lennä aina yhtä pitkälle. (Utriainen 1987, 58–61.)



KUVA 1. Keihään lähtömuuttujia ja tukijalan polvikulma (mukaeltu Mero ym. 1994).



KUVA 2. Keihään lähtömuuttujia (mukaeltu Best ym. 1995).

*Lähtönopeus.* Tärkein keihään lennon pituuteen vaikuttava yksittäinen tekijä on lähtönopeus (esimerkiksi Utriainen 1987, 61; Viitasalo ym., 2003; Mero ym. 1994; Bartlett ym. 1996). Lähtönopeus määritetään nopeusvektorista, joka kuvaa keihään massakeskipisteen liikettä (Viitasalo ym. 2003). Optimaalisinta heittosuoritusta tavoitellessa heittäjä pyrkii saamaan keihääseen mahdollisimman suuren lähtönopeuden. Oikein ajoitetut heittosuorituksen kiihtyvät ja jarruttavat vaiheet synnyttävät impulssin (voima  $\times$  aika), joka annetaan keihäälle ennen kuin se irtoaa heittäjän kädestä. Suurimman impulssin aikaansaamiseksi heittäjän tulisi siis pyrkiä vaikuttamaan keihääseen mahdollisimman suurella voimalla ja mahdollisimman kauan heittosuunnan mukaisesti. Impulssin kasvaessa myös lähtönopeus kasvaa. Lähtönopeuden ollessa alhaisempi, voi heittäjä kuitenkin haastaa korkeammilla lähtönopeuksilla heittäviä heittäjiä saamalla keihäänsä parempaan lentoasentoon. (Utriainen 1987, 58–59.) Bartlettin ja Bestin (1988) mukaan 62–72 % keihään lähtönopeudesta tuotetaan vetovaiheen aikana ja loput lähtönopeudesta on hankittu ennen tukijalan maahantuloa.

*Lähtökulma ja lähtökorkeus.* Keihään lähtökulma on vaakatason ja keihään lentosuunnan (nopeusvektorin) välinen kulma. Teoriassa optimaalinen lähtökulma on  $45^\circ$ , jos

keihästä heitettäisiin tyhjiössä. Ilmanvastuksesta, keihään aerodynaamisista ominaisuuksista ja heittäjän tekniikasta johtuen optimaalinen lähtökulma on noin 30–35°. (Utriainen 1987, 59.) Lähtökorkeus on keihään painopisteen korkeus irrotushetkellä (mm. Best ym. 1995; Utriainen 1987, 59). Kaikissa heittolajeissa heiton pituus on riippuvainen myös välineen lähtökorkeudesta (Utriainen 1987, 50), mutta lähtökorkeus sellaiseenaan ei ole yhteydessä heiton pituuteen, vaan se riippuu enemmänkin heittäjän pituudesta sekä vartalon kallistuksesta tukijalan suuntaan (mm. Best ym. 1995; Utriainen 1987, 57).

*Hyökkäyskulma ja asentokulma.* Hyökkäyskulma on keihään pitkittäisakselin ja nopeusvektorin välinen kulma. Keihään kärjen laskiessa nopeusvektorin alapuolelle hyökkäyskulma on negatiivinen ja kärjen noustessa nopeusvektorin yläpuolelle positiivinen. Hyökkäyskulma kertoo, kuinka suuri ilmanvastus keihääseen muodostuu. (Utriainen 1987, 59–60.) Hyökkäyskulma pyritään saamaan lähelle 0 astetta, koska silloin keihäs lentää ”puhtaasti” ja tuulenvastus jää pieneksi (Bartlett ym. 1996). Kuitenkin Best ym. (1995) totesivat keihään lennon simulointitutkimuksissa, että optimaalinen hyökkäyskulma riippuu keihään lähtönopeudesta, tuuliolosuhteista ja keihäsmallista. Esimerkiksi eräällä Nemethin keihäällä optimaalinen hyökkäyskulma oli -6° lähtönopeudella 28 m/s ja vastaavasti 2° lähtönopeudella 30 m/s. Viitasalo ym. (2003) ja Best ym. (1995) määrittelevät hyökkäyskulman keihään pitkittäisakselin ja tuulivektorin väliseksi kulmaksi (kuva 2). Viitasalo ym. (1995) selittävät, että monissa biomekaniikan tutkimuksissa laiminlyödään tuulivektorin vaikutus hyökkäyskulmaan. Kun hyökkäyskulma määritellään keihään pituusakselin ja nopeusakselin väliseksi kulmaksi, pitäisi oikeastaan puhua korjaamattomasta hyökkäyskulmasta. Kuvassa 1 hyökkäyskulma on oikeastaan korjaamaton hyökkäyskulma, mutta molemmista hyökkäyskulmista käytetään tässä työssä pelkästään hyökkäyskulma-nimitystä. Vaakatason ja keihään pitkittäisakselin välinen kulma on asentokulma eli lähtökulman ja hyökkäyskulman summa (Utriainen 1987, 60).

3D-liikeanalyysin avulla heittosuorituksesta voidaan laskea edellä mainittujen kulmaominaisuuksien lisäksi myös muunlaisia kulmaominaisuuksia. Vallealan (2002) mukaan keihään asennon sivuttaispoikkeama keihään nopeusvektorin suuntaan nähden on näistä mahdollisesti tärkein. Positiivinen arvo tarkoittaa sitä, että ylhäältä päin katsottuna keihäs osoittaa oikealle suhteessa nopeusvektoriin ja negatiivinen arvo sitä, että keihäs

osoittaa vasemmalle. Morriss ja Bartlett (1994) havaitsivat, että vetovaiheeseen tultaessa suurempi keihään ja vartalon kierto oli yhteydessä suurempaan keihään asennon sivuttaispoikkeamaan irrotushetkellä.



## 4 HEITON PITUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Utraisen (1987, 58) mukaan heittäjän keihääseen tuottamat lähtömuuttujat määräävät lähes kokonaan kuinka kauas keihäs lentää. Heiton pituuteen vaikuttavat myös heitto- paikan olosuhteet, esimerkiksi tuulen suunta ja voimakkuus, sekä keihään aerodynaamiset ominaisuudet (Utriainen 1987, 58). Keihäänheittäjä pystyy itse vaikuttamaan ainoastaan lähtömuuttujiin. Vallitseviin olosuhteisiin voi kuitenkin reagoida esimerkiksi muuttamalla keihään lähtömuuttujia optimaalisempaan suuntaan. Optimaalisuus on kuitenkin käsitteenä jokaisella heittäjällä yksilöllinen, sillä optimaalisuuteen vaikuttavat esimerkiksi heittäjän tekniikka ja voimataso. Koska aerodynaamiset voimat vaikuttavat keihääseen lentovaiheessa, keihään kulmaominaisuudet irrotushetkellä vaikuttavat siihen, miten optimaalisesti lähtönopeus saadaan käytettyä (Viitasalo ym. 2003).

Whiting ym. (1991) selvittivät, mitkä tekijät vaikuttivat eniten kahdeksan miesheittäjän heittojen pituuksiin. Heittoja videoitiin viidessä eri kilpailussa ja tulokset esitettiin kolmella eri tavalla: 1) kaikki heitot, 2) 10 pisintä heittoa ja 3) 10 lyhintä heittoa. Koska heittoja oli määrällisesti hyvin vähän, mikään tekijä ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi. Silti tutkimus osoittaa sen, että mittauksissa ilmenneet erot ovat merkittäviä ja heittäjien tekniikkaa pitää tarkastella yksilöllisesti. Suurempi lähtönopeus, pidempi viimeinen askel, pienempi tukijalan kulma ja heiton liikeketjun oikea suoritus sekä kiihtymisen vetovaiheessa olivat selkeästi yhteydessä pidempiin heittoihin. Lähtönopeus oli ryhmissä 1–3 seuraavanlainen: 1)  $29,6 \pm 1,8$  m/s, 2)  $30,6 \pm 2,3$  m/s ja 3)  $29,1 \pm 1,1$  m/s. Lähtökulman keskiarvo oli kaikilla ryhmillä  $35\text{--}36^\circ$  ja hyökkäyskulman keskiarvo  $1\text{--}2^\circ$ . Yksilöllisiä vaihteluita ilmeni heittäjien välillä, mikä johtuu erilaisista heittotekniikoista. (Whiting ym. 1991.)

Viitasalo ym. (2003) tutkivat mies- ja naisheittäjien keihäiden lähtöominaisuuksia kymmenessä kansainvälisessä kilpailussa infrapunavalokennoportin avulla. Koska lähtömuuttujien arvoja ei mitattu keihään irtoamishetkellä vaan porttien väliseltä matkalta, lähtönopeus sekä kulmaominaisuudet saattoivat muuttua hieman ennen kuin keihäs ehti liikkua porttien välisen matkan. Tulokset analysoitiin kolmella tavalla: 1) yksilöllisesti, kaikki heitot, 2) miesten ja naisten ryhmä, kaikki heitot ja 3) miesten ja naisten ryhmä,

jokaiselta pisin heitto. Analysoimatta jätettiin naisilta alle 55 m heitot ja miehiltä alle 75 m heitot. Miesten pisin analysoitu heitto oli 87,82 m ja naisten 66,00 m. Miesten suurin lähtönopeus oli 29,1 m/s ja naisten 25,3 m/s. Kaikkien heittojen lähtöominaisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat olivat seuraavanlaisia: lähtönopeus miehet  $27,1 \pm 0,7$  m/s ja naiset  $23,0 \pm 0,7$  m/s, lähtökulma miehet  $32,7 \pm 2,6^\circ$  ja naiset  $31,7 \pm 2,5^\circ$ , hyökkäyskulma miehet  $2,3 \pm 4,8^\circ$  ja naiset  $6,6 \pm 6,9^\circ$ . Lähtönopeuden neliö korreloi kaikkien ryhmien ja henkilökohtaisten heittojen pituuksien kanssa. Tuloksen ja lähtökulman välillä oli negatiivinen riippuvuus yhdellä miehellä, kahdella naisella sekä naisten kaikilla heitoilla. Lähtönopeuden neliötä käytettiin korrelaatio- ja regressioanalyysissä, missä pyrittiin ennustamaan heiton pituus. Lähtönopeuden 1 m/s nostamisen 29:stä 30:een laskettiin lisäävän heiton virallista pituutta miehillä 2,12–6,14 m ja naisilla 24:stä 25:teen 2,25–3,68 m. (Viitasalo ym. 2003.)

Keihäänheittosuorituksen eroja on tarkasteltu myös eliitti-, harrastelija- ja aloittelijaheittäjillä. Harrastelijoiden ja aloittelijoiden välillä oli merkittävä ero keihään asennon sivuttaispoikkeamassa. Eliittitasoisten heittäjien suoritus tapahtui joka osa-alueella nopeammin sekä teknisesti paremmin kuin muilla. Eliitti-, harrastelija- ja aloittelijaheittäjillä lähtönopeudet olivat  $27,0 \pm 0,9$  m/s,  $18,2 \pm 1,35$  m/s,  $15,3 \pm 1,44$  m/s, lähtökulmat  $31,7 \pm 2,56^\circ$ ,  $32,3 \pm 3,62^\circ$ ,  $33,4 \pm 5,08^\circ$  ja hyökkäyskulmat  $0,34 \pm 4,31^\circ$ ,  $1,83 \pm 3,31^\circ$ ,  $-1,7 \pm 1,46^\circ$ . (Bartlett ym. 1996.)

Taulukossa 2 on miesten ja taulukossa 3 naisten vuoden 2009 MM-kilpailuiden heittojen lähtöominaisuuksia sekä pituuksia. Siitä käy hyvin ilmi heittäjien tekniikkaeroista johtuvat keihään erilaiset lähtöominaisuudet sekä se, että samaan tulokseen voi päästä erilaisilla lähtöominaisuuksilla. Thorkildsenin ja Abakumovan heittoja on kaksi, joten niistä nähdään saman heittäjän kahden eripituisen heiton lähtöominaisuuksia. Thorkildsenin pidemmässä (88,95 m) heitossa oli selvästi suurempi lähtönopeus kuin lyhyemmässä (77,80 m) heitossa (29,30 m/s vs. 28,30 m/s). Lähtökulma oli  $37,6^\circ$  pidemmässä heitossa ja  $42,0^\circ$  lyhyemmässä heitossa. Abakumovan pidemmässä heitossa (68,92 m, karsinnassa) lähtönopeus oli 25,4 m/s ja lyhyemmässä heitossa (66,06 m, finaalisissa) lähtönopeus oli 26,1 m/s. Lyhyemmässä heitossa oli pienempi lähtökulma sekä suurempi hyökkäyskulma ja sivuttaispoikkeama pidempään heittoon verrattuna. (Lehmann 2009.)

