

**REAKTIOVOIMANTUOTON MERKITYS PIKAJUOKSUN  
KIIHDYTYKSESSÄ JA VAKIONOPEUDEN VAIHEESSA**

Jaakko Tornberg

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

VTEA006

Kevät 2011

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Mikko Virnavirta

Antti A. Mero

## TIIVISTELMÄ

**Jaakko Paavo Tornberg.** Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma. Kevät 2011. Reaktiovoimantuoton merkitys pikajuoksun kiihdytyksessä ja vakionopeuden vaiheessa. 42s.

**Johdanto.** Pikajuoksusuoritus riippuu tunnetusti ennen kaikkea juoksijan alustaan tuote- tuista voimista. Pikajuoksun voimantuottoa on tutkittu laajasti, mutta juoksun eri vaihei- den voimantuoton tutkimista samalla kertaa ei ole tehty. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tutkia ja verrata reaktiovoimia ja askelmuuttujia kolmessa vaiheessa pikajuoksua (al- kukiihdytys, kiihdytyksen keskivaihe ja maksiminopeuden vaihe) ja pikajuoksuharjoitte- lussa tyypillisellä submaksimaalisella juoksunopeudella (90 % maksimista). Tutkimuk- sen tavoitteena oli myös löytää keskeiset reaktiovoimamuuttujat pikajuoksijoiden tes- taamiseen valmennuksen apuvälineenä.

**Menetelmät.** Koehenkilönä oli neljä yleisurheilijaa (ikä  $23,5 \pm 2,9$  vuotta, pituus  $170,5 \pm 4,8$  cm, paino  $65,0 \pm 7,7$  kg ja 100 m:n ennätys  $11,45 \pm 0,49$  s), joista kolme oli mies- tä. Koehenkilöt suorittivat omatoimisen verryttelyn jälkeen kuusi maksimaalista 40 m:n juoksua telinelähdöllä. Palautus suoritusten välissä oli 5-10 min. Mittausasetelmaa muu- tettiin suoritusten välissä niin, että jokaiselta koehenkilöltä mitattiin kaksi suoritusta jo- kaista juoksun eri vaihetta (alkukiihdytys, keskikiihdytys ja maksimivauhti) kohden. Lo- puksi koehenkilöt juoksivat vielä 1-2 submaksimaalista (90 %:n maksiminopeudesta) juoksua maksimivauhdin asetelmalla. Juoksuissa mitattiin reaktiovoimat 7,2 metrin mat- kalta: alkukiihdytysasetelmassa 1-7 m:n, keskikiihdytysasetelmassa 15-23 m:n ja va- kionopeusasetelmassa 32-40 m:n kohdalta. Juoksunopeutta mitattiin tutkan ja valoken- nolaitteiston avulla. Tutkalla mitattiin hetkellistä nopeutta 50 Hz keräystaajuudella ja se asetettiin 1,2 m:n korkeudelle. Juoksuaikaa mitattiin pään korkeudella olevilla valoken- noilla, jotka olivat jokaisessa asetelmassa 1, 30 ja 40m:n päässä lähtötelineistä. Askel- muuttujat mitattiin alustaan kiinnitetyn paperin avulla. Juoksuista määritettiin askelpi- tuudet, askeltiheydet, kontaktiajat, lentoajat ja reaktiovoimamuuttujat jarrutus- ja työn- tövaiheille.

**Tulokset.** Juoksijoiden keskinopeudet eri vaiheissa olivat: alkukiihdytys ( $5,6 \pm 0,6$  m/s), kiihdytyksen keskivaihe ( $8,4 \pm 0,2$  m/s), maksiminopeuden vaihe ( $9,1 \pm 0,4$  m/s) ja sub- maksimaalinen juoksu ( $8,5 \pm 0,2$  m/s). Jarrutusvaiheen keskimääräinen vertikaalivoima kasvoi merkitsevästi ( $p < 0,001$ ) siirryttäessä alkukiihdytyksestä kiihdytyksen keskivai- heeseen ja siirryttäessä keskivaiheesta maksimijuoksuvaiheeseen ( $p = 0,042$ ). Jarrutusvai- heen keskimääräinen horisontaalivoima oli merkitsevästi suurempi maksimijuoksuvai- heessa verrattuna keskikiihdytysvaiheeseen ( $p = 0,014$ ). Työntövaiheen keskimääräisissä vertikaali- ja horisontaalivoimissa ei ollut merkitseviä eroja eri vaiheiden välillä. Jarru- tus- ja työntövaiheiden kestot olivat tilastollisesti merkitsevästi lyhyempiä kiihdytyksen keskivaiheessa verrattuna alkukiihdytysvaiheeseen ( $p < 0,001$ ) ja lyhyempiä maksimi- juoksunopeuden vaiheessa verrattuna keskikiihdytysvaiheeseen ( $p = 0,003$ ). Kiihdytyksen alkuvaiheessa juoksunopeus korreloi erittäin vahvasti jarrutusvaiheen ( $r = -0,989$ ,  $p < 0,01$ ) ja työntövaiheen keskimääräisen horisontaalivoiman kanssa ( $r = 0,998$ ,  $p < 0,01$ ). Juoksunopeus korreloi myös vahvasti työntövaiheen keskimääräisen vertikaalivoiman kanssa ( $r = 0,889$ ,  $p < 0,05$ ). Juoksunopeus ei korreloinut kiihdytyksen keskivaiheessa merkitsevästi minkään voimantuottomuuttujan kanssa. Maksiminopeuden vaiheessa juoksunopeus korreloi vahvasti ( $r = 0,814$ ,  $p = 0,002$ ) työntövaiheen horisontaalisuuntaisen voiman kanssa, muttei jarrutusvaiheen horisontaalisen voiman kanssa ( $r = 0,084$ ,

$p=0,485$ ). Vertikaalisuuntaisen voimien yhteys juoksunopeuteen oli suuntaa-antava, mutta ei merkitsevä.

**Pohdinta.** Pikajuoksun voimantuotossa vain kiihdytyksen alku eroaa merkittävästi muista juoksun vaiheista. Alkukiihdytysvaiheessa horisontaalisuuntainen voima korostuu. Nopeammat juoksijat tuottavat samalla kontaktiajalla suuremmat eteenpäin suuntautuvat voimat kuin hitaammat juoksijat. Juoksunopeudella ja horisontaali- ja vertikaalisuuntaisilla voimantuotolla on selkeä yhteys niin kiihdytysvaiheessa kuin maksimivaiheen juoksussa. Askelkontaktin törmäysvoimat maksimijuoksuvaiheessa ovat moninkertaisia alkukiihdytysvaiheeseen verrattuna, jolloin myös juoksijan kyky kestää näitä voimia eli jalan ”lihasjäykkyys” (stiffness) korostuu. Tässä tutkimuksessa käytetyistä reaktiovoimamuuttujista voidaan valita muuttujia pikajuoksijoiden lajinomaiseen testaamiseen. Keskeisiä muuttujia reaktiovoimista ovat jarrutus- ja työntövaiheiden kestot, keskimääräiset horisontaali – ja vertikaalivoimat sekä keskimääräinen resultanttivoima ja resultanttikulma.

**Avainsanat:** pikajuoksu, reaktiovoimat, kiihdytysvaihe, maksiminopeus

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	5
2 PIKAJUOKSUN LAJIANALYYSI .....	6
<b>2.1 Pikajuoksun biomekaniikka .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 Voimantuotto pikajuoksussa.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2 Reaktivoimat pikajuoksussa.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Pikajuoksun tekniikka .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1 Lähtö .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2 Kiihdytys .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2 Vakionopeuden vaihe .....</b>	<b>15</b>
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT JA HYPOTEESIT.....	17
4 MENETELMÄT.....	19
<b>4.1 Koehenkilöt .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Koeasetelma ja mittausten kulku .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Mittaukset.....</b>	<b>21</b>
<b>4.4 Analyysit.....</b>	<b>22</b>
<b>4.5 Tilastolliset analyysit.....</b>	<b>23</b>
5 TULOKSET .....	24
<b>5.1 Reaktivoimat .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Askelmuuttujat.....</b>	<b>30</b>
6 POHDINTA.....	33
7 KIITOKSET .....	38
8 LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Pikajuoksunopeuteen vaikuttaa ennen kaikkea kyky tuottaa mahdollisimman suurta voimaa mahdollisimman lyhyessä ajassa. Tutkimusten mukaan askelkontaktien välisellä ajalla ei ole merkittävää eroa nopeiden ja hitaiden juoksijoiden välillä, joten juoksunopeuden ero syntyy voimantuotosta askelkontaktin jarrutus- ja työntövaiheissa. (Weyand ym. 2000) Nopeammat juoksijat pystyvät lisäksi suuntaamaan voimantuottoansa hitaampia juoksijoita optimaalisemmin (Mero ym. 1992).

Pikajuoksuosuoritus koostuu kolmesta päävaiheesta eli lähdöstä, kiihdytyksestä ja maksiminopeuden vaiheesta. Pikajuoksun voimantuottoa eri vaiheissa on tutkittu varsin laajasti, mutta tutkimuksissa on keskitytty vain yhden juoksun vaiheen tutkimiseen kerralla. Tämän tutkimuksen tarkoitus on tutkia ja verrata reaktivoimia ja askelmuuttujia eri vaiheissa pikajuoksua. Nämä vaiheet ovat alkukiihdytys, kiihdytyksen keskivaihe ja maksiminopeuden vaihe ja samoja muuttujia tutkitaan myös pikajuoksuharjoittelussa tyypillisellä submaksimaalisella juoksunopeudella (90% maksiminopeudesta). Tutkimuksen avulla pyritään myös löytämään keskeiset juoksuaskeleen aikaiset voimantuotomuuttujat pikajuoksijoiden testaamiseen.

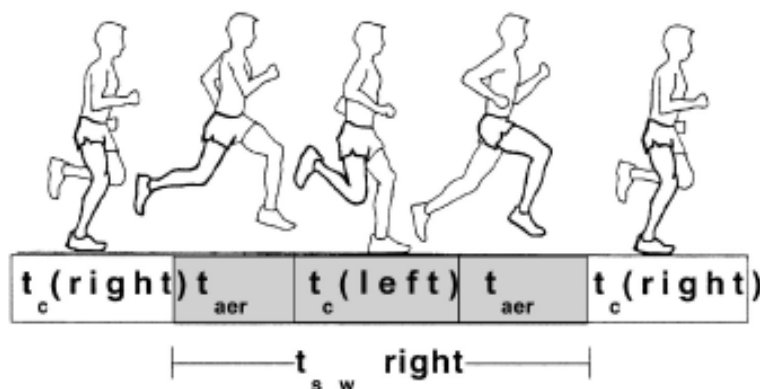
## 2 PIKAJUOKSUN LAJIANALYYSI

Maksimijuoksunopeuden määräävät kaksi perusasiaa: voimat, joita tuotetaan maata vasten ja nopeus, joilla jalat heilahtavat ilmassa. Pikajuoksijoilla voimantuotto on näistä selvästi merkitsevämpi tekijä, sillä hitaammatkin juoksijat kykenevät heilauttamaan jalkoja ilmassa riittävän nopeasti huippujuoksijoiden askeltiheyden saavuttamiseksi. Kyky tuottaa suurempaa voimaa mahdollisimman lyhyellä kontaktiajalla erottaa nopeammat juoksijat hitaammista. (Weyand ym. 2000.)

Juoksunopeus voidaan yksinkertaisesti selittää askeltiheyden ja askelpituuden tulona (Cavagna ym. 1971). Juoksunopeutta lisätessä kasvatetaan sekä askeltiheyttä että askelpituutta. Näiden kasvu on erilaista nopeuskäyrän eri päissä. Alkuvaiheessa suuremmassa osassa on askelpituuden kasvattaminen ja loppuvaiheessa taas askeltiheyden kasvattaminen. (Farley & Gonzales 1996.)

### 2.1 Pikajuoksun biomekaniikka

Askelsykli (kuva 1) sisältää kaksi askelta eli yhden molemmilla jaloilla. Se voidaan jakaa tukivaiheeseen, jolloin jalka on kontaktissa maahan ja lentovaiheeseen, jonka aikana jalka kiertää ilmassa takaisin eteen uuteen tukivaiheeseen. Vain tukivaiheen aikana voidaan tehdä työtä, jonka avulla lisätään nopeutta. Ilmanvastus hidastaa horisontaalista liikettä lentovaiheen aikana. (Cavagna ym. 1971.)



**KUVA 1.** Askelsyklin eri vaiheet.  $t_c$  on kontaktiaika,  $t_{\text{aer}}$  on lentoaika,  $t_{\text{sw}}$  on jalan heilahdusaika, right on oikea ja left on vasen. (Weyand ym. 2000).

