

**HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN SUORITUSKYKY 40-, 50-,  
60-, 75- VUOTIAILLA YLEISURHEILUN VETERAANIHEIT-  
TÄJILLÄ**

Tommi Ojanen

Pro Gradu  
VTE.305  
Kevät 2005  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto  
Työn ohjaaja: Keijo Häkkinen

## TIIVISTELMÄ

*Tommi Ojanen. 2005. Hermolihasjärjestelmän suorituskyky 40-, 50-, 60-, 75- vuotiailla yleisurheilun veteraaniheittäjillä. Pro Gradu-tutkielma, Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto, 66 sivua.*

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli pyrkiä selvittämään aktiivisesti harjoittelevien eri-ikäisten yleisurheilun veteraaniheittäjien voimantuotollisia ominaisuuksia ja samalla kuvaamaan ikään-tymisen vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmän voimantuottoon. Tutkimukseen osallistui 32 eri-ikäistä (36 – 85- vuotta) veteraanisarjojen kuulantyyntöissä, kiekonheitossa, moukarinheitossa ja painonheitossa kilpailevaa mieshenkilöä, joista muodostettiin neljä ikäryhmää; M40 (n=6), M50 (n=5), M60 (n=12) ja M75 (n=9). Lisäksi tutkimuksessa oli myös 28 kontrollihenkilöä, joista muodostettiin neljä kontrolliryhmää; K40 (n=6), K50 (n=7), K60 (n=10) ja K75 (n=5). Koehenkilöiden voimantuotto-ominaisuuksia mitattiin isometrisesti bilateraalissa alaraajojen ojennuksessa, unilateraalissa polven koukistuksessa, bilateraalissa kyynärvarren ojennuksessa, unilateraalissa kyynärvarren koukistuksessa ja vartalon ojennuksessa ja koukistuksessa. Dynaamisen voimantuoton tehoa mitattiin 25 kg:n ja 60 %:n kuormalla (isometrisen jalkakyykyn /penkkipunnerruksen maksimista) jalkakyykyssä ja penkkipunnerruksessa Lihasmassan ja rasvakudoksen määrää arvioitiin mittaamalla reisilihaksen (vastus lateralis ja vastus intermedius) ja kyynärvarren ojentajalihaksen (triceps brachii) paksuus ultraäänellä. EMG aktiivisuus mitattiin kuudesta eri lihaksesta (vastus lateralis, vastus medialis, biceps femur, biceps brachii, triceps brachii ja gastrocnemius).

Maksimaalinen isometrinen voima oli M40 bilateraalissa alaraajojen ojennuksessa merkitsevästi suurempi kuin M60 ja M75 ryhmillä ( $p<0.05$ ). Isometrisessä unilateraalissa polven koukistuksessa erot olivat suurempia ja merkitsevät erot muodostuivat M40 ja M75 ryhmien lisäksi myös M40 verrattuna M50 ja M60 ryhmien välille. Bilateraalissa kyynärvarren ojennuksessa, ja unilateraalissa kyynärvarren koukistuksessa M40 isometrinen maksimivoima oli merkittävästi suurempi kuin M50, M60 ja M75 ryhmien ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Vartalon koukistuksessa merkitsevä ero oli vain M40 ja M75 ryhmän välillä ( $p<0.05$ ), kun taas vartalon ojennuksessa M40 oli merkittävästi vahvempi M60 ja M75 ryhmiin verrattuna ( $p<0.001$ ). Tarkasteltaessa voimantuotonopeutta isometrisissä liikkeissä, M40 ryhmän voimantuotonopeus oli muita ryhmiä merkitsevästi suurempi ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Jaettaessa isometrinen maksimivoima lihaspaksuudella heittäjä ja kontrolliryhmien sisällä ei ilmennyt merkitsevyyksiä. Isometrisen alaraajojen ojennuksen maksimivoiman ja lihaspaksuuden välillä oli merkitsevä korrelaatio sekä heittäjillä ( $r= .64$ ,  $p<0.01$ ) että kontrolliryhmillä ( $r= .44$ ,  $p<0.05$ ), kuten myös yläraajojen osalta heittäjillä ( $r= .49$ ,  $p<0.05$ ) että kontrolliryhmillä ( $r= .42$ ,  $p<0.05$ ). Penkkipunnerruksessa M 40 ryhmä pystyi tuottamaan suuremmat tehot sekä 25 kg että 60 % kuormilla verrattuna muihin ryhmiin ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Maksimiaktiivisuuden saavuttaminen oli ikääntyneiden ryhmillä hitaampaa isometrisessä voimantuotossa. Kyynärvarren unilateraalissa koukistuksessa M40 oli merkitsevästi suurempi iEMG - aktiivisuus ensimmäisten 100 ms aikana kuin yhdistetyllä M60+M75 ryhmällä

Tarkasteltaessa absoluuttisia voima-arvoja nähdään, että veteraaniheittäjät ovat ikäryhmissään muita selvästi korkeammalla tasolla isometrisessä maksimivoimassa, voimantuotonopeudessa ja tehon tuottamisessa. Veteraaniheittäjillä ei tapahdu suurtakaan muutosta voima-arvoissa 60 ja 75 ikävuoden välillä. Pitkään jatkunut säännöllinen voimaharjoittelu näyttää auttavan ylläpitämään lihasvoimaa hyvinkin vanhoilla ihmisillä. Voiman ja voimantuotonopeuden lasku näyttäisi olevan merkittävästi suurempaa reiden takaosan lihaksissa. Veteraaniheittäjien säännöllisellä voimaharjoittelulla voidaan todeta olevan vaikutusta lihasmassan, maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksien säilymisessä ikävaiheessa, jossa ei-harjoitelleilla voidaan todeta kiihtyvää lihasmassan, maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksien vähenemistä.

**Avainsanat:** voimantuotto, ikääntyminen, kuulantyyntö, kiekonheitto, moukarinheitto, veteraaniurheilu

	SIVU
TIIVISTELMÄ	1
SISÄLTÖ	2
1 JOHDANTO	4
2 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMANTUOTTOON JA KEHON RAKENTEeseen	5
2.1 Antropometria	5
2.2 Maksimivoima eri lihastyötavoissa	6
2.3 Nopeusvoima eri lihastyötavoissa	9
2.4 Lihasten aktivoinnin muuttuminen ikääntyvillä	10
2.4.1 Stimulaatiotutkimukset	11
2.4.2 Agonisti-Antagonisti koaktivaatio	12
2.5 Voimaharjoittelun vaikutukset eri-ikäisillä	14
3 YLEISURHEILUN HEITTOLAJIEN BIOMEKANIikka	17
3.1 Kiekonheitto	17
3.2 Kuulantyöntö	18
3.3 Moukarinheitto	20
4 HUIPPUHEITTÄJIEN VOIMANTUOTTO LAJISUORITUKSESSA JA LABORATORIO MITTAUKSissa	22
4.1 Voimantuotto kiekonheitossa	23
4.2 Voimantuotto kuulantyönnössä	24
4.3 Voimantuotto moukarinheitossa	24
4.4 Voimantuotto-ominaisuudet ja niiden testaus	25
4.4.1 Laboratoriset testit	25
4.4.2 Kenttätetit	27
4.4.3 Heittotetit	27
5 ERI LIHASRYHMIEN VOIMANTUOTON YHTEYS KILPAILUTULOKSEEN ERI IKÄRYHMIllÄ	29
5.1 Nuoret	29
5.2 Aikuiset	30
5.3 Veteraaniurheilijat	31
6 TUTKIMUSONGELMAT	32

7 MENETELMÄT	33
7.1 Koehenkilöt	33
7.2 Tutkimusasetelma	34
7.3 Mittaukset	34
7.4 EMG aktiivisuuden taltiointi	36
7.5 Analyysit	37
7.6 Tilastolliset analyysit	38
8 TULOKSET	39
8.1 Antropometriset mittaukset	39
8.2 Isometrinen voimantuotto	40
8.3 Teho	46
8.4 Lihasaktiivisuudet	48
9 POHDINTA	50
LÄHTEET	56

# 1 JOHDANTO

Ikääntymisen myötä tapahtuvan voimatason laskun on todettu johtuvan lihasmassan vähenemisestä ja erityisesti nopeiden lihassolujen atrofiasta (Larsson ym. 1979, Aniansson ym. 1986, Häkkinen ym. 1998). Osa voiman heikkenemisestä näyttäisi selittyvän myös iän myötä tapahtuvilla muutoksilla neuraalisessa aktivaatiossa ja mahdollisesti lisääntyneellä antagonistilihasen koaktivaatiolla (Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999a). Ikääntymisen vaikutuksia voimantuottoon tutkittaessa koehenkilöt ovat yleensä olleet normaaliväestöön kuuluvia, joilla ei ole ollut kokemusta vuosia kestäneestä ja säännöllisestä voimaharjoittelusta (Larsson ym. 1979, Bosco & Komi 1980, Aniansson ym. 1986, Skelton ym. 1994, Häkkinen ym. 1995, Izquierdo ym. 1999a, 1999b, Häkkinen ym. 2001).