TAULUKKO 2. Miesten keihäänheiton tuloksia ja keihään lähtöominaisuuksia vuoden 2009 MM-kilpailuissa. (Lehmann 2009.)

	<b>tulos</b>	<b>lähtönopeus</b>	<b>lähtökulma</b>	<b>asentokulma</b>
	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(°)</b>	<b>(°)</b>
Thorkildsen, A. (NOR)	88,95	29,3	37,6	37,9
Thorkildsen, A. (NOR)	77,80	28,3	42,0	41,2
Martinez, G. (CUB)	86,41	29,7	36,5	40,6
Murakami, Y. (JPN)	82,97	28,9	31,9	34,1
Vasilevskis, V. (LAT)	82,37	29,9	31,3	35,9
Pitkämäki, T. (FIN)	81,90	28,9	34,3	42,7
Ruuskanen, A. (FIN)	81,87	29,0	32,6	32,3
Kovals, A. (LAT)	81,54	29,4	30,0	35,5
Frank, M. (GER)	81,32	29,0	34,4	38,3
<b>keskiarvo, mitalistit</b>	86,11	29,3	35,3	37,5
<b>keskiarvo, muut finalistit</b>	81,80	29,2	32,5	36,9

TAULUKKO 3. Naisten keihäänheiton tuloksia ja keihään lähtöominaisuuksia vuoden 2009 MM-kilpailuissa. (Lehmann 2009.)

	<b>tulos</b>	<b>lähtönopeus</b>	<b>lähtökulma</b>	<b>asentokulma</b>
	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(°)</b>	<b>(°)</b>
Nerius, S. (GER)	67,30	25,6	33,6	40,5
Spotakova, B (CZE)	66,42	25,0	38,8	44,7
Abakumova, M. (RUS)	66,06	26,1	36,3	43,9
Abakumova, M. (RUS)	68,92	25,4	38,7	42,6
Stoian, M. (ROU)	64,51	24,9	33,5	37,4
Obergföll, C. (GER)	63,02	25,8	33,7	35,2
Stahl, L. (GER)	63,23	24,6	33,9	40,2
Menendez, O. (CUB)	63,11	25,7	33,9	41,1
Lika, S. (GRE)	60,29	24,3	33,2	35,4
<b>keskiarvo, mitalistit</b>	66,59	25,6	36,2	43
<b>keskiarvo, muut finalistit</b>	62,83	25,1	33,6	37,9

Naisten ja miesten heittotekniikat eroavat toisistaan esimerkiksi erilaisten voimaominaisuuksien sekä antropometristen tekijöiden takia. Mero ym. (1994) selvittivät, että vuoden 1992 Barcelonan olympialaisten finaaliheittäjistä miehillä oli suurempi lähtönopeus, pidempi viimeinen askel sekä vetopituus ja korkeampi irrotuskorkeus kuin naisilla. Lähtönopeus korreloi tilastollisesti merkitsevästi heiton pituuden kanssa sekä miehillä ( $28,3 \pm 0,9$  m/s) että naisilla ( $23,0 \pm 1,9$  m/s). Naisten asentokulma ( $40 \pm 5^\circ$ ) oli suurempi kuin miehillä ( $31 \pm 6^\circ$ ). Lähtökulma oli miehillä  $32 \pm 3^\circ$  ja naisilla  $34 \pm 4^\circ$ . (Mero ym. 1994.)

Vuoden 2011 Daegun MM-kilpailuissa naisten kolme parasta heittivät pitkälle erilaisilla lähtöominaisuuksilla (taulukko 4). Maria Abakumovan voittoheitossa oli suurin lähtönopeus (25,1 m/s) sekä lähtö- ja asentokulma ( $42,0^\circ$  ja  $46,0^\circ$ ). Kolmanneksi tulleen Sunette Viljoenin lähtönopeus (24,2 m/s) oli suurempi kuin toiseksi tulleen Barbora Spotakovan (22,9 m/s). Lähtökulma oli Spotakovalla ja Viljoenilla lähes sama ( $34,0^\circ$  ja  $32,0^\circ$ ), mutta Viljoenin hyökkäyskulma ( $12,0^\circ$ ) oli huomattavasti suurempi kuin Spotakovan ( $2,0^\circ$ ). (Korean Society of Sport Biomechanics 2011). Voidaan siis todeta, että Spotakovan keihäs lensi optimaalisemmassa asennossa kuin Viljoenin ja tuloksena oli alhaisemmalla lähtönopeudella noin kolme metriä pidempi heitto.

TAULUKKO 4. Vuoden 2011 MM-kilpailuiden naisten kolmen parhaan tulokset ja lähtöominaisuuksia. (Korean Society of Sport Biomechanics 2011.)

	<b>tulos</b>	<b>lähtönopeus</b>	<b>asentokulma</b>	<b>lähtökulma</b>	<b>hyökkäyskulma</b>
	<b>(m)</b>	<b>(m/s)</b>	<b>(<math>^\circ</math>)</b>	<b>(<math>^\circ</math>)</b>	<b>(<math>^\circ</math>)</b>
Abakumova	71,99	25,1	46,0	42,0	4,0
Spotakova	71,58	22,9	32,0	34,0	2,0
Viljoen	68,38	24,4	44,0	32,0	12,0
<b>keskiarvo</b>	70,65	24,1	40,7	36,0	6,0

Vuoden 2007 MM-kilpailuiden miesten finaalissa keihään lähtöominaisuuksista vertikaalinen lähtönopeus ja resultantti lähtönopeus korreloivat heiton pituuden kanssa tilastollisesti merkittävästi. Muut lähtöominaisuudet eivät korreloineen merkittävästi heiton pituuden kanssa. Tilastollisesti merkittävästi heiton pituuteen korreloi myös painopisteen nopeus oikean jalan maahan tullessa. (Tauchi ym. 2009.) Vuoden 1999 MM-

kilpailuiden miesten finaaliheittäjien lähtönopeuden ja heiton pituuden välillä oli korkea korrelaatio, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Campos ym. 2004).

Helsingin vuoden 2012 EM-kilpailuiden miesten finalistien heittosuorituksia tarkasteltiin jakamalla heittäjät kahteen ryhmään: 6 parasta vs. 6 heikointa. Paremmilla heittäjillä tukijalan etäisyys heittoviivasta ja keihään lähtökulma olivat pienempiä, painopisteen nopeus laski enemmän vetovaiheessa, vetoaskeleen kesto, vetomatka ja vetoaika olivat suurempia, keihään irrotuskohta suhteessa tukijalasta piirrettyyn pystylinjaan oli pienempi sekä heittokäden kyynärkulma vetovaiheen alussa ja pienimmillään olivat suurempia kuin heikommilla heittäjillä. Taulukossa 5 on finaalin kahdeksan parhaan heittäjän tulos, lähtönopeus, lähtökulma, hyökkäyskulma ja keihään asennon sivuttaispoikkeama. (Valleala, 2012.)

TAULUKKO 5. Vuoden 2012 EM-kilpailuiden miesten kahdeksan parhaan heittäjän tulokset ja keihään lähtöominaisuuksia. (Valleala 2012.)

	<b>tulos</b> <b>(m)</b>	<b>lähtönopeus</b> <b>(m/s)</b>	<b>lähtökulma</b> <b>(°)</b>	<b>hyökkäys-</b> <b>kulma (°)</b>	<b>sivuttais-</b> <b>poikkeama (°)</b>
Vesely	83,72	28,0	35,6	-5,7	2,2
Iordan	83,23	28,0	37,6	2,6	9,2
Mannio	82,63	27,9	37,3	1,8	8,3
Thorkildsen	81,55	28,3	39,2	-3,2	6,2
Pyatnytsya	81,41	28,5	34,9	1,4	11,4
Janik	81,21	28,5	34,7	0,7	13,8
Amb	79,03	27,1	35,8	6,4	2,5
Wallin	77,80	27,7	43,7	-0,5	1,3

Jos keihäiden lähtönopeudet eroavat toisistaan, niin myös optimaaliset lähtömuuttujat ovat keskenään erilaisia. Lähtönopeus on luultavasti tärkein muuttuja kilpailusuorituksen kannalta, koska suuremman lähtönopeuden keihäaseen saaneella heittäjällä on myös mahdollisuus heittää pidemmälle. (Best ym. 1995.) On kuitenkin tärkeä muistaa, että korkeampi lähtönopeus yksistään ei takaa pidempää heittoa. Heittäjien henkilökohtaisten tekniikoiden takia jotkin yksittäiset muuttujat voivat erota toisistaan hyvinkin paljon, mutta silti heiton pituus voi olla sama. (Whiting ym. 1991.) Keihään mallin ja lähtöominaisuuksien vaikutuksia heiton pituuteen selvitettyä on käytetty paineilmalla

toimivaa keihästykkiä, mutta näitä tuloksia ei ole julkaistu. Mittauksissa on huomattu eroja sekä eri mallisissa ja merkkisissä keihäissä että saman valmistajan saman mallisissa keihäissä. (Viitasalo ym. 2003.) Heittäjien tekniikkaeroista ja heittopaikan olosuhteista johtuen keihäs, jolla urheilija heittää kilpailuissa, ei ole jokaisella sama. Koska lähtönopeuden vaikutus heiton pituuteen on selvästi osoitettu, tarkastellaan seuraavaksi tekijöitä, jotka vaikuttavat lähtönopeuteen.

## 5 LÄHTÖNOPEUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Keihäänheittovalmennuksessa on jo kauan pidetty lähtönopeutta tärkeimpänä heiton pituuteen vaikuttavana tekijänä. Lähtönopeuteen vaikuttavia tekijöitä on kuitenkin paljon, joten urheilijat ja valmentajat joutuvat pohtimaan jokaiselle heittäjälle sopivia keinoja lähtönopeuden kasvattamiseksi niin, että sillä on positiiviset vaikutukset heiton pituuteen. Yksilöllisyys on tärkeä tekijä lähtönopeuden kasvattamiseen pyrittäessä, sillä eri lähtöominaisuuksilla heittäjän kädestä irtoavat keihäät saattavat lentää yhtä kauas (Whiting ym. 1991).

Vetovaiheessa heittäjä pyrkii saamaan aikaisemmin keräämänsä liikemäärän siirtymään koko vartalon kautta heittokäteen. Tukijalan polven kulmalla on suuri rooli liikemäärän tehokkaassa siirtämisessä eli mahdollisimman suuren impulssin aikaansaamisessa. (Whiting ym. 1991.) Mitä paremmin heittäjä onnistuu tässä sitä suuremman lähtönopeuden hän pystyy tuottamaan keihääseen. Whitingin ym. (1991) tutkimuksessa tukijalan polvikulma oli vetovaiheen alkaessa 10 pisimmässä heitossa keskimäärin  $174^\circ$  ja 10 lyhyimmässä heitossa  $177^\circ$ . Lyhyimmissä heitoissa polvikulma laski vetovaiheen aikana enemmän kuin pisimmissä heitoissa ( $27^\circ$  vs.  $12^\circ$ ) ja irrotusvaiheessa lyhyimmissä heitoissa polvikulma oli selkeästi pienempi kuin pisimmissä heitoissa ( $156^\circ$  vs.  $172^\circ$ ). Joissain tapauksissa tukijalan pieni fleksio ja sitä seuraava ekstensio voivat olla hyödyksi impulssin kasvattamiseksi, mutta liian suuri fleksio kuitenkin vähentää impulssia. (Whiting ym. 1991.)

