

**MOUKARIN- JA PAINONHEITON TEKNIikka JA
VOIMANTUOTTO VETERAANIMOUKARINHEITTÄJILLÄ**

Tommi Ojanen

Johdatus omatoimiseen tutkimukseen
BME.208
Kevät 2005
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työn ohjaaja: Mikko Virmavirta

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	4
2 MOUKARINHEITON BIOMEKANIikka	5
2.1 MOUKARINHEITON SÄÄNNÖT	5
2.2 MOUKARINHEITON TEKNIikka	6
2.3 HEITON PITUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
3 MOUKARINHEITON VOIMANTUOTTO	9
3.1 LIHASTOIMINTA HEITON AIKANA	9
3.2 VOIMANTUOTON VAATIMUKSET MOUKARINHEITOSSA	9
4 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMANTUOTTOON	11
4.1 MAKSIMIVOIMA	11
4.2 NOPEUSVOIMA	13
5 LIIKEANALYYSIN KÄYTTÖ MOUKARINHEITTO SUORITUKSEN ARVIOINNISSA	15
5.1 2-D ANALYYSI	15
5.2 3-D ANALYYSI	15
5.3 2-D JA 3-D ANALYYSIEN EROT	15
5.4 LIIKEANALYYSIN KÄYTTÖ HEITTOLAJIEN SUORITUSTEN ARVIOINNISSA	16
6 TUTKIMUSONGELMAT	17
7 MENETELMÄT	18
7.1 KOEHENKILÖT	18
7.2 TUTKIMUSASETELMA	19
7.3 MITTAUKSET	19
7.4 ANALYYSIT	20
7.5 TILASTOLLISET ANALYYSIT	21
8 TULOKSET	22
8.1 ANTROPOMETRISET MITTAUKSET	22
8.2 HEITON PITUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	22
8.3 ISOMETRISEN VOIMANTUOTON YHTEYS MOUKARINHEITTO SUORITUKSIIN	25
8.4 TEHONTUOTON YHTEYS MOUKARINHEITTO SUORITUKSIIN	26
8.5 ERI MUUTTUIJEN VAIKUTUS PAINONHEITTO SUORITUKSEEN	28
9 POHDINTA	29
LÄHTEET	32

TIIVISTELMÄ

Ojanen Tommi 2005. Moukarin- ja painonheiton tekniikka ja voimantuotto veteraanimoukarinheittäjillä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Biomekaniikan Cumu-työ.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eri muuttujien vaikutusta moukarin- ja painonheittosuoritukseen veteraaniheittäjillä. Tarkoituksena oli myös tutkia voimantuotollisten muuttujien vaikutuksia veteraaniheittäjän lajisuorituskykyyn. Tutkimukseen osallistui vapaaehtoisesti 12 koehenkilöä, jotka olivat iältään 44 – 80 –vuotiaita miehiä. Koehenkilöt harrastivat ja kilpailivat aktiivisesti yleisurheilun veteraanisarjoissa moukarin- ja painonheitossa.

Mittaukset suoritettiin Jyväskylässä liikuntabiologian laboratoriossa syksyn 2003 aikana. Koehenkilöille suoritettiin ensin antropometriset mittaukset, jonka jälkeen he tekivät maksimaalisen isometrisen voiman testit ja tehonmittaus testit. Seuraavaksi siirryttiin heittopaikalle, jossa suoritettiin lämmittely ja painonheittosuoritukset. Koehenkilöiltä kuvattiin ja analysoitiin myös heidän kilpailusuorituksensa moukarinheitossa.

Koehenkilöt olivat $176,5 \pm 7,7$ cm pitkiä ja painoivat $88,4 \pm 10,4$ kg. Kilpailusuorituksessa välineen lähtökulma oli keskimäärin $39,6^\circ \pm 3,6^\circ$, lähtönopeus $20,22 \pm 2,23$ m/s ja lähtökorkeus $1,70 \pm 0,41$ m. Eniten heiton pituuteen korreloi välineen lähtönopeus ($r=0.991$, $p=0,008$, $n=12$). Isometrisen voimantuoton mittauksista heiton lähtönopeuden kanssa korreloi merkittävästi dynamometrillä suoritettu polvien ojennus ($r=0.725$, $p=0.012$, $n=11$) ja vatsalihaksilla suoritettu vartalon koukistus ($r=0.616$, $p=0.044$, $n=11$). Koehenkilöiden tuottama teho näytti korreloivan läheisesti moukarin 1. pyörähdysten alkunopeuden kanssa moukarinheittosuorituksessa. Jalkakyykyssä korrelaatio oli merkittävä 25 kg ($r=0.739$, $p=0.023$, $n=9$) ja 60 % kuormilla ($r=0.660$, $p=0.038$, $n=10$). Penkkipunnerruksen ja 1. pyörähdysten alkunopeuden välillä oli merkitsevä korrelaatio 25 kg kuormalla ($r=0.717$, $p=0.048$, $n=8$) ja merkittävää lähestyvää 60 % kuormalla ($r=0.588$, $p=0.074$, $n=10$). Rinnalleveto liikkeessä tuotetun tehon ja 1. pyörähdysten alkunopeuden korrelaatio lähestyi merkittävää 25 kg ($r=0.684$, $p=0.062$, $n=8$) ja 30 % kuormilla ($r=0.686$, $p=0.089$, $n=7$). Painonheitossa lähtökulma oli keskimäärin $57,1^\circ \pm 6,5^\circ$ ja lähtönopeus $11,87\text{m/s} \pm 1,27\text{m/s}$. Näistä muuttujista ainoastaan loppuveikon aikana välineeseen tuotettu voima korreloi merkitsevästi välineen lähtönopeuden kanssa ($r=0.721$, $p=0.021$, $n=10$).

Tässä tutkimuksessa välineen lähtönopeudella todettiin olevan erittäin merkittävä korrelaatio heiton pituuteen ($r=0.991$, $p=0,008$, $n=12$). Saatujen tuloksien pohjalta näyttäisi, että veteraaniheittäjät heittävät melko samalla lähtökulmalla kuin huippuheittäjät. Lähtönopeus on selkeästi heikompi veteraaniheittäjillä ja lähtökorkeus matalampi. Näistä syistä myös tulokset ovat heikompia, vaikka veteraaniheittäjät heittävät kevyemmillä välineillä. Heiton eri vaiheita tarkasteltaessa veteraaniheittäjät pystyvät heittämään teknisesti melko lähellä huippuheittäjiä. Suorituksen kesto on pidempi, mutta välineen kiihdytykselle tärkeä kahden tuen vaihe kestää suorituksesta prosentuaalisesti saman verran kuin huippuheittäjillä. Isoin ero tulee voimantuotollisissa ominaisuuksissa. Veteraaniheittäjät eivät pysty liikuttamaan välinettä yhtä nopeasti ja tehokkaasti kuin yleisen sarjan heittäjät ja tästä johtuen myös heittojen pituuden lyhenevät.

1 JOHDANTO

Moukarinheitto on tekniikaltaan eräs yleisurheilun vaikeimmista lajeista, mikä tekee siitä haastavan sekä urheilijalle, valmentajalle että myös tutkijalle. Yleisurheilun heittolajien biomekaniikkaa on tutkittu maailmalla jonkin verran. Tutkimuksia on kuitenkin tehnyt vain pieni joukko tutkijoita. Suomessa eri heittolajeja, myös moukaria, on tutkittu kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU), teknillisen korkeakoulun (TKK) ja Suomen urheiluliiton (SUL) projekteilla, joita Suomen Olympiakomitea on tukenut. Nämä tutkimukset ovat tuottaneet tärkeää tietoa valmentajille, jotka ovat tulosten avulla voineet tehostaa harjoittelua ja keskittyä oikeisiin asioihin.

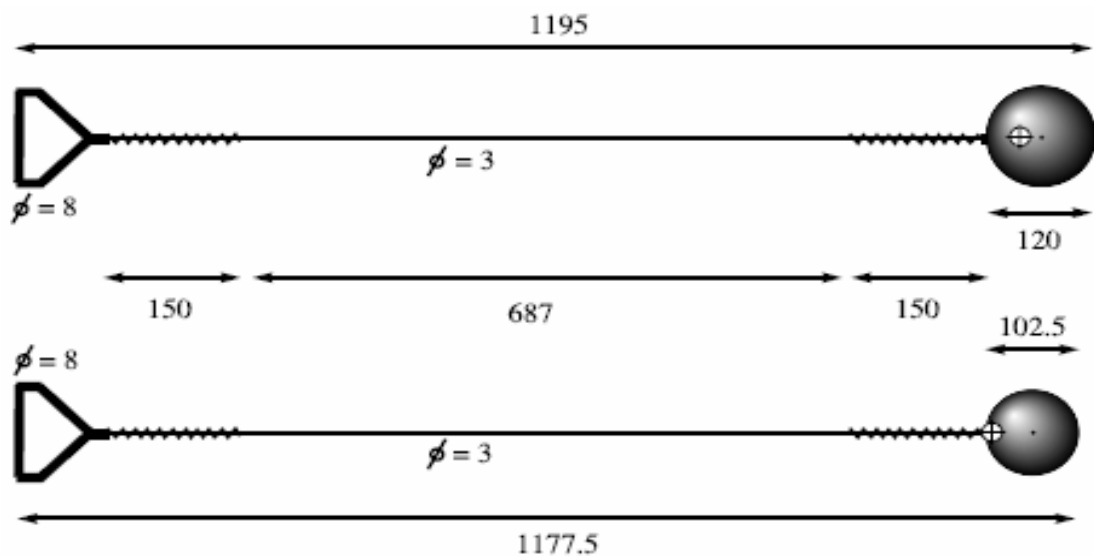
Urheilua ja etenkin voimaharjoittelua säännöllisesti harrastaneiden henkilöiden fyysiset ominaisuudet ovat korkeammalla saman ikäisiin tavallisiin ihmisiin verrattuna. Tämä voi näkyä jokapäiväisten toimien helpompana suorittamisena, vähentyneenä riskinä sairastua ja ennen kaikkea jokapäiväisten toimien suorittamiskyynä. Toki urheillessakin sattuu loukkaantumisia, jotka iäkkäillä voivat olla kohtalokkaita, mutta tapaturmien määrä on selkeästi pienempi voimaharjoittelulla kuin muilla saman ikäisillä.

Heittolajit ja niihin liittyvä voimaharjoittelu pitävät sisällään maksimivoimatyypin kuormituksen lisäksi myös räjähtävän voimantuoton elementtejä, joilla molemmilla voidaan perustellusti arvela olevan vaikutuksia yksilön räjähtävän voimantuoton ominaisuuksien kehittymiseen pitkällä aikavälillä (Zatsiorsky 1995, Izquierdo ym. 2002). Tämän tyyppisellä harjoittelulla voidaan arvela olevan vaikutusta myös yksilön voimantuotollisten ominaisuuksien säilymiseen ikääntymisen myötä (Pearson ym. 2002). Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eri muuttujien vaikutusta moukarin- ja painonheittosuoritukseen veteraaniheittäjillä. Tarkoituksena oli myös tutkia voimantuotollisten muuttujien vaikutuksia veteraaniheittäjän lajisuorituskykyyn.