Heittolajit ja niihin liittyvä voimaharjoittelu sisältävät maksimivoimatyypin kuormituksen lisäksi myös räjähtävän voimantuoton elementtejä, joilla molemmilla voidaan perustellusti arvella olevan vaikutuksia yksilön räjähtävän voimantuoton ominaisuuksien kehittymiseen pitkällä aikavälillä (Zatsiorsky 1995, Izquierdo ym. 2002). Tämän tyyppisellä harjoittelulla voidaan arvella olevan vaikutusta myös yksilön voimantuotollisten ominaisuuksien säilymiseen ikääntymisen myötä (Pearson ym. 2002).

Tutkittaessa eri-ikäisen henkilöiden voimantuottoa täytyy ottaa huomioon heidän harjoittelutaustansa ja nykyinen fyysinen suorituskyky. Heittolajeja harrastavien henkilöillä on yleensä vuosikymmenien voimaharjoittelukokemus. Näin ollen veteraaniheittäjät ovat avainasemassa tutkittaessa pitkäaikaisen, läpi elämän jatkuneen voimaharjoittelun vaikutuksia. Tämän tutkimuksen avulla pyrittiin selvittämään hermolihaskäytännön suorituskykyä eri-ikäisillä veteraaniheittäjillä verrattuna samanikäiseen normaaliväestöön.

## 2 IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VOIMANTUOTTOON JA KEHON RAKENTEeseen

### 2.1 Antropometria

Ikääntyminen johtaa lihasmassan ja voiman vähenemiseen selkeästi 50 ikävuoden jälkeen (Viitasalo ym. 1985, Frontera ym. 1991, Porter ym. 1995, Häkkinen ym. 1998). Merkittävältä osin voimatason lasku selittyy lihasatrofialla eli lihasmassan pienenemisellä, joka korreloi hyvin selkeästi maksimivoiman vähenemiseen (Larsson ym. 1979, Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999a). Lihaksen poikkipinta-ala pienenee ikääntymisen myötä, esim. nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala voi olla jopa 25 % pienempi 70-vuotiaalla kuin 20–30 vuotiaalla (Spirduso 1995, 141). Tutkimuksissa on todettu, että lihasmassan väheneminen johtuu sekä yksittäisten lihassolujen koon pienenemisestä, että yksittäisten lihassolujen menetyksestä. Rasva- ja sidekudos syrjäyttävät lihaskudosta ja koko kehon lihaskudoksen määrä vähenee. Lihaskudosta on noin 40 % kehon rasvattomasta massasta ja rasvattoman massan vaihtelut johtuvat pääasiassa lihasmassan vaihtelusta. (Kirkendall ym. 1998, Häkkinen 2000.)

Young ym. (1985) ovat tutkineet ultraäänilaitteen avulla nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alaa ja todenneet sen olevan 25 % pienempi 70-vuotiaalla kuin 20–30-vuotiaalla normaaliväestöön kuuluvilla miehillä. Häkkinen ym. (1998) mukaan maksimivoima on verrannollinen lihaksen poikkipinta-alaan. Iän mukanaan tuoma lihasmassan väheneminen johtuu yksittäisten lihasfiiberien koon pienenemisestä, lihasfiiberien kokonaismäärän vähenemisestä tai molempien edellä mainittujen syiden yhdistelmästä (Brooks ja Faulkner 1994). Näistä muutoksista selvemmin on dokumentoitu II tyypin solujen poikkipinta-alan väheneminen iän myötä (Larsson ym. 1979, Aniansson ym. 1986, Häkkinen ym. 2001). Ikääntyneillä tyypin II lihassolut ovat 15–25 % pienempiä kuin nuorilla. Lihasfiiberien määrä on myös n. 25 % pienempi ikääntyneillä kuin nuorilla. Voimaharjoittelulla voidaan vaikuttaa lihasfiiberin kokoon sitä kasvattavasti. Ikääntymisen mukanaan tuoma lihasatrofia näyttäisi kohdistuvan erityisesti II-tyypin lihassoluihin ja tällä on luonnollisesti merkittäviä maksimivoimantuottoa heikentäviä vaikutuksia. Nopeiden lihassolujen poikkipinta-alan on todettu korreloivan selvästi maksimivoimaan sekä isometrisessä että dynaamisessa lihastyössä. (Larsson ym. 1979.)

Vaikka voimaharjoittelulla ja fyysisellä kuormituksella voidaan huomattavasti vaikuttaa voimatason ylläpitämiseen ja jopa nostaa sitä vanhemmallakin iällä, on suorituskyvyn heikentyminen pidemmällä aikavälillä iän myötä väistämätöntä (Izquierdo ym. 1999b, Häkkinen ym. 1998 & 2001). On hyvin vaikeaa määritellä tarkasti miten suuri osa lihasmassan vähenemisestä johtuu ikääntymisestä ja miten suuri osa taas elämäntapojen muuttumisen myötä vähentyneestä kuormituksesta. Lihasmassan väheneminen voi selittyä myös iän mukana tapahtuvilla muutoksilla hormonitoiminnassa ja sen seurauksena vähentyneellä anabolisella vaikutuksella lihaskudokseen. (Wilmore 1990, Häkkinen & Pakarinen 1993.)

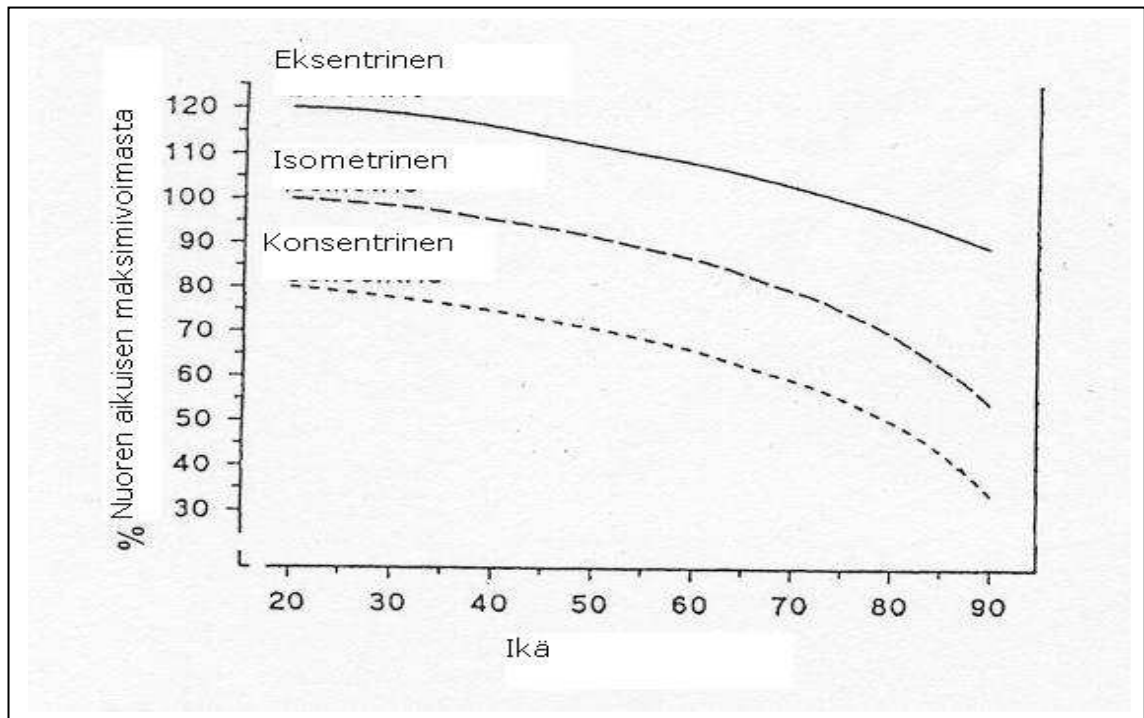
Ikääntymisen myötä motorisia hermoja kuolee ja ilman hermoyhteyttä jääneiden lihas-soluihin rakentuu uusia yhteyksiä (Brooks ja Faulkner 1994). Ikääntymisen aiheuttama neuraalinen rappeutuminen näyttäisi olevan suurta etenkin II-tyypin lihassoluissa (Roos ym. 1997). Havaintoa on tulkittu siten, että II-tyypin lihassäikeitä siirtyy ikääntymisen myötä osaksi I-tyypin motorisia yksiköitä. Tämän seurauksena voimantuoton kannalta keskeisten motoristen yksiköiden koko kasvaa. (Thompson 1994, McComas 1996, 331.) Ikääntyminen ilmenee lihaksen suorituskyvyssä kolmella tavalla, vähentyneenä voimantuottona, vähentyneenä kykynä tuottaa voimaa nopeasti ja heikentyneenä kykynä kontrolloida voimaa (Porter ym. 1995).