Leighin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin, että naisilla juoksunopeuden kasvattaminen sekä sen saaminen nopeimmaksi juuri ennen tukivaihetta korreloivat lähtönopeuden kanssa. Naiset pystyivät myös kasvattamaan keihään lähtönopeutta lisäämällä vedon voimantuottoaikaa. Miehillä yksi tärkeimmistä tekijöistä lähtönopeuden kasvattamiseksi on heittokäden liikkeen pidentäminen ja sen avulla voimantuottoajan pidentäminen. Juoksunopeus on tärkeä myös miehillä. Yleensä miehet pyrkivät saamaan kovemman vauhdin kuin naiset. Yleisesti voidaan sanoa, että aluksi heittäjän tulisi pyrkiä saamaan vauhti kovaksi. Sen jälkeen käden liikkeen lisääminen saattaa olla merkittävämpää kuin juoksunopeuden lisääminen. (Leigh ym. 2010.) Naisten ja miesten heittotekniikat eroa-

vat toisistaan jonkin verran. Naisten heikommät voimaominaisuudet aiheuttavat sen, että he eivät pysty suorittamaan heittoa yhtä ”puhtaalla” ja tehokkaalla tekniikalla kuin miehet. Tämän takia eroja on myös tekijöissä, jotka vaikuttavat lähtönopeuteen.

Mero ym. (1994) analysoivat heittoja hyvin yksityiskohtaisesti viimeisten askelkontaktien ajalta. Silti he eivät löytäneet tekijää, joka olisi merkittävästi vaikuttanut keihään lähtönopeuteen. Bartlettin ym. (1996) tutkimuksessa juoksunopeus oli yksi tärkeimmistä muuttujista, jolla voi vaikuttaa lähtönopeuteen. Toinen tärkeä asia oli sama kuin Whitingin ym. (1991) tutkimuksessa, eli se miten suuren impulssin heittäjä saa tuotettua keihääseen vetovaiheen aikana. Viitasalon ym. (2003) tutkimuksessa yhden miehen ja kahden naisen heitoissa lähtönopeuden neliön ja lähtökulman välinen suhde oli negatiivinen kun taas yhden miehen (B) heitoissa suhde oli positiivinen. B:n heitoissa lähtönopeuden ja hyökkäyskulman välinen riippuvuus oli negatiivinen, kun taas lähtönopeudella ja hyökkäyskulmalla oli positiivinen riippuvuus yhden naisen heitossa, kaikkien naisten parhaissa heitoissa sekä kaikkien naisten kaikissa heitoissa. Kaikki ryhmät ja kolme yksilöä saivat aikaiseksi suuremman lähtönopeuden pienemmällä lähtökulmalla. Mielenkiintoista oli se, että yksi miesheittäjä saavutti suurimman lähtönopeutensa suurella lähtökulmalla. Tämä tutkimus korostaa keihäänheiton yksilöllisen biomekaanisen analyysin tärkeyttä. (Viitasalo ym. 2003.)

Painopisteen nopeus tukijalan törmäyshetkellä korreloi negatiivisesti lähtönopeuden kanssa, kun tarkasteltiin vuoden 2012 Helsingin EM-kilpailuiden miesten keihäsfinalin kaikkien heittäjien parhaita heittoja. Vetoaika, vetomatka ja keihään irrotuskohta korreloivat positiivisesti lähtönopeuden kanssa. Painopisteen nopeuden negatiivinen korrelaatio lähtönopeuden kanssa saattoi kertoa siitä, että heittäjät tulivat liian kovaa vauhtia vetovaiheeseen ja vetovaihetta ei pystytty suorittamaan optimaalisella tekniikalla. (Vallela 2012.) Tauchi ym. (2009) päättelivät visuaalisen palautteen avulla, että vuoden 2007 MM-kilpailuissa sijoille 1–6 sijoittuneet miehet saivat aikaiseksi suuremman keihään lähtönopeuden käyttämällä ”oikea polvi alas” tekniikkaa voimakkaammin kuin sijoille 7–12 sijoittuneet. Sijoilla 1–6 olleet heittäjät koukistivat keskimäärin enemmän oikeaa polvea juuri ennen vetovaihetta ja saivat näin aikaiseksi lantion kääntymisen ilman ylävartalon eteenpäin työntymistä. Ylävartalon pieni eteenpäin työntyminen saattoi aiheuttaa sijoilla 7–12 olleille heittäjille sen, että he eivät pystyneet vaikuttamaan keihääseen niin tehokkaasti kuin sijoilla 1–6 olleet ja keihään lähtönopeus jäi alhai-



semmäksi. Tukijalan polvikulman tiedetään olevan tärkeä tekijä suuren lähtönopeuden ja mahdollisimman pitkän heiton aikaansaamiseksi. Kaikilla muilla heittäjillä tukijalka oli lähes täydellisessä ekstensiossa koko vetovaiheen ajan, mutta kolmanneksi sijoittuneella heittäjällä tukijalka oli koko vetovaiheen ajan huomattavassa koukussa. Tutkijat eivät osanneet sanoa, että oliko heittäjän tekniikka harvinaisuus vai epäonnistuiiko heittäjä teknisesti, mutta onnistui silti heittämään kilpailun kolmanneksi pisimmän heiton. (Tauchi ym. 2009.)

## 6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vuoden 2012 EM-kilpailuiden naisten keihään finalistien heittojen biomekaanisia muuttujia ja pyrkiä löytämään tekijöitä, jotka vaikuttavat heiton pituuteen ja keihään lähtönopeuteen. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, mitä eroja kuuden parhaan finalistin ja kuuden heikoimman finalistin heitoissa on. Tämän lisäksi haluttiin tarkastella kahden heittäjän yksilöllisiä eroja.

**Tutkimusongelma 1:** Mikä biomekaaninen muuttuja korreloi tilastollisesti merkitsevästi heiton pituuden kanssa, kun tarkastellaan kaikkien heittäjien pisintä heittoa?

**Hypoteesi 1:** Lähtönopeus korreloi tilastollisesti merkitsevästi heiton pituuden kanssa.

**Perustelu.** Esimerkiksi Viitasalon ym., (2003); Meron ym. (1994); Bartlettin ym. (1996) ja Tauchin ym. 2009 mukaan keihään lähtönopeus on merkittävin tekijä heiton pituuden kannalta. Esimerkiksi Meron ym. (1994) tutkimuksessa lähtönopeus korreloi tilastollisesti merkitsevästi tuloksen kanssa sekä mies- että naisheittäjillä.

**Tutkimusongelma 2.** Mikä biomekaaninen muuttuja korreloi tilastollisesti merkitsevästi lähtönopeuden kanssa, kun tarkastellaan kaikkien heittäjien pisintä heittoa?

**Hypoteesi 2.** Yksikään biomekaaninen muuttuja ei korreloi tilastollisesti merkitsevästi lähtönopeuden kanssa.

**Perustelu.** Whitingin ym. (1991) mukaan heittäjien tekniikkaa pitää tarkastella yksilöllisesti, sillä henkilökohtaisten tekniikoiden takia yksittäiset muuttujat voivat erota toisistaan hyvinkin paljon, mutta silti heiton pituus voi olla sama. Huipputasollakin heittäjien tekniikat ovat yksilöllisiä ja korkean lähtönopeuden voi saavuttaa erilaisilla keihään lähtöominaisuuksilla (Lehmann 2009 ja Viitasalo ym. 2003). Varsinkin naisten heitto-tekniikat eroavat toisistaan (Korean Society of Sport Biomechanics 2011) ja Leighin ym. (2010) mukaan naiset eivät pysty suorittamaan heittoa niin ”puhtaalla” tekniikalla kuin miehet. Mero ym. (1994) eivät löytäneet tekijää, joka korreloi lähtönopeuden kanssa. Leighin ym. (2010) ja Bartlettin ym. (1996) tutkimuksissa naiset pystyivät lisäämään

keihään lähtönopeutta kasvattamalla juoksunopeutta ja Whitingin ym. (1991) mukaan tukijalan polvikulman pysyminen lähes samana koko vetovaiheen ajan tai polven suoristuminen pienen koukistumisen jälkeen vetovaiheen aikana auttoi heittäjää saamaan keihääseensä mahdollisimman suuren lähtönopeuden.

**Tutkimusongelma 3.** Mitä eroja kuuden parhaan ja kuuden heikoimman heitoissa on?

**Hypoteesi 3.** Lähtönopeus eroaa kahdella ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi.

**Perustelu.** Esimerkiksi Viitasalon ym., (2003); Meron ym. (1994); Bartlettin ym. (1996), Tauchin ym. 2009 mukaan keihään lähtönopeus on merkittävin tekijä heiton pituuden kannalta. Esimerkiksi Meron ym. (1994) tutkimuksessa lähtönopeus korreloi tilastollisesti merkitsevästi tuloksen kanssa sekä mies- että naisheittäjillä. Lähtönopeuden lisäksi ei ole löydetty yhtä tiettyä tekijää, joka korreloisi tuloksen kanssa. Esimerkiksi Mero ym. (1994) analysoivat heittoja yksityiskohtaisesti viimeisen askelkontaktin ajalta, mutta löysivät korrelaation vain tuloksen ja lähtönopeuden välillä. Joissakin tutkimuksissa (esim. Valleala 2012, Tauchi ym. 2009) on havaittu eroja kahdella arvokisafinalistiryhmällä, mutta erot ovat olleet erilaisia eri tutkimuksissa. Näin ollen mm. Whitingin ym. (1991), Leighin ym. (2010), Korean Society of Sport Biomechanics (2011) ja Lehmannin (2009) korostama heittäjien yksilöllinen tekniikka vaikeuttaa erojen löytymistä kahden ryhmän välillä.

## 7 MENETELMÄT

*Koehenkilöt.* Koehenkilöinä olivat yleisurheilun vuoden 2012 Euroopan mestaruuskilpailuiden naisten keihäänheiton 12 finalistia. Kaikki heittäjät olivat oikeakätisiä.

*Kuvaus ja kalibrointi.* Heittosuoritukset kuvattiin heittosuuntaan nähden sekä sivusta että takaa päin Sony HD-videokameralla. Käytetty kuvanopeus oli 100 kuvaa/s ja suljinnopeus 1/1000. Kuvausala kalibroitiin mittajaloilla, joiden ala- ja yläpään oli kiinnitetty kalibrointipallot. Kalibrointialueen mitat olivat: pituus 750 cm, leveys 351 cm, takatolppien korkeus 243 cm ja etutolppien korkeus 384 cm. Kalibrointialue ulottui noin yhden metrin yli heittoviivan heittosuuntaan päin, jolla varmistettiin myös keihään alkulennon mahtuminen kalibrointialueen sisälle.

*Liikeanalyysi.* Kilpailun aikana taltioitiin kaikki heittosuoritukset. Analyysiin on otettu mukaan jokaisen heittäjän pisin heitto sekä kahdelta heittäjältä kuusi heittoa. Nämä kaksi heittäjää valikoituivat yksilölliseen analyysiin, sillä molemmilla oli viisi mitattua heittoa ja molemmat olivat mitalisteja. Analysoitaviksi valituista heitoista tehtiin 3-dimensionaalinen liikeanalyysi APAS-liikeanalyysiohjelmistolla biomekaanisten muuttujien selvittämiseksi. APASin segmenttimallin pohjana käytettiin Dempsterin (1955) dataa. Analyysi alkoi 10 kuvaa ennen tukijalan maahantuloa ja loppui 10 kuvaa keihään irtoamishetken jälkeen. Digitoitavia pisteitä oli yhteensä 21 (nivelpisteitä 18, keihään pisteitä 3). Nivelpisteiden ja keihään pisteiden digitoinnin jälkeen kamerakulmat yhdistettiin DLT-menetelmällä ja filteröitiin Digital filterillä arvolla 20 Hz (x, y ja z). Tämän jälkeen valikoidut muuttujien arvot vietiin Exceliin jatkokäsittelyä ja kuvaajien piirtoa varten.

*Tilastolliset menetelmät.* Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS-tilasto-ohjelmalla. Heittäjät jaettiin kahteen ryhmään sijoitusten perusteella: A) sijat 1–6 ja B) sijat 7–12. Ryhmien välisiä eroja testattiin t-testillä. Korrelaatioanalyysit tehtiin koko heittäjäjoukolla (n=12) sekä kahden heittäjän omissa heitoissa (tuloksen kanssa korrelaatiot, n=5 ja lähtönopeuden kanssa korrelaatiot, n=6). Käytössä oli Pearsonin korrelaatiokerroin. Merkitsevyystasoksi valittiin  $p \leq 0,05$ . Tuloksia jatkokäsiteltiin ja kuvaajia piirrettiin Microsoft Excel 2010-ohjelmalla ja Microsoft PowerPoint 2010-ohjelmalla.