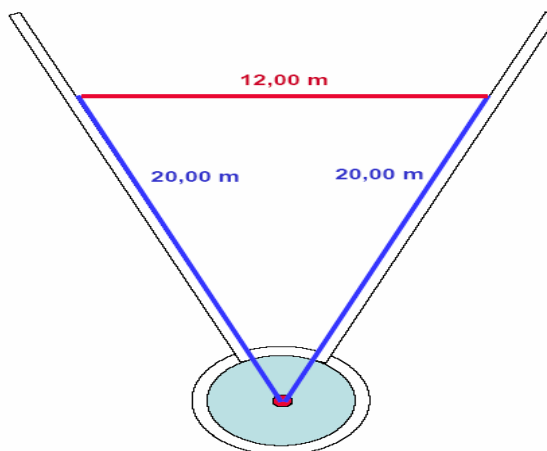
2 MOUKARINHEITON BIOMEKANIikka

2.1 Moukarinheiton säännöt

Miesten moukari painaa 7,260 kg ja naisten 4 kg. Veteraanisarjoissa käytetään eri painoisia välineitä miesten sarjoissa seuraavasti; M35, M40 ja M 45 sarjat heittävät 7,260 kg moukaria, M50 ja M55 6 kg moukaria, M60 ja M65 5 kg moukaria ja sarjat M70 ylöspäin 4 kg moukaria. Kuvasta 1 voidaan nähdä 7,260 kg:n ja 4 kg:n moukarin mitat. Varren pituus on miesten moukarissa 1175-1215 mm ja naisten 1160–1195 mm. Moukarinheittokehä on 2,135 m halkaisijaltaan. Heittosektori on 34,92° kuvan 2 mukaisesti.



KUVA 1. Moukarin mitat. (Dapena ym. 2003) Yllä 7,260 kg:n ja alla 4 kg:n moukari.



KUVA 2. Moukariheittosektorin mitat.

2.2 Moukarinheiton tekniikka

Moukarinheitto voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen; alkupyörähdykset, vauhtipyörähdykset ja loppuveto. Alkupyörähdyksen tavoitteena on antaa moukarille riittävä alkunopeus ja saattaa moukari oikealle pyörimisradalle. Vauhtipyörähdys jaetaan kahteen osaan; kahden tuen vaihe ja yhden tuen vaihe (kuva 3, vaiheet 1-4). Kahden tuen vaihe alkaa moukarin ollessa heittäjästä katsottuna takana ylhäällä oikealla (kuva 3, vaihe 4). Moukarin kiihdytys tapahtuu kahden tuen aikana. Moukari tuodaan keskivartalon kier-
tolihasten työllä eteen. Moukarin saavuttaessa radan alimman pisteen edessä vartalo ja jalat lähtevät kääntymään yhtäaikaaisesti vasemmalle pyörimissuuntaan (kuva 3, vaihe 5). Vaihe jatkuu siihen saakka, kunnes oikea jalka irtoaa maasta hetkellä, jolloin kiertoa vasemmalle on tapahtunut noin 90° (kuva 3, vaihe 6). Yhden tuen vaiheessa vasen jalka on kosketuksessa maahan oikean jalan kulkiessa mahdollisimman nopeasti tukijalan ohi (kuva 3, vaihe 7). Oikean jalan on tultava maahan, kun moukari on juuri ohittanut radan korkeimman pisteensä (kuva 3, vaihe 8). Vauhtipyörähdyksiä tehdään joko kolme tai neljä. Loppuvetossa moukarille annetaan lopullinen kiihtyvyyttä. Välineen nopeus ei kuitenkaan tässä vaiheessa kiihdy kuin 10–15%. Loppuveto alkaa, kun oikea jalka tulee maahan viimeisestä pyörähdyksestä (kuva 3, vaihe 16). Moukari tuodaan keskivartalon kierrolla eteen. Moukarin laskeutumisessa alimpaan pisteeseen polvet kääntyvät heittosuuntaan päin, jonka jälkeen tehdään nosto jaloilla ja saatetaan väline mahdollisimman laajalla liikeradalla. Moukarin ollessa noin hartian korkeudella, tapahtuu irrotus (kuva 3, vaihe 18). (Rinta-aho 2002, 58–76, Silvester 2003, 35.)

Moukarinheiton piirteisiin kuuluu, että lähtönopeus rakennetaan koko heiton aikana. 80 m:n heittäjillä heiton kokonaiskeston on havaittu neljän pyörähdyksen heittäjillä asettuvan 2,30 s:n molemmin puolin ja kolmea pyörähdystä käyttävillä 1,70–1,80 s:n paikoille. Kehon painopistettä on tärkeä painaa alaspäin, kun moukari saavuttaa korkeimman kohdan. Vastaavasti jaloilla ojennetaan hieman, kun moukari on alimmassa kohdassa. Näin tehdään, jotta heitto säilyisi tasapainossa, moukarin vetovoimalla on oltava vastavoima eli heittäjä. (Rinta-aho 2002, 26, Silvester 2003, 31.)



KUVA 3. Moukarinheiton tekniikka.

Kehon painopisteellä ja sen korkeudella on merkitystä sekä vartalon asennolla, jotta jalkoja voitaisiin käyttää apuna mahdollisimman tehokkaasti. Näillä tekijöillä on myös merkitystä pyrittäessä kiihdyttämään moukarin vauhtia. Moukarin kiihdyttäminen perustuu vartalon jännityksiin ja jännityksen purkamiseen pyörähdysten aikana. Tämä tarkoittaa, että kohti kahden tuen vaihetta mentäessä, lantion ja hartialinjan välille muodostuu kulma, joka aiheuttaa keskivartalon jännityksen. Kun jännitys puretaan kahden tuen vaiheessa, moukarin vauhti lisääntyy ja kulma pienenee lähelle nollaa. Mikäli heittäjällä säilyy suuri kulma (jännitys) vartalossa, tarkoittaa se, että hän ns. vetää moukaria perässä. Tällöin pyörähdyksissä vauhti ei kiihdy maksimaalisesti ja heiton liikerata on suppea. Jos kulma on negatiivinen, se tarkoittaa, että hartia-akseli ohittaa lantioakselin. Yleensä tällaista tapahtuu vain loppuviedon yhteydessä. Yleensä parhaat tulokset on saavutettu 45° maksimikiristyksellä, mutta hyvän liikkuvuuden omaavat heittäjät voivat päästä suurempiinkin lukemiin. (Rinta-aho 2002, 28, Silvester 2003, 33.)

2.3 Heiton pituuteen vaikuttavat tekijät

Moukarinheiton pituuden ilmatomassa tilassa määräävät mekaniikan lakien mukaan moukarin lähtönopeus, lähtökulma ja lähtökorkeus. Lähtönopeudella on suurin merkitys heiton pituuteen, 1 m/s vaikuttaa heittotulokseen noin 5 m verran. On arvioitu, että n. 30 m/s lähtönopeudella saavutetaan 80 metrin tulos (Otto 1990).

Optimilähtökulma on ilmanvastus ja heiton geometria huomioiden 43,59 astetta (Hubbard, 1989). 5 ° matalampi lähtökulma aiheuttaa noin 1 metrin heikkenemisen tuloksessa. Liian jyrkällä kulmalla heitettäessä hävitään usein lähtönopeudessa. On kuitenkin muistettava, että lähtönopeudella on suurin merkitys heiton pituuteen. Tämän vuoksi kannattaakin heittää mieluummin hieman matalalle kuin liian korkealle. (Rinta-aho 2002, 23.) Lähtökorkeuden merkitys heiton pituuteen on hyvin minimaalinen. Bartonietz ym. (1997) ovat arvioineet, että 44 ° asteen kulmaa heitettäessä 20 cm korkeammalle jatkuneella vedolla saavutetaan vain 18 cm tulosparannus.

Dapenan ym. (2003) mukaan heiton pituuteen vaikuttavat edellä mainittujen kinemaattisten tekijöiden lisäksi merkittävästi myös aerodynaamiset tekijät. Jos niitä ei oteta huomioon heiton pituus yliarvioidaan. Hubbard (1989) ilmoitti ilmanvastuksen vähentävän 90 metrin heittoa 5,7 metriä, Dapenan ym. (2003) tutkimuksessa eroksi laskettiin 3,8 metriä. De Mestren (1990) käyttämän yhtälön mukaan ilmanvastus vähensi heiton pituutta ainoastaan 1,6 metriä. Painavaan (7,265–7,285 kg) moukariin, vaijeriin ja kädensijaan ilmanvastuksen vaikutus tyynessä ilmassa on 75 m pituisessa heitossa n. 1,5 m luokkaa (Bartonietz ym. 1997). Mizeran ja Horvathin (2002) mukaan muita heittoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kilpailupaikan sijainti maapallolla, ilmalämpötila, tuulen nopeus ja ilmanpaine. Nämä eivät kuitenkaan ole yhtä merkittäviä kuin ilmanvastus.

3 MOUKARINHEITON VOIMANTUOTTO

3.1 Lihastoiminta heiton aikana

Moukarinheitto vaatii paljon jalkojen ja alaselän lihaksilta. Pyörähdyksissä keskipakoisvoimasta aiheutuva veto pyörimisradan suuntaan on kyettävä ottamaan vastaan pääosin alaselän staattisella lihastyöllä ja jaloilla. Alaselän lihasten voimakkuus sekä lantion oikea-aikainen käyttö on siten keskeistä lajin tärkeimpien lihasten voimavaatimuksia mietittäessä. Moukarin kiihdytys tehdään suurelta osin keskivartalon kiertoliikkeen avulla. Siksi selän ja vatsan kierto lihasten sekä kylkilihasten voimakkuus on tärkeä ominaisuus moukarinheittäjällä tehokkaan kiihdytysvaiheen aikaansaamiseksi. Jalkojen on kyettävä tuottamaan koko suorituksen ajan suuri voima (Rinta-aho 2002, 46.) Moukarin lähtönopeus 80 metrin heitossa on 29–30 m/s (Otto 1990). Välinettä kiihdytetään tasaisesti koko suorituksen ajan, joten moukarinheittoa ei voida pitää suurta räjähtävyyttä vaativana lajina. Keskivartalon staattisella voimalla on sen sijaan suuri merkitys mahdollisimman suuren liikelaajuuden säilyttämisessä keskipakoisvoimasta huolimatta heiton aikana (Bartonietz & Borström 1995). Tärkeää on säilyttää mahdollisimman suuri liikelaajuus koko suorituksen ajan (Maronski 1991).

3.2 Voimantuoton vaatimukset moukarinheitossa

Voimaharjoitteiden kuormituksessa tavoitteena on maksimivoimatason nostaminen pitkällä tähtämällä lajisuorituksen edellyttämälle tasolle (Taulukko 1). Hankittua maksimivoimatasoa pyritään lisäksi jatkuvasti jalostamaan heittosuoritusta palvelevaksi laji- ja nopeusvoimaharjoitteilla. Lajivoimaominaisuuksia kehitetään heittämällä ylipainoisia välineitä sekä tekemällä erilaisia keskivartaloa kehittäviä kierto liikkeitä. Voimaharjoittelua eri heittolajeissa määrää myös välineen paino, joka on yleisessä sarjassa 7,260 kg. Tämän tyyppinen harjoituskuormitus kohdistuu selvästi hermo-lihasjärjestelmän nopeaan osaan. (Yrjölä 2000, 32, Rinta-aho 2002, 49, Silvester 2003, 36, Haaranen 2004, 58.)