Tukivaihe koostuu jarruttavasta ja työntävästä vaiheesta. Jarruttava vaihe tarkoittaa tilannetta, joka alkaa, kun jalka osuu maahan. Aluksi jalka jarruttaa horisontaalista liikettä eli horisontaalinen reaktiovoima on negatiivinen. Samalla kehon painopisteen vertikaalinen liike on alaspäin. Työntävä vaihe alkaa heti jarruttavaan vaiheen jälkeen, kun horisontaalinen reaktiovoima muuttuu positiiviseksi. Tällöin myös painopisteen vertikaalinen liike on ylöspäin. (Mero ym. 1986.) Tukivaiheen kestoa kutsutaan kontaktiajaksi ja lentovaiheen kestoa lentoajaksi. Heilahdusaika tarkoittaa aikaa, jonka toinen jalka on askelsyklin aikana ilmassa eli saman jalan tukivaiheen lopusta uuden tukivaiheen alkuun olevaa aikaa. (Hunter ym. 2004.)

Pikajuoksun eri vaiheissa kontaktiajan ja lentoajan keskinäiset osuudet muuttuvat. Kiihdytysvaiheessa kontaktiaika on pitempi, johtuen työntövaiheen suuresta roolista. Lentoajan osuus kasvaa kiihdytyksen edetessä ja juoksunopeuden kasvaessa kontaktiaika lyhenee. (Munro & Miller 1987).

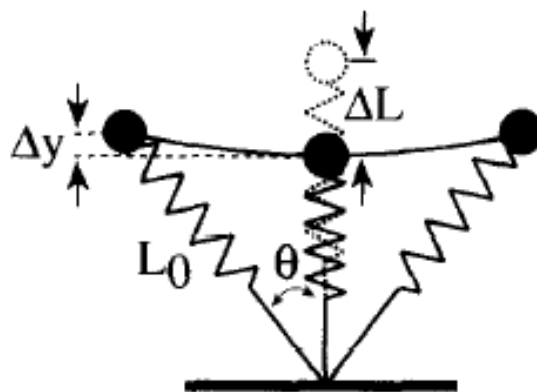
### 2.1.1 Voimantuotto pikajuoksussa

Pikajuoksussa voimantuottoajat ovat hyvin lyhyitä ja tuotetut voimat suuria. Kiihdytysvaiheessa voimantuottoajat ovat hiukan pitempiä kuin vakionopeuden vaiheessa, mutta kuitenkin alle 200ms. (Mero ym. 1992.) Tukivaiheen aikana tuotetut vertikaaliset voimat kasvavat nopeuden kasvaessa ja kontaktiajan lyhetessä. Maksimivauhtisessa juoksussa

vertikaalivoimat voivat olla jopa 5 kertaa kehon painon suuruisia. Nämä asettavat voimantuottoon vaatimuksia, johon lihasten konsentrisen voimantuotto ei pysty. (Weyand ym. 2000).

Pikajuoksu on syklistä, pomppivaa askellusta, jossa elastisen energian hyödyntäminen on oleellista (Cavagna ym. 1971). Lihakset, jänneet ja nivelsiteet toimivat elastisen energian lähteenä eli varastoivat energiaa venytettäessä ja vapauttavat sitä työntövaiheessa (Alexander ym. 1988). Nopeuden kasvaessa lihasten elastisten osien osuus voimantuotosta kasvaa. (Cavagna ym. 1971).

Juoksun askelluksen mekaniikan kuvaamiseksi on yleisesti käytetty yksinkertaista jousimassa-mallia (kuva 2). Se kuvaa ihmisen yksinkertaisena pistemassana joka pomppii jousen varassa. Oikea tuki – ja liikuntaelimistö on moninivelinen ja monimutkainen järjestelmä luusto-, lihas-, jänne- ja nivelsideosineen. Huolimatta jousimassamallin yksinkertaisuudesta, se kuvaa ja ennustaa hyvin juoksun mekaniikkaa. (Farley & Gonzales 1996.) Jousimassamallin avulla lihakset supistuvat lähes isometrisesti elastisten osien tehdessä venymistyön ja tehokkaan jousen palautumisen (Roberts ym 1997).



**KUVA 2.** Yksinkertainen jousi-massa- malli.  $L_0$  kuvaa jalan pituutta ja  $\theta$  jalan tukikulmaa tukivaiheen alussa.  $\Delta L$  kuvaa jalan pituuden suurinta muutosta ja  $\Delta y$  kuvaa massakeskipisteen pystysuuntaista liikettä tukivaiheen aikana. (Farley & Gonzalez 1996).

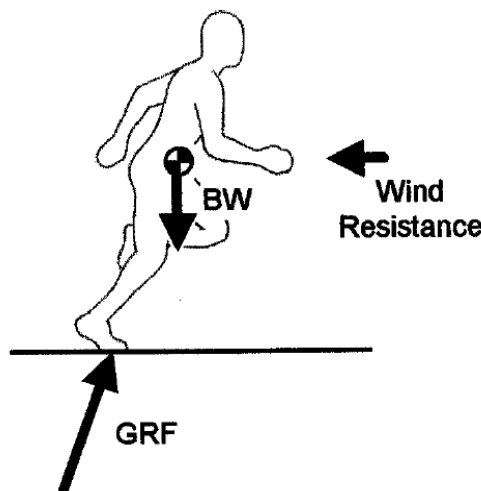
Mallin mukaan juoksunopeuden kasvaessa vertikaalinen liike vähenee, jousen jäykkyys kasvaa ja kontaktiaika lyhenee (Blickhan 1989). Suuremmalla askeltiheydellä juostessa ”jalkajousen” jäykkyys on myös suurempi. Samalla kuitenkin tukijalan kulma pienenee ja nopeus ei siten kasva. Malli eroaa juoksemisesta siinä, että suuremmilla nopeuksilla



juoksija ei lisää enää jalkajousen jäykkyyttä, vaan nopeuden kasvu saadaan tukijalan kulmaa kasvattamalla. (Farley & Gonzales 1996.)

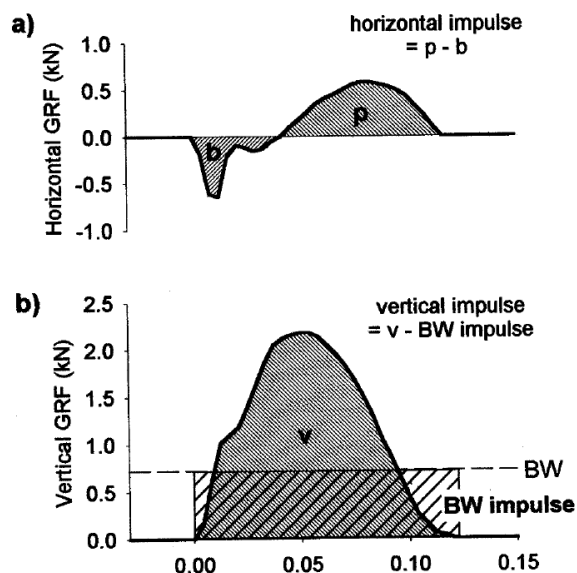
### 2.1.2 Reaktivoimat pikajuoksussa

Juoksijaan vaikuttaa kolme ulkoista voimaa; reaktivoima, painovoima ja ilmanvastus. (kuva 3) Näistä reaktivoimiin juoksija voi suurimmin vaikuttaa. Reaktivoimat voidaan jakaa kolmeen komponenttiin; horisontaali-, vertikaali- ja mediaali-lateraalisuuntaisiin reaktivoimiin. Pikajuoksussa merkitevässä osassa ovat horisontaali- ja vertikaalisuuntaiset voimat. Niiden osuudet kokonaisvoimantuotosta eroavat eri vaiheissa pikajuoksua; kiihdytysvaiheessa korostuvat horisontaalisuuntaiset reaktivoimat ja vakionopeuden vaiheessa vertikaalisuuntaiset reaktivoimat. (Hunter ym. 2005) Reaktivoimia mitataan voimalevyillä. (Enoka 2002)



**KUVA 3.** Juoksijaan vaikuttavat kolme ulkoista voimaa: GRF (alustaan kohdistuva reaktivoima), BW (kehonpaino) ja Wind Resistance (ilmanvastus). (Hunter ym. 2005).

Horisontaalinen reaktivoima (Kuva 4 a) koostuu jarruttavasta ja työntövaiheesta. Jarruttavassa vaiheessa (tukivaiheen alku) reaktivoima on negatiivinen ja työntövaiheessa (tukivaiheen loppu) positiivinen. (Mero ym. 1986.) Kuva 4 b kuvaa vertikaalisuuntaista reaktivoimakuvaa juoksussa. (Hunter ym 2005)



**KUVA 4.** Esimerkkikuvaajat horisontaali- ja vertikaalireaktivoimista pikajuoksussa. Kuvaajien avulla voidaan laskea reaktivoimaimpulssit (reaktivoiman ja voimantuottoajan tulo).  $p$  kuvaa työntövaiheen reaktivoimaimpulssia (positiivinen),  $b$  jarrutusvaiheen (negatiivinen) reaktivoimaimpulssia ja  $v$  vertikaalivaiheen reaktivoimaimpulssia. BW kuvaa kehonpainoa. (Hunter ym. 2005).

*Lähtöponnistuksen reaktivoimat.* Maksimireaktivoimat lähtöponnistuksessa ovat miesprinttereillä 1186 -1224N horisontaalisesti, 766 – 958N vertikaalisesti ja 1426 – 1555N resultanttivoimana. (Mero 1983, Mero 1988 ja Mero 1990) Reaktivoimaimpulssit (voimantuoton ja voimantuottoajan tulo) lähtöponnistuksessa ovat huippu miessprinttereillä horisontaalisuuntaan jopa yli 300Ns (Van Coppanolle 1989). Baumannin (1976) mukaan nopeammat juoksijat tuottivat suuremman (263Ns) horisontaalisuuntaisen reaktivoimaimpulssin kuin hitaammat juoksijat (214Ns). Lähtöponnistuksen kesto ei eronnut merkittävästi eritasoisten juoksijoiden välillä, joten ero impulssin suuruudessa tuli yksinkertaisesti nopeampien juoksijoiden suuremmasta keskimääräisestä voimasta lähtöponnistuksessa. Vertikaalisuuntainen reaktivoimaimpulssi on lähtöponnistuksessa 170-230Ns eli suunnilleen samaa suuruusluokkaa kuin horisontaalisuuntainen. (Mero ym. 1983, Mero ym. 1988) Tästä ei kuitenkaan löydy samanlaista yhteyttä hitaiden ja nopeiden juoksijoiden välillä.

*Kiihdytysvaiheen reaktivoimat.* Kiihdytysvaiheessa reaktivoimat ovat pienempiä kuin vakionopeuden vaiheessa ja ne kasvavat nopeuden kasvaessa. Horisontaalisuuntaiset reaktivoimat ovat tärkeässä osassa kiihdytysvaiheessa. Nopeammat juoksijat tuottavat suuremman työntövaiheen horisontaalireaktivoiman kuin hitaammat juoksijat. (Hunter ym. 2005) Kiihdytyksen ensimmäisen askeleen jarrutusvaiheen keskiarvoreaktivoimat olivat -153 N horisontaalisesti ja 148 N vertikaalisesti (impulsseina -3Ns ja 3Ns). Työntövaiheessa keskiarvoreaktivoimat olivat 526 N horisontaalisesti ja 431 N vertikaalisesti (impulsseina 90Ns ja 74Ns). Nämä reaktivoima-arvot kuvaavat hyvin alkukiihdytysvaihetta; voimaa tuotetaan pitkään ja keskiarvotyöntövoima on suuri. (Mero ym. 1992)

Kiihdytysvaiheen vertikaalisen reaktivoiman ja juoksunopeuden välillä ei ole löytynyt yhtä selkeää yhteyttä juoksunopeuteen kuin horisontaalireaktivoiman. Nopeimmat juoksijat tuottavat mahdollisesti vain keskivertaisen vertikaalivoimaimpulssin. Selityksenä saattaa olla, että kiihdytysvaiheessa ei tarvitse tuottaa vertikaalista voimaa kuin sen verran, että lentoaika on juuri riittävän pitkä askeleen saamiseksi ja näin ollen kaikki muu reaktivoima voidaan suunnata horisontaalisesti. (Hunter ym. 2005.)