## 8 TULOKSET

*Kaikki finalistit.* Jokaisen heittäjän parhaan heiton tulos ja keihäästä mitattavien lähtömuuttujien arvot näkyvät taulukossa 6. Keihään lähtönopeudet olivat välillä 22,7–26,1 m/s, lähtökulmat 29,8–37,2°, hyökkäyskulmat 1,2–15,7° ja sivuttaispoikkeamat -2,7–18,4°. Rebryk heitti kilpailun voittoheiton (66,86 m) koko finalistijoukon pienimpään lähtökulmaan (29,8°, muilla yli 32°) ja sai tuotettua keihääseensä suurimman lähtönopeuden (26,1 m/s, toiseksi suurin 25,1 m/s).

TAULUKKO 6. Tulos ja keihään lähtömuuttujat jokaiselta heittäjältä yksilöllisesti sekä kahden ryhmän keskiarvot.

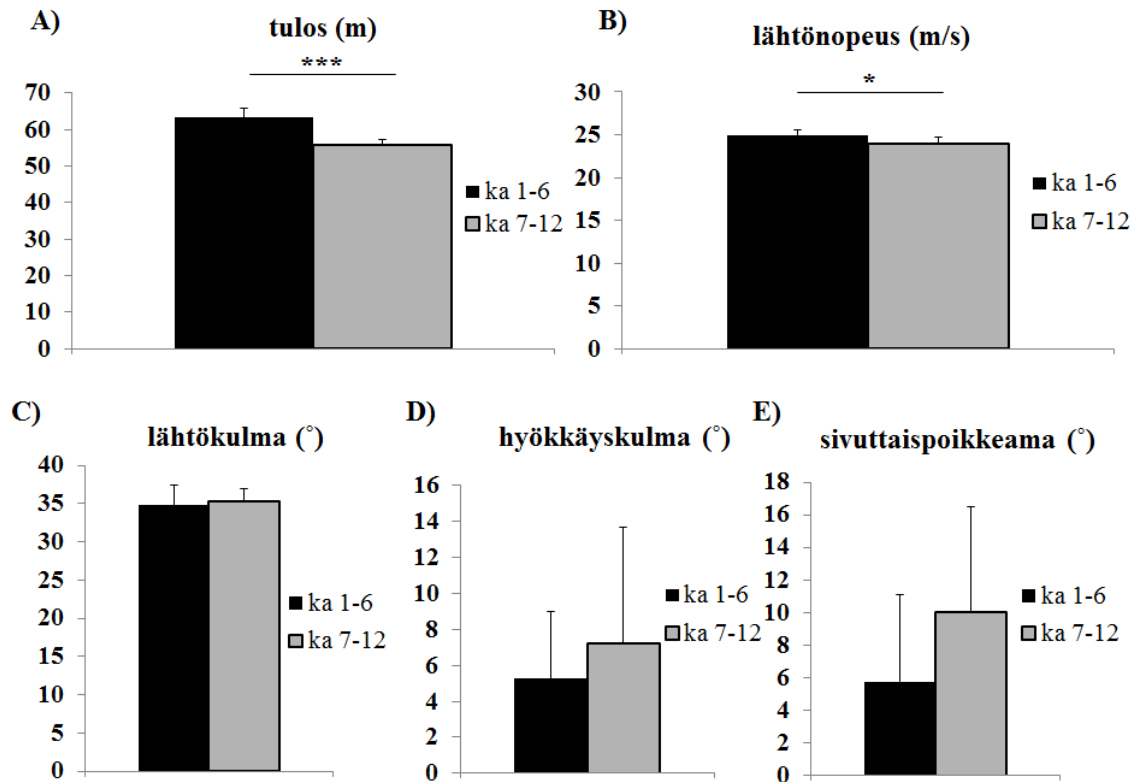
	<b>tulos</b> (m)	<b>lähtönope-</b> <b>us (m/s)</b>	<b>lähtökul-</b> <b>ma (°)</b>	<b>hyökkäys-</b> <b>kulma (°)</b>	<b>sivuttais-</b> <b>poikkeama (°)</b>
<b>Rebryk</b>	66,86	26,1	29,8	9,8	9,9
<b>Obergföll</b>	65,12	25,1	36,3	1,6	2,5
<b>Stahl</b>	63,69	24,9	35,2	3,5	5,9
<b>Sayers</b>	63,01	24,1	37,2	1,2	-2,7
<b>Molitor</b>	60,99	24,9	34,8	6,4	6,5
<b>Ozolina-Kovale</b>	59,34	24,3	35,4	9,1	12,2
<b>Jelaca</b>	57,58	23,4	34,6	15,1	18,4
<b>Palameika</b>	56,82	23,7	35,5	15,7	17,5
<b>Lika</b>	56,25	24,6	36,4	3,3	7,5
<b>Muze</b>	55,60	24,7	32,3	5,4	5,2
<b>Utriainen</b>	55,14	24,2	36,1	2,3	8,6
<b>Bani</b>	53,40	22,7	37,0	1,5	2,9
<b>keskiarvo sijat 1–6</b>	63,17	24,9	34,8	5,3	5,8
<b>keskiarvo sijat 7–12</b>	55,80	23,9	35,3	7,2	10,0

Kaikilla heittäjillä tukijalan polvi koukistui vetovaiheen aikana. Suurin osa heittäjistä pystyi kuitenkin suoristamaan tukijalkaa vetovaiheen aikana. (Taulukko 7.)

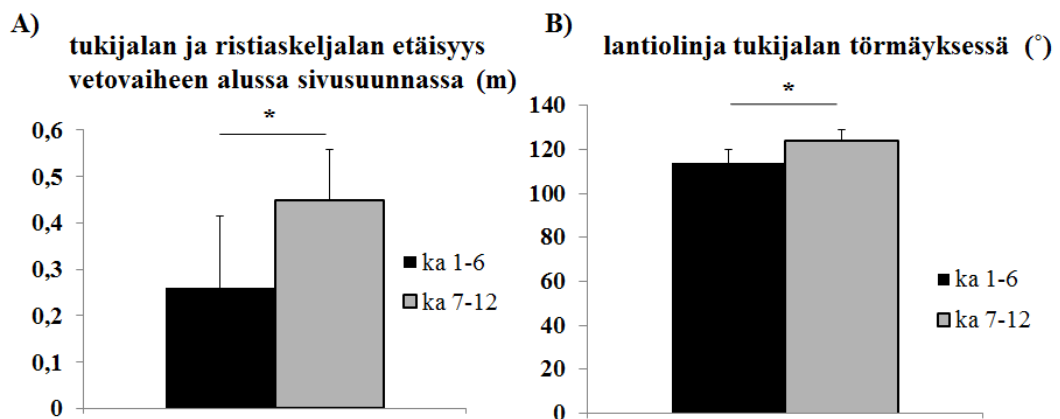
TAULUKKO 7. Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa, vetovaiheen aikainen minimi ja keihään irrotushetkellä (°) jokaiselta heittäjältä yksilöllisesti sekä kahden ryhmän keskiarvot.

	<b>tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)</b>	<b>tukijalan polvikulma minimi (°)</b>	<b>tukijalan polvikulma keihään irrotushetkellä (°)</b>
<b>Rebryk</b>	172	163	174
<b>Obergföll</b>	179	147	154
<b>Stahl</b>	172	140	140
<b>Sayers</b>	167	135	135
<b>Molitor</b>	171	159	170
<b>Ozolina-Kovale</b>	165	152	168
<b>Jelaca</b>	173	143	155
<b>Palameika</b>	165	144	175
<b>Lika</b>	163	143	168
<b>Muze</b>	164	148	179
<b>Utriainen</b>	164	137	170
<b>Bani</b>	164	141	145
<b>keskiarvo sijat 1–6</b>	171	150	157
<b>keskiarvo sijat 7–12</b>	166	143	165

Heittäjät jaettiin kahteen ryhmään sijoitusten perusteella. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä oli tuloksessa ( $p=0,0002$ ) (kuva 3A), lähtönopeudessa ( $p=0,038$ ) (kuva 3B), tukijalan ja ristiaskeljalan sivusuuntaisessa etäisyydessä vetovaiheen alussa ( $p=0,039$ ) (kuva 4A) ja lantiolinjassa tukijalan törmäyshetkellä ( $p=0,12$ ) (kuva 4B). Muissa muuttujissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. (Lantiolinja on vasemmasta lonkasta oikeaan lonkkaan kulkeva linja.  $180^\circ$  tarkoittaa, että linja on samansuuntainen heittosuunnan kanssa eli tukijalan puolen lonkka osoittaa heittosuuntaan ja ristiaskeljalan lonkka on ”takana”.  $90^\circ$  tarkoittaa, että linja on kohtisuorassa heittosuunnan kanssa eli napa osoittaa heittosuuntaan. Alle  $90^\circ$  tarkoittaa, että linja on kiertynyt kohtisuoran heittosuunnan yli.)

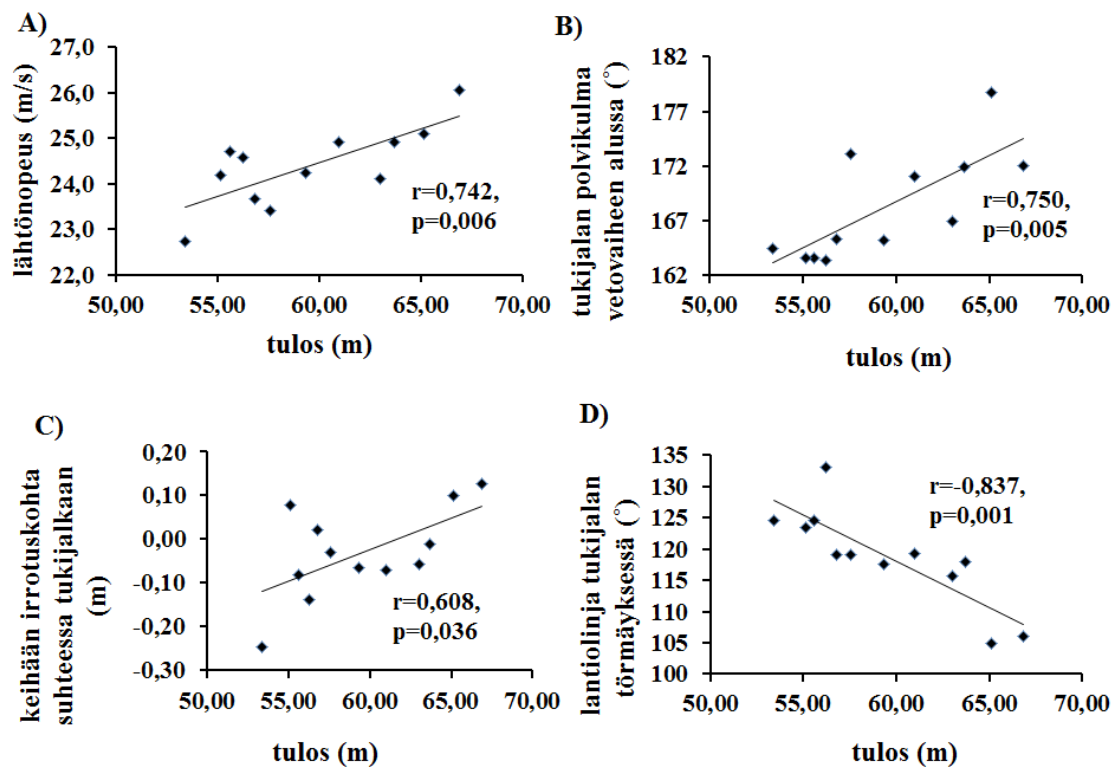


KUVA 3. Heittäjät jaettiin kahteen ryhmään sijoitusten perusteella ja t-testillä tarkasteltiin keskiarvojen eroja (musta: sijat 1–6, harmaa: sijat 7–12). Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä oli A) tuloksessa (m) ja B) lähtönopeudessa (m/s). Tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut C) lähtökulmassa (°), D) hyökkäyskulmassa (°) eikä E) sivuttaispoikkeamassa (°).