TAULUKKO 1. Valmennuskirjallisuudessa esitetyjä viitearvoja voimaominaisuuksista huippu-
tason yleisen sarjan mies- ja naismoukarinheittäjällä (mukaeltu, Rinta-aho 2002).

	Miehet	Naiset
Lajitulos (m)	80	65
8kg/3 kg moukari (m)	74	71
9kg/5 kg moukari (m)	68	54
10 kg moukari (m)	62	
Rinnalleveto (kg)	180	90
Tempaus (kg)	140	70
Jalkakyykky (kg)	270	140
Vauhditon pituus (cm)	330	280
Kuula pään yli taakse (7,26kg/4kg)	20,00	18,00

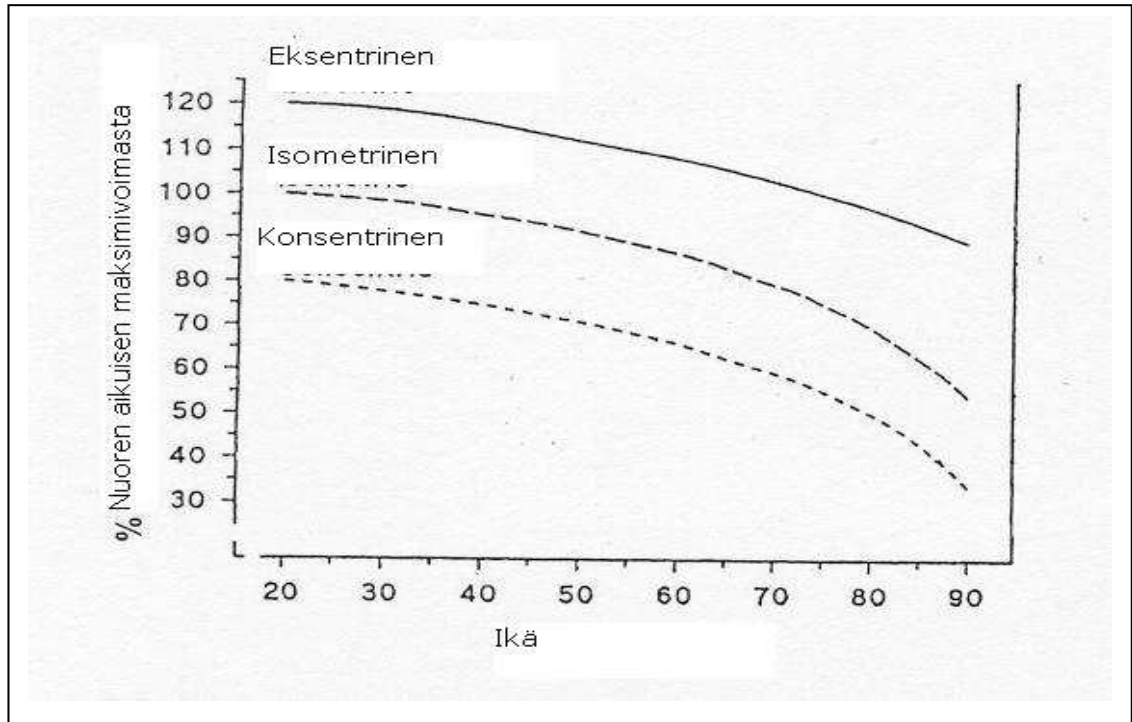
4 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMANTUOTTOON

4.1 Maksimivoima

Ihmisen lihaksisto saavuttaa korkeimman voimatasonsa 20–30 ikävuoden välissä, jonka jälkeen voimataso pysyy vakiona tai laskee vain vähän seuraavien 20 vuoden aikana. (Spiriduso 1995). Jyrkempi voimatason lasku on todettu yleensä alkavan 60 ikävuoden jälkeen. Maksimivoiman lasku 30 vuoden iästä 80 vuoden ikään voi olla jopa 30–40 %. (Larsson 1979, Bosco & Komi 1980, Vandervoort & McComas 1986, Häkkinen ym. 1995). Voiman lasku näyttää olevan suurempaa alavartalon lihaksissa verrattuna ylävartalon lihaksiin. Tähän on luultavasti syynä ikääntyvillä ihmisillä alavartalon raajojen vähentynyt käyttö verrattuna ylävartalon raajoihin. (Häkkinen 2003.)

Ikääntymisen vaikutukset voimantuottoon eroavat eri voimantuottotapojen välillä. Eksentrisen maksimivoiman laskun on ikäännyttäessä todettu olevan hitaampaa kuin konsentrisen ja isometrisen maksimivoiman lasku. Syytä tähän ei tarkasti tiedetä mutta osaksi sen arvioidaan johtuvan muutoksista lihasten sidekudusrakenteissa, jolloin lihaspituuden muutosta vastustavat voimat kasvavat. Näiden voimien vaikutukset summautuvat voimantuottoon eksentrisessä lihastyössä. Muina selittävinä tekijöinä tutkimuksissa on mainittu muutokset poikkisiltojen muodostumisen mekaniikassa ja hermostollisessa ohjauksessa. (Porter ym. 1995, Vandervoort 2002.)

Kuitenkin eksentrisen voimantuoton lasku on vähäisempää kuin konsentrisessä tai isometrisessä voimantuotossa (kuva 4). Ikääntymisen aiheuttama lihassuorituskyvyn muutos voi vaihdella ala- ja yläraajojen lihasten välillä, johtuen jokapäiväisten fyysisten aktiviteettien määrästä ja intensiteetistä. Lisäksi maksimaalisen tahdonalaisen agonistilihasten aktivaatio ja/tai agonisti/antagonisti koaktivaation tason vaihtelu voi myös vaihdella iän mukaan, riippuen lihasaktivaatiosta, liikkeen vaativuudesta ja liikkeen ajan tai kiihtyvyyden piirteistä. (Izquierdo ym. 1999a.)



Kuva 4. Eksentrisen, isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman muutos ikäännyttäessä (Vandervoort 2002).

Maksimivoiman vähenemiseen ikääntyvillä vaikuttaa lihasmassan väheneminen hormonitoiminnan muuttuessa, fyysisen aktiivisuuden tai intensiteetin väheneminen, huono ruokavalio ja muutokset hermolihasjärjestelmässä (Häkkinen 2003). Maksimivoiman vähenemiseen vaikuttaa myös tahdonalaisen hermostollisen käskytyksen väheneminen. Epätäydellinen lihasaktivaatio voidaan osittain selittää ikääntyvillä motoristen yksiköiden vähentyneellä syttymistäajuudella (Kamen ym. 1995, Häkkinen 2003). Ikääntyvillä tapahtuva voiman väheneminen on siten osaltaan seurausta maksimaalisen tahdonalaisen agonistin aktivaation vähenemisestä mutta myös antagonistien koaktivaation lisääntymisestä (Häkkinen ym. 1998). Eri tutkimustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava myös ikääntymisen myötä yleistyvät sairaudet ja erilaiset toiminnalliset vajavaisuudet, jotka usein vaikeuttavat ns. terveen ikääntymisen vaikutusten arviointia voimaominaisuuksiin (Skelton ym.1994).

Skelton ym. (1994) totesi isometrisen maksimivoiman polven ojennuksessa laskevan terveillä normaaliväestöön kuuluvilla miehillä noin 1,5 % vuodessa ikävuosien 65–89 välissä. Pearson ym. (2002) tutkimuksessa isometrisen maksimivoiman lasku polven ojennuksessa oli keskimäärin 0,6 % vuotta kohden 45–85-vuotiailla aktiivisesti kilpai-

levilla veteraanipainonnostajilla. Isometrisen maksimivoiman väheneminen iän myötä ei eronnut kilpanostajien ja kontrolliryhmän välillä, vaikka kilpanostajat olivatkin merkittävästi vahvempia. Izquierdo ym.(1999b) totesi 70-vuotiaiden miesten kykenevän isometrisessä polven ojennuksessa tuottamaan 54 % 20-vuotiaiden voimasta ja 71 % 40-vuotiaiden voimatasosta. Häkkisen ym. (1998) mukaan 70-vuotiaat tuottivat isometrisessä jalkojen ojennuksessa 25 % vähemmän voimaa kuin 40-vuotiaat. Isometrisen voimantuoton nopeudessa voimantuotto on hitaampaa iäkkäämmillä henkilöillä. Voimataso nostaminen samalle suhteelliselle tasolla maksimivoimasta kestää ikääntymisen myötä yhä kauemmin. Relaksaatioajan on myös todettu pitenevän ikääntyneillä ja voima-aika käyrän muoto muuttuu näin ollen alku- ja loppupäästä loivemmaksi. Voimantuottonopeudessa erot ikäryhmien välillä näyttäisivät myös olevan suurempia kuin erot maksimivoimassa. (Vandervoort & McComas 1986, Häkkinen ym. 1995, Izquierdo ym. 1999b.)

Maksimivoiman väheneminen tapahtuu tasaisesti jalkojen ja käsien välillä, tosin riippuen päivittäisen fyysisen aktiivisuuden määrästä ja laadusta (Izquierdo ym. 1999a). Izquierdon ym. (1999a) mukaan 65-vuotiaat miehet tuottivat konsentrisessa bilateraalises- sa penkkipunnerruksessa 21 % ja isometrisessä puristusvoimassa 17 % vähemmän kuin 40-vuotiaat miehet.

4.2 Nopeusvoima

Kyky tuottaa voimaa nopeasti on tärkeää jokapäiväisten liikkeiden kannalta. Nopeusvoimaa harjoittelemalla pystyttäisiin ennaltaehkäisemään kaatumisia, parantamaan portaiden nousua ja kävelyä ja lisäämään itsenäisen elämän kapasiteettia ja samalla myöhäistämään avun tarvetta (Häkkinen 2003).

Hermo-lihasjärjestelmän kyky tuottaa maksimaalinen teho on tärkeää urheilussa erityisesti lajeissa kuten esim. pikajuoksu, hyppy, heitot, jotka vaativat lihasvoiman ja nopeuden tehokasta yhdistämistä. Maksimaalinen teho on todettu syntyvän noin 30–45 % voimatasolla maksimaalisesta voimasta. On kuitenkin todennäköistä, että kuormanopeus ja kuorma-tehon käyrien muoto vaihtelee eri lihasryhmien välillä, riippuen esim.

lihastyypistä, urheilulajista ja/tai kineettisten ketjujen biomekaanisista ominaisuuksista sekä henkilön iästä. (Izquierdo et al. 2002).

Ikääntyminen aiheuttaa lihasvoiman vähenemistä, erityisesti nopean voimantuottokyvyn vähenemistä, sekä konsentrisissa (Larsson ym. 1979), että isometrisissä (Vandervoort ja McComas 1986) liikkeissä. Jokapäiväisten toimintojen kannalta voiman ja nopean voimantuoton väheneminen on huomattavaa etenkin jalkojen ojentajissa (Izquierdo ym. 1999a).