## **2.2 Maksimivoima eri lihastyötavoissa**

Ihmisen lihaksisto saavuttaa korkeimman voimatasonsa 20 – 30 ikävuoden välissä, jonka jälkeen voimataso pysyy vakiona tai laskee vain vähän seuraavien 20 vuoden aikana. (Spiriduso 1995, 124). 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 2000).

Ikääntymisen vaikutukset voimantuottoon eroavat eri voimantuottotapojen välillä. Eksentrisen maksimivoiman vähenemisen on ikäännyttäessä todettu olevan hitaampaa kuin

konsentrisen ja isometrisen maksimivoiman väheneminen (Kuva 1.). Syytä tähän ei tarkasti tiedetä mutta osaksi sen arvioidaan johtuvan muutoksista lihasten sidekudosrakenteissa, 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.)



KUVA 1. Eksentrisen, isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman muutos ikääntyessä (Vandervoort 2002)

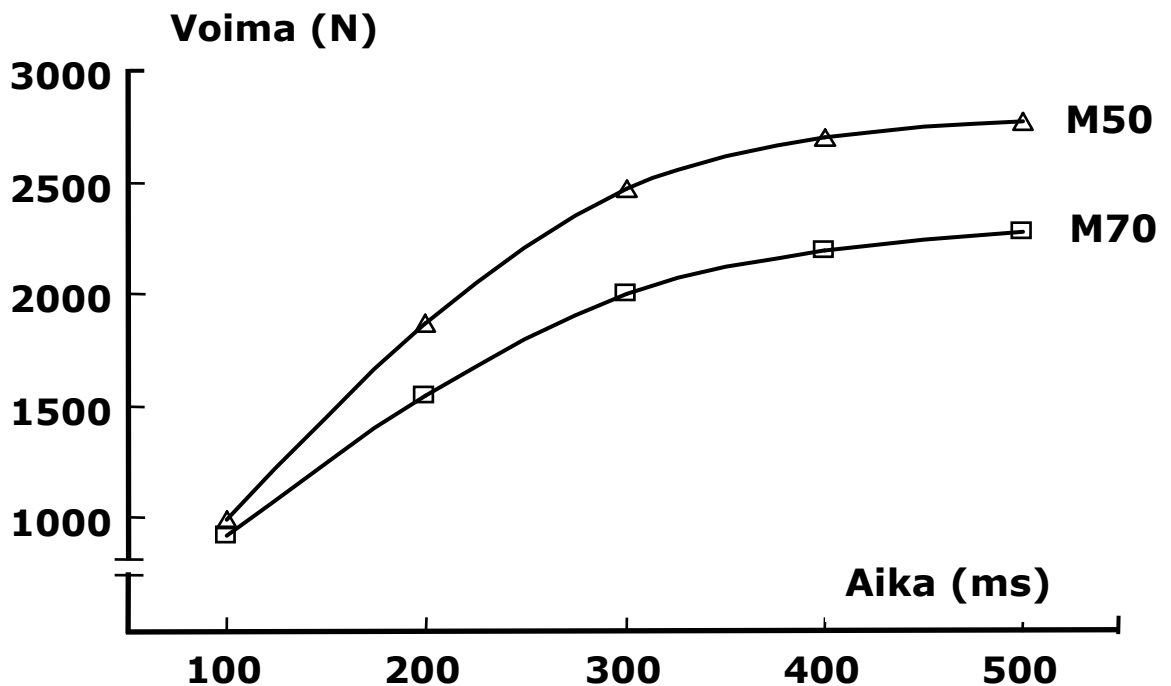
Ikääntymisen aiheuttama hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutos voi vaihdella ala- ja yläraajojen lihasten välillä, johtuen jokapäiväisten fyysisten aktiviteettien määrästä ja intensiteetistä. Lisäksi maksimaalisen tahdonalaisen agonistilihasten aktivaatio ja/tai agonisti/antagonisti koaktivaation tason vaihtelu, voivat myös vaihdella iän mukaan riippuen lihasaktivaatiosta, liikkeen vaativuudesta ja liikkeen ajan tai kiihtyvyyden piirteistä. (Izquierdo ym. 1999a.)

Maksimivoiman vähenemiseen ikääntyvillä vaikuttaa lihasmassan väheneminen hormonitoiminnan muuttuessa, fyysisen aktiivisuuden tai intensiteetin väheneminen, huono ruokavalio ja muutokset hermolihasjärjestelmän rakenteissa ja toiminnassa. (Häkkinen 2000.)



Maksimivoiman vähenemiseen vaikuttaa myös tahdonalaisen hermostollisen käskytyksen väheneminen. Epätäydellinen lihasaktivaatio voidaan osittain selittää ikääntyvillä motoristen yksiköiden vähentyneellä syttymistäajuudella (Kamen ym. 1995, Häkkinen 2000). 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 kilpaillevilla 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. Isometrisessä suorituksessa voimantuotto on hitaampaa iäkkäämmillä henkilöillä (Kuva 2).



KUVA 2. Voima-aika käyrä isometrisessä polven ojennuksessa (Häkkinen ym. 1996)

Voimatason 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. 1999). Izquierdon ym. (1999) mukaan 65-vuotiaat miehet tuottivat konsentrisessa bilateriaalisessa penkkipunnerruksessa 21 % ja isometrisessä puristusvoimassa 17 % vähemmän kuin 40-vuotiaat miehet.

### **2.3 Nopeusvoima eri lihastyötavoissa**

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 2000.)

Hermolihasjärjestelmän 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 saavutettavan yläraajoissa 30–45 % ja alaraajoissa 40–60 % voimatasolla maksimaalisesta voimasta. (Izquierdo et al. 2002.) Alaraajoilla Izquierdon ym. (1999a) mukaan 40-vuotiaat tuottivat suurimman tehon 60 % kuormalla ja 65-vuotiaat 70 % kuormalla maksimista. Ylävartalon lihaksia tarkisteltaessa 40-vuotiaat tuottivat suurimman tehon 45 % kuormalla, kun taas 65-vuotiaat 30 % kuormalla maksimista (Izquierdo ym. 1999a). On kuitenkin todennäköistä, että kuorma-nopeus 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) suorituksissa. 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 kuin maksimivoimaominaisuuksissa (Bosco & Komi 1980, Skelton ym. 1994, Häkkinen ym. 1996 & 1998, Izquierdo ym. 1999b, Pearson ym. 2002). Skelton ym.(1994) totesivat, että räjähtävän voimantuoton kykyä kuvaava teho laski konsentrisessa polven ojennuksessa vastaavasti 3 % vuosittain saman lihasryhmän osalta. Häkkinen 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).

## **2.4 Lihasten aktiivoinnin muuttuminen ikääntyvillä**

EMG – tutkimusten avulla on saatu selville, että iän mukana aktiivisten motoristen yksiköiden määrä laskee ja matalan kynnyksen omaavat motoriset yksiköt kasvavat (Kirkendall ym. 1998). Pattenin ym. (2001) mukaan maksimaalinen EMG-aktiivisuus on merkittävästi pienempi ikääntyneillä kuin nuorilla henkilöillä. Voimaharjoittelun seurauksena myös ikääntyneillä lihaksesta saatava EMG – signaali kasvaa. Tämä johtuu luultavasti aktiivisten motoristen yksiköiden syttymistiheyden lisääntymisestä, synergistien parantuneesta koaktivaatiosta ja antagonistien koaktivaation laskusta lihastyön aikana (Häkkinen 2000). Ikääntymisen johdosta tapahtuva lasku maksimi- ja nopeusvoimassa johtuu osittain motoristen yksiköiden syttymistiheyden laskusta (Kamen ym. 1995). Enokan (1994, 336-337, 2000, 442-443) mukaan ikääntyminen ei kuitenkaan estä aktiivisuudesta lihasta maksimaalisesti riippuen lihaksesta.

Osa voimantuoton heikkenemisestä näyttää selittyvän ikäännyttäessä myös hermoston toiminnan muutoksilla, sillä voiman lasku on suhteellisesti suurempaa kuin muutokset supistuvan lihaskudoksen määrässä. Tämä viittaa siihen, että myös kyky aktivoida mää-

rältään vähenevää lihasmassaa saattaa muuttua ikääntymisen myötä. (Larsson 1979, Häkkinen ym. 1995, Yue ym. 1999.)