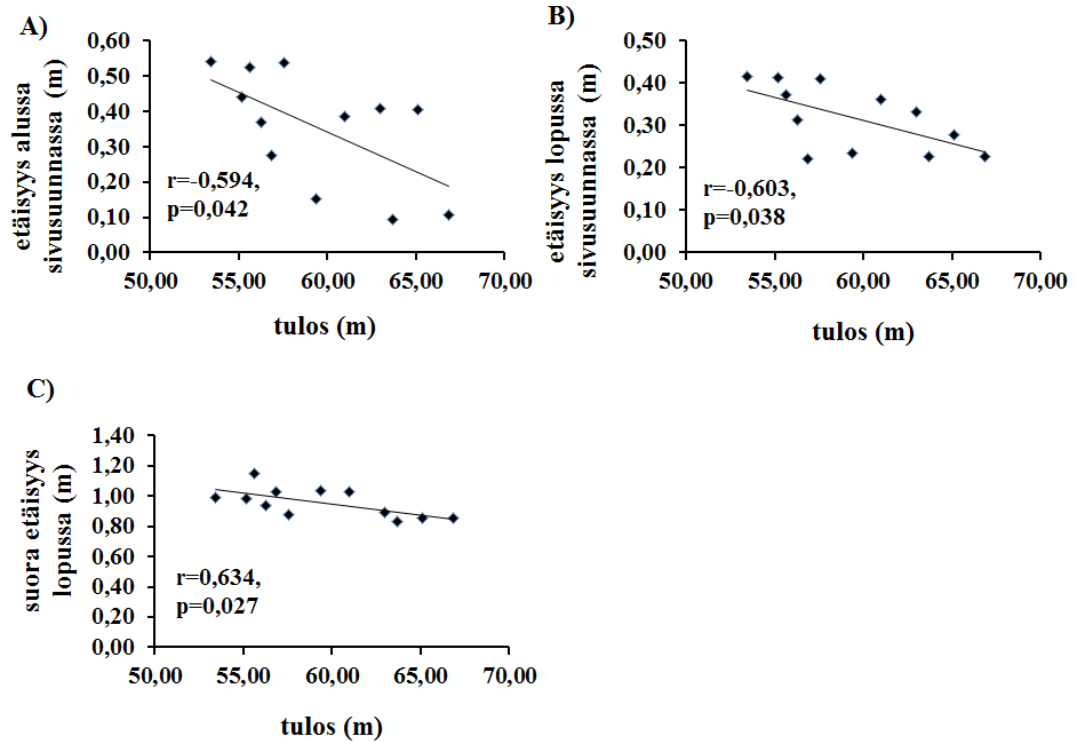
KUVA 4. Heittäjät jaettiin kahteen ryhmään sijoitusten perusteella ja t-testillä tarkasteltiin keskiarvojen eroja (musta: sijat 1–6, harmaa: sijat 7–12). Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä oli A) tukijalan ja ristiaskeljalan sivusuuntaisessa etäisyydessä vetovaiheen alussa (m) ja B) lantiolinjassa tukijalan törmäyshetkellä (°).

Kaikkien heittoja tarkasteltaessa tuloksen kanssa tilastollisesti merkitsevästi korreloivat lähtönopeus ( $r=0,742$ ,  $p=0,006$ ), keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan ( $r=0,608$ ,  $p=0,036$ ), tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa ( $r=0,750$ ,  $p=0,005$ ), ristiaskeljalan ja tukijalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen alussa ( $r=-0,594$ ,  $p=0,042$ ), ristiaskeljalan ja tukijalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen lopussa ( $r=-0,603$ ,  $p=0,038$ ), ristiaskeljalan ja tukijalan suora etäisyys vetovaiheen lopussa ( $r=0,634$ ,  $p=0,027$ ) ja lantiolinja tukijalan törmäyksessä ( $r=-0,837$ ,  $p=0,001$ ) (kuvat 5 ja 6). Lähtönopeuden kanssa tilastollisesti merkitsevästi korreloivat lähtökulma ( $r=-0,625$ ,  $p=0,030$ ), keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan ( $r=0,627$ ,  $p=0,029$ ) ja tukijalan minimi polvikulma vetovaiheen aikana ( $r=0,618$ ,  $p=0,032$ ) (kuva 7).

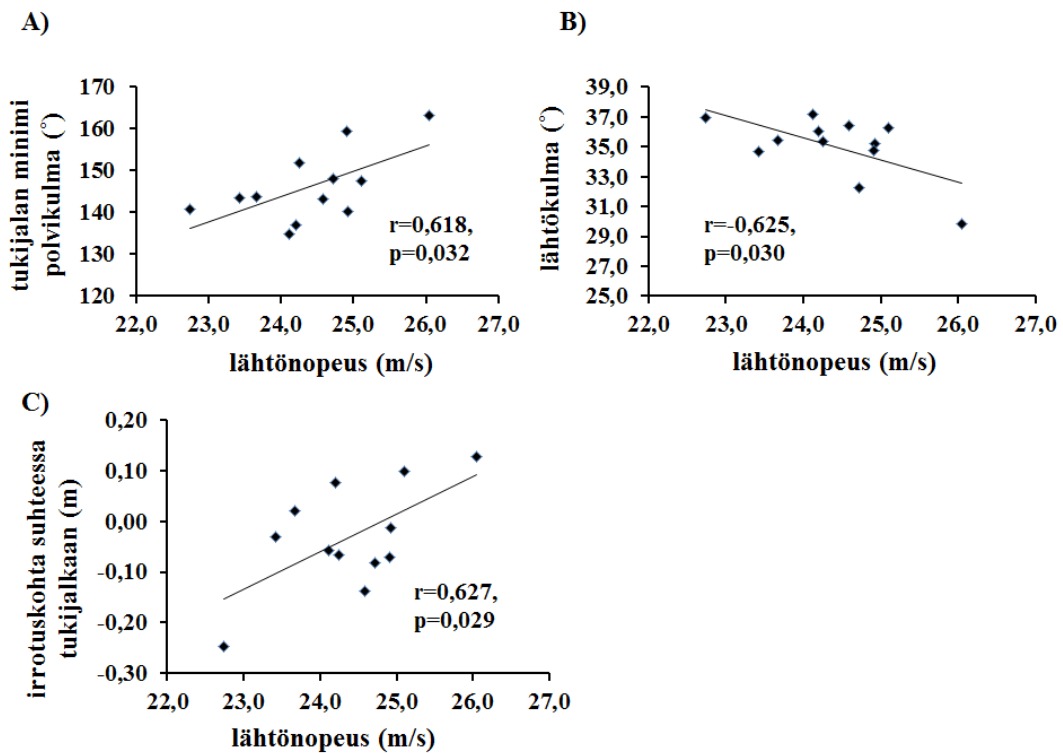


KUVA 5. Korrelaatiokuvaajat (koko ryhmä,  $n=12$ ). Tuloksen (m) kanssa korreloivat A) keihään lähtönopeus (m/s), B) tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa ( $^{\circ}$ ), C) keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m) ja D) lantiolinja tukijalan törmäyshetkellä ( $^{\circ}$ ).



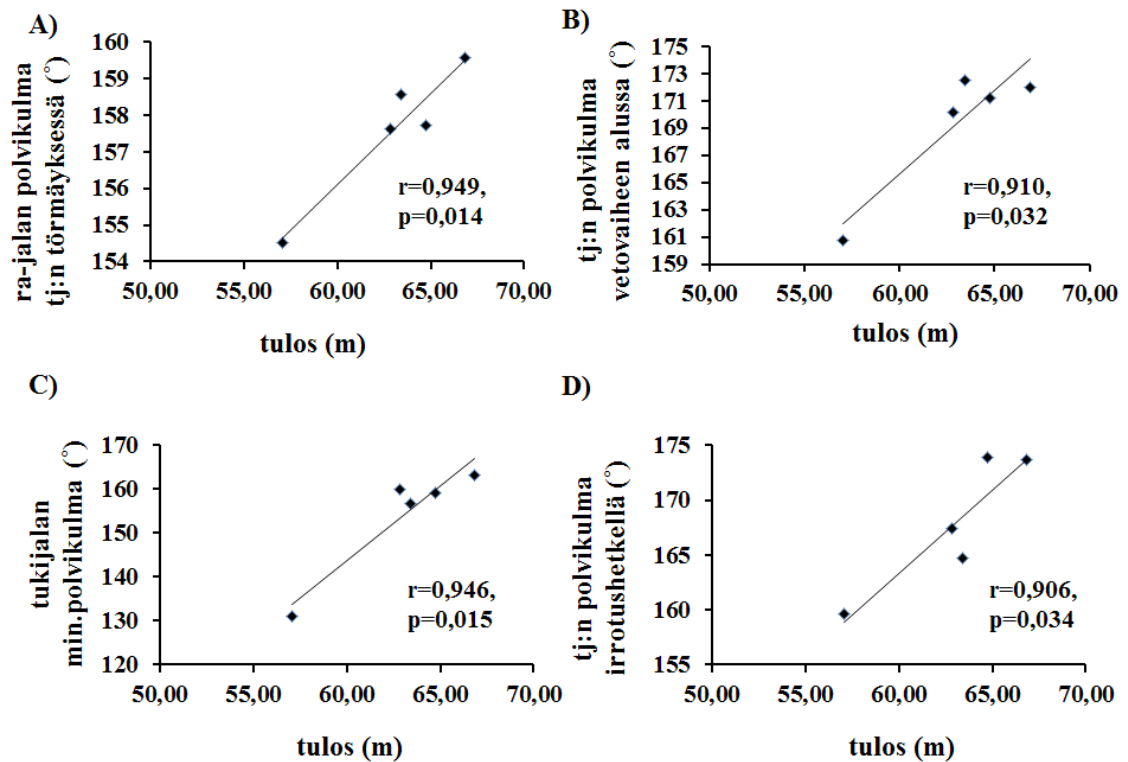


KUVA 6. Korrelaatiokuvaajat (koko ryhmä,  $n=12$ ). Tuloksen (m) kanssa korreloivat tukijalan ja ristiaskeljalan etäisyys A) vetovaiheen alussa sivusuunnassa (m), B) vetovaiheen lopussa sivusuunnassa (m) ja C) suora etäisyys vetovaiheen lopussa (m).

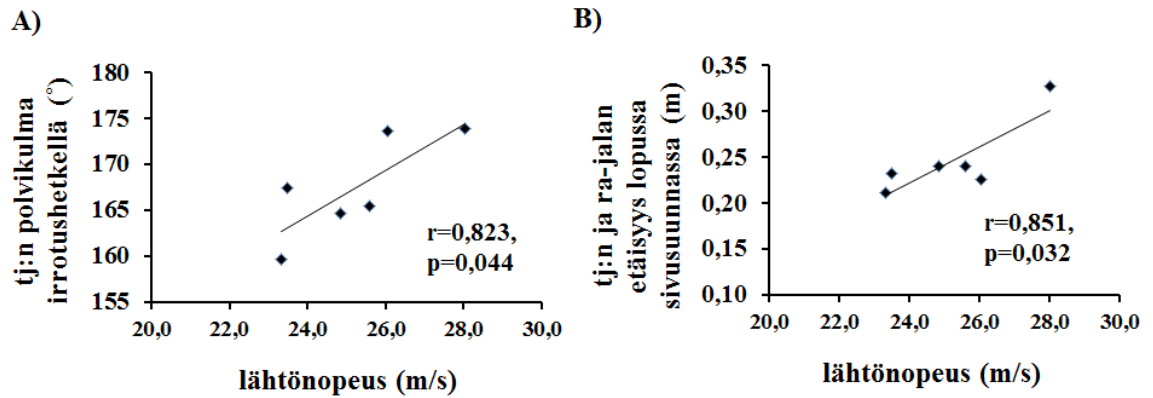


KUVA 7. Korrelaatiokuvaajat (koko ryhmä,  $n=12$ ). Lähtönopeuden (m/s) kanssa korreloivat A) tukijalan minimi polvikulma vetovaiheen aikana ( $^{\circ}$ ), B) keihään lähtökulma ( $^{\circ}$ ), C) keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m).

*Rebryk*. Rebrykin heitoissa tuloksen kanssa korreloivat ristiaskeljalan polvikulma tukijalan törmäyshetkellä ( $r=0,949$ ,  $p=0,014$ ), tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa ( $r=0,910$ ,  $p=0,032$ ), tukijalan minimi polvikulma vetovaiheen aikana ( $r=0,946$ ,  $p=0,015$ ) ja tukijalan polvikulma irrotushetkellä ( $r=0,906$ ,  $p=0,034$ ). (Kuva 8.) Lähtönopeuden kanssa korreloivat tukijalan polvikulma irrotushetkellä ( $r=0,823$ ,  $p=0,044$ ) ja tukijalan ja ristiaskeljalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen lopussa ( $r=0,851$ ,  $p=0,032$ ). (Kuva 9.)