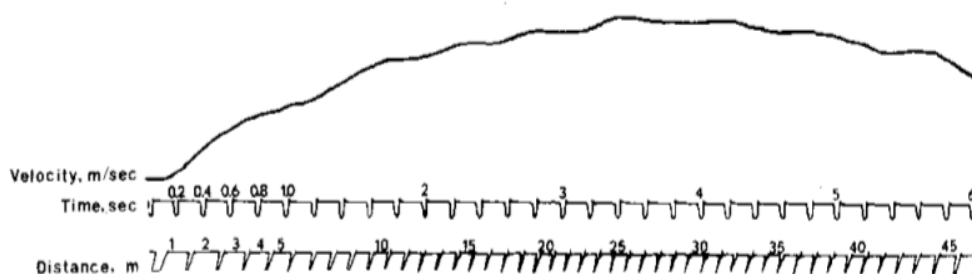
*Vakionopeusvaiheen reaktivoimat.* Vakionopeuden vaiheessa horisontaalisuuntaisen reaktivoiman työntävät ja jarruttavat voimaimpulssit ovat yhtä suuret, jos ilmanvastusta ei oteta huomioon. Vertikaaliset reaktivoimat ovat vakionopeuden vaiheessa keskimäärin 5-10 kertaa suurempia kuin horisontaaliset. (Munro & Miller 1987) Nopeammat juoksijat saavuttavat suuremman juoksunopeuden tuottamalla suuremman vertikaalisuuntaisen keskiarvoreaktivoiman kuin hitaammat juoksijat. Suuri vertikaalinen voimantuotto mahdollistaa lyhyemmän askelkontaktin ja myös pitemmän askeleen. (Weyand 2000)

## **2.2 Pikajuoksun tekniikka**

Pikajuoksusuoritus koostuu lähdöstä, kiihdytyksestä, vakionopeusvaiheesta ja nopeuden hidastumisen vaiheesta. Eri vaiheissa korostuvat mm. eri voimantuotolliset muuttujat. (Mero ym 1992.) Mitä lyhyemmästä juoksumatkasta on kysymys, sitä enemmän korostuvat lähdön ja alkukiihdytyksen merkitykset (Telles & Doolittle 1984.) Reaktioaika

vaikuttaa myös pikajuoksuosuituksen lopputulokseen ja se on huippupikajuoksijoilla yleensä 0,11-0,19s. Reaktioajasta ei ole kuitenkaan löydetty yhteyttä juoksunopeuteen. (mm. Mero ym. 1988.)

Pikajuoksun nopeuskäyrä (kuva 5) voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: kiihdytykseen, vakionopeuden vaiheeseen ja hidastuvaan vaiheeseen. Kaikilla pikamatkoilla (60m-400m) nopeuskäyrä on peruspiirteiltään samanmuotoinen, ainoastaan eri vaiheiden osuudet kokonaisuudesta eroavat eri matkoilla. (Volkov & Lapin 1979.)



**KUVA 5.** Esimerkki nopeuskäyrästä pikajuoksussa. Nouseva käyrä kuvaa kiihdytysvaihetta, tasainen käyrä vakionopeuden vaihetta ja laskeva käyrä hidastuvaa vaihetta. (Volkov & Lapin 1979.)

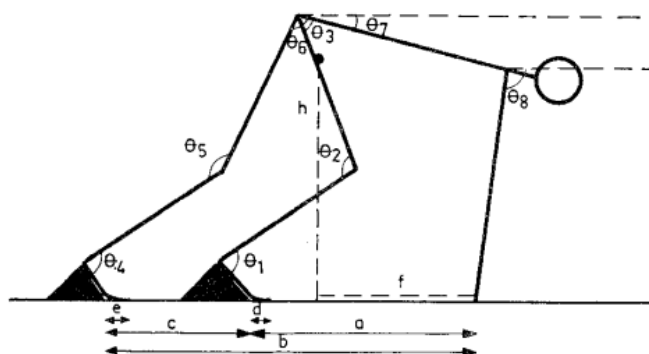
### 2.2.1 Lähtö

Lähtö ja alkukiihdytys ovat erityisen tärkeitä 60m ja 100m juoksussa. Pikamatkoilla (60m, 100m, 200m ja 400m) lähtö tapahtuu lähtötelineistä. 100m juoksussa telineistä ponnistamisaika on n. 5% 100m juoksun kokonaisajasta. Lähdon merkitys lopputulokseen on kuitenkin paljon suurempi kuin pelkästään alkuponnistus telineistä. (Tellez & Doolittle 1984.)

Lähtöasento (kuva 6) riippuu lähtötelineen etäisyydestä lähtöviihvasta, lähtötelineiden jalkatukien keskinäisestä etäisyydestä, jalkatukien kulmasta ja painopisteen korkeudesta valmiit - asennossa. Lähtötelineen etäisyys lähtöviihvasta riippuu pitkälti juoksijan pituudesta, sillä kehon painopiste tulisi saada mahdollisimman lähelle lähtöviihvaa. Sen sijaan

jalkatukien etäisyyksissä toisistaan on pikajuoksijoilla suuria eroja keskenään, eikä tutkimuksilla ole löydetty selkeää näyttöä siitä mikä etäisyys olisi optimaalisin. (Harland & Steele 1997.) Guissard ym. mukaan lähtötelineiden jalkatukien kulmaa pienentämällä voidaan parantaa lähtöponnistuksen voimantuottoa ilman, että lähtöponnistuksen voimantuottoaika kasvaa. Kulman pienennys saa aikaan suuremman esijännityksen pohjeliaksessa ja mahdollistaa elastisten osien hyödyntämisen jo ponnistusvaiheessa. Myöhemmät tutkimukset (Mero ym 2006) tukevat osaltaan Guissardin saamia tuloksia, mutta korostavat myös lonkan ojentajien roolia pikajuoksun lähtösuorituksessa.

Nopeiden ja hitaiden juoksijoiden välillä ei ole löydetty eroavaisuutta valmiit - asennon polvinivelten kulmilla tai ylävartalon etunojalla. (Harland & Steele 1997) Lonkkanivelten kulmilla on sen sijaan löydetty eroavaisuuksien eritasoisten juoksijoiden välillä. Nopeimmilla juoksijoilla on yleensä pienemmät lonkkanivelten kulmat etummaisella ja takimmaisella jalalla. Pienemmät kulmat mahdollistavat lonkan ojentajien suuremman esijännityksen ja mahdollisesti sitä kautta suuremman voimantuoton. (Mero ym. 1983.)



**KUVA 6.** Valmiit -asento pikajuoksussa. (Mero ym. 1983)

Lähdön tehokkuus riippuu lähtöasennosta, kehon painopisteen paikasta valmiit-asennossa, ponnistuksen kestosta ja painopisteen horisontaalinopeudesta alkuponnistuksessa. (Guissard ym. 1992.) Tehokas ponnistus telineistä tapahtuu molemmilla jaloilla. Kuitenkin niin, että takimainen jalka tuottaa n. 45% lähtöponnistuksen voimasta (Mero & Komi 1990). Lähtöponnistuksessa voima tulee suunnata mahdollisimman horisontaalisesti, jolloin kehon painopiste siirtyy eteenpäin kontaktikohtaan nähden ja vähentää näin jarrutusvaiheen osuutta seuraavilla askelilla. Juoksijan telineistä ponnistuksen lähtökulman tulisi olla 40-45 astetta maahan nähden. Lähtöponnistuksen maksimaalista

voimantuottoa rajoittaa kuitenkin minimaalinen voimantuottoaika. Voimantuoton kokonaiskesto lähtöponnistuksessa on miessprinttereillä n. 0,31- 0.37s, josta takimmaisena osuuden osuus on 0,12-0,18s. (Harland & Steele 1997.) Lähdössä ja alkukiihdytyksessä juoksijan pitää yhdistää optimaalisesti asyklinen liike sykliseen, mikä tekee lähdöstä haasteellisen. (mm. Guissard ym. 1992.)

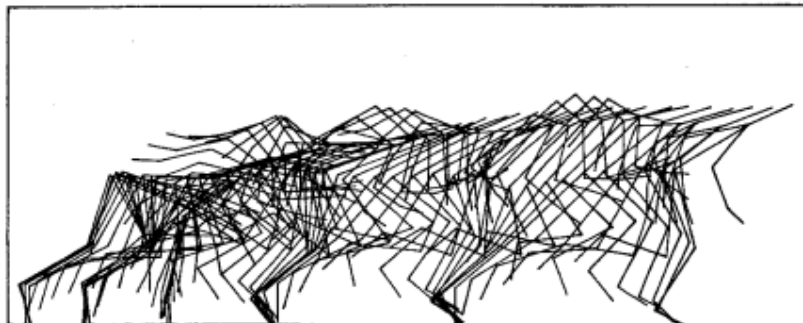
Tutkimukset (mm. Mero 1988) lähtöponnistuksen voimantuotosta osoittavat, että nopeammat juoksijat tuottavat suuremman horisontaaliseen voimaan, suuremman painopisteen horisontaaliseen nopeuden ja -kiihtyvyyden lähtöponnistuksessa kuin hitaammat juoksijat. Lisäksi nopeammilla juoksijoilla lähtöponnistuksen kesto on yleensä lyhyempi. (Harland & Steele 1997.)

### **2.2.2 Kiihdytys**

Telineestä ponnistuksen jälkeen juoksija kiihdyttää vauhtiensa kasvattamalla askelipituutta ja askeltiheyttä. Kiihdytysvaiheen pituus on huippujuoksijoilla 30-50m 100m:n juoksussa. (Volkov & Lapin 1979.)

Kiihdytysvaiheen alussa (kuva 7) juoksija nojaa voimakkaasti eteenpäin. Kiihdytyksen ensimmäiset kaksi askelta eroavat muista askeleista siinä, että kehon painopiste on kahden ensimmäisen askeleen tukivaiheen alussa kontaktikohdan etupuolella (ts. juoksija on kaatumassa eteenpäin) Kolmannen askeleen alussa painopiste on jo kontaktikohdan takapuolella, kuten myös loppuisissa pikajuoksusuorituksen askeleissa. (Mero ym 1983.)

Vaikka kehon painopiste on askeleen etupuolella, on myös ensimmäisissä kahdessa askeleessa jarrutusvaiheet. Tämä johtuu luultavasti jalkojen eteenpäin suuntautuvan liikkeen vaikutuksesta. Pikajuoksun jokainen askel sisältää siis jarrutusvaiheen ja työntövaiheen. (Mero ym. 1992.)



**KUVA 7.** Tikku-ukko -malli alkukiihdytysvaiheesta. (Mero ym. 1983)

Alkukiihdytysvaiheessa kontaktiaika on pitkä ja se koostuu hyvin lyhyestä jarrutusvaiheesta ja pitkästä työntövaiheesta. Ensimmäisen askeleen kontaktiaika on huippupikajuoksijoilla 160-190ms ja toisessa askeleessa 150-180ms. Lentoajat ovat ensimmäisellä askeleella 60-70ms ja toisella 40-90ms. (Harland & Steele 1997.) Nopeammilla juoksijoilla ensimmäisen askeleen jarrutusvaiheen aiheuttama horisontaalinopeuden hidastuminen (3%) on pienempää kuin hitaammilla juoksijoilla (11%) (Mero ym.1983). Korkea korrelaatio työntövaiheen voiman ja juoksunopeuden välillä ensimmäisellä askeleella korostavat konsentrisen voimantuoton tärkeyttä kiihdytysvaiheessa (Mero ym. 1988).

Kiihdytyksen edetessä ja nopeuden kasvaessa kontaktiaika lyhenee ja lentoaika pitenee saavuttaen vakionopeuden arvonsa n.50m kohdalla. Lisäksi kontaktin jarrutusvaiheen osuus suhteessa työntövaiheen osuuteen kasvaa. (Mero ym 1992.)

### **2.2.2 Vakionopeuden vaihe**

Vakionopeuden vaiheessa nopeus voi olla submaksimaalista, maksimaalista tai supramaksimaalista. Supramaksimaalisuus voidaan saavuttaa mm. alamäkeen juostaessa tai avustamalla juoksijaa horisontaalisesti ja/tai vertikaalisesti. (Mero ym. 1992)

Askeltiheys on merkitsevämmässä osassa kuin askelpituus siirryttäessä miltei maksimaaliselta nopeudesta maksimaaliseen. Huippu miespikajuoksijoiden askeltiheys maksimivauhdissa on 4,5-5 Hz ja askelpituus 2-2.6m. (Mero ym. 1992)

Maksimivauhdissa kontaktivaiheen vertikaalisuuntaiset voimat ovat suuret, mutta horisontaalisuuntaiset voimat pienet. Jarruttava horisontaalivoima ja –aika pitäisi minimoida kontaktivaiheen hidastumisen estämiseksi. (Mero ym.1992) Maksimivauhdissa askelpituuden ja askeltiheyden välillä on tunnetusti negatiivinen vuorovaikutus eli kun askelpituutta kasvatetaan, askeltiheys laskee ja päinvastoin. Suuremman juoksunopeuden saavuttamiseksi, on pystyttävä vaikuttamaan tähän vuorovaikutukseen. Askelpituuden ja –tiheyden osatekijöitä tutkimalla havaittiin, että huippupikajuoksijoiden suuri askeltiheys ja – pituus voidaan saavuttaa vain tekniikalla jossa on korkea horisontaalinopeus ja alhainen vertikaalinopeus työntövaiheessa. (Hunter ym. 2004). Tämä tukee aiempia tutkimuksia, joiden mukaan juoksussa tulisi suunnata resultanttivoima jarrutusvaiheessa mahdollisimman vertikaaliseksi ja työntövaiheessa horisontaaliseksi (Mero ym. 1992).