Pearson ym.(2002) totesivat, että 40 - 87-vuotiaat MM-tasolla kilpailevat miehet kykenivät tuottamaan selvästi suuremman voiman isometrisessä polven ekstensiossa ja suuremman tehon konsentrisessä polven ekstensiossa kuin samaan ikäryhmään kuuluneet vertailuhenkilöt, vaikka ryhmien välillä ei ollut havaittavissa eroa alaraajojen tilavuudessa. Painonnostajien EMG-aktiivisuus oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä. Voimaharjoittelutaustan omaavien suurempi EMG aktiivisuus selittynee voimaharjoittelun adaptaatiolla (Häkkinen ym. 1998 & 2001). Hermosolun ja lihaskalvon johtumisnopeus laskee iän myötä ja tämän seurauksena myös refleksitoiminnan latenssiaikojen on todettu olevan pidempiä vanhemmilla henkilöillä (Vandervoort & McComas 1986, Enoka 1994, 337-338, 2000, 443-444).

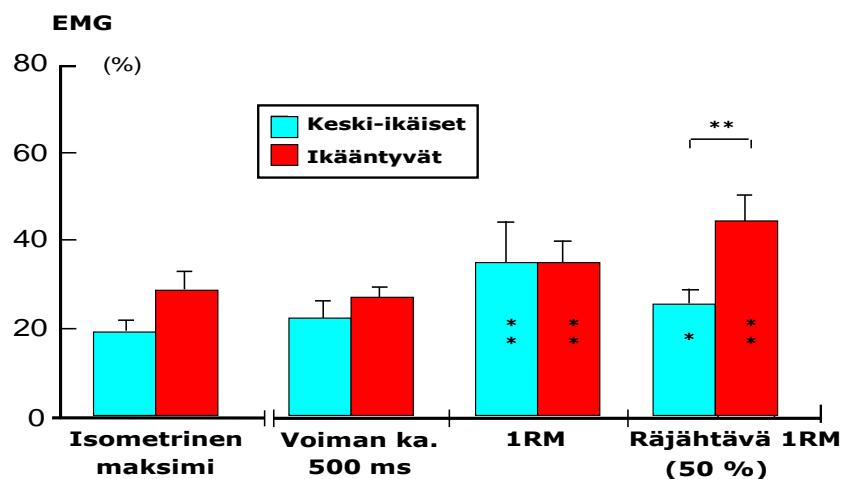
Motoristen yksiköiden aktivointimalli voi muuttua ikääntymisen myötä. Akataki ym. (2002) totesivat tutkiessaan ikääntyneiden miesten motoristen yksiköiden rekrytointia biceps brachii-lihaksessa, että nopeiden lihassolujen atrofian aiheuttamaa voiman heikentymistä korvataan osin käyttämällä hitaampia motorisia yksiköitä tehokkaammin tuottamalla lihassolun jatkuva tetanisaatio alhaisemmalla syttymisfrekvenssin tasolla.

#### **2.4.1 Stimulaatiotutkimukset**

Häkkinen ym. (1995) tutki sähköisen stimulaation vaikutusta isometriseen voimantuottoon 50- ja 70-vuotiailla miehillä. Sähköisellä stimulaatiolla aikaan saadussa maksimi-voimassa ei ryhmien välillä todettu eroa mutta maksimaalisessa isometrisessä tahdonalaisesti tuotetussa maksimivoimassa ero oli merkitsevä. Vandervoort & McComas (1986) totesivat toisaalta, että ikääntyneet kykenivät rekrytoimaan motorisia yksiköitään maksimaalisesti tutkiessaan nilkan dorsi- ja plantaarifleksoreiden aktivointia sähköstimulaation avulla. Tämä viittaisi voiman laskun selittyvän enemmänkin hermo-  
lihasjärjestelmän rakenteellisilla muutoksilla.

## 2.4.2 Agonisti-antagonisti koaktivaatio

Antagonistilihasten koaktivaation on todettu lisääntyvän ikääntymisen myötä sekä isometrisessä voimantuotossa että dynaamisessa liikkeessä. Antagonistiaktiivisuus näyttäisi lisääntyvän erityisesti räjähtävissä dynaamisissa liikkeissä kuten hyppyissä ja nopeissa konsentrisissa polven ekstensioissa. (Häkkinen ym. 1998, 2001, Izquierdo ym.1999a.) Harjoittelun johdosta maksimaalinen iEMG kasvaa agonisteissa, mutta säilyy muuttumattomana antagonisti-lihaksissa (Häkkinen ym. 2001) tai jopa laskee ikääntyneillä henkilöillä harjoittelun ansiosta (Häkkinen ym. 1998). Häkkisen ym. (1998) mukaan antagonisti aktivaatio biceps femoris lihaksessa polven ojennuksen aikana vaihtelee 20–40 % välillä.



KUVA 3. Biceps Femoris – lihaksen aktivaatio polven ojennuksessa (Häkkinen ym. 1998)

Maksimaalisessa 1RM:ssa ja teho suorituksissa antagonistiaktivaatio on suurempi kuin isometrisissä suorituksissa. Lisääntynyt antagonistin koaktivaatio voi rajoittaa agonistien voimantuottoa, erityisesti nopeissa suorituksissa (Kuva 3). Myös räjähtävässä voimantuotossa mitattu agonistin iEMG on suhteessa maksimaaliseen tahdonalaiseen aktiivisuuteen ikääntyneillä pienempi kuin keski-ikäisillä (Häkkinen ym. 1998).

Maksimivoiman laskuun vaikuttaa tahdonalaisen hermostollisen käskytyksen vähentyminen. Epätäydellinen lihasaktivaatio voidaan osittain selittää ikääntyvillä motoristen

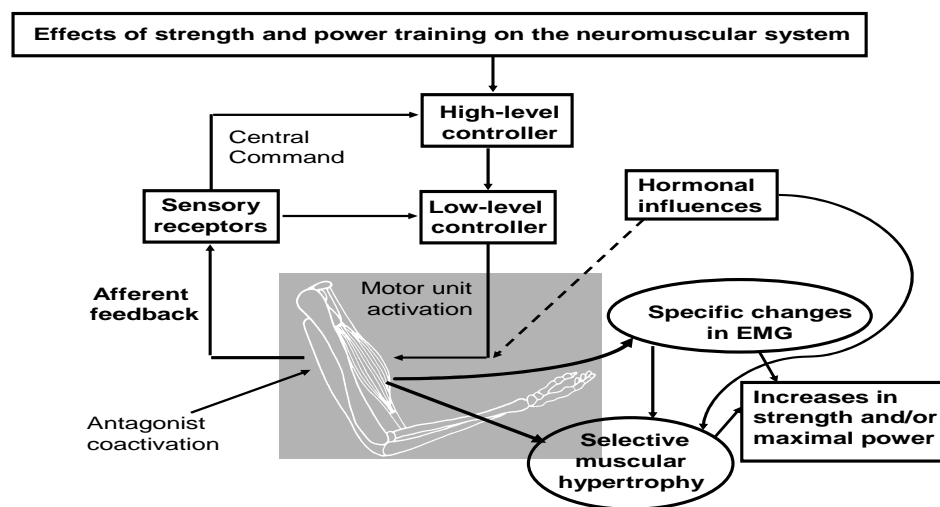
yksiköiden vähentyneellä syttymistaajuudella (Kamen ym. 1995, Häkkinen 2000). Ikääntyvillä tapahtuva voiman lasku on siten osaltaan seurausta maksimaalisen tahdonalaisen agonistin aktivaation vähenemisestä mutta myös antagonistien koaktivaaton lisääntymisestä (Häkkinen ym. 1998).

Ojennus- tai koukistusliikkeen voima määräytyy agonistina toimivan lihasryhmän ja vastakkaisen eli antagonistina toimivan lihasryhmän aktiivisuuden resultanttina (Aagaard ym. 2000). Antagonistien liiallinen aktiivisuus heikentää agonistilihasryhmän voimantuottoa. Nopean ja räjähtävän liikkeen ohjaus tapahtuu edeltävästi motorisen ohjelman sekä liikkeen aikaisen sensorisen palautteen avulla. Antagonistien aktiivisuus on toisaalta siis myös osa liikkeen ohjauksesta (Behm & Sale 1993). Polven ojennuksesta ja koukistuksesta vastaavien reisilihasten aktiivisuutta isometrisessä ja dynaamisessa voimantuotossa on tutkittu taltioimalla niiden EMG voimantuoton ja liikkeen aikana ja suhteuttamalla mitattu aktiivisuus niiden maksimaalisen isometrisen kontraktion EMG-arvoihin (Aagaard ym. 2000, Häkkinen ym. 2001, Izquierdo ym. 1999a & 1999b, Osternig ym. 1986).