Ikääntymisen mukanaan tuoman voimatason laskun on todettu olevan suurempia nopeusvoima-ominaisuuksissa kuin maksimivoimaominaisuuksissa (Bosco & Komi 1980, Skelton ym. 1994, Häkkinen ym. 1996 & 1998, Izquierdo ym. 1999b, Pearson ym. 2002). Skelton ym.(1994) totesi, että räjähtävän voimantuoton kykyä kuvaava teho laski konsentrisessa polven ojennuksessa vastaavasti 3 % vuosittain saman lihasryhmän osalta. Häkkisen ym. (1998) mukaan staattisessa hypyssä ikääntyneet pystyivät vain 54 % suoritukseen 40-vuotiaiden tuloksesta. Nopeusvoiman väheneminen näyttäisi siis olevan kaksin verroin nopeampaa, kuin isometrisen maksimivoiman lasku. Veteraaniurheilussa on mahdollista, että 85-vuotias painonnostossa kilpaileva mies kykenee alaraajojen voimaominaisuuksiltaan samalla tasolle kuin 65- vuotias ei voimaharjoittelua toteuttava mieshenkilö (Pearson ym. 2002). Izquierdon ym. (1999a) mukaan 40-vuotiaat tuottivat suurimman tehon 60 % kuormalla ja 65-vuotiaat 70 % kuormalla maksimista. Ylävartalon lihakset pystyvät tuottamaan maksimaalisen tehon 30–45 % kuormilla maksimista. 40-vuotiaat tuottivat suurimman tehon 45 % kuormalla, kun taas 65-vuotiaat 30 % kuormalla maksimista.

5 LIIKEANALYYSIN KÄYTTÖ MOUKARINHEITTO SUORITUKSEN ARVIOINNISSA

5.1 2-D analyysi

2-D liikeanalyysissä käytetään yhtä kameraa, jonka optisen akselin tulee olla 90° kulmassa kohti kuvattavaa kohdetta. Kamera stabiloidaan niin, että liikettä ei pääse tapahtumaan. Liikeanalyysiä tehtäessä on otettava huomioon kuinka nopea analysoitava liikesuoritus on, tällöin voidaan määrittää tarvittava kuvanopeus eli kuinka monta kuvaa sekunnissa kuvataan, esim. 100 kuvaa/s. Kamera käynnistetään muutama sekunti ennen varsinaista kuvaushetkeä, jotta kuvanopeus ehtii vakioitua. 2-D analyysissä käytetään yleensä heijastavia markkereita. Tietokoneohjelmien avulla saadaan tietoon esim. massakeskipiste, lähtönopeus ym. Yleensä liikeanalyysi vielä yhdistetään muihin muuttujiin, esim. EMG:hen tai voimadataan. Tällöin saadaan kattava analyysi suorituksesta ja sen muuttujista. (Allard ym. 1995.)

5.2 3-D analyysi

3-D analyysissä käytetään kahta tai useampaa kameraa. Kameran voidaan sijoittaa vapaammin kuin 2-D analyysissä. Tämä johtuu siitä että 3-D analyysissä käytetään kalibrointikehikkoa. 3-D analyysissä on myös muistettava synkronisoida kamerat jollakin tavalla, esim. jollakin liikkeellä tai valolla joka näkyy kaikissa kameroissa. (Allard ym. 1995.) 3-D liikeanalyysin avulla valmentajat voivat kuvata jonkin tietyn kehonosan liikettä ja saada näin tarkkaa tietoa sen vaikutuksesta kokonaissuoritukseen., esim. moukarivalmentajat voivat keskittyä jalkojen liikkeisiin suhteessa massakeskipisteeseen ja moukarinpään liikkeeseen. Näitä tietoja voi käyttää sekä valmentaja että urheilija pyritäessä entistä parempaan ja teknisesti puhtaampaan suoritukseen. (Bartlett 1999.)

5.3 2-D ja 3-D analyysien erot

2-D ja 3-D analyysien suurin ero on 3-D analyysin tarkkuus verrattuna 2-D analyysiin. Tämä johtuu siitä, että 3-D analyysissä käytetään useampaa kameraa ja pystytään tarkasti laskemaan kohteen sijainti 3-ulotteisessa avaruudessa. 3-D analyysissä päästään

muutaman millimetrin tarkkuuteen riippuen tarkasteltavasta liikkeestä ja kameramäärästä. 2-D analyysissä mahdollisten virhetekijöiden määrä on suurempi ja vaihtelu tuloksissa voi olla isoakin. (Allard ym 1995)

2-D analyysissä syntyviä virheitä voidaan kuitenkin korjata melko helposti, käyttäen ulkopuolisia muuttujia, esimerkiksi määriteltäessä kuulantyönnön pituutta 2-D analyysin avulla. Käyttämällä mitattua kuulan maahantulopaikkaa ja tunnettua painovoiman arvoa, päästiin tuloksiin, joissa arvioitu ja mitattu työnnön pituus ei eronnut kuin korkeintaan 1 cm. (Sih ym. 2001.) Rashin ym. (1999) tutkimuksen mukaan virhe oli säännöllisesti alle 1 mm 3-analyysiä käytettäessä.

5.4 Liikeanalyysin käyttö heittolajien suoritusten arvioinnissa

Yleisurheilun heittolajeissa liikeanalyysillä pyritään selvittämään heiton pituuteen perusparametreja; lähtönopeutta, lähtökulmaa ja lähtökorkeutta. Näiden parametrien muutosten perusteella voitaneen kehittää ajatusta heittäjien yksilöllisen tekniikan kehittämiseksi ja heiton pituuden lisäämiseksi optimoimalla oikea lähtö- ja heittoasento. (Rintaho 2002, 21.)

Moukarinheitossa liikeanalyysi tehdään yleensä käyttäen 3-D analyysiä. Yleisurheilun MM-kisoissa 1999 tehtiin liikeanalyysi miesten ja naisten moukarinheiton finaalistien suorituksista. Suoritus kuvattiin kahdella kameralla (50 Hz) ja kalibrointiin käytettiin ikuution mallista kehikkoa, josta määritettiin 20 eri pistettä. Aluksi määritettiin 21 kehon pistettä 14 kehon segmentistä ja moukarin pään keskipiste kummastakin kuvastusta suunnasta. Kuvat synkronisoitiin ja määritettiin 3-D koordinaatit. Segmenttien massat ja massakeskipisteet määritettiin aikaisempien tutkimusten mallien mukaan, samoin kuin 3-D koordinaatit heittäjä-moukarin parin massakeskipisteelle. Analyysistä saatiin tarkat arvot heiton eri vaiheiden kestoille (esim. kahden tuen vaihe), moukarin lähtötekijöille (lähtönopeus, -kulma ja -korkeus) ja välineen ja maan kulmalle heiton eri vaiheissa. (Gutierrez ym. 2002.)

6 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eri heittotekniikan muuttujien vaikutusta moukarin- ja painonheittosuoritukseen veteraaniheittäjillä. Tarkoituksena oli myös tutkia voimantuotollisten muuttujien vaikutuksia veteraaniheittäjän lajisuorituskykyyn.

Tutkimusongelmat olivat:

1. Mitkä lajitekniikan muuttujat vaikuttavat eniten heiton pituuteen?
2. Miten hermolihasjärjestelmän suorituskyky vaikuttaa heiton pituuteen?

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui vapaaehtoisesti 12 koehenkilöä, jotka olivat iältään 44 – 80 – vuotiaita miehiä. Koehenkilöt harrastivat ja kilpailivat aktiivisesti yleisurheilun veteraanisarjoissa moukarin- ja painonheitossa (taulukko 2). Vuoden 2002 kilpailutulosten perusteella valittiin henkilöt, joille lähetettiin kyselylomake, jossa tiedusteltiin aikaisempia kilpailutuloksia, saavutuksia, harjoittelumääriä ja terveydentilaa. Kyselyn perusteella valittiin tutkimukseen sopivat koehenkilöt ikäryhmittäin. Kaikille koehenkilöille kerrottiin ennen tutkimuksen alkua mahdolliset riskit ja epämukavuudet ja he kaikki allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Koehenkilöt olivat tietoisia, että he voivat keskeyttää missä vaiheessa tahansa tutkimuksessa mukanaolon. Tutkimuksen toteuttamiseen saatiin Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksyntä.

Taulukko 2. Koehenkilöiden ikä, harjoitusmäärä viikossa ja voimatuloksia (keskiarvo ja keskihajonta). Voimatulokset on tehty kuukauden kuluessa mittauksen jälkeen itsenäisesti kenttätesteinä.

	(N=12)
IKÄ (V)	63,0 (±10,0)
VAIHTELUVÄLI (V)	44 – 80
HARJOITUSTAUSTA (V)	31,1 (±17,3)
VOIMAH./VK (LKM)	1,6 (±1,0)
HEITTOH./VK (LKM)	2,2 (±1,1)
JALKAKYYKKY (KG)	124,1 (±36,1)
PENKKIPUNNERRUS (KG)	80,9 (±18,1)
RAAKA RINNALLEVETO (KG)	76,8 (±21,3)
VAUHDITON PITUUS (CM)	217,3 (±31,8)

7.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin Jyväskylässä liikuntabiologian laboratoriossa syksyn 2003 aikana. Koehenkilöille suoritettiin ensin antropometriset mittaukset, joihin kuuluivat pituuden, painon, rasvaprosentin ja lihaspaksuuden määrittäminen. Tämän jälkeen koehenkilöt suorittivat isometrisen voiman testit jalkojen ojennuksessa ja koukistuksessa, käsivarren ojennuksessa ja koukistuksessa ja vartalon ojennuksessa ja koukistuksessa. Lisäksi he suorittivat tehon mittaukset jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja rinnallevedossa. Seuraavaksi siirryttiin heittopaikalle, jossa suoritettiin lämmittely ja heitot yhdellä, kahdella ja kolmella pyörähdyksellä heittäjän oman tottumuksen mukaan. Koehenkilöiltä kuvattiin ja analysoitiin myös heidän kilpailusuorituksensa moukarinheitossa.

7.3 Mittaukset

Antropometria. Koehenkilöiden pituus mitattiin käyttäen kiinteää seinämittaa. Paino mitattiin elektronisella vaa'alla. Rasvaprosentin mittauksessa käytettiin Bodystat 1500 bioimpedanssimittaria, joka määrittää koehenkilön oikeaan käteen ja oikeaan jalkaan kiinnitettyjen elektrodien avulla rasvaprosentin. Kehon rasvaprosentti määritettiin myös rasvapihdeillä, jonka mittariosa oli John Bull British Indication ja pihtiosa Harper Caliber. Mittauksessa käytettiin neljän pisteen menetelmää, jossa ihopoimut mitattiin biceps brachii - ja triceps brachii - lihaksista, lapaluun kärjen suuntaisesta poimusta ja suoli luun harjun päällä olevasta ihopoimusta. Rasvaprosentti määritettiin Durnin & Wormersley (1974) taulukkoa käyttäen, jossa otetaan huomioon koehenkilön ikä. Lihaksen paksuus määritettiin ultraäänilaitteen (Aloka Fanasonic SSD-190) avulla vastus lateralis ja vastus intermediuksen yhteispaksuus ja triceps brachiin paksuus. Mittauskohdat määritettiin Seniamin (1999) suositusten mukaan. Polvikulma oli 90 ° mittausten aikana. Mittaus toistettiin 2-4 kertaa ja mittausten keskiarvo otettiin mittaustulokseksi.