### **3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT JA HYPOTEE- SIT**

Tässä tutkimuksessa tutkitaan reaktivoima- sekä askelmuuttujia kolmesta eri vaiheesta pikajuoksua; alkukiihdytyksestä, kiihdytyksen loppuvaiheesta ja maksimivauhdista. Sen lisäksi näitä muuttujia tutkitaan submaksimaalisella nopeudella (90% maksimista), jota käytetään yleisesti pikajuoksuharjoittelussa. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten voimantuotto eroaa eri vaiheissa pikajuoksua ja löytyykö horisontaali- ja vertikaalisuuntaisista reaktivoimista ja niiden osamuuttujista sekä askelmuuttujista selkeitä yhteyksiä juoksunopeuteen eri vaiheissa juoksua. Näiden lisäksi tutkimuksen avulla pyritään valikoimaan keskeiset reaktivoimantuoton muuttujat pikajuoksun lajinomaisen reaktivoimantuoton testaamiseen.

#### **Tutkimusongelmat:**

1. Mikä on kiihdytyksen jarrutus- ja työntövaiheiden horisontaalisen voimaimpulssin ja vertikaalisen voimaimpulssin yhteys juoksunopeuteen?
2. Mikä on jarrutus- ja työntövaiheiden horisontaalisen ja vertikaalisen reaktivoimantuoton yhteys vakionopeuden vaiheen juoksunopeuteen?
3. Mikä on askelmuuttujien yhteys juoksunopeuteen kiihdytyksessä ja vakionopeuden vaiheissa?
4. Mikä on keskeinen testimuuttujapatteristo reaktivoimantuoton testaamiseksi pikajuoksussa?

**Hypoteesit:**

1. Kiihdytysvaiheessa työntövaiheen horisontaalisella reaktivoimaimpulsilla on selkeä yhteys juoksunopeuteen. Nopeammat juoksijat tuottavat suuremman työntövaiheen horisontaalisen voimaimpulssin kuin hitaammat juoksijat. Sen sijaan kiihdytyksen jarrutusvaiheen horisontaalisesta voimaimpulssista ja vertikaalisesta voimaimpulssista ei löydy selkeää yhteyttä juoksunopeuteen.
2. Vakionopeuden vaiheessa sekä työntövaiheen että jarrutusvaiheen vertikaalisesta reaktivoimantuoolla on yhteys juoksunopeuteen, kun taas horisontaalisuunnaisista reaktio voimista ei yhteyttä löydy.
3. Askelpituudella ja – tiheydellä ei ole selkeää yhteyttä juoksunopeuteen missään vaiheessa juoksua.
4. Tutkimustulosten perusteella muuttujat ovat valikoitavissa, mutta tieteellisessä kirjallisuudessa ei ole näyttöä asiasta.

## 4 MENETELMÄT

Mittaukset suoritettiin sisähallissa kilpailukauden alkuvaiheessa tammikuussa 2009. Ennen varsinaisia mittauksia koehenkilöillä selitettiin mittausten kulku tarkasti ja sen jälkeen he allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen.

### 4.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui neljä koehenkilöä; kolme miestä ja yksi nainen. Kaikki olivat yleisurheilijoita, mutta vain kahden päälaaji oli pikajuoksu. Koehenkilöiden lukumäärä oli odotettua pienempi lukuisten viime hetken peruutusten takia. Koehenkilöiden keski-ikä oli  $23,5 \pm 2,9$  vuotta, keskipituus  $170,5 \pm 4,8$  cm ja keskipaino  $65,0 \pm 7,7$  kg. Taulukossa 1 on kuvaus kaikista koehenkilöistä.

**Taulukko 1.** Koehenkilöiden kuvaus: sukupuoli, ikä, pituus, paino ja 100m:n ennätys.

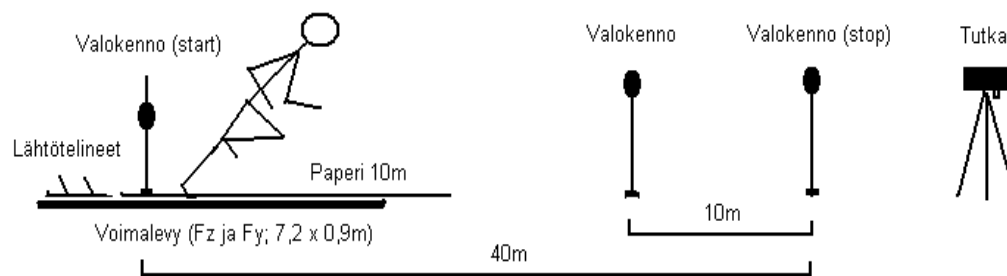
	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	100m:n ennätys (s)
Mies	23	174	73	10,88
Mies	27	175	70	11,45
Mies	24	168	60	11,75
Nainen	20	165	57	12,04

### 4.2 Koeasetelma ja mittausten kulku

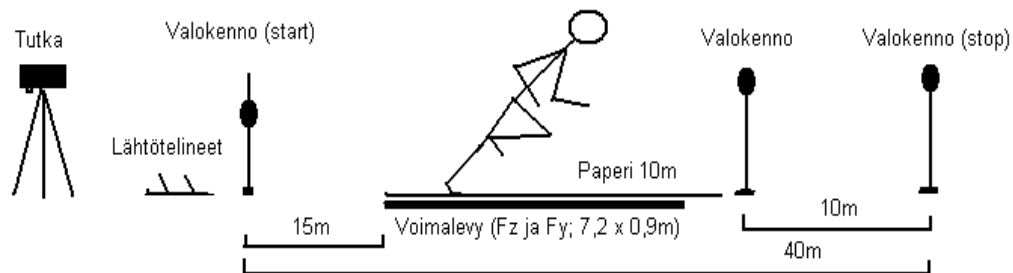
Koehenkilöt suorittivat omatoimisen verryttelyn ennen mittauksia. Verryttelyn jälkeen koehenkilöiltä mitattiin paino voimalevyllä. Koehenkilöt suorittivat mittauksissa kuusi maksimaalista 40 m:n juoksua telinelähdöllä. Erillistä lähetyskäskyä ei ollut, vaan koehenkilöt lähtivät suorituksiin omalla rytmillään. Palautus suoritusten välissä oli pitkä (5-10 min). Koeasetelmaa (kuva 1a, 1b ja 1c) muutettiin suoritusten välissä niin, että jokaiselta koehenkilöltä mitattiin kaksi suoritusta jokaista asetelmaa kohden (alkukiihdytys, kiihdytyksen keskivaihe ja maksimivauhti). Alkukiihdytysasetelmassa (kuva 1a) lähtöteelineet oli sijoitettu voimalevyjen päälle. Analysoitavaksi ei kuitenkaan otettu lähtöponnistusta telineistä, vaan ensimmäiset neljä askelta eli askeleet väliltä 1-7 metriä lähtöpai-

kasta. Kiihdytyksen keskivaiheen asetelmassa (kuva 1b) voimalevyt olivat 15 m:n päässä lähtötelineistä eli analysoitavaksi otettiin neljä askelkontaktia väliltä 15 – 23 m:ä. Maksimivauhdin asetelmassa (kuva 1c) voimalevyt olivat 32 – 40 m:n päässä lähtötelineistä, joten analysoitavaksi otettiin neljä askelkontaktia tältä väliltä. Lopuksi koehenkilöt juoksivat 1 - 2 submaksimaalista (90 %:n maksiminopeudesta) juoksua maksimivauhdin asetelmalla. Hyväksyttävänä tarkkuutena submaksimaalisessa juoksussa pidettiin 2 %:n eroa tavoiteajasta. Kuvassa 2 on esitetty mittausasetelmien sijoittuminen mittauksessa tyypilliselle nopeuskäyrälle.

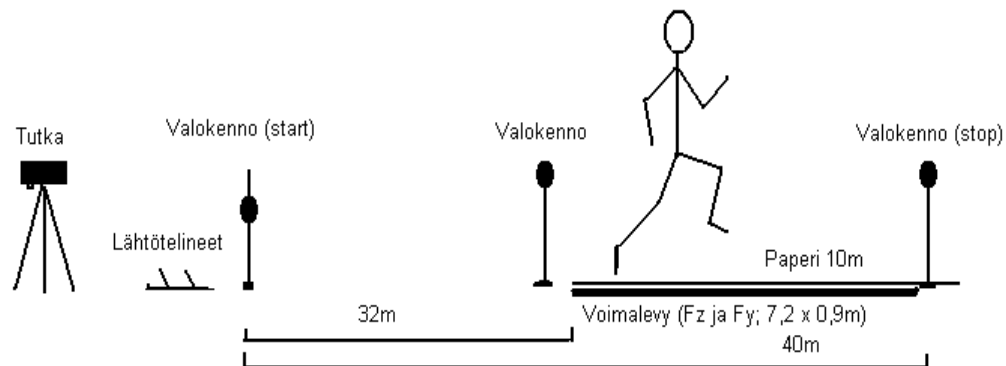
#### a. Alkukiihdytys -mittausasetelma



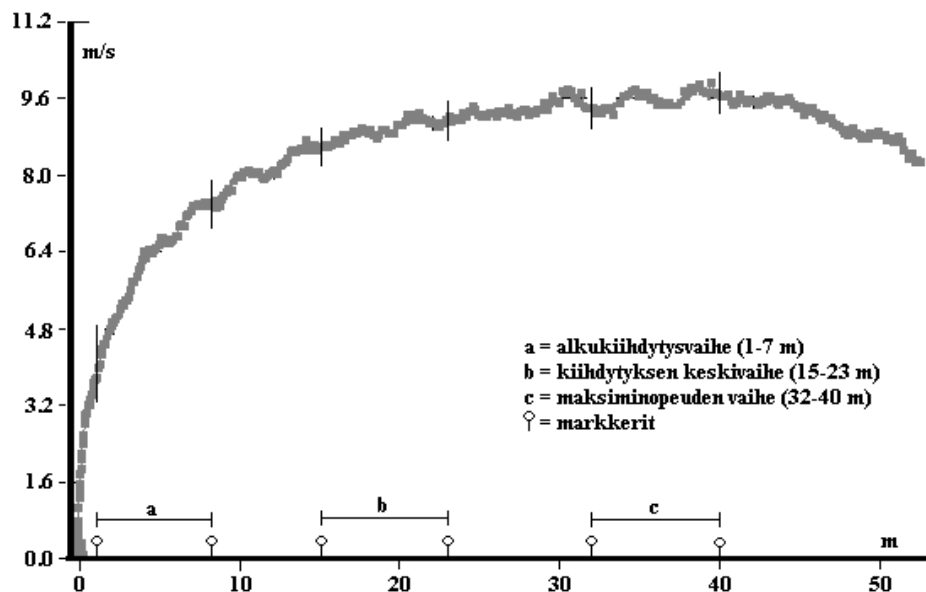
#### b. Keskivaiheen kiihdytys -mittausasetelma



#### c. Maksimivauhti- ja submaksimaalivauhtivaiheen mittausasetelma



**KUVA 8.** Tutkimuksen koeasetelma.



**KUVA 9.** Tutkimuksen koeasetelmat (a, b ja c) pikajuoksuosuoritukselle tyypillisellä nopeuskäyrällä.

### 4.3 Mittaukset

*Juoksunopeus.* Juoksunopeutta mitattiin tutkan (LAVEG Sport, Jenoptik, Jena, Saksa) ja valokennolaitteiston (Newtest Oy, Suomi) avulla. Tutkalla mitattiin hetkellistä nopeutta 50 Hz keräystaajuudella. Tutkan antama etäisyysdata kerättiin valmistajan omalla ohjelmalla tietokoneelle. Tutka sijoitettiin alkukiihdytysasetelmassa juoksijoiden etupuolelle n. 50m:n päähän lähtöpaikasta. Kahdessa muussa mittausasetelmassa tutka sijoitettiin juoksijoiden taakse n. 10 m:n päähän lähtöpaikasta. Tutka asetettiin n. 1,2 m:n korkeudelle. Tutkamittauksen markerit asetettiin osoittamaan juoksijoiden sijaintia siten, että ne sijoitettiin alkukiihdytysasetelmassa 1 ja 7 metrin, keskivaiheen kiihdytysasetelmassa 15 ja 23 metrin ja maksiminopeuden vaiheessa 32 ja 40 metrin kohdalle lähdöstä. Valokennojen nopeusdataa käytettiin juoksuosuoritusten samankaltaisuuden kontrolloinnissa. Valokennojen alkukenno oli jokaisessa mittausasetelmassa 1 m:n päässä lähtötelineistä, väliaikakenno 30 m:n päässä alkukennosta ja viimeinen kenno 10 m:n päässä väliaikakennosta. Juoksu-aika (tuhannesosan tarkkuudella) saatiin kellon näytöstä sekä merkkisignaalin avulla myös tietokoneelta.