Izquierdo ym. (1999a) tutkimuksessa polven koukistajien ja ojentajien antagonistikoaktivaatio vaihteli 9 - 22 % välillä lihasryhmän maksimiaktiivisuudesta isometrisen maksimivoimantuoton ja yhden jalan maksimaalisen konsentrisen ojennuksen aikana. 65-vuotiaiden miesten polven koukistajien antagonistikoaktivaatio oli merkitsevästi suurempaa sekä isometrisessä polven ojennuksessa että konsentrisessä yhden jalan ojennuksessa kuin 45-vuotiailla miehillä. Antagonistikoaktivaatio näyttäisi olevan myös liikekohtaista. Polven koukistajien antagonistikoaktiivisuuden on todettu olevan suurempaa kuin polven ojentajien. Ero selittynee lihasryhmien voimaeroilla ja quadricepsryhmän suuremman lihasmassan kautta muodostuvilla suuremmilla viskoelastisilla ominaisuuksilla. Lihastasapaino ja harjoittelutausta vaikuttavat myös antagonistikoaktivaation määrään. Liikenopeuden kasvusta seuraa korkeaan liikenopeuteen tottumattomilla selvästi suurempi antagonistiaktiivisuus kuin niillä, jotka ovat tottuneet korkeaan liikenopeuteen harjoittelussa (Osternig ym. 1986).

## 2.5 Voimaharjoittelun vaikutukset eri-ikäisillä

Häkkinen (2000) mukaan systemaattinen voimaharjoittelu johtaa merkittäviin parannuksiin kaikissa lihasryhmissä, huolimatta iästä tai sukupuolesta, kun harjoitus kuorma, intensiteetti ja harjoittelun kesto ovat tasapainossa. Maksimaalisen voiman ja tehon tuottamiseen osallistuu useita eri rakenteellisia ja toiminnallisia komponentteja ihmiskehossa. Voimantuottaminen alkaa aivoista, josta se siirtyy selkäydintä pitkin lihakseen meneviin hermoihin, jotka taas aktivoivat yksittäiset motoriset yksiköt (Enoka 1994, 223). Keskushermostolla on tärkeä rooli lihasten aktivoinnissa ja voiman/tehon tuoton määräämisessä. Kunkin ihmisen maksimaalinen tahdonalainen lihasten aktivointi määräytyy siitä mitä lihasta aktivoidaan, lihastyypistä, aktivointinopeudesta ja henkilön harjoittelustaustasta. Myös antagonistien koaktivaatiolla on merkittävä osa agonistien kokonaisvoimantuottoa määritettäessä. (Aagaard ym. 2000.) Kuvasta 4 voidaan nähdä voimaharjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmään.



KUVA 4. Voimaharjoittelun neuromuskulaariset vaikutukset (Mukaeltu Häkkinen 2002).

Voimantuoton paraneminen selittyy neuraalisen ohjauksen tehostumisella ja hypertrofiolla eli lihasmassan lisääntymisellä (Häkkinen & Komi 1983, Staron ym. 1989). Nykytiedon pohjalta voidaan selkeästi todeta, että pyrittäessä mahdollisimman vähäiseen ikääntymiseen aiheuttamaan lihasten atrofiaan ja lihasvoiman vähenemiseen, voimaharjoittelun tulisi kuulua kaikkien ikääntyvien ihmisten harjoitteluohjelmaan (Häkkinen 2000). Systemaattisesti voimaharjoitelleella ja hyvin ravitulla ihmisellä lihasmassan väheneminen on selvästi pienempää kuin harjoittelemattomalla (Spirduso 1995, 128).

Voimaharjoitteluun tulisi kiinnittääkin enemmän huomiota, koska ikääntyvät ihmiset useasti harjoittelevat vain kestävyyttä, liikkuvuutta tai muita fyysisiä kevyitä aktiviteetteja (Häkkinen 2000).

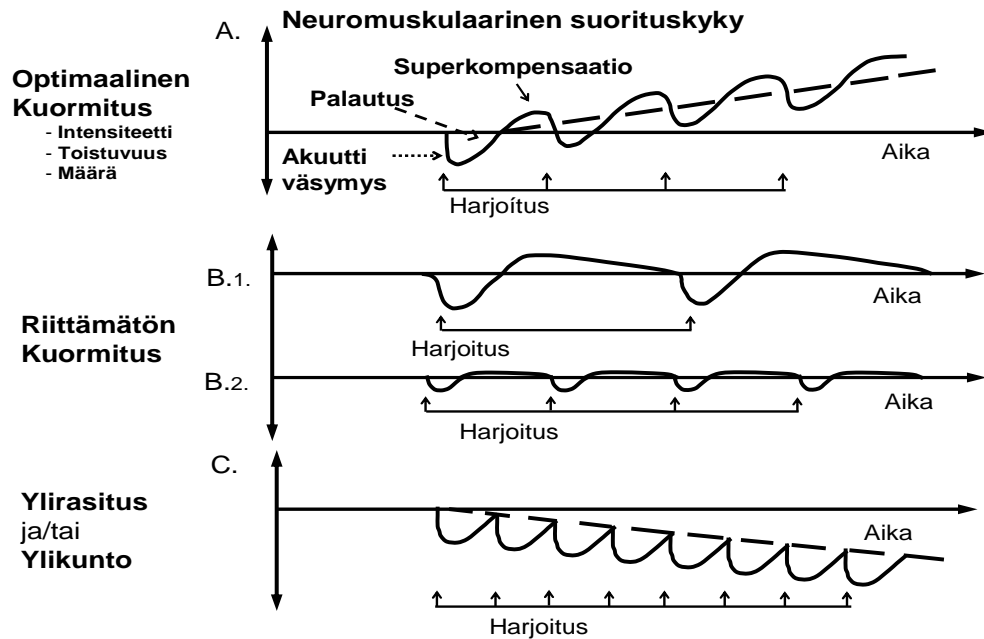
Ikääntyneiden voimaharjoittelua koskevat tutkimukset on pääasiallisesti toteutettu henkilöillä, joilla ei ole ollut kokemusta voimaharjoittelusta (Häkkinen ym. 1998, 2001, Vandervoort 2002). Voimaharjoitusadaptaation voidaan ikääntyneillä todeta noudattavan samoja mekanismeja kuin nuoremmillakin henkilöillä. Neuraalisen adaptaation merkitys näyttäisi ikääntyneillä olevan voiman lisääntymisessä suurempaa ja jatkuvan pidempään harjoittelun edetessä. Lisäksi voimaharjoittelulla voidaan merkittävästi vaikuttaa lihasmassa säilymiseen. (Frontera ym.1988, Häkkinen ym. 1998.)

Vaikka hermolihasjärjestelmä vaikuttaakin suuresti ikääntyvien lihasvoiman kehitykseen, myös lihashypertrofiolla on todettu olevan suuri merkitys voiman kehittämisessä. Tutkimuksilla on osoitettu, että lihashypertrofia näyttää tapahtuvan sekä hitaissa että etenkin Iia- ja Iib- nopeissa solutyypeissä. Niinpä ikääntyvillä on voitu todettu jopa 5-10 % kasvua lihaksen poikkipinta-alassa 3-4 kuukauden voimaharjoittelun seurauksena (Frontera ym. 1988, Brown ym. 1990, Häkkinen & Häkkinen 1995, Häkkinen 2000).

Harjoittelusta johtuvaan hypertrofiaan vaikuttavat myös hormonaaliset tekijät. Mikäli voimaharjoitus on intensiteetiltään ja kuormittavuudeltaan riittävä, voidaan havaita miehillä selvä seerumin testosteronipitoisuuden akuutti nousu. Suurin kasvuhormoni ja testosteronivaste saavutetaan tekemällä 8-10 toiston sarjoja. Mitä suuremmat lihasmassat aktivoidaan, sitä suurempi on akuutti hormonivaste. Iän mukana myös hormoniresponssi laskee. (Häkkinen 2000.)

Voimaharjoituksen seurauksen elimistöön syntyy akuutti väsymystila. Jos ennen seuraavaa harjoitusärsykettä elimistö saa riittävästi lepoa ja palautuu, tapahtuu suorituskyvyn parantumista eli superkompensaatiota. Jos harjoituksia on liian harvoin, superkompensaatiota ei tapahdu ja suorituskyky ei parane. Liian usein harjoiteltaessa elimistö ei ehdi palautua ja suorituskyky heikkenee ja seuraa yllirasitus- tai ylikuntotila. (kuva 5.)