Voimamittaukset. Isometrinen maksimivoima mitattiin bilateraalisesti polven ojennuksessa sekä dynamometrissä (Komi 1973) että jalkakyyky suorituksessa. Polven unilateraalinen ojennus tehtiin David 200 laitteessa (David fitness and medical). Käsivarren bilateraalinen ojennus suoritettiin penkkipunnerrusliikkeenä ja unilateraalinen koukistus voimapanikissa 90 ° olka-, kyynärvarren kulmalla. Vartalon isometriset maksimivoimat

mitattiin käyttäen vartalodynamometriä (Rantanen ym. 1997). Tehon mittaamisessa käytettiin potentiometriä (Izquierdo ym. 2002) ja Ballistic Measurement Systemsiä (Innervations, Indiana, USA). Ohjelmaan syötettiin tangon massa, jolloin pystyttiin teho laskemaan käyttäen kaavaa $P=Fv$, jossa $F=mg$. Suoritukset tehtiin voimalevyjen päällä (Kistler, keräystaajuus 1000Hz). Polvikulman muutoksia kontrolloitiin elektronisella goniometrillä (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä), jonka signaali myös tallennettiin tietokoneelle.

Kuva-analyysi. Suoritukset kuvattiin Canon XM-2 digitaalisella (50 Hz) videokameralla sivulta painonheitossa ja sivulta ja takaa moukarinheittosuorituksissa. Analyysissä käytettiin Dart Trainer Pro 2.5 kuva-analyysiohjelmaa.

Kenttätestit. Koehenkilöt suorittivat itsenäisesti annettujen ohjeiden mukaisesti ja todistajan läsnä ollessa seuraavat kenttätestit; vauhditon pituus, kuulun heitto pään yli taakse ja jalkojen välistä eteen (käyttäen oman sarjan välinettä) ja salilla raaka rinnalleveto, jalkakyykky ja penkkipunnerrus. Tulokset kirjattiin omalle kaavakkeelleen ja lähetettiin takaisin tutkijalle. Kenttätestit tehtiin kuukauden kuluessa laboratoriomittauksista.

7.4 Analyysit

Painonheitossa analysoitiin koehenkilöltä useampi heitto, kuitenkin mahdollisimman suorat eli sektorin keskelle heitetyt. Heitoista tarkasteltiin pyörähdysten lukumäärää, lähtökulmaa, lähtönopeutta, kaksoistukivaiheiden kestoa ja pyörähdysten kestoa. Lisäksi tarkasteltiin välineeseen rakennetun voimalevyanturin avulla välineeseen kohdistunutta voimaa heiton eri vaiheissa.

Moukarinheitossa analysoitiin paras suoritus, jos paras heitto oli mennyt sivuun, analysoitiin toiseksi paras heitto, jos se oli osunut keskelle sektoria eikä ole 2,5 % heikompi kuin paras. Suorituksesta tarkasteltiin pyörähdysten lukumäärää, lähtökulmaa, lähtönopeutta, lähtökorkeutta, takakulmaa, alkunopeutta, pyörähdysten nopeutta, kaksoistukivaiheiden kestoa, pyörähdysten kestoa, jalkojen leveyttä, painopisteen korkeutta ja kyy-närpään kulmaa.

7.5 Tilastolliset analyysit

Aineiston tilastolliseen käsittelyyn käytettiin SPSS 11.01 for Windows- ja Excel Office XP – ohjelmia. Tilastollisessa analyysissä käytettiin keskiarvoja, keskihajontoja, keski-
virheitä ja korrelaatioita. Tilastollisen merkitsevyyden havaitsemiseksi asetettiin merkit-
sevyyden rajat seuraavasti; tilastollisesti merkitsevä * = $p < 0.05$, tilastollisesti hyvin
merkitsevä ** = $p < 0.01$ ja tilastollisesti erittäin merkitsevä *** = $p < 0.001$.

8 TULOKSET

8.1 Antropometriset mittaukset

Koehenkilöt olivat $176,5 \pm 7,7$ cm pitkiä ja painoivat $88,4 \pm 10,4$ kg. Taulukosta 3 voidaan lisäksi nähdä koehenkilöiden lihaspaksuus reidestä (VL+VIM) ja käsivarren ojentajasta (TB) mitattuna ja kehon rasvaprosentti sekä bioimpedanssilla että ihopoimuilla mitattuna.

Taulukko 3. Antropometriset mittaustulokset (keskiarvo ja hajonta).

Ikä (v)	Pituus	Paino	Lihaspaksuus		Rasva %	
	(cm)	(kg)	VL+VIM (cm)	TB (cm)	Bioimpedanssi	Ihopoimu
63.3	176.5	88.4	4.0	3.0	25.9	26.4
10.2	7.7	10.4	0.6	0.4	4.9	6.2

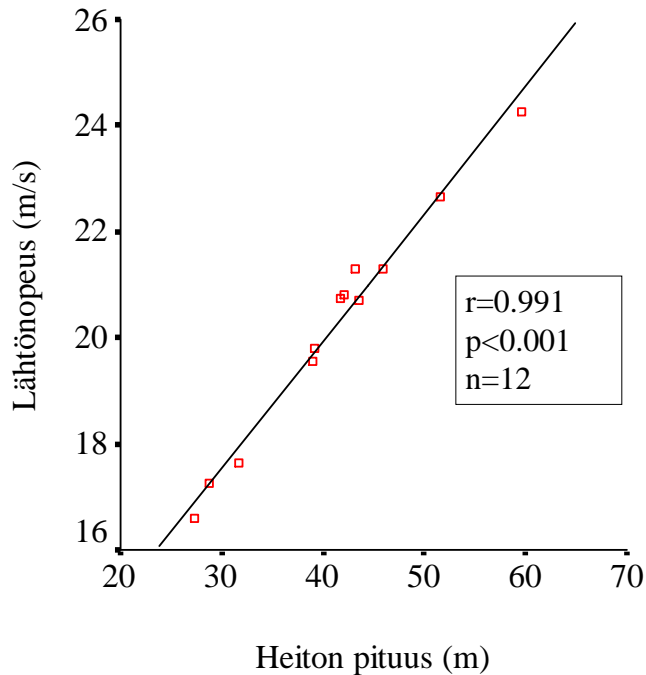
8.2 Heiton pituuteen vaikuttavat tekijät

Taulukko 4. Heittojen lähtökulmat, lähtönopeudet, irrotuskorkeudet ja pituudet (keskiarvo ja hajonta) koehenkilöittäin lähtönopeuden mukaan paremmuusjärjestyksessä.

KH	Lähtökulma (°)	Lähtönopeus (m/s)	Lähtökorkeus (m)	Tulos (m)
1	41.7	24.25	2.17	59.55
2	40.2	22.65	2.13	51.56
3	41.2	21.30	1.33	45.84
4	34.6	21.30	1.71	43.23
5	36.4	20.80	1.90	42.13
6	35.8	20.75	2.32	41.65
7	43.4	20.70	1.51	43.61
8	39.1	19.80	1.48	39.12
9	46.0	19.55	1.70	38.94
10	43.1	17.65	1.09	31.69
11	35.7	17.25	1.14	28.75
12	37.9	16.60	1.97	27.23
Ka.	39.6	20.22	1.70	41.11
SD	3.6	2.23	0.41	9.18

Kilpailusuorituksessa välineen lähtökulma oli keskimäärin $39,6^\circ \pm 3,6^\circ$, lähtönopeus $20,22 \pm 2,23$ m/s ja lähtökorkeus $1,70 \pm 0,41$ m (taulukko 4). Eniten heiton pituuteen korreloi välineen lähtönopeus ($r=0.991$, $p=0.008$, $n=12$) (kuva 5). Lähtökorkeuden koh-

dalla korrelaatio lähestyi merkittävää ($r=0,511$, $p=0,089$, $n=12$) ja lähtökulmassa korrelaatio ei ollut merkittävä ($r=0,198$, $p=0,537$, $n=12$).



Kuva 5. Lähtönopeuden ja heiton pituuden korrelaatio.

Taulukosta 5 nähdään yhden tuen ja kahden tuen kesto pyörähdysten aikana, sekä veto-
vaiheen kesto, suorituksen kokonaiskesto ja kahden tuen vaiheiden prosentuaalinen
osuus kokonaisajasta.

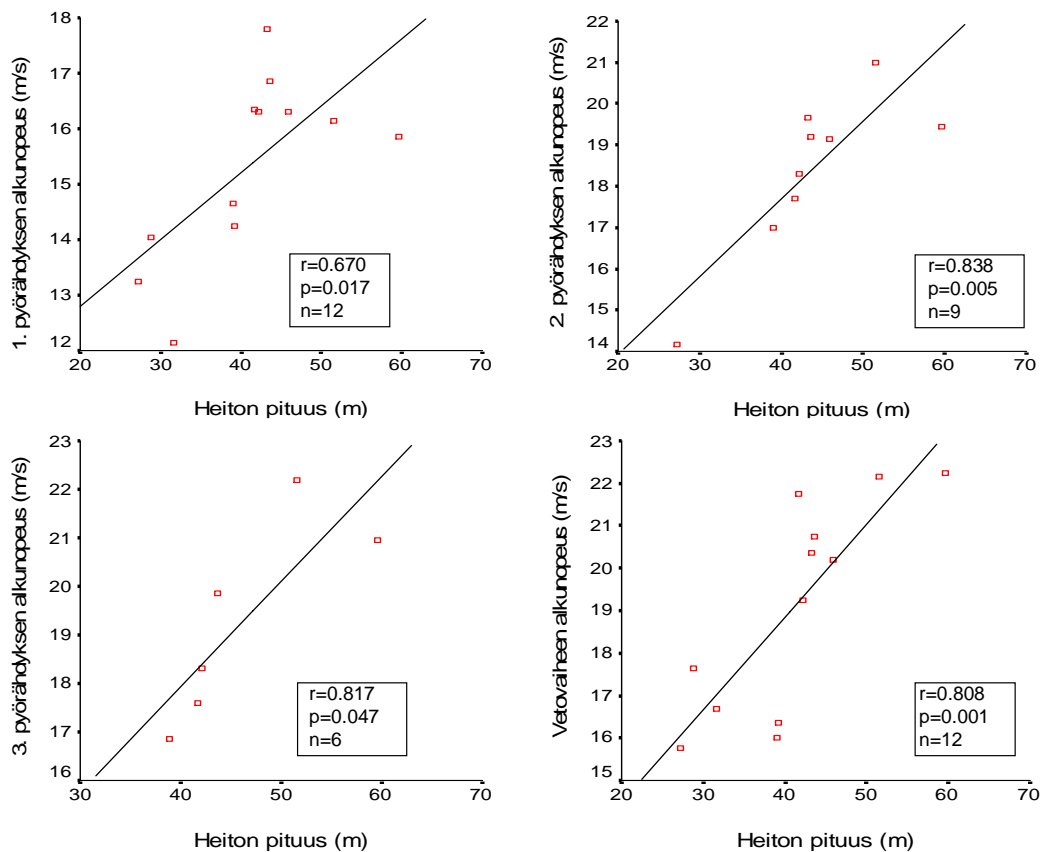
Taulukko 5. Heiton eri vaiheiden kestot (s) ja kahden tuen osuus (kt- %) koehenkilöittäin lähtö-
nopeuden mukaan paremmuusjärjestyksessä. (kt=kahden tuen vaihe, yt=yhden tuen vaihe)

KH	Tulos (m)	1. pyö- rähdys		2. pyö- rähdys		3. pyö- rähdys		4. pyö- rähdys		Veto		KT- % YHT
		kt	yt	kt	yt	kt	yt	kt	yt	kt	yt	
1	59.55	0.24	0.4	0.38	0.36	0.30	0.32	0.26	0.3	0.36	2.92	52.7
2	51.56	0.30	0.28	0.32	0.42	0.20	0.36			0.30	2.18	51.4
3	45.84	0.30	0.28	0.30	0.36					0.30	1.54	58.4
4	43.23	0.18	0.32	0.32	0.38					0.34	1.54	54.5
5	42.13	0.22	0.36	0.46	0.38	0.30	0.34			0.66	2.72	60.3
6	41.65	0.12	0.46	0.36	0.4	0.26	0.44			0.42	2.46	47.2
7	43.61	0.20	0.32	0.32	0.32	0.26	0.3			0.52	2.50	62.4
8	39.12	0.26	0.48							0.36	1.10	56.4
9	38.94	0.24	0.44	0.44	0.38	0.34	0.44			0.36	2.64	52.3
10	31.69	0.10	0.48							0.50	1.08	55.6
11	28.75	0.26	0.44							0.40	1.10	60.0
12	27.23	0.34	0.54	0.48	0.38					0.62	2.36	61.0

Heiton kokonaiskesto, yhden ja kahden tuen vaiheiden kesto ja vetovaiheen kesto ei korreloinut merkittävästi heiton pituuden kanssa. Kahden tuen vaiheen prosentuaalinen osuus ei myöskään korreloinut merkittävästi heiton pituuden kanssa.