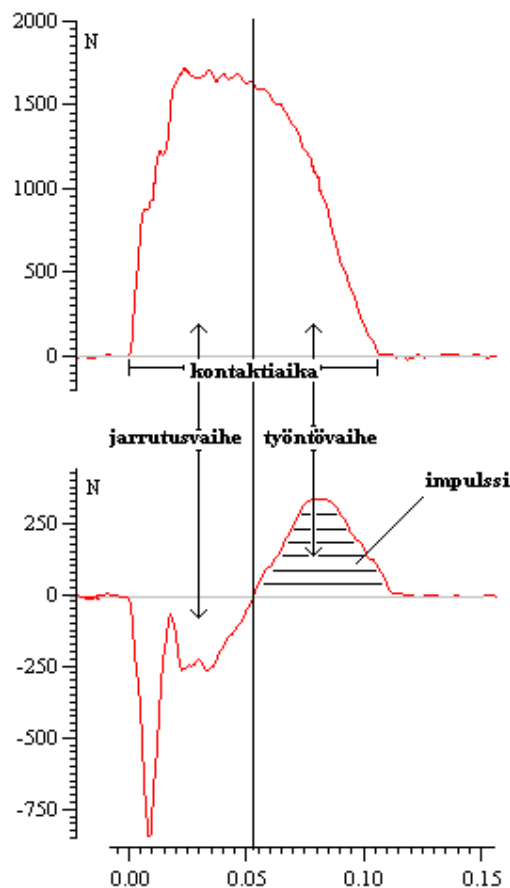
*Reaktivoimat.* Mittauksissa kerättiin vertikaaliset, horisontaaliset ja mediaalilateraalisuuntaiset suuntaiset reaktivoimat 7,2 m x 0,9 m kokoisella voimalevyjonolla (Raute Precision Oy, ominaisvärähtelytaajuudet  $180 \pm 10$  Hz vertikaalivoimille ja  $130 \pm 10$  horisontaalivoimille), jonka päällä oli Tartan pinnoite. Voimasignaalien keräys tapahtui CED Signal- ohjelmalla (versio 3.08) näytteenottotaajuudella 1000 Hz.

*Askeltuuttajat.* Askelpituus mitattiin paperin avulla, joka oli kiinnitetty tiiviisti voimalevyjen päälle. Askeltiheys saatiin askelpituuden ja juoksunopeuden avulla laskettua kaavalla  $\text{askeltiheys} = \text{juoksunopeus} / \text{askelpituus}$ .

#### **4.4 Analyysit**

Juoksujen eri vaiheita vertaillessa analysoitavaksi valittiin jokaiselta koehenkilöltä kaksi suoritusta, lukuunottamatta submaksimaalista juoksua, jossa analysoitavaksi valittiin lähinnä tavoitenopeutta ollut juoksu. Eri muuttujien merkitsevyyttä analysoitaessa analyysiin otettiin kaksi suoritusta jokaiselta koehenkilöltä jokaisesta vaiheesta, mikäli mittaus oli onnistunut eli reaktivoimadatassa ei ollut häiriöitä.

Reaktivoimista (kuva 10) määritettiin askelten kontakti- ja lentoaika, jarrutus- ja työntövaiheiden kesto, keskimääräinen horisontaalivoima jarrutus- ja työntövaiheessa, keskimääräinen vertikaalivoima jarrutus- ja työntövaiheessa, horisontaalinen ja vertikaalinen impulssi (keskimääräisen voiman ja voimantuottoajan tulo) jarrutus- ja työntövaiheessa, keskimääräinen resultanttivoima jarrutus – ja työntövaiheelle ja keskimääräinen resultanttikulma jarrutus – ja työntövaiheelle.



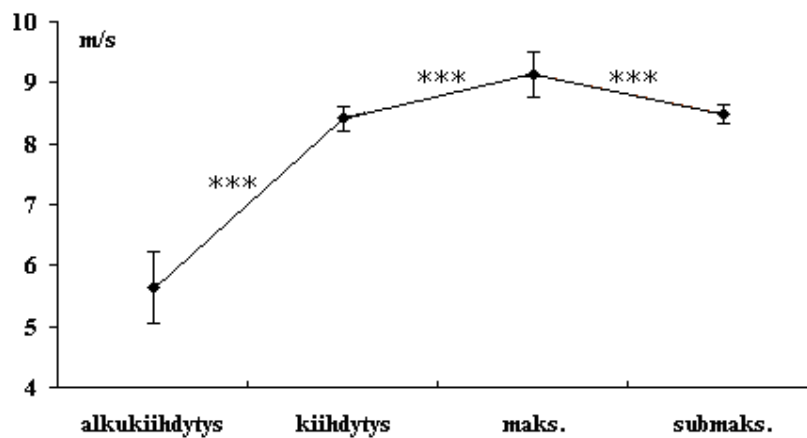
**KUVA 10.** Esimerkki vertikaalireaktiivoimakuvaaajasta (ylempi) ja horisontaalireaktiivoimakuvaaajasta (alempi) maksiminopeuden vaiheessa. Reaktiivoimadatasta määritettiin askelten kontakti- ja lentoaika, jarrutus- ja työntövaiheiden kesto, keskimääräinen horisontaalivoima, keskimääräinen vertikaalivoima, horisontaalinen ja vertikaalinen impulssi, keskimääräinen resultanttivoima ja keskimääräinen resultanttikulma.

#### 4.5 Tilastolliset analyysit

Tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS –ohjelmaa (versio 13.0). Muuttujille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Eri vaiheita keskenään tarkasteltiin käyttämällä ANOVA:n toistomittausta ja Bonferronin post-hoc –testiä. Muuttujien merkitsevyyttä juoksu- nopeuteen analysoidessa käytettiin lineaarista regressiota. Tilastolliset merkitsevyydet on tuloksiin merkitty symboleilla \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$  ja \*\*\* =  $p < 0,001$ .

## 5 TULOKSET

Tulososio on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa on esitetty tulokset reaktivoimista ja niiden yhteyksistä juoksunopeuteen ja toisessa osiossa on esitetty tulokset askelmuuttujista ja niiden yhteyksistä juoksunopeuteen. Kuvassa 8 on esitetty tutkalla mitatut juoksijoiden keskinopeudet eri vaiheissa juoksua.

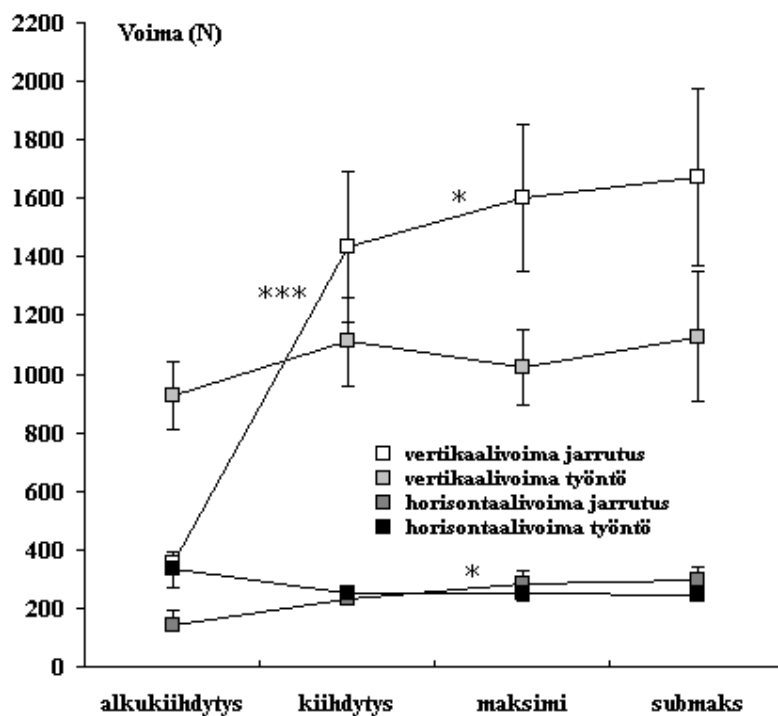


**KUVA 8.** Juoksunopeudet eri vaiheissa juoksua. Nopeudet ovat juoksijoiden kunkin vaiheen keskinopeudet eli mittausväleiltä 1-8m:ä (alkukiihdytys), 15-23m:ä (kiihdytyksen keskivaihe) ja 32-40m:ä (vakionopeuden vaihe) Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \* =  $p < 0,05$ .

### 5.1 Reaktivoimat

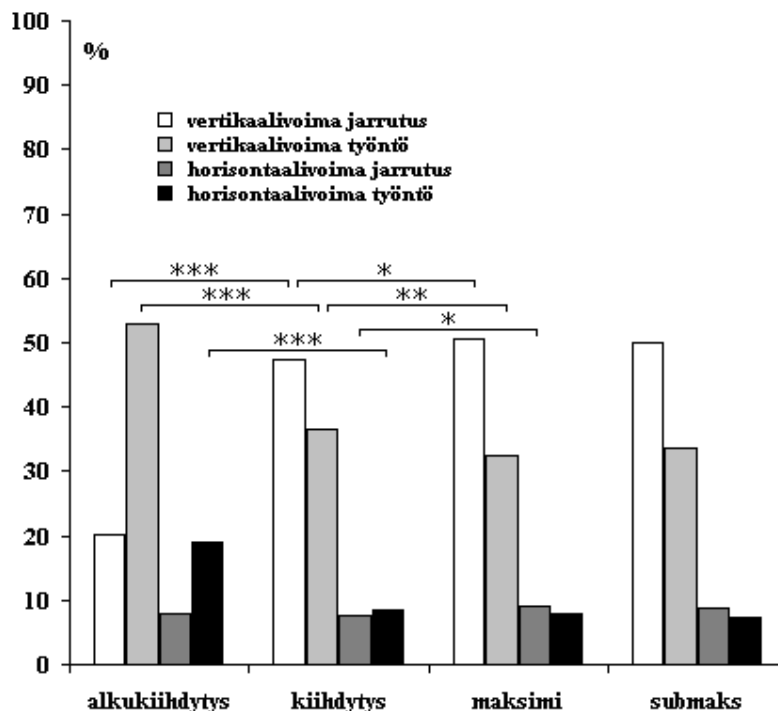
Kuvassa 9 on esitetty keskimääräiset vertikaali- ja horisontaalisuuntaiset reaktivoimat kolmesta eri vaiheesta juoksua sekä submaksimaalisella nopeudella. Jarrutusvaiheen keskimääräinen vertikaalivoima on tilastollisesti merkitsevästi suurempi ( $p < 0,001$ ) kiihdytyksen keskivaiheessa kuin alkuvaiheessa ja suurempi ( $p = 0,042$ ) maksimivauhdissa verrattuna keskivaiheeseen. Jarrutusvaiheen keskimääräinen horisontaalivoima on merkitsevästi suurempi maksimivauhdissa keskivaiheeseen verrattuna ( $p = 0,014$ ). Työntövaiheen keskimääräisissä horisontaali- ja vertikaalivoimissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri juoksuvaiheiden välillä. Liitteessä 1 on esitetty esimerkkireaktivoimakuvaajat eri vaiheista juoksua.





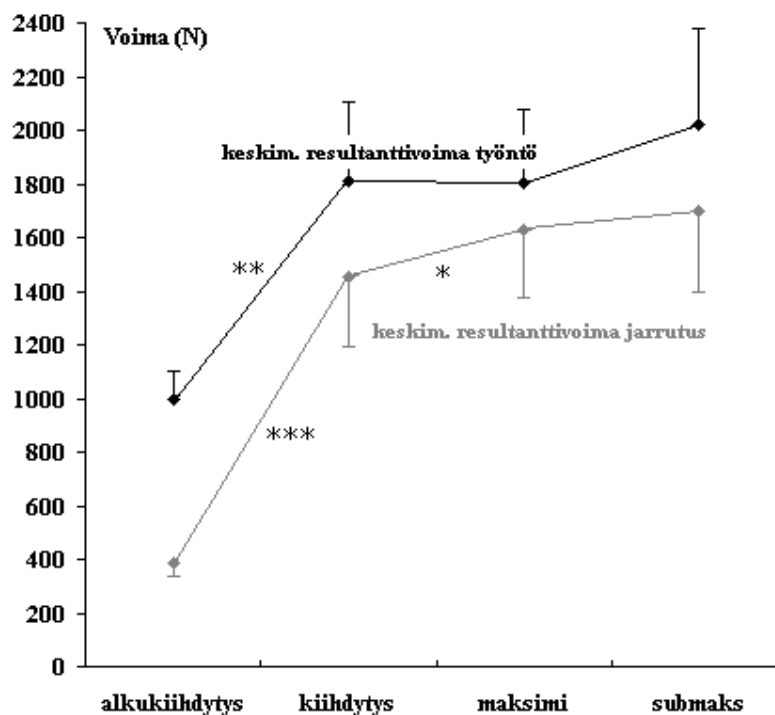
**KUVA 9.** Keskimääräiset vertikaali- ja horisontaalisuuntaiset reaktiovoimat eri vaiheissa juoksua ja submaksimaalisessa juoksussa. Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \* =  $p < 0,05$ .