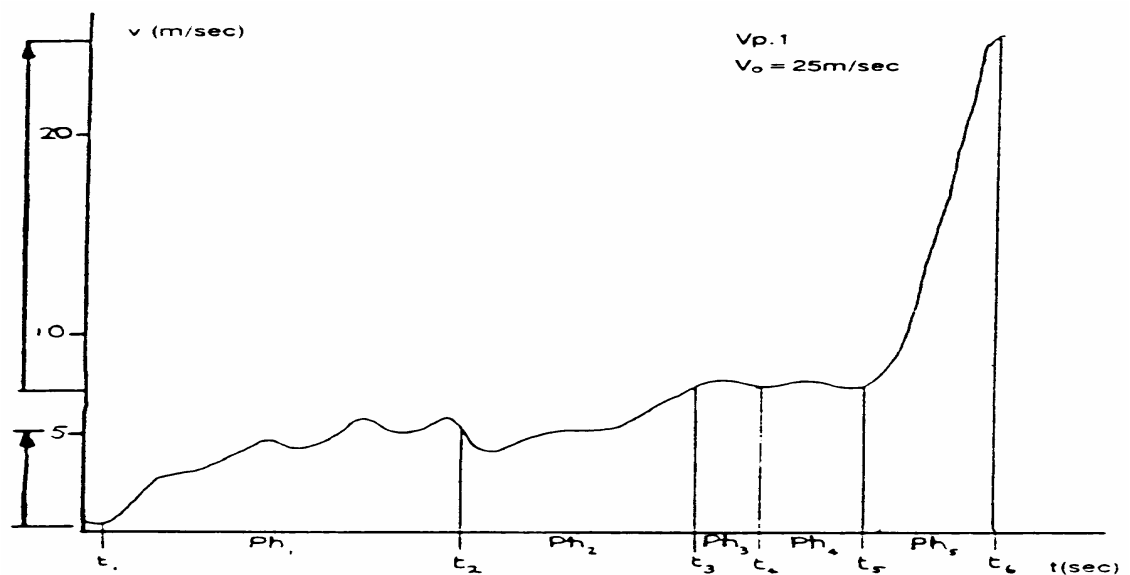
KUVA 5. Neuromuskulaarinen adaptaatio eri kuormitusmalleilla. (Muokattu Häkkinen 1990, Felck & Kraemer 1997, 6-7)

Harjoittelun alkaessa neuraalinen adaptaatio on nopeaa. Maksimivoiman nopea kasvu johtuu juuri tästä hermostollisesta adaptaatiosta harjoittelun alkuvuokoina. Motoristen yksiköiden rekrytointi paranee ja niiden syttymistiheys kasvaa. Lisäksi agonistien aktivaatio kasvaa, antagonistien aktivaatio laskee ja synergistien koaktivaatio kasvaa. Jos voimaharjoittelu jatkuu säännöllisenä lihahypertrofiaa alkaa esiintyä eli yksittäiset lihasolut alkavat kasvaa ja näin ollen lihaksen poikkipinta-ala kasvaa ja se pystyy tuottamaan enemmän voimaa. (Moritani & deVries 1979, Häkkinen 2000, Patten ym. 2001.)

## 3 VOIMANTUOTON VAATIMUKSET ERI HEITTOLAJEISSA

### 3.1 Kiekkonheitto

Kiekkonheitto suoritusta kestää heittäjästä riippuen 1,2–2,0 sekuntia. Tässä ajassa kiekon lähtönopeudeksi on pystyttävä kiihdyttämään 60–70 metrin heitossa 22–27 m/s. Suurin osa kiihtyvyydestä (16–17 m/s) saavutetaan vetovaiheessa, jonka kesto on 0,2 sekuntia (Kuva 6). (Bartlett 1992, Hay ja Yu 1995.)



KUVA 6. Kiekkon nopeus heittosuorituksen aikana. (Bartlett 1992)

Kiekkonheiton vauhdinotto voidaan jakaa viiteen tukivaiheeseen. Kiekkonheitossa kiekon liikerata on pyrittävä saamaan mahdollisimman laajaksi, parhaan tuloksen saavuttamiseksi (Maronski 1991). Kiekkon lähtönopeus on tärkein heiton pituuteen vaikuttava tekijä. Lähtönopeuden kaksinkertaistaminen merkittäisi heiton pituuden nelinkertaistumista, jos lähtökulma ja – korkeus pysyisivät vakiona. Heittäjä pystyy kiihdyttämään vauhdinotossaan kiekon nopeutta 8-9 metrin aikana. Tuon matkan kiekko keskimäärin kulkee heittäjän kädessä ennen irtoamistaan. Suurin kiihdytysvaihe on juuri ennen kiekon irtoamista kädestä. Lähtönopeuteen vaikuttaa myös oleellisesti heiton laajuus ja heittoon käytetty aika. Parantamalla näitä myös lähtönopeus paranee. (Susanka ja Stepanek 1986, Bartlett 1992, Hay ja Yu 1995.)

Lähtökulma on riippuvainen heittäjän kokemuksesta ja tuulioloista., vaihdellen 31–45 asteen välillä (Bartlett 1992). Hayn ja Yun (1995) mukaan optimaalinen lähtökulma kiekonheitossa on tyynellä ilmalla 36 °. Tuuliolot vaikuttavat huomattavasti optimaalisen heittokulman määrittelyyn.

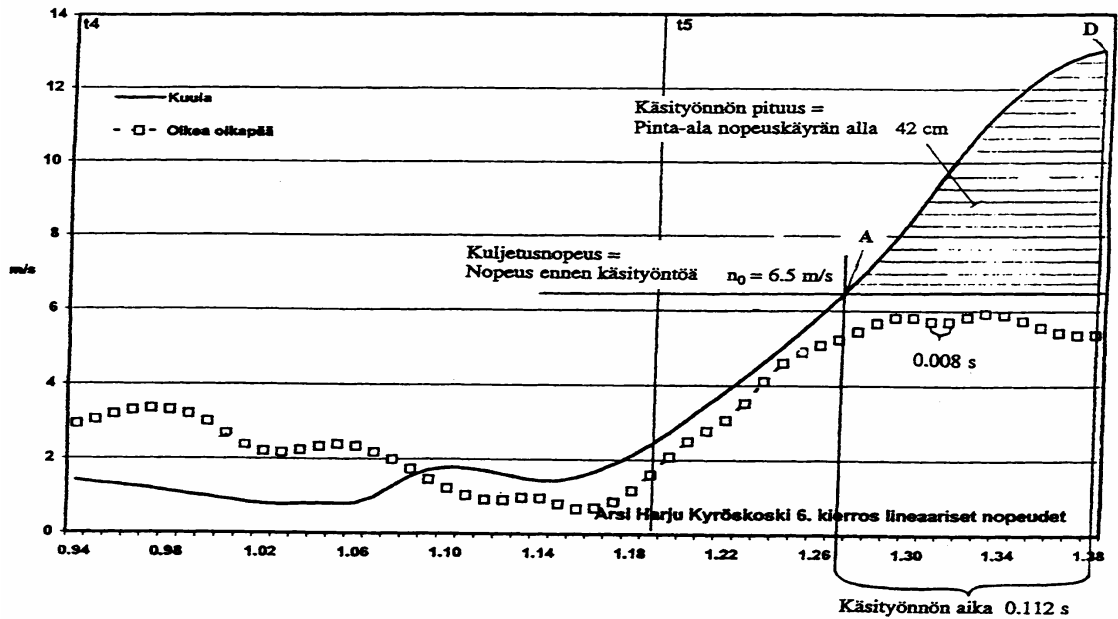
Kiekon lähtökorkeudella tarkoitetaan kiekon etäisyyttä maasta sillä hetkellä, kun kiekko irtoaa heittäjän kädestä. Lähtökorkeus on riippuvainen heittäjän pituudesta, vartalon asennosta ja heittökäden asennosta. Lähtökorkeudella ei ole todettu olevan suurtakaan vaikutusta heiton pituuteen. (Bartlett 1992, Hay ja Yu 1995.) Yli 65 metrin heittäjien kiekon lähtökorkeudet vaihtelevat alle 1,5 metrissä yli 2 metriin riippuen heittäjän tekniikasta (Bartlett 1992).

Kiekonheitossa lentorataa määriteltäessä täytyy ottaa huomioon aerodynaaminen noste ja kiekon aerodynamiikka (Bartlett 1992). Heitettäessä sopivaan vastatuuleen aerodynaamisten voimien vaikutus heiton pituuteen voi olla 7 metriä (Hay ja Yu 1995).

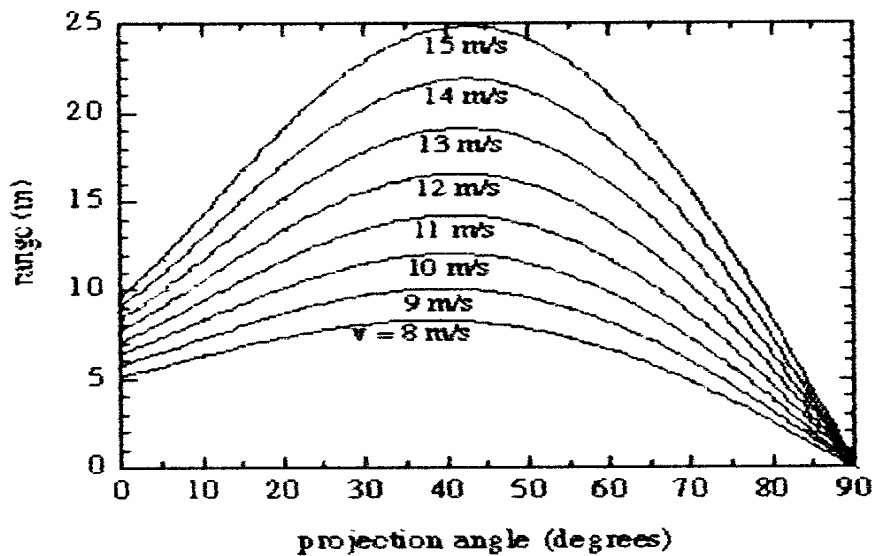
### **3.2 Kuulantyöntö**

Kuulantyöntösuoritus on kestoltaan lyhytaikaisin yleisurheilusuoritus, huippukuulantyöntäjän suoritus on kestoltaan 1,3–1,5 sekuntia. Työntövaihe kestää 0,22–0,27 sekuntia (Kuva 7., Zatsiorsky 2003). Siinä ajassa 7,26 kg painavan välineen nopeus on pystytävä muuttamaan 2 m/s:ssa 14 m/s:iin, jos halutaan työntää 22 metriä (Yrjölä 2000, 18).