Taulukko 6. Nopeuden (m/s) vaihtelut heiton eri vaiheissa ja loppuvedon merkitys (veto- %, = nopeuden kasvu vetovaiheen aikana).

KH	Tulos (m)						Veto- %
	1. pyörähdys	2. pyörähdys	3. pyörähdys	4. pyörähdys	Veto		
1	59.55	15.9	19.5	21.0	20.6	22.3	7.6
2	51.56	16.2	21.0	22.2		22.2	-0.2
3	45.84	16.3	19.2			20.2	5.2
4	43.23	17.8	19.7			20.4	3.4
5	42.13	16.3	18.3	18.3		19.3	4.9
6	41.65	16.4	17.7	17.6		21.8	19.1
7	43.61	16.9	19.2	19.9		20.8	4.3
8	39.12	14.3				16.4	12.8
9	38.94	14.7	17.0	16.9		16.0	-5.3
10	31.69	12.2				16.7	27.2
11	28.75	14.1				17.7	20.4
12	27.23	13.3	14.2			15.8	10.2



Kuva 6. Heiton eri vaiheiden nopeuden ja heiton pituuden korrelaatio.

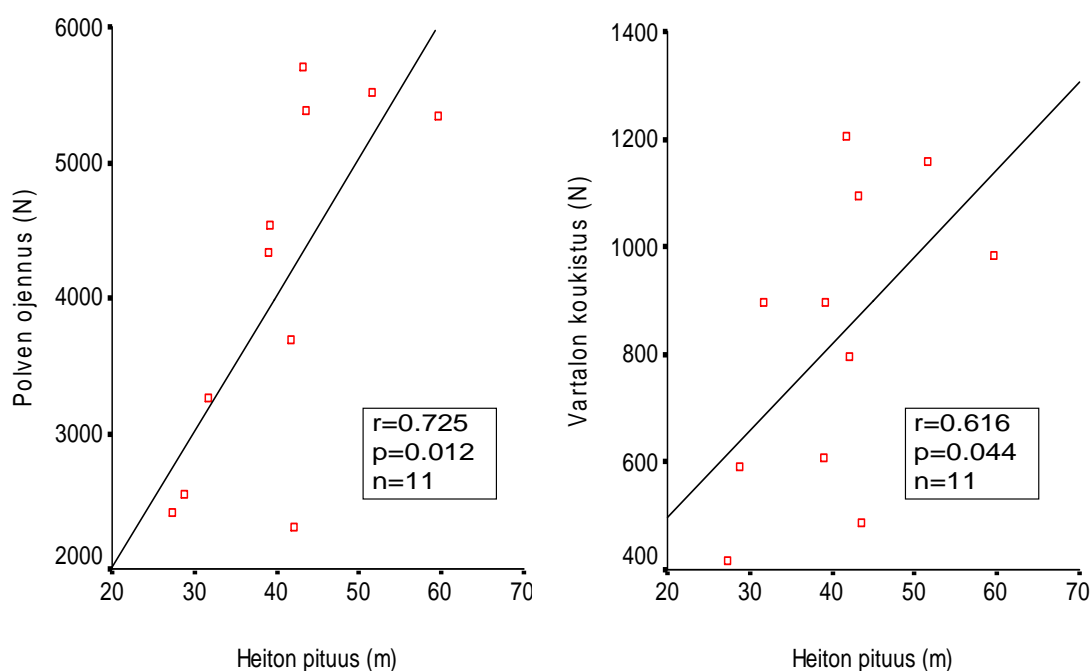
Väliseen nopeus heiton eri vaiheissa voidaan nähdä taulukosta 6. 1. pyörähdyksen alkunopeuden ja heiton pituuden välillä tulee merkitsevä korrelaatio ($r=0.670$, $p=0.017$, $n=12$). Vertailtaessa 2. pyörähdyksen alkunopeutta heiton pituuteen saadaan niiden välille merkittävä korrelaatio ($r=0.838$, $p=0.005$, $n=9$). Myös verrattaessa 3. pyörähdyksen alkunopeutta heiton pituuteen muodostuu niiden välille merkittävä korrelaatio ($r=0.817$, $p=0.047$, $n=6$). Vetovaiheen alkunopeuden ja heiton pituuden välille muodostuu samoin merkittävä korrelaatio ($r=0.808$, $p=0.001$, $n=12$). (kuva 6.)

8.3 Isometrisen voimantuoton yhteys moukarinheittosuorituksiin

Taulukko 7. Isometrisen voimantuoton mittaustulokset (keskiarvo ja hajonta).

Dynamometri (N)	Polven koukistus (N)	Hauiskääntö (N)	Penkipunnerrus (N)	Vatsa (N)	Selkä (N)
4095.7	392.5	362.6	582.0	830.5	718.1
1314.8	123.5	39.6	124.7	273.3	196.3

Koehenkilöiltä mitattujen voima-arvojen keskiarvot ja vaihteluväli nähdään taulukosta 7. Isometrisen voimantuoton mittauksista heiton lähtönopeuden kanssa korreloi merkittävästi dynamometrillä suoritettu polvien ojennus ($r=0.725$, $p=0.012$, $n=11$) ja vatsalihaksilla suoritettu vartalon koukistus ($r=0.616$, $p=0.044$, $n=11$). (Kuva 7) Muut suoritettu voimamittaukset eivät korreloineet merkittävästi lähtönopeuden kanssa.



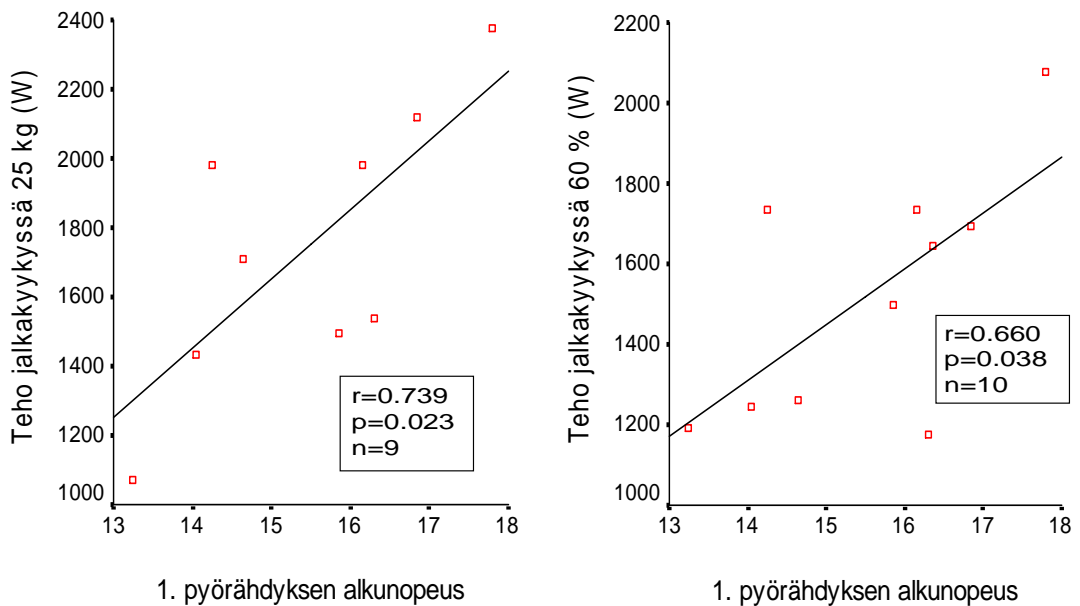
Kuva 7. Isometrisen polven ojennuksen ja vartalon koukistuksen ja heiton pituuden korrelaatio.

8.4 Tehontuoton yhteys moukarinheittosuorituksiin

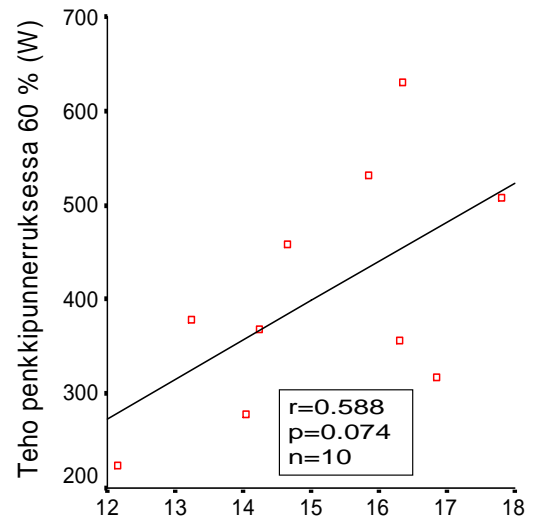
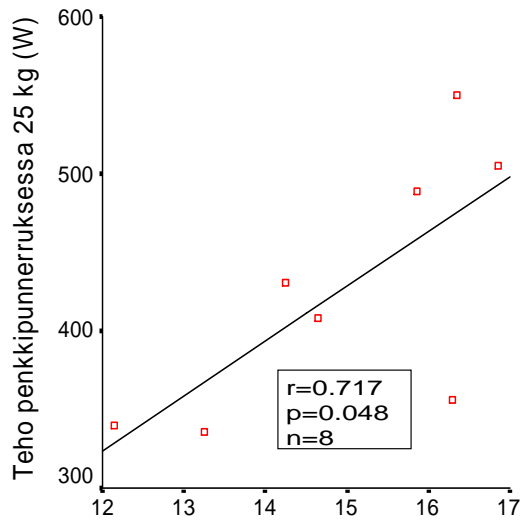
Tuotettu teho oli jalkakyykyssä suurimmillaan 60 % kuormalla isometrisestä maksimista, rinnallevedossa taas 60 % kuormalla isometrisestä maksimista ja penkkipunnerruksessa 25 kg kuormalla isometrisestä maksimista (taulukko 8). Koehenkilöiden tuottama teho näytti korreloivan läheisesti moukarin 1. pyörähdyksen alkunopeuden kanssa moukarinheittosuorituksessa. Jalkakyykyssä korrelaatio oli merkittävä 25 kg ($r=0.739$, $p=0.023$, $n=9$) ja 60 % kuormilla ($r=0.660$, $p=0.038$, $n=10$) (kuva 8). Penkkipunnerruksen ja 1. pyörähdyksen alkunopeuden välillä oli merkitsevä korrelaatio 25 kg kuormalla ($r=0.717$, $p=0.048$, $n=8$) ja merkittävää lähestyvää 60 % kuormalla ($r=0.588$, $p=0.074$, $n=10$) (kuva 9). Rinnalleveto liikkeessä tuotetun tehon ja 1. pyörähdyksen alkunopeuden korrelaatio lähestyi merkittävää 25 kg ($r=0.684$, $p=0.062$, $n=8$) ja 30 % kuormilla ($r=0.686$, $p=0.089$, $n=7$) (kuva 10).