Keskimääräisten voimien suhteelliset osuudet kokonaisvoimantuotosta (keskimääräisten voimien summa) eroavat etenkin alkukiihdytysvaiheen osalta (kuva 10). Alkukiihdytyksessä suhteessa suurin osa voimantuotosta tapahtui vertikaalisuuntaan työntövaiheessa. Tämä osuus laski merkitsevästi kiihdytyksen keskivaiheessa ( $p < 0,001$ ) ja myös siirryttäessä keskivaiheesta maksimijuoksunopeuteen ( $p = 0,007$ ). Jarrutusvaiheen vertikaalivoiman osuus päinvastoin kasvoi kiihdytyksen alkuvaiheesta keskivaiheeseen ( $p < 0,001$ ) ja keskivaiheesta maksimijuoksun vaiheeseen ( $p = 0,013$ ). Työntövaiheen horisontaalivoiman osuus laski merkitsevästi alkukiihdytyksen ja keskivaiheen välillä ( $p = 0,001$ ) ja jarrutusvaiheen horisontaalivoiman osuus kasvoi kiihdytyksen keskivaiheen ja maksimijuoksu vaiheen välillä ( $p = 0,015$ ).



**KUVA 10.** Keskimääräisten vertikaali- ja horisontaalivoimien suhteelliset osuudet kokonaisvoimasta (kaikkien voimien summa) eri vaiheissa juoksua ja submaksimaalisessa juoksussa. Yksittäistä voimamuuttujaa verrataan kuvaajassa aina samaan muuttujaan edellisessä juoksun vaiheessa. Tilastollisesti merkitsevyydet on merkitty symbolein: \*\*\* =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \* =  $p < 0,05$ .

Kuvassa 11 on esitetty keskimääräiset resultanttivoimat eri vaiheissa juoksua ja submaksimaalisella nopeudella. Jarrutusvaiheen keskimääräinen resultanttivoima kasvoi tilastollisesti merkitsevästi ( $p=0,001$ ) kiihdytyksen alkuvaiheen ja keskivaiheen välillä sekä kiihdytyksen keskivaiheen ja maksimijuoksuvaiheen välillä ( $p=0,032$ ). Työntövaiheen keskimääräinen resultanttivoima kasvoi merkitsevästi vain alkukiihdytysvaiheen ja kiihdytyksen keskivaiheen välillä ( $p=0,004$ ).



**KUVA 11.** Keskimääräinen resultanttivoima jarrutus- ja työntövaiheessa. Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\*=  $p < 0,001$ , \*\*=  $p < 0,01$ , \*=  $p < 0,05$ .

Taulukossa 2 on esitetty keskimääräisten resultanttivoimien kulmat ja reaktivoimat impulsseina (kehon painoon suhteutettuna) eri vaiheissa juoksua.

**Taulukko 2.** Resultanttivoimien kulmat ja reaktivoimat impulsseina (suhteutettu kehonpainoon). Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\*=  $p < 0,001$ , \*\*=  $p < 0,01$ , \*=  $p < 0,05$ .

	alkukiihdytys	kiihd. (15-23m)	maksimin.	submaks.
keskinopeus (m/s)	5,65 ± 0,59	8,42 ± 0,20***	9,12 ± 0,37***	8,48 ± 0,16***
resultanttikulma jarrutus (aste)	68,8 ± 7,0	80,7 ± 1,5**	79,9 ± 1,1*	79,9 ± 0,7
resultanttikulma työntö (aste)	70,3 ± 2,1	77,0 ± 1,2**	76,1 ± 1,5	77,5 ± 1,8
horis. impulssi jarrutus (Ns)	0,04 ± 0,02	0,16 ± 0,01***	0,21 ± 0,02*	0,22 ± 0,02
horis. impulssi työntö (Ns)	0,74 ± 0,07	0,28 ± 0,02***	0,24 ± 0,02	0,25 ± 0,02
vert. impulssi jarrutus (Ns)	0,10 ± 0,02	1,01 ± 0,10***	1,17 ± 0,09*	1,24 ± 0,09
vert. impulssi työntö (Ns)	2,09 ± 0,10	1,21 ± 0,13**	0,96 ± 0,09*	1,17 ± 0,19

*Reaktiivoimien yhteys juoksunopeuteen.* Kiihdytyksen alkuvaiheessa juoksunopeus korreloi erittäin vahvasti jarrutusvaiheen ( $r = -0,989$ ,  $p < 0,01$ ) ja työntövaiheen keskimääräisen horisontaalivoiman kanssa ( $r = 0,998$ ,  $p < 0,01$ ). Juoksunopeus korreloi myös vahvasti työntövaiheen keskimääräisen vertikaalivoiman kanssa ( $r = 0,889$ ,  $p < 0,05$ ), muttei jarrutusvaiheen ( $r = -0,428$ ,  $p = 0,396$ ). Alkukiihdytysvaiheessa juoksunopeuden ja työntövaiheen resultanttivoiman välillä oli vahva yhteys ( $r = 0,881$ ,  $p < 0,05$ ). Sen sijaan juoksunopeuden ja jarrutusvaiheen resultanttivoiman välillä ei ollut merkitsevää yhteyttä ( $r = 0,780$ ,  $p = 0,067$ ), joskin hyvin lähellä sitä. Näiden lisäksi juoksunopeudella ja jarrutusvaiheen resultanttivoiman kulmalla oli erittäin vahva yhteys ( $r = -0,995$ ,  $p < 0,001$ ), kun taas työntövaiheen resultanttivoiman kulmalla ei ollut merkitsevää yhteyttä juoksunopeuteen ( $r = 0,661$ ,  $p = 0,156$ ). Taulukossa 3 on esitetty juoksijoiden nopeimpien suoritusten voimamuuttujatulokset (jarrutus- ja työntövaiheiden keskimääräiset horisontaali- ja vertikaalivoimat, resultanttivoimat ja resultanttikulmat) alkukiihdytysvaiheessa.

**Taulukko 3.** Koehenkilöiden juoksunopeus ja reaktiivoimamuuttujat (keskimääräisten voimien avulla laskettuna) alkukiihdytysvaiheessa.

	Kh 1	Kh 2	Kh 3
keskinopeus (m/s)	6,4	5,8	5,0
Jarrutusvaiheen kesto (ms)	17	18	17
Horis. keskim. jarrutusvoima (N)	80	117	211
Vert. keskim. jarrutusvoima (N)	291	404	354
Jarrutusvaiheen res. voima (N)	302	421	412
Jarrutusvaiheen res. kulma (aste)	74	73	59
Työntövaiheen kesto (ms)	146	125	145
Työntövaiheen horis. ka. voima (N)	392	338	259
Työntövaiheen vert. ka. voima (N)	1039	941	807
Työntövaiheen res. voima (N)	1079	1024	881
Työntövaiheen res. kulma (N)	69	70	72

Juoksunopeus ei korreloinut kiihdytyksen keskivaiheessa merkitsevästi minkään voimantuottomuuttujan kanssa. Vahvin yhteys tässä vaiheessa juoksua oli juoksunopeudella ja jarrutusvaiheen vertikaalivoimalla ( $r = 0,434$ ) ja työntövaiheen horisontaalivoimalla ( $r = 0,397$ ), mutta nekin eivät olleet merkitseviä ( $p > 0,05$ ). Taulukossa 4 on esitetty juok-

sijoiden nopeimpien suoritusten voimamuuttujatulokset (jarrutus- ja työntövaiheiden keskimääräiset horisontaali- ja vertikaalivoimat, resultanttivoimat ja resultanttikulmat) alkukiihdytysvaiheessa.

**Taulukko 4.** Koehenkilöiden juoksunopeus ja reaktiovoimamuuttujat kiihdytyksen keskivaiheessa.

	Kh 1	Kh 2	Kh 3	Kh 4
keskinopeus (m/s)	8,8	8,4	8,4	8,3
Jarrutusvaiheen kesto (ms)	48	40	42	48
Horis. keskim. jarrutusvoima (N)	230	296	248	171
Vert. keskim. jarrutusvoima (N)	1714	1684	1247	1222
Jarrutusvaiheen res. voima (N)	1729	1710	1272	1234
Jarrutusvaiheen res. kulma (aste)	82	80	79	82
Työntövaiheen kesto (ms)	69	72	64	68
Työntövaiheen horis. ka. voima (N)	280	259	234	253
Työntövaiheen vert. ka. voima (N)	1197	1338	1007	967
Työntövaiheen res. voima (N)	2090	2151	1609	1559
Työntövaiheen res. kulma (N)	77	79	77	75

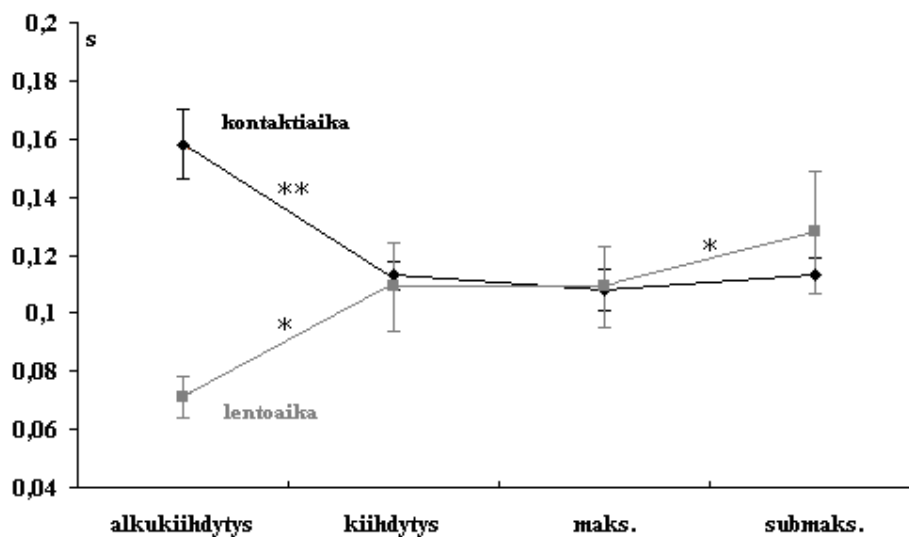
Maksiminopeuden vaiheessa juoksunopeus korreloi vahvasti ( $r=0,814$ ,  $p=0,002$ ) työntövaiheen horisontaalisuuntaisen voiman kanssa, muttei jarrutusvaiheen horisontaalisen voiman kanssa ( $r=0,084$ ,  $p=0,485$ ). Vertikaalisuuntaisen voimien yhteys juoksunopeuteen oli suuntaa-antava, mutta ei merkitsevä jarrutusvaiheessa ( $r=0,483$ ,  $p=0,06$ ) eikä myöskään työntövaiheessa ( $r=0,412$ ,  $p=0,086$ ). Resultanttivoimina jarrutusvaiheessa ( $r=0,473$ ,  $p=0,059$ ) ja työntövaiheessa ( $r=0,493$ ,  $p=0,052$ ) yhteys juoksunopeuteen oli myös suuntaa-antava. Resultanttivoimien kulmien yhteydet juoksunopeuteen eivät olleet jarrutus- ja työntövaiheessa merkitseviä ( $r<0,3$ ). Taulukossa 5 on esitetty juoksijoiden nopeimpien suoritusten voimamuuttujatulokset (jarrutus- ja työntövaiheiden keskimääräiset horisontaali- ja vertikaalivoimat, resultanttivoimat ja resultanttikulmat) alkukiihdytysvaiheessa.

**Taulukko 5.** Koehenkilöiden juoksunopeus ja reaktiivoimamuuttajat maksiminopeuden vaiheessa.

	Kh 1	Kh 2	Kh 3	Kh 4
keskinopeus (m/s)	9,8	9,2	9,1	8,8
Jarrutusvaiheen kesto (ms)	46	41	49	53
Horis. keskim. jarrutusvoima (N)	275	284	303	215
Vert. keskim. jarrutusvoima (N)	1889	1411	1728	1290
Jarrutusvaiheen res. voima (N)	1909	1439	1755	1308
Jarrutusvaiheen res. kulma (aste)	82	79	80	81
Työntövaiheen kesto (ms)	59	58	67	61
Työntövaiheen horis. ka. voima (N)	284	276	240	219
Työntövaiheen vert. ka. voima (N)	1216	1034	1062	885
Työntövaiheen res. voima (N)	2247	1749	2029	1565
Työntövaiheen res. kulma (N)	77	75	77	76

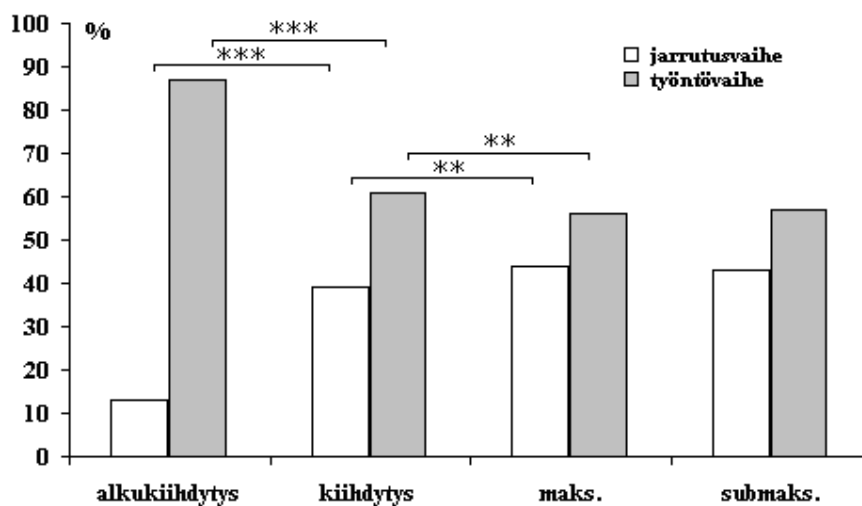
## 5.2 Askelmuuttajat

Kontaktiajat laskivat merkitsevästi ( $p=0,004$ ) alkukiihdytysvaiheen ja kiihdytysvaiheen välillä (kuva 12). Samalla lentoaika kasvoi merkitsevästi ( $p<0,046$ ). Kiihdytyksen keskivaiheen ja maksimijuoksuvaiheen välillä kontakti- ja lentoajoissa ei ollut merkitseviä eroja. Siirryttäessä maksimijuoksuvaiheesta submaksimaaliseen lentoajat kasvoivat merkitsevästi ( $p=0,023$ ).