Kuulantyönnössä käytetään kahta eri tekniikkaa perinteistä liukusiirron kautta tapahtuvaa työntötapaa ja pyörähdystekniikkaa (Linthorne 2001). Lajivaatimukset eivät kummassakaan juuri poikkea toisistaan, mutta pyörähdystekniikka antaa enemmän mahdollisuuksia lyhyemmällekin työntäjälle päästä huipputuloksiin (Rahikainen ja Luhtanen 2001). Kuulantyöntö suorituksen lopussa kuulalle tuotetaan lopullinen lähtönopeus räjähtävällä käden ojennuksella, käyttäen käden ojentajalihaksia ja hartiasseudun lihaksia (Terzis ym. 2003). Lähtönopeus vaikuttaa eniten työnnön pituuteen. Maailmantason työntäjillä lähtönopeus on 12,5–14,5 m/s, joilla saavutetaan 19–23 metrin työntöjä (Dessureault 1978, Luhtanen ym. 1997, Hubbard ym. 2001).



KUVA 7. Kuulan nopeus työntösuorituksen aikana. (Rahikainen & Luhtanen 2001)



KUVA 8. Lähtönopeuden ja lähtökulman vaikutus työnnön pituuteen. (Linthorne 2002)

Kuvasta 8 nähdään lähtönopeuden ja lähtökulman vaikutus työnnön pituuteen. Laskennallisesti optimaalisin lähtökulma heittolajeissa on  $45^\circ$  (Linthorne 2001). Olympia- ja MM-tasolla kisatilanteessa mitatut lähtökulmat ovat kuitenkin aina pienempiä kuin  $45^\circ$  (Linthorne 2001, Hubbard ym. 2001). Lichtenberg ja Wills (1978) ovat määrittäneet optimaaliseksi lähtökulmaksi  $42^\circ$  huippukuulantyöntäjälle, joka työntää 22 m ja jonka irrotuskorkeus kuulasta on 2,14 m. Eri tutkimuksissa on mitattu huipputyöntäjiltä lähtökulma-arvoja  $26^\circ$  ja  $45^\circ$  väliltä, keskiarvon ollessa  $37^\circ$  (Dessureault 1978, Bartonietz ja Borgström 1995, Luhtanen ym. (1997)). Syy tähän eroon on luultavasti se että lähtö-

nopeus, -korkeus ja – kulma eivät ole toisistaan riippumattomia, kuten Lichtenberg ja Wills (1978) oletivat. Redin ja Zogaipin (1977) yhtälö onkin todettu tarkemmaksi. Tässä yhtälössä optimaalinen lähtökulma lasketaan yhdistämällä kuulan vapaa lentopituus yhtälö ja lähtönopeuden, -korkeuden ja – kulman yhteydet toisiinsa. Optimikulmaa tärkeämpi tekijä suorituksen pituuteen on lähtönopeus. Esimerkiksi 3 ° kulman muutos ei vaikuta työntön pituuteen 10 cm enempää (Linthorne 2001).

Mieskuulantyöntäjien kuulan lähtökorkeudeksi on saatu useissa tutkimuksissa 210–230 cm maanpinnasta (Rahikainen 1998, Linthorne 2001). Lähtökorkeudella ei ole merkittävää vaikutusta työntön pituuteen (Linthorne 2001). Kuulan lentorataa tutkittaessa ei tarvitse ottaa huomioon aerodynaamista vastusta ja nostetta, koska sillä ei ole merkittävää vaikutusta työntön pituuteen (Hubbard ym. 2001, Ranta ym. 1998). Rahikaisen (1998) mukaan ilmavastuksen vaikutus yli 20 metrin työnnössä on 10 cm. Myöskään tuulella, kuulan pyörimisellä ja korkeuseroilla ei ole merkittävää vaikutusta kuulan lentorataa (Ranta ym. 1998, Linthorne 2001).

### **3.3 Moukarinheitto**

Moukarinheittosuoritus kestää 1,6–2,4 sekuntia. Tässä ajassa moukarin lähtönopeudeksi on pystyttävä kiihdyttämään 75–80 metrin heitossa 27–30 m/s. Moukarinheitossa välinettä kiihdytetään läpi koko suorituksen, loppuviedon osuuden ollessa vain 10–15 % välineen lähtönopeudesta (Rinta-aho 2002, 48).

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. (Dapena ym. 2003) 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. Lähtökorkeuden merkitys heiton pituuteen on hyvin minimaalinen. Bartonietz (2000) on arvioinut, 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 (Bartonez 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.

## 4 HUIPPUHEITTÄJIEN VOIMATUOTTO LAJISUORITUKSESSA JA LABORATORIO MITTAUKSISSA

Voimaharjoittelun tavoitteena on maksimivoimatason nostaminen pitkällä tähtäimellä lajisuorituksen edellyttämälle tasolle (Taulukko 1). Hankittua maksimivoimatasoa pyritään lisäksi jatkuvasti jalostamaan heittosuoritusta palvelevaksi laji- ja nopeusvoimaharjoitteilla. Voimaharjoittelua eri lajeissa määrää myös välineen paino, joka on yleisessä sarjasta M40 sarjaan 7,260 kg kuulassa ja moukarinheitossa sekä 2 kg kiekonheitossa. Tämän tyyppinen harjoituskuormitus kohdistuu selvästi hermolihasjärjestelmän nopeutta kehittäviin mekanismeihin. (Yrjölä 2000, 116, Rinta-aho 2002, 46, Haaranen 2004, 40.)

TAULUKKO 1. Valmennuskirjallisuudessa esitettyjä viitearvoja voimaominaisuuksista huipputasoin yleisen sarjan heittäjillä eri lajeissa. (Mukaeltu Yrjölä 2000, 103, Rinta-aho 2002, 51, Haaranen 2004, 43.)

	<b>Kuula</b>	<b>Kiekko</b>	<b>Moukari</b>
<b>Pituus (cm)</b>	180–200	190–200	180–190
<b>Paino (kg)</b>	110–130	90–120	100–120
<b>Lajitulos (m)</b>	19–22	65–70	75–85
<b>Rinnalleveto (kg)</b>	190–220	180–200	180–200
<b>Jalkakyykky (kg)</b>	300–350	250–270	200–250
<b>Penkkipunnerrus (kg)</b>	200–275	200–250	
<b>Vauhditon pituus (cm)</b>	320–340	310–330	310–330

Stone ym. (2003) totesivat luonteeltaan dynaamisten räjähtävän voiman testien kuvaavan parhaiten yliopistotason heittäjien kehittymistä voimaominaisuuksissa. Tehon, liikenopeuden ja voiman mittaus edellyttää kuitenkin laboratorio-olosuhteita. Käytännössä voimaominaisuuksien testaus tapahtuu vapailla painoilla toteutettavilla liikkeillä, joissa nostetun kuorman määrittäminen on yksinkertaista. Huipputasoin heittäjien voimaominaisuuksista on saatavilla kuitenkin niukasti luotettavasti raportoitua aineistoa ja tilanne on vastaava veteraanisarjoissa kilpailevien urheilijoiden osalta.

Maksimivoiman tuottaminen kestää 0,3–0,4 sekuntia. Kiekonheitossa, kuulantyönnössä ja moukarinheitossa työntö- tai vetovaihe kestää 0,2–0,27 sekuntia (Bartlett 1992, Zatsiorsky 2003). Tästä johtuen parhaatkaan heittäjät eivät saa maksimaalista voimaa työntö- tai vetovaiheeseen. Esim. 21–22 m kuulantyöntäjä, joka penkkipunnertaa 220–240 kg, tuottaa penkkipunnerruksessa voimaa 1070–1176 N / käsi, pystyy tuottamaan työntövaiheessa kuulaan 500–600 N eli 50 % maksimistaan. (Linthorne 2001, Zatsiorsky 2003.)