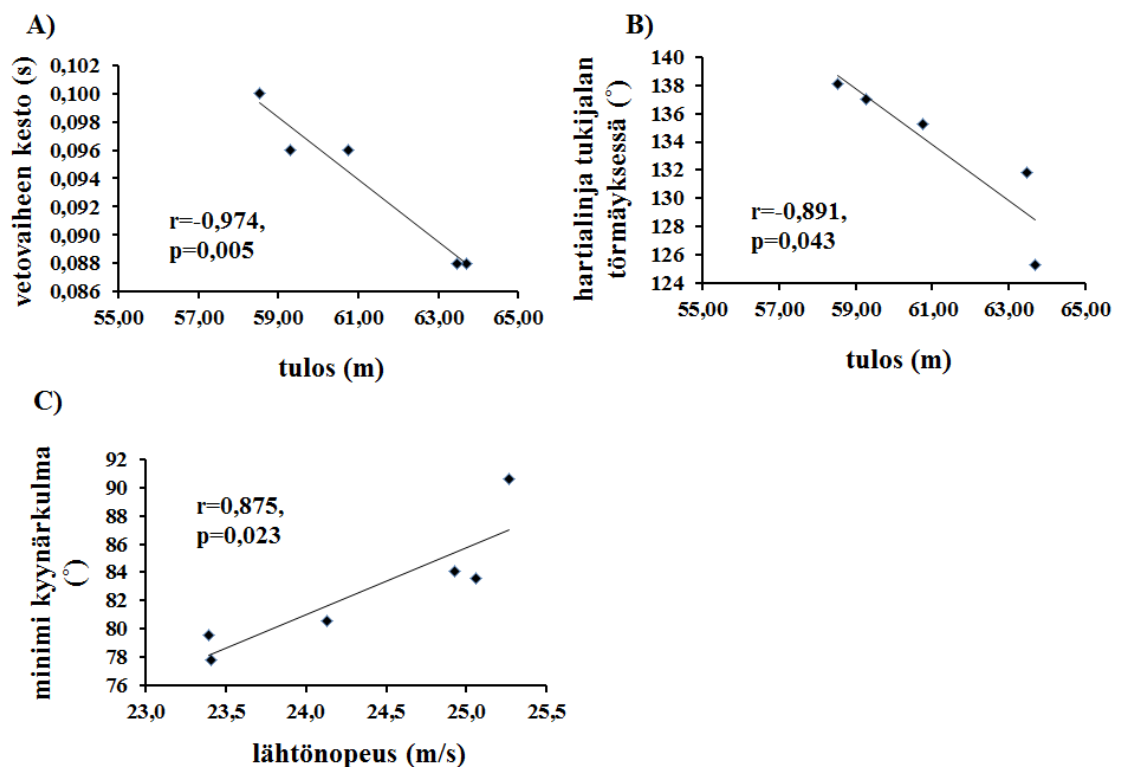


KUVA 8. Korrelaatiokuvaajat Rebrykin heitoista ( $n=5$ ). Tuloksen (m) kanssa korreloivat A) ristiaskeljalan polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (eli vetovaiheen alussa) (°), B) tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°), C) tukijalan minimi polvikulma vetovaiheen aikana (°) ja D) tukijalan polvikulma keihään irrotushetkellä (eli vetovaiheen lopussa) (°).



KUVA 9. Korrelaatiokuvaajat Rebykin heitoista (n=6). Lähtönopeuden (m/s) kanssa korreloivat A) tukijalan polvikulma keihään irrotushetkellä (°) ja B) tukijalan ja ristiaskeljalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen lopussa (m).

*Stahl.* Stahlin heitoissa tuloksen kanssa korreloivat vetovaiheen kesto ( $r=-0,974$ ,  $p=0,005$ ) ja hartialinja tukijalan törmäyshetkellä ( $r=-0,891$ ,  $p=0,043$ ). Lähtönopeuden kanssa korreloi heittokäden minimi kyynärkulma vetovaiheen aikana ( $r=0,875$ ,  $p=0,023$ ). (Kuva 10.)



KUVA 10. Korrelaatiokuvaajat Stahlin heitoista. (A ja B n=5, C n=6) Tuloksen (m) kanssa korreloi A) vetovaiheen kesto (s) ja B) hartialinja tukijalan törmäyshetkellä (°). C) Lähtönopeuden (m/s) kanssa korreloi heittokäden minimi kyynärkulma vetovaiheen aikana (°).

Liitteinä työn lopussa kaikkien heittojen kaikkien muuttujien arvot (liitteet 1–7).

## 9 POHDINTA

Tuloksia on tarkasteltava kriittisesti, sillä heittosuorituksia oli hyvin vähän. Työssä ei selvitetty heittäjän etäisyyttä heittoviivaan, josta heiton pituus mitataan. Näin ollen emme saaneet selville heiton todellista pituutta ja korrelaatiot heiton pituuteen voivat olla virheellisiä. Joka tapauksessa koko ryhmää tarkasteltaessa lähtönopeus korreloi positiivisesti tuloksen kanssa erittäin merkittävästi, kuten monessa aikaisemmassakin tutkimuksessa (mm. Viitasalo ym., 2003; Mero ym. 1994; Bartlett ym. 1996, Tauchi ym. 2009). Myös paremmin ja heikommin sijoittuneiden heittojen välillä oli tilastollisesti merkittävä ero lähtönopeudessa, joten lähtönopeuden merkitys heiton pituuteen osoitettiin selkeästi myös tässä tutkimuksessa. Keihään irrotuskohdan positiivinen korrelaatio tuloksen ja lähtönopeuden kanssa voidaan selittää pidempänä vetomatkana, jota esimerkiksi Utrainen (1987, 55) pitää tärkeänä tekijänä onnistuneessa heitossa. Helsingin EM-kilpailuiden miesten keihäsfinalissa kuudella parhaalla oli pidempi vetomatka kuin kuudella heikoimmalla (Valleala 2012). Tässä tutkimuksessa vetomatka ei kuitenkaan korreloinut tuloksen eikä lähtönopeuden kanssa.

Tukijalan polvikulmasta tutkijat ovat melko yksimielisiä. Tässä tutkimuksessa saatiin samanlainen tulos kuin esimerkiksi Whitingin ym. (1991) tutkimuksessa eli tukijalan tulisi olla vetovaiheen alussa mahdollisimman suorassa, jotta heitto olisi mahdollisimman pitkä. Tässä tutkimuksessa myös tukijalan pienin polvikulma vetovaiheen aikana korreloi positiivisesti lähtönopeuden kanssa. Whitingin ym. (1991) mukaan tukijalan pieni fleksio ja sitä seuraava ekstensio voivat saada aikaan pienen impulssin lisäyksen, mutta liian suuri fleksio vähentää impulssia. Tässä tutkimuksessa pidemmälle heittäneet urheilijat onnistuivat paremmin tukijalan käytössä eli pystyivät pitämään tukijalan vetovaiheen aikana suurempana kuin heikommin heittäneet.

Ristiaskeljalan ja tukijalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen alussa ja lopussa korreloivat negatiivisesti tuloksen kanssa koko ryhmän heittoja tarkasteltaessa. Kahden ryhmän välillä oli myös tilastollisesti merkittävä ero ristiaskeljalan ja tukijalan sivusuuntaisessa etäisyydessä vetovaiheen alussa niin, että paremmilla heittäjillä jalkojen etäisyys oli pienempi kuin heikommilla heittäjillä. Utraisen (1987, 63) mukaan yksi hyvän tek-

niikan tunnusmerkeistä on hyvä vetoasento. On tärkeää päästä tasapainoiseen vetoasentoon, jossa tukijalka on tukevasti maassa. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voisi ajatella, että heikommilla heittäjillä tukijalka saattoi tulla maahan liian vasemmalle. Heitto pitäisi pystyä tekemään tukijalan yli (Utriainen 1987, 55), mutta jos tukijalka tulee liian vasemmalle maahan, joudutaan heittämään tukijalan ”ohi” ja osa tukijalan kautta tulevasta impulssista menetetään ennen kuin keihäs irtoaa heittäjän kädestä. Ristiaskeljalan ja tukijalan suora etäisyys vetovaiheen lopussa korreloi positiivisesti heiton pituuden kanssa. Tutkimuksia tästä muuttujasta ei löytynyt, mutta osa keihäänheittovalmentajista korostaa jalkojen etäisyyden tärkeyttä vetovaiheen onnistumisen kannalta. Jos ristiaskeljalka ei pysy vetovaiheen aikana radan pinnassa ja mahdollisimman kaukana tukijalasta, niin vetovaihetta ei pystytä suorittamaan mahdollisimman laajasti.

Lantiolinja tukijalan törmäyshetkellä korreloi negatiivisesti tuloksen kanssa koko ryhmällä. Lantiolinja oli myös yksi eroavaisuus kahden ryhmän välillä. Paremmilla heittäjillä lantio oli enemmän kääntyneenä heittosuuntaa kohti vetovaiheen alussa kuin heikommilla. Lehmannin (2014) mukaan lantiolinjan kääntyminen kohti heittosuuntaa kertoo ristiaskeljalan aktiivisesta käytöstä, jonka seurauksesta lantion nopeus on suurempi kuin passiivisesti ristiaskeljalkaa käyttävällä. Lantio liikkuu siis paremmin eteenpäin ja samalla kehon painopiste liikkuu eteenpäin ja keihäaseen saadaan välitettyä suurempi impulssi kuin jos lantio ei liikkuisi eteenpäin vaan pyörisi vain paikallaan. Kun lantiolinja on jo kääntyneenä kohti heittosuuntaa tukijalan törmäyshetkellä, vartalon kaarijännitys on ”parempi” ja heittäjä ehtii tehdä kaikki vaiheet ennen keihään irtoamista. Jos lantiolinja on enemmän kiertyneenä pois heittosuunnasta, heittäjä ei ehdi tehdä heittoa teknisesti kunnolla ennen keihään irrotusta.

Suurempana kiinnostuksen kohteena olivat lähtönopeuden kanssa korreloivat tekijät. Koko ryhmää tarkasteltaessa keihään lähtömuuttujista lähtönopeuden kanssa korreloi lähtökulma. Mitä pienempi lähtökulma oli sitä korkeamman lähtönopeuden heittäjä sai keihäaseensä. Esimerkiksi Bestin ym. (1995) mukaan optimaalinen lähtökulma on noin 30–35° ja tässä tutkimuksessa lähes kaikkien heittojen lähtökulma oli optimaalinen (29,8–37,2° ja Rebykin yksi heitto 26,8°). Lähtökulma on yksi niistä ominaisuuksista, jonka merkitystä heiton pituuteen korostetaan keihäänheittopiireissä. Näin ollen ei ole

yllättävää, että Euroopan mestaruustasolla finaaliheittäjät pystyvät heittämään keihäänsä lähelle optimaalisena pidettyä kulmaa.

Lähtönopeuden kanssa korreloi lähtökulman lisäksi tukijalan pienin polvikulma vetovaiheen aikana ja keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan. Näiden vaikutuksia heittoon pohdittiin jo aiemmin. Tukijalan polven pitäminen mahdollisimman suorana saa aikaan suuremman impulssin keihääseen ja tukijalan käytön sekä monimutkaisen liikeketjun oikea-aikainen tekeminen vetovaiheen aikana mahdollistavat pidemmän vetomatkan. Tämän onnistuessa keihään irrotuskohta on painopisteen etupuolella ja pidempi vetomatka vaikuttaa positiivisesti keihään lähtönopeuteen.

Keihäänheittotutkimuksissa on korostettu yksilöllisyyttä ja sitä, että eri heittotekniikoilla heittävien tulisi keskittyä eri tekijöihin optimaaliseen heittosuoritukseen pyrittäessä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Rebrykin ja Stahlin heittoja yksilöllisesti. Heittojen määrä oli pieni, koska analysoitavana oli vain yhden kilpailun heitot. Molemmilla oli yksi yliastuttu heitto, mutta myös se analysoitiin ja sitä käytettiin lähtönopeuden korrelaatioita tarkasteltaessa. Kummallakaan heittäjällä lähtönopeus ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi heiton pituuden kanssa, mutta tuloksista nähdään kuitenkin, että molemmilla heittäjillä lähtönopeus on suurempi pidemmissä heitoissa kuin lyhyemmissä heitoissa.