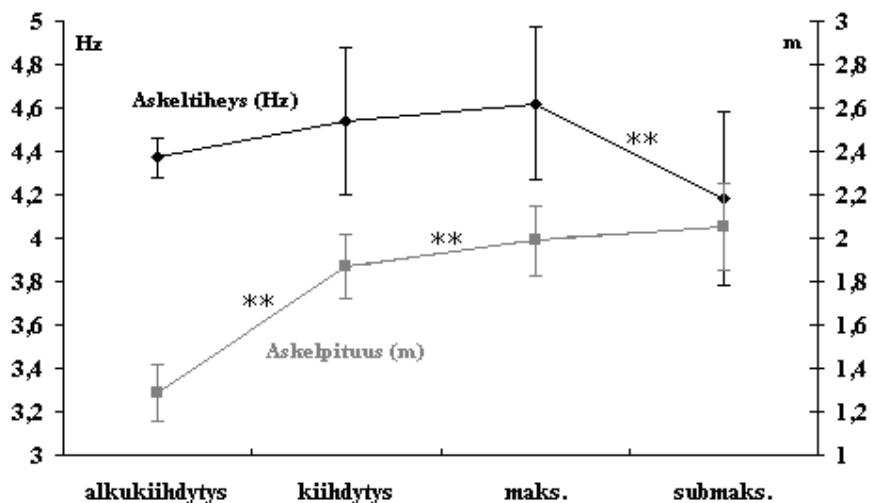
**KUVA 12.** Kontakti- ja lentoajat askelkontakteissa eri vaiheissa pikajuoksua. Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\*=  $p < 0,001$ , \*\*=  $p < 0,01$ , \*=  $p < 0,05$ .

Kuvassa 13 on esitetty jarrutus- ja työntövaiheiden suhteelliset osuudet kokonaiskontaktiajasta. Jarrutus- ja työntövaiheiden osuudet erosivat tilastollisesti merkitsevästi alkukiihdytysvaiheeseen verrattuna kiihdytyksen keskivaiheeseen ( $p < 0,001$ ) Osuudet erosivat myös keskivaiheen ja maksimijuoksunopeuden ( $p = 0,003$ ).



**KUVA 13.** Jarrutus- ja työntövaiheiden suhteelliset osuudet kontaktiajasta. Tilastolliset merkitsevyydet: \*\*\*=  $p < 0,001$ , \*\*=  $p < 0,01$ .

Kuvassa 14 on esitetty askeltiheydet ja askelpituudet eri vaiheissa juoksua ja submaksimaalisella nopeudella. Askeltiheys laski merkitsevästi vain submaksimaalisella juoksunopeudella (ero maksimijuoksunopeuden vaiheeseen  $p = 0,018$ ). Askelpituudet kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi alkukiihdytyksen ja kiihdytyksen keskivaiheen välillä ( $p = 0,003$ ) ja kiihdytyksen keskivaiheen ja maksimijuoksunopeuden välillä ( $p = 0,002$ ).



**KUVA 14.** Askeltiheys (Hz) ja askelpituus (m) eri vaiheissa juoksua ja submaksimaalisella nopeudella. Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen vaiheeseen verrattuna on merkitty symbolein: \*\*\*=  $p < 0,001$ , \*\*=  $p < 0,01$ , \*=  $p < 0,05$ .

*Askelmuuttujien yhteys juoksunopeuteen.* Askelmuuttujista eli askelpituudesta ja -tiheydestä sekä kontakti- ja lentoajasta ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää korrelaatiokerrointa juoksunopeuteen missään juoksun eri vaiheista.



## 6 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata pikajuoksun eri vaiheiden voimantuottoa. Koska voimalevyjonon pituus (7,2m) rajoitti eri vaiheiden tutkimisen samasta suorituksesta, eri vaiheiden vertailu tapahtui eri suorituksista ja suoritusten samankaltaisuutta kontrolloitiin kennoilla mitatun kokonaisjuoksuajan avulla. Tämän mittausasetelman kaltaisia tutkimuksia ei ole tiettävästi ennen tehty.

***Reaktivoimat ja niiden yhteys juoksunopeuteen.*** Alkukiihdytysvaiheen voimantuotto erosi merkitsevästi muiden vaiheiden voimantuotosta. Työntövaiheen voimat olivat suuremmassa osassa kiihdytyksen alkuvaiheessa kuin muissa vaiheissa juoksua. Alkukiihdytyksen työntövaiheen keskimääräinen horisontaalivoima ei ollut merkitsevästi suurempi kuin muissa juoksun vaiheissa, mutta keskimääräinen vertikaalivoima oli sen sijaan merkitsevästi pienempi muiden vaiheiden vertikaalivoimantuottoon verrattuna. Alkukiihdytyksen työntövaihe oli myös kestoaltaan pitempi kuin työntövaiheet kiihdytyksen keskivaiheessa ja maksiminopeuden vaiheessa. Näin ollen työntövaiheen horisontaalinen impulssi (voiman ja ajan tulo) on suurimmillaan kiihdytyksen alkuvaiheessa. Kiihdytyksen keskivaiheessa ja vakionopeuden vaiheessa keskimääräiset vertikaalivoimat olivat moninkertaiset alkukiihdytykseen verrattuna. Erityisesti jarrutusvaiheen vertikaalivoimat kasvavat nopeuden kasvaessa. Maksiminopeuden vaiheessa kontaktin alun törmäysvoimat ovat suuria, jolloin jalan ”lihasjäykkyys” (stiffness) eli kyky kestää näitä voimia on oleellista suuren juoksunopeuden saavuttamisessa ja ylläpitämisessä. Lihasjäykkyyden säilyttämisessä askelkontaktissa ovat olennaisessa osassa lihasvoiman lisäksi lihasten esiaktiivisuus ja refleksivaste. (Mero ym. 1992)

Alkukiihdytysvaiheen voimantuotosta löytyi vahvimmat yhteydet juoksunopeuteen. Varsinkin kiihdytysten ensimmäisten askeleiden työntövaiheiden horisontaalivoimantuotolla on havaittu olevan erittäin vahva korrelaatio juoksunopeuteen (Mero 1988). Alkukiihdytysvaiheessa oli erittäin vahva negatiivinen korrelaatio myös juoksunopeuden ja jarrutusvaiheen horisontaalivoiman välillä sekä juoksunopeuden ja jarrutusvaiheen resultanttivoiman kulman kanssa. Nopeammat lähtijät pystyivät siis minimoimaan jarrutusvaiheen hidastumisen paremmin kuin hitaammat juoksijat. Aiemmat tutkimukset pika-

juoksun lähdöstä tukevat tätä tulosta. (mm. Mero ym. 1983) Näin suuret erot alkukiihdytysvaiheen keskinopeuksissa osoittavat, että koehenkilöt olivat hyvin epätasaisia lähtijöitä. Tämä on ymmärrettävää, sillä vain kahden koehenkilön päälaji oli pikajuoksu. Lähdön haasteellisuus lienee asyklisen liikkeen (lähtöponnistuksen) muuttamisessa mahdollisimman tehokkaaksi sykliseksi liikkeeksi.

Mielenkiintoista oli myös, että kiihdytyksen keskivaiheesta alkukiihdytysvaiheen kaltaisia yhteyksiä juoksunopeuden ja voimantuoton välillä ei löytynyt. Syynä saattaa olla koehenkilöiden juoksunopeuksien tasaisuus tässä vaiheessa (15-23m) juoksua. Hitaimman ja nopeimman juoksijan ero keskinopeudessa kiihdytyksen keskivaiheessa oli vain 0,6m/s (hitain 8,2m/s vs nopein 8,8m/s), kun alkukiihdytysvaiheessa hitaimman ja nopeimman ero keskinopeudessa oli 1,5m/s (hitain 4,9m/s vs nopein 6,4m/s) ja maksimijuoksunopeuden vaiheessa 1,1m/s (hitain 8,7m/s vs nopein 9,8m/s). Juoksijoiden kiihdytysvaiheen pituuksissa oli myös tämän perusteella eroja. Osa juoksijoista oli jo lähellä maksiminopeuttaan tässä vaiheessa juoksua, kun nopeimmilla juoksunopeus kasvoi vielä huomattavasti. Huippupikajuoksijat saavuttavat maksiminopeutensa yleensä 50-70m:n kohdalla. Esimerkiksi Usain Bolt juoksi 100m:n maailmanennätysjuoksussaan (9.58 s) Berliinissä nopeimman lentävän 20m:ä (1.61 s) välillä 60-80m:ä. (Tucker 2009) Hunterin ym (2005) tutkimuksessa reaktiivoimia tutkittiin myös kiihdytyksen keskivaiheelta, jossa juoksijoiden hetkellinen nopeus oli 7,4 – 8,8m/s. Hunterin ym. tutkimuksessa (n=27) juoksunopeuden ja työntövaiheen horisontaalisuuntaisen voimantuoton välillä oli erittäin vahva yhteys ja muista reaktiivoimamuuttujista vahvaa yhteyttä juoksunopeuteen ei löytynyt.

Alkukiihdytysvaiheen tavoin, maksiminopeuden vaiheessa juoksunopeudella ja työntövaiheen horisontaalivoimalla oli vahva yhteys. Sen sijaan vertikaalisuuntaisen voiman yhteys juoksunopeuteen oli vain kohtalainen. Maksiminopeuden vaiheessa aiemmat tutkimukset ovat ennen kaikkea korostaneet vertikaalisuuntaisen voiman ja juoksunopeuden yhteyttä, sillä suuri vain vertikaalisuuntaisen voimantuotto mahdollistaa lyhyen askelkontaktin ja pitkän askelpituuden. (Weyand 2000) Toki jo aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että juoksussa tulisi suunnata jarrutusvaiheen voimantuotto vertikaaliseksi ja työntövaiheessa horisontaaliseksi. (Mero ym. 1992) Maksiminopeuden vaiheen juoksharjoittelussa painotetaan usein ns. kuopaisutekniikkaa, jolla pyritään rullaavaan juok-

suun ja lyhyeen, mutta tehokkaaseen askelkontaktiin. Tämä vaatii toimiakseen juoksijalta suurta voimantuottoa. (Farley & Gonzales 1996).

***Askelmuuttajat ja niiden yhteys juoksunopeuteen.*** Askeltiheydet pysyivät kiihdytyksen aikana samansuuruisena joten juoksunopeuden kasvu tapahtui askelpituutta kasvattamalla. Ainoastaan submaksimaalisessa juoksunopeudessa askeltiheys erosi merkitsevästi muista vaiheista. Askelpituudet kasvoivat kiihdytyksen edetessä ja olivat suurimmillaan submaksimaalisissa juoksuissa. Koehenkilöt muuttivat siis submaksimaalisiin juoksuihin tekniikkaansa niin, että askelpituudet olivat maksimijuoksua pitemmät ja askeltiheys alhaisempi. Valmennuksellisesti huomioitavaa on se, että askelmuuttajia tarkasteltaessa kiihdytysvaiheen juoksu on lähempänä maksimijuoksun tekniikkaa kuin submaksimaalinen juoksu, vaikka nopeudet olisivatkin samat. Tämän tutkimuksen nopeimmalla koehenkilöllä (maksimijuoksuvaiheen keskinopeus 9,8 m/s) oli koehenkilöistä suurin askeltiheys (4,7 Hz), mutta ei pisin askelpituus (2,08m). Askeltiheys oli itse asiassa sama kuin Usain Boltilla 100m:n maailman ennätysjuoksussa (9,69 s) Pekingissä v. 2008. Hänen askelpituutensa maksiminopeuden vaiheessa oli tuolloin keskimäärin 2,60 m. Esimerkiksi Maurice Greenellä ME – juoksuissaan v.1999 vastaavat arvot olivat 5,05 Hz ja 2,37 m. (Keränen 2008). Usain Boltin 100m:n nykyisestä maailman ennätysjuoksusta (Berliinissä v. 2009, 9,58 s) ei ole saatavilla maksimijuoksuvaiheen tarkkoja askelmuuttajia.