Taulukko 8. Tehontuoton mittaustulokset watteina (W) (keskiarvo ja hajonta) (jk = jalkakyyky, rv = rinnalleveto ja pp = penkkipunnerrus).

	jk 25 kg	jk 30 %	jk 60 %	rv 25 kg	rv 30 %	rv 60 %	pp 25 kg	pp 60 kg
Ka.	1797.1	1899.3	1604.8	584.0	710.4	821.7	426.9	404.9
SD	567.3	424.7	473.0	158.9	173.3	120.9	81.4	125.3



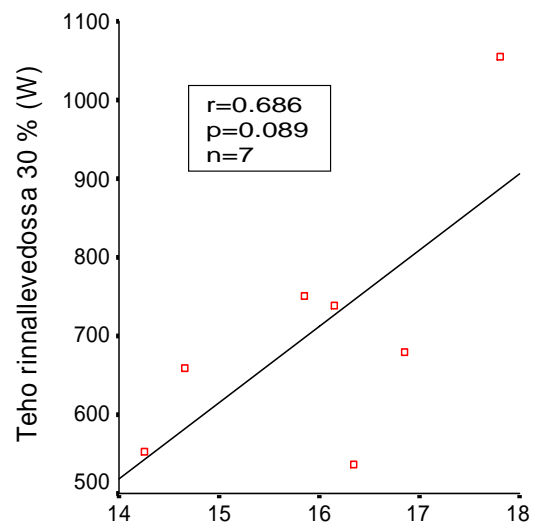
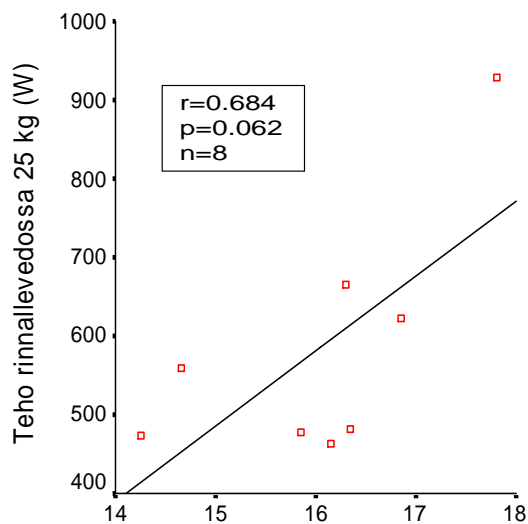
Kuva 8. Jalkakyykyssä 25 kg ja 60 % kuormilla tuotetun tehon ja 1. pyörähdyksen alkunopeuden korrelaatio.



1. pyörähdyksen alkunopeus

1. pyörähdyksen alkunopeus

Kuva 9. Penkkipunnerruksessa 25 kg ja 60 % kuormilla tuotetun tehon ja 1. pyörähdyksen alkunopeuden korrelaatio.



1. pyörähdyksen alkunopeus

1. pyörähdyksen alkunopeus

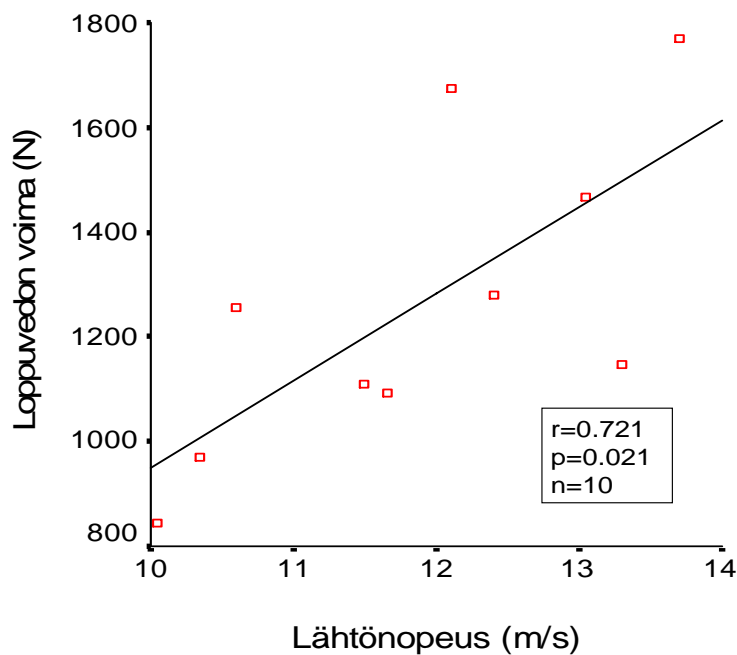
Kuva 10. Rinnallevedossa 25 kg ja 30 % kuormilla tuotetun tehon ja 1. pyörähdyksen alkunopeuden korrelaatio.

8.5 Eri muuttujien vaikutus painonheittosuoritukseen

Painonheitossa lähtökulma oli keskimäärin $57,1^\circ \pm 6,5^\circ$ ja lähtönopeus $11,87\text{m/s} \pm 1,27\text{m/s}$. Välineeseen tuotettu voima kasvoi suorituksen loppuvaihetta kohti ollen suurin loppuviedon aikana (taulukko 9). Niistä muuttujista ainoastaan loppuviedon aikana välineeseen tuotettu voima korreloi merkitsevästi välineen lähtönopeuden kanssa ($r=0.721$, $p=0.021$, $n=10$) (kuva 11).

Taulukko 9. Lähtökulman, -korkeuden, -nopeuden ja välineeseen tuotettu voima kahden pyörähdyksen painonheittosuorituksessa. Koehenkilöä kohti taulukossa on kaksi suoritusta.

Kh	Lähtökulma (°)	Lähtönopeus (m/s)	Voima 1.pyör. (N)	Voima 2.pyör. (N)	Voima veto (N)
1	55,0	12,40	562,05	938,11	1279,50
2	53,0	13,05	567,44	1003,37	1466,61
3	64,7	11,65	521,59	877,69	1094,08
4	57,0	10,60	523,50	862,79	1254,60
5	50,0	13,30	793,99	853,86	1145,89
6	48,0	11,50	824,06	966,92	1109,78
7	55,0	12,10	488,87	789,30	1674,82
8	61,4	13,70	494,72	890,74	1768,92
9	57,9	10,35	624,38	858,63	969,97
10	69,0	10,05	624,82	702,55	843,31
Ka.	57,1	11,87	602,54	874,39	1260,75
SD	6,5	1,27	118,75	86,35	297,22



Kuva 11. Loppuviedon voiman ja lähtönopeuden korrelaatio painonheittosuorituksessa.

9 POHDINTA

Tärkeimmät heittosuoritukseen vaikuttavat tekijät ovat lähtönopeus, lähtökulma ja lähtökorkeus. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että näistä lähtönopeudella on suurin merkitys heiton pituuteen. Lähtökulmalla ja lähtökorkeudella on todettu olevan huomattavasti pienempi merkitys heiton pituuteen. (Otto 1990, Hubbard 1989, DeMestre 1990, Bartoniez ym. 1997, Mizera ja Horvath 2002, Rinta-aho 2002, 23, Dapena ym. 2003.) Myös tässä tutkimuksessa välineen lähtönopeudella todettiin olevan erittäin merkittävä korrelaatio heiton pituuteen ($r=0.991$, $p=0,008$, $n=12$) (kuva 5).

Moukarinheiton on sanottu kuormittavan paljon jalkojen ja keskivartalon lihaksia (Rinta-aho 2002, 46). Heiton pituuden ja jalkojen isometrisen ojennuksen ($r=0.725$, $p=0.012$, $n=11$) ja vartalon koukistuksen ($r=0.616$, $p=0.044$, $n=11$) välille saatiin merkitsevä korrelaatio (kuva 7). Muiden voimasuoritusten ja heiton lähtönopeuden välillä ei löytynyt merkitsevää korrelaatiota.

Pyörähdysten kesto huippuheittäjillä on neljän pyörähdysten tekniikkaa käyttävillä noin 2,3 sekuntia ja kolmen pyörähdysten tekniikkaa käyttävillä noin 1,7–1,8 sekuntia (Rinta-aho 2002, 26). Tämän tutkimuksen koehenkilöistä vain kuusi heittivät kolmella pyörähdyksellä ja heidän suorituksen kokonaisaika oli noin 2,5 sekuntia eli hieman pidempi kuin huippuheittäjiltä on mitattu (taulukko 5). Tämä johtuu luultavasti koehenkilöiden maksimivoimatasojen heikkoudesta, korkeammasta iästä ja samalla heikentyneestä kyvystä tuottaa voimaan nopeasti.

Loppuvedon merkityksestä moukarinheitossa on käyty paljon keskustelua. Taulukossa 6 on laskettu prosentuaalinen ero viimeisen pyörähdysten nopeuden ja lähtönopeuden välille. Huippuheittäjillä loppuvedon vaikutus lähtönopeuteen on noin 12–13 % luokkaa (Rinta-aho 2002, 25). Veteraaniheittäjillä loppuvedon vaikutus vaihtelee suuresti. Tämä johtuu käytettyjen pyörähdysten määrästä. Kolmen ja neljän pyörähdysten heittäjillä loppuvedon prosentuaalinen vaikutus on yhtä poikkeusta lukuun ottamatta alle 10 %, kahdella jopa miinusmerkinen (taulukko 6). Näyttäisi, että veteraaniheittäjien tekniikan taso ja fyysiset ominaisuudet eivät riitä heittämään moukaria yhtä tehokkaasti kuin huippuheittäjät. Veteraaniheittäjät näyttäisivät olevan kuitenkin välineen kiihdyttämi-

seen tärkeän kahden jalan tukivaiheen prosentuaalisessa määrässä lähellä huippuheittäjiä. Yleisesti heittotekniikka on pidetty hyvänä, jos kahden vaiheen tuen kesto säilyy edes hivenen pidempänä kuin yhden tuen vaihe heiton loppuun saakka (Rinta-aho 2002, 26). Huippuheittäjillä kahden tuen prosentuaalinen määrä on 50–60 % heiton kestosta, veteraaniheittäjillä kahden tuen osuus vaihtelee 47 ja 62 % välillä (taulukko 5). Voidaan todeta, että tekninen osaaminen veteraaniheittäjillä on hyvää tasoa, ero huippuheittäjiin tulee luultavasti voimantuotto-ominaisuuksien osalta, erityisesti räjähtävässä voimantuotossa. Heiton eri vaiheiden nopeus näyttäisi korreloivan merkittävästi heiton pituuteen. Mitä suurempi välineen nopeus on 1., 2., 3. pyörähdysten ja vetovaiheen alussa, sitä pidemmälle väline lentää (kuva 6).