Rebrykin heitoissa tuloksen kanssa korreloi useampi jalkojen polvikulman muuttuja. Kaikki tukijalan polvikulmat korreloivat tuloksen kanssa positiivisesti, joten Rebrykin tulisi kiinnittää huomiota tukijalan toimintaan heitossa. Tukijalka tulisi tuoda maahan mahdollisimman suorana ja vaikka pientä koukistumista tapahtuisi, polvi pitäisi pyrkiä vielä suoristamaan, jotta keihääseen saataisiin tuotettua mahdollisimman suuri impulssi. Ristiaskeljalan polvikulma korreloi positiivisesti tuloksen kanssa ja tämän perusteella voidaan päätellä, että Rebrykin heiton kannalta on hyvä, jos hän tulee vetovaiheeseen suuremmalla ristiaskeljalalla. Tämän seurauksena hän saa mahdollisesti suoritettua vetovaiheen liikeketjun paremmin.

Ristiaskeljalan polvikulman korrelaatiota tuloksen kanssa voi selittää sillä, että kun heittäjä pystyy tiputtamaan kääntyvän jalan polven kohti maata, heitto pystytään suorittamaan paremmin tukijalan takaa. Lehmannin (2014) mukaan kääntyvän jalan polven

alaspainaminen on tärkeää, jotta maan ja tukijalan välinen kulma saataisiin mahdollisimman pieneksi ja sen seurauksena painopisteen nopeuden väheneminen olisi tehokasta. Tauchi ym. (2009) selittävät ”oikea polvi alas”-tekniikan mahdollistavan tehokkaan lantionkääntymisen ilman, että ylävartalo työntyy eteenpäin. Jos ylävartalo pääsee työntymään eteenpäin, heittäjä ei pysty vaikuttamaan keihäaseen yhtä tehokkaasti kuin ylävartalon pysyessä pystyssä. Toisaalta osa huippuheittäjistä heittää tekniikalla, jossa he suoristavat takajalkaansa vetovaiheen aikana. Esimerkiksi Parviainen, Zelezny ja Backley suoristivat ristiaskeljaljaa vetovaiheen aikana (Campos ym. 2004). Tämän tutkimuksen perusteella ei voida kuitenkaan sanoa, kummalla tavalla Rebryk käyttää ristiaskeljaljaa, koska ristiaskeljalan polvikulman tulokset ovat vain tukijalan törmäyshetkellä, mutta ei vetovaiheen ajalta.

Rebrykin heitoissa lähtönopeuden kanssa korreloi tukijalan polvikulma keihään irrotushetkellä sekä tukijalan ja ristiaskeljalan etäisyys sivusuunnassa vetovaiheen lopussa. Tukijalan polvikulman korreloiminen lähtönopeuden kanssa voidaan perustella samoin, kun useassa kohdassa jo aikaisemminkin eli tukijalan polven tulisi pysyä mahdollisimman suorana vetovaiheen aikana. Tukijalan polvi koukistuu väkisin ainakin hieman vetovaiheen aikana, mutta jos heittäjä saa suoristettua polven ennen keihään irtoamista, saa hän tuotettua keihäaseen suuremman impulssin. Tukijalan ja ristiaskeljalan etäisyyksistä ei ole aikaisempia tutkimustuloksia. Tukijalan ja ristiaskeljalan sivusuuntaista etäisyyttä pohdittiin jo aikaisemmin koko ryhmää koskevissa tuloksissa. Rebrykin heitoissa korrelaatio on päinvastainen kuin koko ryhmän tuloksissa. Julkaistuja tutkimustuloksia ei löytynyt, mutta yleisesti keihäspiireissä kuitenkin pyritään välttämään jalkojen olemista peräkkäin vetovaiheen aikana, koska tällöin lantion käyttö liikeketjussa estyy ja vetoasento ei ole tasapainoinen. Tämän perusteella voidaan sanoa, että Rebrykin ”ongelma” heikommissa heitoissa saattaa olla jalkojen peräkkäin oleminen kun taas sijojen 7–12 heittäjien ongelma on tukijalan vieminen liian vasemmalle. Molemmissa tapauksissa lantion käyttö vetovaiheen aikana heikkenee ja keihäaseen ei saada tuotettua niin suurta impulssia kuin paremmalla tukijalan paikalla suhteessa ristiaskeljaljaan.

Stahlin heitoissa vetovaiheen kesto ja hartialinja tukijalan törmäyshetkellä korreloivat negatiivisesti tuloksen kanssa. Hartialinjan asento vetovaiheen alussa eli tukijalan törmäyshetkellä vaikuttaa vetovaiheen keston, joten nämä muuttujat ovat yhteydessä toisiinsa. Yleensä keihäspiireissä pyritään pidempään vetovaiheeseen, koska tällöin heittä-



jä pystyy vaikuttamaan keihäaseen kauemmin ja tuottamaan siihen suuremman impulsin. Miesten EM-finaaliheittäjillä vetovaiheen kesto korreloi positiivisesti lähtönopeuden kanssa (Valleala 2012) ja koska lähtönopeutta pidetään tärkeimpänä tekijänä heiton pituuden kannalta, voidaan ajatella vetovaiheen keston vaikuttavan myös heiton pituuteen. Stahlin heitoissa korrelaatio on juuri päinvastainen, joten joko heittäjällä on yksilöllinen tekniikka vedon osalta tai sitten korrelaatio ei kerro ”totuutta”. Stahlin pidemmissä heitoissa heittokäden kyynärkulma pysyi suurempana, joten ehkä hartialinjan suurempi kulma aiheuttaa hänelle käden koukistumisen liiaksi ja sen seurauksesta hän ei saa hyödynnettyä venytysrefleksiä vedon aikana, vaikka vetovaiheen kesto olisikin suurempi.

Stahlin heitoissa lähtönopeuden kanssa korreloi heittokäden pienin kyynärkulma vetovaiheen aikana. Samansuuntainen tulos saatiin miesten finaalista, sillä kuuden parhaan heitossa heittokäden kyynärkulma oli vetovaiheen alussa sekä pienimmillään suurempi kuin kuuden heikomman heitoissa (Valleala 2012). Kyynärkulman ollessa suurempi vetovaiheen alussa ja sen aikana heittäjä sai todennäköisesti tehtyä pidemmän vetotakan (Bartlett ym. 1996). Pienempi kyynärkulma voi kertoa käden ”varastamisesta” eli liikeketju ei toimi oikea-aikaisesti vaan ylävartalo lähtee liikkeelle liian aikaisin eikä keihäaseen tuotettava impulssi kasva niin suureksi.

Tämän tutkimuksen mukaan Stahlin tulisi kiinnittää huomiota ylävartalonsa toimintaan, jotta hänen heittonsa olisi mahdollisimman pitkä. Heittäjien yksilöllistä tekniikkaa kuvaa tässä tutkimuksessa hyvin se, että Rebrykin heittojen mukaan hänen tulisi keskittyä alavartalon toimintaan, jotta heitto onnistuisi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa samaa kuin esimerkiksi Campos ym. (2004) ja Viitasalo ym. (2003) eli heittäjien yksilöllisten tekniikoiden analysointi on tarpeellista ja tulevaisuudessa tulisi tehdä tutkimuksia enemmän yhden heittäjän useammasta heitosta kuin useamman heittäjän ryhmän heitoista.

Virhettä tuloksiin saattoi tulla digitointivaiheessa, sillä kuvanlaatu ei ollut kovin hyvä ja välillä heittäjän edessä oli roskis, toimitsija tai toinen heittäjä. Myös auringonvalo vaikeutti joissain kuvissa oikeiden pisteiden löytymistä. Osa pisteistä on jouduttu arvioimaan digitointivaiheessa myös sen takia, että kyseinen piste jäi heittäjän vartalon taakse piiloon. Työn tekijä oli ensikertalainen heittojen digitoinnissa, joten esimerkiksi nivel-

pisteiden keskikohdan arvioinnissa saattoi olla vaihtelua. Tuulen vaikutusta ei huomioitu tässä tutkimuksessa mitenkään, mutta se kuitenkin vaikuttaa keihään lentoon. Samoilla lähtöominaisuuksilla tulos voi olla eri johtuen heittopaikan olosuhteista sekä heittäjän valitsemasta keihästä. Heittäjien yksilöllinen tekniikka vaikuttaa paljon siihen, minkälaiset tuuliolosuhteet ovat heittäjälle optimaalisimmat. Joku osaa heittää paremmin vastatuuleen, toinen myötätuuleen. Yhden heittäjän lempikeihäs liittää parhaiten myötätuulen avustamana, toisen vastatuulen. Keihästykki- ja tuulitunnelitutkimuksissa on selvitetty eri keihäsmallien ja heitto-olosuhteiden vaikutuksia, mutta niitä on vaikea yhdistää kilpailuista tehtyihin tutkimuksiin.

Korrelaatioita tulee tarkastella kriittisesti, sillä vaikka muuttujien välillä löytyisi korrelaatio, se ei välttämättä tarkoita todellista syy-seuraus suhdetta. Tässä työssä (kuten monessa muussakin keihäänheittotutkimuksessa) heittojen lukumäärä on alhainen, joten korrelaatioiden luotettavuutta tulee senkin takia tarkastella kriittisesti. Tilastollisia eroja ja korrelaatioita voitaisiin saada enemmän, jos heittosuorituksia olisi analysoitavana enemmän. Toisaalta heittäjien yksilöllisen tekniikan takia useampien heittäjien heittoja analysoitaessa ei välttämättä saataisi yhtään enempää merkitseviä tuloksia. Ryhmillä tehdyistä korrelaatioista voi kuitenkin saada suuntaa-antavia tuloksia, joita urheilija ja valmentaja voivat käyttää hyväkseen.

Keihäänheiton monimutkaisen tekniikan perusteet ovat hyvin tiedossa ja heittosuorituksia on tutkittu paljon eritasoisilla heittäjillä. Tämän takia tulevaisuudessa tutkimuksia voisi olla hyvä tehdä suuresta määrästä yhden heittäjän heittoja. Näin huippuheittäjien kohdalla joissain maissa jo tehdäänkin (esimerkiksi Suomessa Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksella on laaja tietopankki suomalaisten keihäänheittäjien yksilöllisistä tekniikoista), mutta tutkimuksista ei ole julkaistu artikkeleita vaan tietoja on käytetty urheilijan valmennuksessa ja esimerkiksi lajin seminaareissa.

## LÄHTEET

- Bartlett, R. M. & Best, R. J. 1988. The biomechanics of javelin throwing: a review. *Journal of Sport Sciences* 6, 1–38.
- Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. & Morriss, C. 1996. Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Applied Biomechanics* 12, 58–71.
- Best, R. J., Bartlett, R. M. & Sawyer, R. A. 1995. Optimal javelin release. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 371–394.
- Campos, J., Brizuela, G. & Ramón, V. 2004. Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* 19, 47–57.
- Dempster, W. T. 1955. Space requirements of the seated operator. Geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs, WADC Technical Report 55–159. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. Carpenter Litho & Printing Co., Springfield, Ohio.
- Komi, P. V. & Mero, A. 1985. Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers. *International Journal of Sport Biomechanics* 1, 139–150.
- Korean Society of Sport Biomechanics. Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the IAAF World Championships Daegu 2011 Javelin Throw Women – Final. 2011.
- Lehmann, F. 2009. Biomechanical analyses of selected events at the 12<sup>th</sup> IAAF World Championships in Athletics, Berlin 15–23 August 2009. Final Report, Throwing Events. A Project by the German Athletics Federation.
- Lehmann, F. 2014. Biomechanics of javelin throwing. 3rd world javelin conference in Kuortane 13.11.2014.
- Leigh, S., Liu, H. & Yu, B. 2010. Associations between javelin throwing technique and release speed. *International symposium on biomechanics in sports: conference proceedings archive* 28, 1.