Askeltiheydestä tai askelpituudesta ei tässä tutkimuksessa löytynyt missään vaiheessa juoksua korrelatiivista voimakasta yhteyttä juoksunopeuteen. Toisin sanoen tämän tutkimuksen koehenkilöillä kumpikin juoksuaskeleen osatekijä oli yhtä painottunut. Laajalla suomalaisella miespikajuoksijoiden aineistolla (100 m:n ennätykset 10.58 – 11.80 s; Mero ym. 1981, 1983) askeltiheys korostui enemmän sekä kiihdytysvaiheen alussa että maksimaalisen vakionopeuden vaiheessa. Maailman huippupikajuoksijoiden (maksiminopeus yli 11,5m/s) askelmuuttajia tutkittaessa on sen sijaan havaittu askelpituuden olevan merkitsevämpi tekijä kuin askeltiheyden maksimaalisen nopeuden vaiheessa (Ito ym. 2006).

Alkukiihdytysvaiheessa jarrutus- ja työntövaiheen osuudet erosivat suuresti muiden juoksuvaiheiden osuuksista. Alkukiihdytysvaiheen voimantuotossa jarrutusvaiheen osuus oli vain 10 %:a kontaktiajasta. Keskivaiheessa kiihdytystä jarrutusvaiheen osuus oli jo 39 %, mikä oli hyvin lähellä maksiminopeusvaiheen osuutta (43%). Näidenkin pe-

rusteella voimantuotto eroaa selvästi vain kiihdytyksen alkuvaiheessa muista vaiheista juoksua.

Kontaktiajat ovat ensimmäisillä askelilla huomattavasti pitemmät kiihdytyksen alkuvaiheessa verrattuna muihin vaiheisiin ja ne koostuvat suureksi osaksi työntövaiheesta. Vaikka voimantuottoaika oli alkuvaiheessa pitempi kuin muissa vaiheissa, oli se alkuvaiheessakin keskimäärin vain 160ms, josta siis 10 % koostuu jarrutusvaiheesta. Työntövaiheen ajaksi jäi 140-145ms, jonka aikana juoksunopeutta kasvattava voimantuotto tapahtuu. Valmennuksellisesti tämä on tärkeä tieto, joka pikajuoksun voimaharjoittelussa tulisi tiedostaa. Voimantuottoajat ovat joka vaiheessa juoksua lyhyitä, joten liiallinen harjoittelu pitemmillä voimantuottoajoilla on kyseenalaista sen lajinomaisuuden puutteen takia. Huomioitavaa on erityisesti, että nopeammat juoksijat pystyvät tuottamaan tässä lyhyessä kontaktiajassa suuremman voiman kuin hitaimmat juoksijat. (mm. Mero ym. 1992)

***Testimuuttujapatteristo reaktivoimien ja askelmuuttujien testaamiseen.*** Tämän tutkimuksen ja samoilla mittausvälineillä tehdyn Alasalmen pikajuoksututkimuksen perusteella (Alasalmi 2007) reaktivoimamuuttujista voidaan valikoida sopivia muuttujia pikajuoksijoiden testaamiseen. Testaamiseen tarvittavat mittauslaitteet olisivat voimalevyt (reaktivoimien mittaamiseen), ajanottokennot ja tutka (juoksunopeuden mittaamiseen) sekä paperi (askelpituksien mittaamiseen). Kaikki mittauslaitteet löytyvät Suomesta vain Jyväskylän Hipposhallilta. Pikajuoksusuorituksen kannalta oleellisia muuttujia (Liite 2) reaktivoimista ovat jarrutus- ja työntövaiheiden kestot, keskimääräiset horisontaali- ja vertikaalivoimat sekä keskimääräinen resultanttivoima ja resultanttikulma. Kun nämä muuttujat yhdistettäisiin pikajuoksijoilla yleisesti käytössä oleviin testimuuttujiin eli juoksunopeuteen, askelpituuteen, askeltiheuteen ja myös videoanalyysiin juoksuteknikasta, pikajuoksija saisi kattavan tietopaketin juoksustaan. Samoilla muuttujilla onnistuisi tarvittaessa myös juoksujen eri vaiheiden analyysi tämän tutkimuksen kaltaisella mittausasetelmalla.

***Yhteenvedo.*** Pikajuoksun voimantuotto eri vaiheissa juoksua eroaa selvästi vain ensimmäisten askelten osalta. Tällöin voimantuottoajat ovat pitemmät ja työntövaiheen osuus askelkontaktista on suuri. Juoksunopeudella ja horisontaali- ja vertikaalisuuntaisilla voimantuotolla on selkeä yhteys niin kiihdytysvaiheessa kuin maksimivaiheessa juok-

sua. Etenkin kiihdytyksessä nopeammat juoksijat tuottavat samalla kontaktiajalla suuremmat eteenpäin suuntautuvat voimat kuin hitaammat juoksijat. Maksiminopeuden vaiheessa korostuu tukijalan kyky kestää kovia voimia lyhyen askelkontaktin aikana. Tutkimuksessa käytetyistä reaktivoimamuuttujista voidaan valita keskeisiä muuttujia pika-juoksijoiden lajinomaiseen testaamiseen.

## **7 KIITOKSET**

Kiitän työni ohjaajia avusta tutkimuksen kaikissa vaiheissa. Lisäksi kiitän Kilpa - ja huippu-urheilun tutkimuskeskusta (KIHU) LAVEG - mittauslaitteiston lainaamisesta ja Tapani Kerästä mittauslaitteiston käytön opastamisesta sekä Markku Ruuskasta ja muuta liikuntabiologian laitoksen henkilökuntaa, jotka avustivat mittauksissa.

## 8 LÄHTEET

Alasalmi J. 2007. Reaktiivoimat ja heilahtavan jalan kinemaattisen muuttujat maksimaalisessa pikajuoksussa – yhteys juoksunopeuteen. Kandidaatintutkielma. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos.

Alexander, R. McN. 1988 *Elastic Mechanisms in Animal Movement*. Cambridge University Press, Cambridge.

Blickhan, R. 1989. The spring-mass model for running and hopping. *Journal of Biomechanics* 22, 1217-1227.

Cavagna, G.A., Komarek, L. & Mazzoleni, Stefania 1971. The mechanics of sprint running. *Journal of Physiology* 217, 709-721.

Enoka, R. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Champaign, IL: Human kinetics.

Farley, C.T. & Gonzalez, O. 1996. Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics* 29, 181-186.

Guissard, N., Duchateau, J., & Hainaut, K. 1992 EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1257-1263.

Hunter, J.P.; Marshall, R.N.; McNair, P.J., 2004 Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise* Feb 2004: Vol. 36 Issue 2. p. 261-271.

Hunter, Joseph P.; Marshall, Robert N.; McNair 2005. Relationships Between Ground Reaction Force Impulse and Kinematics of Sprint-Running Acceleration., *Journal of Applied Biomechanics* Vol. 21 Issue 1, p 31.

Ito, A., Ishikawa, M., Isolehto, J. & Komi, P.V. 2006. Changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during the 100 meters. *New Studies in Athletics* 21, 35-39.

Keränen T. 2008. Uudet miehet – uudet tavat? *Huippu-urheilu-uutiset* 4, 14 – 16.

Mero A., Luhtanen P., Viitasalo J., Komi P. V. 1981 Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 3, 1, 16-22.

Mero A, Luhtanen P, Komi PV 1983. A biomechanical study of the sprint start. *Scandinavian Journal of Sport Sciences* 5 (1): 20-28.

Mero, A. & Komi, P.V. 1986. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology* 55, 553-561.

Mero A. 1988. Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 59 (2):94-98.

Mero, A., & Komi, P. 1990. Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 73-80.

Mero, A., Komi, P.V. & Gregor, R.J. 1992. Biomechanics of sprint running – A review. *Sports Medicine* 13, 376-392.

Milan Čoh, Katja Tomažin, Stanko Štuhec 2006. The biomechanical model of the sprint start and block acceleration. *Series Physical Education & Sport*, Vol. 4 Issue 2, p103-114.

Munro, C.F. & Miller, A.J. 1987. Ground reaction forces in running: A reexamination. *Journal of Biomechanics* 2, 147-155.



Roberts, T.J., Marsh, R.L., Weyand, P.G. & Taylor, C.R. 1997. Muscular force in running turkeys: The economy of minimizing work. *Science* 275, 1113-1115.

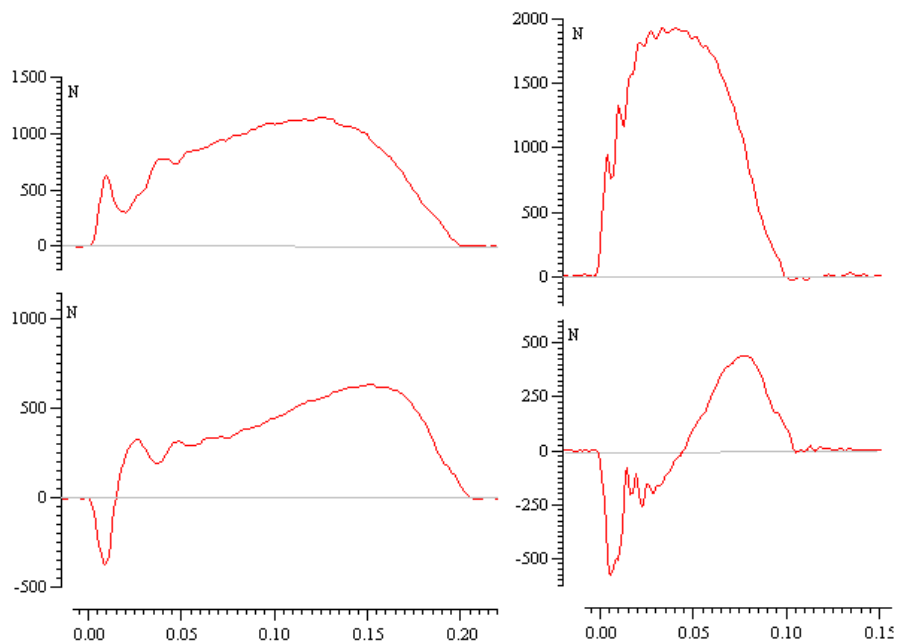
Tellez, T., & Doolittle, D. 1984. Sprinting from start to finish. *Track Technique*, 88, 2802-2805.

Tucker, R. 2009. Analysis of Bolts 9.58 World record.  
<http://www.sportsscientists.com/2009/08/analysis-of-bolts-958-wr.html> / 13.2.2011.

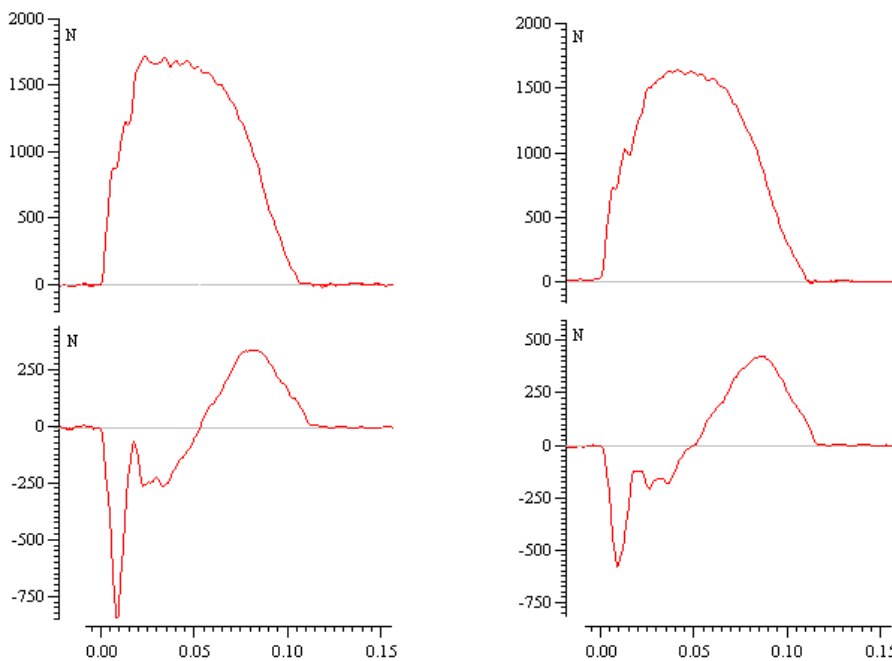
Volkov NI, Lapin VI. 1979 Analysis of the velocity curve in sprint running. *Medicine and Science in Sports* 11 (4):332-337.

Weyand, P.G., Sternlight, D.B., Bellizzi, M.J. & Wright, S. 2000. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology* 89, 1991-1999.

## LIITE 1



**Kuva 15.** Tyypilliset reaktiovoimakuvajaat alkukiihdytysvaiheessa. Vasemmalla on kuvattu ensimmäinen askelkontakti ja oikealla kiihdytyksen keskivaiheelta askelkontakti (n. 20 metrin kohdalta). Ylempi voimakuvaja on vertikaalivoima ja alempi horisontaalivoima.



**Kuva 16.** Tyypilliset reaktiovoimakuvajaat maksiminopeuden vaiheessa (vasen) ja submaksimaalisella nopeudella (oikea). Ylempi voimakuvaja on vertikaalivoima ja alempi horisontaalivoima.