Tuotettu teho jalkakyykyssä, penkkipunnerruksessa ja rinnallevedossa korreloi moukarin 1. pyörähdysten alkunopeuteen merkittävästi. Kuvasta 8 nähdään, että jalkakyykyssä 25 kg ja 60 % kuormilla isometrisestä maksimista korrelaatio oli merkittävä. Penkkipunnerruksessa 25 kg tuotettu teho korreloi merkittävästi 1. pyörähdysten alkunopeuteen (kuva 9). Rinnallevedossa ei todettu merkittävä korrelaatiota tuotetun tehon ja 1. pyörähdysten alkunopeuden välille, mutta p-arvot olivat lähellä merkittävyyttä (kuva 10). Näyttäisi siis, että tuotetulla teholla dynaamisissa voimaliikkeissä on merkitystä 1. pyörähdysten alkunopeuteen. Henkilö pystyy hyvin hyödyntämään nopeaa voimantuottoa ja pystyy saamaan välineen nopeuden kasvatettua heti suorituksen alussa. Se miksi lähtönopeuden ja tehon tuoton välillä ei havaittu merkittävyyksiä johtuu varmasti monesta tekijästä, joita voivat olla mm. heittäjän suoritustekniikka, tasapaino ja muut voimantuotolliset tekijät.

Painonheitossa koehenkilö määrä jäi pieneksi johtuen teknisistä ongelmista (n=5). Tästä syystä jokaiselta koehenkilöltä otettiin tarkasteltavaksi kaksi suoritusta (taulukko 9). Painonheitossa havaittiin merkittävä korrelaatio ainoastaan lähtönopeuden ja loppuveikon aikana välineeseen tuotetun voiman välillä ($r=0.721$, $p=0.021$, $n=10$) (kuva 11). Lähtökulma oli suurempi kuin moukarinheitossa ($57,1^\circ \pm 6,5^\circ$ ja $39,6^\circ \pm 3,6^\circ$) (taulukko 4 ja 9). Lähtökulmaa vaikutti välineen suurempi paino ja lyhyempi varsi painonheitossa. Painonheitossa välineeseen välittynyt voima kasvoi suorituksen edetessä, ollen suurimmillaan vetovaiheessa (taulukko 9). Heittäjät pystyivät kasvattamaan välineen nopeutta läpi koko suorituksen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että samat tekijät vaikuttavat heiton pituuteen myös veteraaniheittäjiillä kuin yleisen sarjan huippuheittäjiillä. Saatujen tuloksien pohjalta näyttäisi, että veteraaniheittäjät heittävät melko samalla lähtökulmalla kuin huippuheittäjät. Lähtönopeus on selkeästi heikompi veteraaniheittäjiillä ja lähtökorkeus matalampi. Näistä syistä myös tulokset ovat heikompia, vaikka veteraaniheittäjät heittävät kevyemmillä välineillä. Heiton eri vaiheita tarkasteltaessa veteraaniheittäjät pystyvät heittämään teknisesti melko lähellä huippuheittäjiä. Suorituksen kesto on pidempi, mutta välineen kiihdytykselle tärkeä kahden tuen vaihe kestää suorituksesta prosentuaalisesti saman verran kuin huippuheittäjiillä. Isoin ero tulee voimantuotollisissa ominaisuuksissa. Ikääntymisen johdosta voima alkaa laskea 50–60 ikävuoden välillä kiihtyvästi (Narici ym. 1991, Izquierdo ym. 1999 ja Häkkinen 2003). Tästä johtuen on luultavaa, että koehenkilöiden voimatasot olivat selkeästi heikompia kuin yleisen sarjan heittäjiillä. Ikääntymisen myötä myös tyypin II lihassoluissa on todettu ilmenevän atrofiaa (Larsson ym. 1978, Lexell ym. 1988). Tämä ilmenee nopean voimantuoton ja kyvyn tuottaa tehoa laskuna. Veteraaniheittäjät eivät pysty liikuttamaan välinettä yhtä nopeasti ja tehokkaasti kuin yleisen sarjan heittäjät ja tästä johtuen myös heittojen pituuden lyhenevät.

Jatkossa tulisi kerätä mittaustuloksia veteraaniheittäjiiltä enemmän, jotta pystyttäisiin tarkemmin selvittämään läpi elämän jatkuneen voimaharjoittelun vaikutuksia eri heittolajien suorituskykyyn. Lisäksi olisi tärkeää tutkia myös huippuheittäjiiden voimatasoja ja – arvoja, jotta pystyttäisiin toteamaan mitkä niistä vaikuttavat lajitulokseen eniten ja pysyvätkö ne samana läpi elämän.

LÄHTEET

Allard, P., Stokes, I., Blanchii, J-P. (1995) Three-Dimensional Analysis of Human Movement. Human Kinetics, USA.

Bartlett, R., M. (1999) Sports Biomechanics; Reducing Injury and Improving Performance. E& FN Spon, UK.

Bartonietz, K. & Borgström, A. (1995) The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Göteborg: Technique of the world's best athletes. Part 1: Shot put and hammer throw. *New Studies in Athletics*, 10(4), 43-63.

Bartonietz, K., Barclay, L. & Gathercole, D. (1997) Characteristics of top performances in the hammer throw: basics and technique of the world's best athletes. *New Studies in Athletics* 2/3, 101-109.

Bosco C., Komi P.V. (1980) Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology* 45, 209-219

Dapena, J., Gutierrez-Davila, M., Soto, V.M., Rojas, F. J. (2003) Prediction of distance in hammer throwing. *Journal of Sport Sciences*. 21, 21-28.

Gutierrez, M., Soto, V.M., Rojas, F.J. (2002) A biomechanical analysis of the individual techniques of the hammer throw finalists in the Seville Athletics World Championship 1999. *New Studies in Athletics*, 17 (2), 15-26.

Haaranen, J. (2004) Kiekonheitto. Suomen Urheiluliiton julkaisu. Helsinki.

Hubbard, M. (1989) The throwing events in track and field. Teoksessa Vaughan C.L. (toim.) *Biomechanics of Sport*. Boca Raton, FL, USA. s. 213-238.

Häkkinen, K. (2003) Ageing and Neuromuscular Adaptation to Strength Training. Teoksessa Komi, P.V. (Toim.) *Strength and Power in Sport*. Blackwell Science Ltd, UK, 409-425.

Häkkinen K., Pastinen U-M., Karsikas R., Linnamo V. (1995) Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contraction and during electrical stimulation in men at different ages. *European Journal of Applied Physiology* 70 :518-52

Häkkinen K., Izquierdo M., Aguado X., Kraemer W.J., Newton R.U., (1996) Isometric and dynamic explosive force production of leg extensor muscles in men at different ages. *Journal of Human Movement Studies*, 31, 105-121

Häkkinen K., Kallinen M., Izquierdo M., Jokelainen K., Lassila H., Mälkiä E., Kraemer W.J., Newton R.U., Alen M. (1998) Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA force during strength training in middle aged and older people. *Journal of Applied Physiology* 84(4); 1341- 1349

Izquierdo M., Ibanez J., Gorostiaga E., Garrues M., Zuniga A., Anton A., Larrion J.L. and Häkkinen K. (1999a) Maximal strength and power characteristics in isometric and

dynamic action of the upper and extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiologia Scandinavica*, 167: 57-68

Izquierdo M., Aguado X., Gonzalez R., Lopez J. L., Häkkinen K. (1999b) Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *European Journal of Applied Physiology* 79: 260-267

Izquierdo M., Häkkinen K., Gonzalez-Badillo J.J., Ibanez J., Gorostiaga E. (2002) Effects of long term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes in different sports. *European Journal of Applied Physiology* 87:264-271

Kamen, G., Sison, S., Duke Du, C. & Patten, C. (1995). Motor unit discharge behaviour in older adults during maximal -effort contractions. *Journal of Applied Physiology* 79: 6, 1908-1913.

Komi, P., V. (1973) A new ergometer. *Teoksessa G. Hauser & H. Mellerowicz (toim.), 3rd Internationales Seminar fur Ergometrie: 173-176. Berlin, Ergonverlag.*

Larsson, L., Sjödin, B. & Karlsson, J. (1978) Histochemical and biochemical changes in human skeletal muscle with age in sedentary males age 22-65 years. *Acta Physiologica Scandinavica* 103, 31-39.

Larsson L., Grimby G., Karlsson J.(1979) Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *Journal of Applied Physiology* 46(3): 451-456

Lexell, J., Taylor, C.C. & Sjöström, M. (1988) What is the cause of ageing atrophy? *Journal of Neurological Science* 84, 275-294.

Maronski, R. (1991) Optimal distance from the implement to the axis of rotation in hammer and discus throws. *Journal of Biomechanics*, 24 (11): 999-1005.

deMestre, N. (1990) *The Mathematics of Projectiles in Sport*. Cambridge: Cambridge University Press.

Mizera, F. & Horvath, G. (2002) Influence of environmental factors on shot put and hammer throw range. *Journal of Biomechanics*, 35, 785–796.

Narici, M., Bordini, M. & Cerretelli, P. (1991). Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *Journal of Applied Physiology* 71, 1227-1281.

Otto, R. (1990) Biomechanical analysis of the hammer throw – Athens 1986 and Rome 1987. *Teoksessa: Bruggemann G., P. & Ruhl, J., K. (toim.) Technique in Athletics, The First International Conference, Cologne 7-9 June 1990, Vol. 2, Sport und Buch Strauss, Köln, 561-170.*

Pearson S.J., Young A., Macaluso A., Devito G., Nimmo M.A., Cobbold M., Harridge S.D.R. (2002) Muscle function in elite master weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(7) :1199-1206

Porter M.M., Myint A., Kramer J.F., Vandervoort A.A.(1995) Concentric ja eccentric knee extension strength in older and younger men and women. *Canadian Journal of Applied Physiology* 20(4) 429-439

Rantanen, T., Erä, P., Heikkinen, E. (1997) Physical activity and the changes in maximal isometric strength in men and women from the age 75 to 80 years. *Journal of American Geriatric Society* 45 (12). 1439-1445.

Rash, G., S., Belliappa, P., P., Wachowiak, M., P., Somia, N., N., Gupta, A. (1999) A demonstration of the validity of a 3-D video motion analysis method for measuring finger flexion and extension. *Journal of Biomechanics*, 32, 1337-1341.

Rinta-aho, A. (2002) *Moukarinheitto*. Suomen Urheiluliiton julkaisu. Helsinki.

Sih, B., L., Hubbard, M., Williams, K., R. (2001) Correcting out-of-plane errors in two-dimensional imaging using noimage-related information. *Journal of Biomechanics*, 34, 257-260.

Silvester, J. (toim.) (2003) *Complete book of throws*. Champaign Illinois: Human Kinetics, USA.

Skelton D.A., Greig C.A., Davies J.M., Young A. (1994) Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65 – 89 years. *Age and Ageing*, 23:371-377

Spirduso, W. (1995) *Physical Dimensions of Aging*. Human Kinetics. USA.

Vandervoort A.A. (2002) Aging of the neuromuscular system *Muscle&Nerve* 25: 17-25

Vandervoort A.A., McComas A.J. (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging *Journal of Applied Physiology* 61(1) 361-367

Yrjölä, M. (2000) *Suomalainen kuulantyyöntö*. Suomen Urheiluliiton julkaisu. Helsinki.

Zatsiorsky V.M. (1995) *Science and practice of strength training*, s.20-58 Human Kinetics, Champaign Illinois.