- 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.
- Morriss, C. J. & Bartlett, R. M. 1994. The height of carry of the javelin and its relationship with throwing performance. Teoksessa Viitasalo, J. & Kujala, U. (toim.) *The Way To Win. International Congress on Applied Research in Sports. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 141, Helsinki*, 133–136.
- Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H. & Gomi, K. 2009. Biomechanical analysis of elite javelin throwing technique at the 2007 IAAF World Championships in Athletics. *Bulletin of Studies in athletics of JAAF* 5, 143–149.
- Tidow, G., 1996. Model technique analysis sheets–Part X: The javelin throw. *New Studies in Athletics* 1, 45–62.
- Utriainen, E. 1987. *Keihäänheitto. Suomen Urheiluliitto, Kirjapaino Wiita-Offset Oy, Viitasaari.*
- Valleala, R. 2002. Keihäänheittosuorituksen biomekaaniset muuttujat ja niiden yksilöllisyys kahden eri heittäjän suorituksissa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu –tutkielma.
- Valleala, R. 2012. Helsingin EM-kisojen 2012 biomekaaniset raportit: Keihäänheitto. *Huippu-Urheilu-Uutiset* 3, 28–29.
- Viitasalo, J., Mononen, H. & Norvapalo, K. 2003. Release parameters at the foul line and the official result in javelin throwing. *Sports Biomechanics* 2, 15–34.
- Whiting, W. C., Gregor, R. J. & Halushka, M. 1991. Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *International Journal of Sport Biomechanics* 7, 111–124.

Liite 1. Sijoille 1.–4. sijoittuneiden heittäjien tulokset.

	Rebryk	Obergföll	Stahl	Sayers
Sija	1.	2.	3.	4.
Tulos (m)	66,86	65,12	63,69	63,01
Keihään lähtönopeus (m/s)	26,1	25,1	24,9	24,1
Keihään lähtökulma (°)	29,8	36,3	35,2	37,2
Keihään hyökkäyskulma (°)	9,8	1,6	3,5	1,2
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	9,9	2,5	5,9	-2,7
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	6,2	5,5	5,7	4,9
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,5	3,6	2,3	3,2
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	60	36	60	34
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,100	0,096	0,088	0,096
Vetomatka (m)	1,83	1,80	1,66	1,67
Keihään irrotuskorkeus (m)	2,06	1,77	1,98	1,90
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	0,13	0,10	-0,01	-0,06
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	160	141	119	142
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	123	127	106	132
Kyynärkulma minimi (°)	112	89	84	108
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	154	141	169	169
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	172	179	172	167
Tukijalan polvikulma minimi (°)	163	147	140	135
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	174	154	140	135
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,44	1,54	1,42	1,42
sivusuunnassa (m)	0,11	0,41	0,10	0,41
suora etäisyys (m)	1,44	1,59	1,42	1,48
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,83	0,81	0,80	0,83
sivusuunta (m)	0,23	0,28	0,23	0,33
suora etäisyys (m)	0,86	0,86	0,83	0,89
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	106	105	118	116
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	88	66	70	66
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	144	135	125	129
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	62	62	52	57

Hartialinja on vasemmasta hartianivelestä oikeaan hartianiveleen kulkeva linja. 180° tarkoittaa, että linja on samansuuntainen heittosuunnan kanssa eli kylki ja hartia ovat edessä. 90° tarkoittaa, että linja on kohtisuorassa heittosuuntaan nähden eli naama osoittaa heittosuuntaan. Alle 90° tarkoittaa, että linja on kiertynyt kohtisuoran heittosuunnan yli.

Liite 2. Sijoille 5.–8. sijoittuneiden heittäjien tulokset.

	Molitor	Ozolina- Kovale	Jelaca	Palameika
Sija	5.	6.	7.	8.
Tulos (m)	60,99	59,34	57,58	56,82
Keihään lähtönopeus (m/s)	24,9	24,3	23,4	23,7
Keihään lähtökulma (°)	34,8	35,4	34,6	35,5
Keihään hyökkäyskulma (°)	6,4	9,1	15,1	15,7
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	6,5	12,2	18,4	17,5
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	4,9	6,4	5,2	5,3
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,0	2,4	2,8	2,6
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	59	63	45	51
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,108	0,120	0,104	0,128
Vetomatka (m)	1,78	1,97	1,63	2,07
Keihään irrotuskorkeus (m)	2,03	2,12	1,75	2,02
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	-0,07	-0,07	-0,03	0,02
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	119	133	122	149
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	113	111	104	142
Kyynärkulma minimi (°)	80	81	89	106
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	152	143	148	149
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	171	165	173	165
Tukijalan polvikulma minimi (°)	159	152	143	144
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	170	168	155	175
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,46	1,61	1,36	1,60
sivusuunnassa (m)	0,39	0,15	0,54	0,27
suora etäisyys (m)	1,51	1,62	1,46	1,62
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,97	1,01	0,77	1,00
sivusuunta (m)	0,36	0,24	0,41	0,22
suora etäisyys (m)	1,03	1,04	0,88	1,03
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	119	118	119	119
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	57	74	67	63
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	135	157	118	149
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	53	55	51	65

Liite 3. Sijoille 9.–12. sijoittuneiden heittäjien tulokset.

	Lika	Muze	Utriainen	Bani
Sija	9.	10.	11.	12.
Tulos (m)	56,25	55,60	55,14	53,40
Keihään lähtönopeus (m/s)	24,6	24,7	24,2	22,7
Keihään lähtökulma (°)	36,4	32,3	36,1	37,0
Keihään hyökkäyskulma (°)	3,3	5,4	2,3	1,5
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	7,5	5,2	8,6	2,9
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	4,3	5,1	6,1	5,3
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,1	2,8	3,2	3,5
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	51	45	48	34
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,092	0,124	0,116	0,096
Vetomatka (m)	1,46	1,88	1,86	1,47
Keihään irrotuskorkeus (m)	1,91	1,89	1,87	1,84
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	-0,14	-0,08	0,08	-0,25
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	128	125	147	138
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	84	134	126	113
Kyynärkulma minimi (°)	83	107	85	81
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	152	144	160	122
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	163	164	164	164
Tukijalan polvikulma minimi (°)	143	148	137	141
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	168	179	170	145
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,18	1,42	1,50	1,37
sivusuunnassa (m)	0,37	0,52	0,44	0,54
suora etäisyys (m)	1,23	1,51	1,56	1,47
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,88	1,08	0,89	0,90
sivusuunta (m)	0,31	0,37	0,41	0,42
suora etäisyys (m)	0,93	1,15	0,98	0,99
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	133	125	123	125
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	63	51	62	108
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	133	150	147	125
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	62	62	41	67

## Liite 4. Rebrykin kolmen ensimmäisen heiton tulokset.

Kierros	1	2	3
Tulos (m)	57,04	63,44	x
Keihään lähtönopeus (m/s)	23,3	24,8	25,6
Keihään lähtökulma (°)	30,1	26,8	28,1
Keihään hyökkäyskulma (°)	12,8	13,2	11,4
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	9,2	8,5	14,9
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	5,9	5,0	5,5
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,3	2,6	2,4
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	62	48	56
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,108	0,104	0,100
Vetomatka (m)	1,79	1,83	1,78
Keihään irrotuskorkeus (m)	2,01	2,00	1,99
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	0,05	0,05	0,08
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	155	159	154
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	115	115	116
Kyynärkulma minimi (°)	104	97	98
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	149	154	148
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	161	173	173
Tukijalan polvikulma minimi (°)	131	157	152
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	160	165	166
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,37	1,49	1,48
sivusuunnassa (m)	0,16	0,11	0,10
suora etäisyys (m)	1,38	1,49	1,48
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,92	1,02	0,96
sivusuunta (m)	0,21	0,24	0,24
suora etäisyys (m)	0,94	1,05	0,99
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	105	101	91
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	84	61	75
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	148	136	145
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	69	74	66



## Liite 5. Rebrykin kolmen viimeisen heiton tulokset.

Kierros	4	5	6
Tulos (m)	62,83	66,86	64,77
Keihään lähtönopeus (m/s)	23,5	26,1	28,0
Keihään lähtökulma (°)	34,9	29,8	32,8
Keihään hyökkäyskulma (°)	8,5	9,8	10,5
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	3,7	9,9	16,5
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	5,9	6,2	5,6
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	3,1	2,5	2,6
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	48	60	53
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,088	0,100	0,104
Vetomatka (m)	1,49	1,83	1,84
Keihään irrotuskorkeus (m)	1,90	2,06	2,06
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	-0,19	0,13	0,04
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	158	160	158
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	126	123	117
Kyynärkulma minimi (°)	105	112	111
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	141	154	157
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	170	172	171
Tukijalan polvikulma minimi (°)	160	163	159
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	167	174	174
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,46	1,44	1,48
sivusuunnassa (m)	0,10	0,11	0,17
suora etäisyys (m)	1,46	1,44	1,48
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,96	0,83	1,01
sivusuunta (m)	0,23	0,23	0,33
suora etäisyys (m)	0,99	0,86	1,06
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	111	106	109
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	87	88	87
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	132	144	146
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	68	62	61

## Liite 6. Stahlin kolmen ensimmäisen heiton tulokset.

Kierros	1	2	3
Tulos (m)	63,69	63,47	58,53
Keihään lähtönopeus (m/s)	24,9	24,1	23,4
Keihään lähtökulma (°)	35,2	36,8	35,6
Keihään hyökkäyskulma (°)	3,5	5,8	7,4
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	5,9	7,4	7,2
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	5,7	5,6	5,7
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,3	2,8	3,0
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	60	50	47
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,088	0,088	0,100
Vetomatka (m)	1,66	1,61	1,71
Keihään irrotuskorkeus (m)	1,98	1,94	1,94
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	-0,01	-0,20	-0,09
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	119	122	121
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	106	107	120
Kyynärkulma minimi (°)	84	81	80
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	169	152	158
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	172	171	168
Tukijalan polvikulma minimi (°)	140	149	140
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	140	149	143
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,42	1,50	1,42
sivusuunnassa (m)	0,10	0,20	0,14
suora etäisyys (m)	1,42	1,51	1,43
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,80	0,90	0,74
sivusuunta (m)	0,23	0,30	0,26
suora etäisyys (m)	0,83	0,95	0,79
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	118	124	125
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	70	82	69
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	125	132	138
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	52	56	59

Liite 7. Stahlin kolmen viimeisen heiton tulokset.

Kierros	4	5	6
Tulos (m)	59,29	x	60,76
Keihään lähtönopeus (m/s)	23,4	25,3	25,1
Keihään lähtökulma (°)	35,9	35,0	33,1
Keihään hyökkäyskulma (°)	6,8	8,5	8,5
Keihään sivuttaispoikkeama (°)	5,8	6,0	6,6
Pp:n nopeus TJ:n törm.hetkellä (m/s)	5,6	5,5	5,3
Pp:n nopeus keihään irrotushetkellä (m/s)	2,7	3,4	3,1
- nopeuden väheneminen vetovaiheessa (%)	51	39	42
Vetovaiheen kesto aika (s)	0,096	0,084	0,096
Vetomatka (m)	1,66	1,49	1,72
Keihään irrotuskorkeus (m)	1,95	1,87	2,00
Keihään irrotuskohta suhteessa tukijalkaan (m)	-0,09	-0,28	-0,07
RJ:n polvikulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	121	120	121
Kyynärkulma tukijalan törmäyshetkellä (°)	111	105	117
Kyynärkulma minimi (°)	78	91	84
Kyynärkulma irrotushetkellä (°)	153	157	162
Tukijalan polvikulma vetovaiheen alussa (°)	170	170	166
Tukijalan polvikulma minimi (°)	145	150	145
Tukijalan polvikulma irrotushetkellä (°)	146	151	149
RJ ja TJ etäisyys alussa pitkittäissuunnassa (m)	1,42	1,45	1,42
sivusuunnassa (m)	0,11	0,17	0,09
suora etäisyys (m)	1,42	1,46	1,42
RJ ja TJ etäisyys lopussa pitkittäissuunta (m)	0,72	0,96	0,89
sivusuunta (m)	0,16	0,29	0,21
suora etäisyys (m)	0,74	1,00	0,91
lantiolinja tukijalan törmäyksessä (°)	131	119	128
lantiolinja keihään irrotushetkellä (°)	74	69	68
hartialinja tukijalan törmäyksessä (°)	137	126	135
hartialinja keihään irrotushetkellä (°)	56	60	50