Voima ja teho ovat tärkeitä muuttujia pyrittäessä parhaaseen suoritukseen urheilussa. Kummatkin ominaisuudet ovat tärkeitä kuulantyöntäjälle, moukarin- ja kiekonheittäjälle tekniikan ohella. (Sale 1991, 89.) Voimantuottoa voidaan mitata usealla eri tavalla, mutta on tärkeää, että mittaustapa kertoo, mikä merkitys voimalla tai teholla on kyseisessä lajissa, mitä ominaisuuksia urheilijan tulisi kehittää ja miten harjoittelun avulla on pystytty parantamaan voimantuottoa (Abernethy & Wilson 2000, 142). Useimmin räjähtävää voimantuottoa kuvataan voimantuottonopeudella, jota voima-aika käyrä jyrkin nousukulma kuvaa (Mirkov ym. 2003).

#### **4.1 Voimantuotto kiekonheitossa**

Heittosuorituksessa kuormittuvat eniten jalat ja keskivartalon kierto- ja kiertolihakset. Lisäksi heiton vetovaiheessa kuormitus kohdistuu suurena rintalihaksiin. Jalkojen tuottaman voiman vaikutuksen heiton pituuteen on arvioitu olevan noin 70 %. Polvinivelen liikelaaajuus vaihtelee suorituksen aikana n. 90–180 astetta, ollen suurimmillaan alussa nojalle lähdeittäessä (vasen polvi koukussa) ja keskellä vetovaiheeseen tultaessa (oikea polvi). Polvikulmat oikenevat vasta vetovaiheen lopussa, kiekon irtoamishetkellä. Heittosuoritus kestää 1,2 – 2,0 sekuntia. Yli 60 m:n heitossa kiekon nopeus ennen loppuvetoa on n. 7–8 m/s ja loppuvetoon jälkeen 23–24 m/s. Kiekon suuri kiihtyvyyden (noin 16 – 17 m/s) on saavutettava n. 0,2 sekunnin aikana, mikä merkitsee huomattavia räjähtävän voiman vaatimuksia niille lihaksille ja lihasryhmille, jotka kuormittuvat eniten vetovaiheessa. Ennen loppuvetoa varastoidaan heittämiseen tarvittava liike-energia kehoon. Se synnytetään kierto-, työntö-, ja jarrutusvoimien avulla. Voimantuotto tapahtuu etupäässä jalkojen ja keskivartalon lihaksista oikea-aikaisella säätelyllä ja tarkoituksenmukaisilla nopeuksilla. (Bartlett 1992, Hay ja Yu 1995, Haaranen 2004, 38.)



## 4.2 Voimantuotto kuulantyyntössä

Kuulantyyntö on dynaaminen laji, joka vaatii korkeaa tehon tuottoa. EMG - tutkimuksilla on näytetty, että ylä- ja alavartalo osallistuvat voimantuottoon. Kuitenkaan ei ole tutkimuksia, joissa olisi tutkittu yksittäisen lihaksen toimintaa kuulantyyntösuorituksen aikana. (Terzis ym. 2003.)

Kuulantyyntössä jalkojen kuormittuminen on suurta koko suorituksen ajan. Lopussa vahva käsityö antaa kuulalle sen kiihtyvyyden, mutta ilman tehokasta ja oikea-aikaista jalkatyötä ei hyvään työntöasentoon päästä. Polvikulma on pienimmillään lähtökyyristyksessä n. 90 ° ja työntöasentoon tullessa n. 100–110 °. Keskivartalon lihakset aktivoituvat ennen käsityön alkua, tuottaen konsentrista kiertovoimaa. Tukipuolen lihaksisto on lähes staattisessa tilassa työntövaiheessa. Työntökäsi tuottaa lopputyöntössä ojentalihaksilla konsentrista voimaa. Vartalo on työntön alkaessa liikkeessä, joten voimantuottoa edeltää lyhyt eksentrisen vaihe. Saattovaihe kuormittaa myös kämmenen ja sormien lihaksia ja jänteitä. (Yrjölä 2000.)

Kuten edellä on käynyt ilmi kuulantyyntössä työntövaihe kestää 0,22–0,27 sekuntia. Maksimaalisen voiman tuottamiseen lihaksessa kuluu kuitenkin 0,3–0,4 sekuntia. (Zatsiorsky 2003.) Tämä tulee ottaa huomioon urheilijan voimaharjoittelussa, jossa tulee keskittyä maksimivoiman ohella räjähtävän voiman harjoittamiseen (Terzis ym. 2003).

## 4.3 Voimantuotto moukarinheitossa

Moukarinheitto kuormittaa jalkojen ja alaselän lihaksilta. Pyörähdyksissä keskipakoisvoimasta aiheutuva veto pyörimisradan suuntaan on kyettävä ottamaan vastaan pääosin alaselän staattisella lihastyöllä ja jaloilla. Moukarin kiihdytys tehdään suurelta osin keskivartalon kierto liikkeen avulla. 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, 563) 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 heiton aikana. (Bartonietz 2000.) Tärkeää on säilyttää mahdollisimman suuri liikelaajuus koko suorituksen ajan (Maronski 1991).

## 4.4 Voimantuotto-ominaisuudet ja niiden testaus

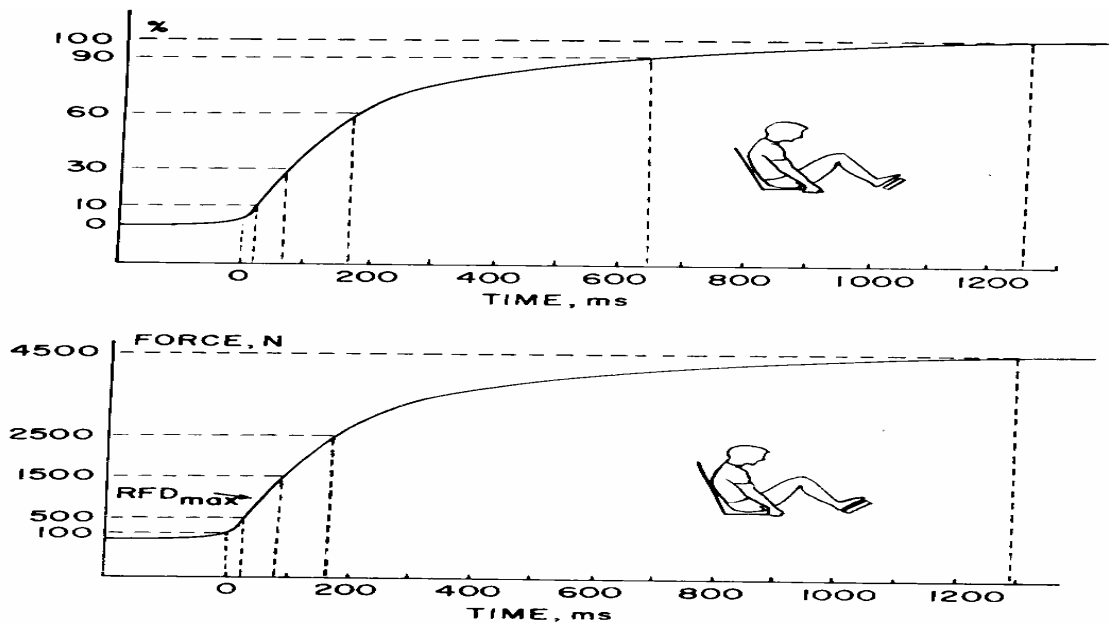
Voimantuottoa voidaan testata monella eri tavalla. Testejä voidaan suorittaa laboratoriossa tai kenttätesteinä. Lihasvoimalla tarkoitetaan useimmiten maksimivoimaa. Heittolajit vaativat maksimivoimaa, mutta ennen kaikkea räjähtävää voimaa, jonka testaaminen onkin tärkeää heittäjille. (Mirkov ym. 2003.)

### 4.4.1 Laboratoriset testit

Laboratorio-olosuhteissa voimaa voidaan tutkia tarkasti. Tällöin voidaan tutkia yksittäisten lihasten tai lihasryhmien voimantuottoa (Wilson 2000). Voimantuottoa voidaan mitata eri lihastyötavoilla, esim. isometrisesti, dynaamisesti ja isokineettisesti. Mitattaessa voimantuottoa eri lihastyötavoilla, voidaan samalla myös mitata motoristen yksiköiden aktiivisuutta EMG:n avulla (Sale 1991). Suomessa heittolajeista vain keihäänheitossa fyysistä suorituskkyä on seurattu aktiivisesti laboratoriotestein (Liite ry. 1998). Laboratoriset testit tukevat kenttätestejä, mutta eivät kokonaan korvaa niitä, sillä dynaamisuus ja koordinaatio ovat tärkeitä heittojen lajisuorituksissa. Eri testiasemilla ei ole testauksessa lajikohtaisia eroja.

*Isometrisessä* lihastyössä tuotetaan maksimaalinen voima liikkumatonta voimalevyä vasten, esim. jalkadynamometri. Isometrinen lihastyö on helppo standardisoida ja mitata uudelleen, suoritus tekniikka on helppo ja se ei vaadi aikaisempaa harjoittelua. Isometrisessä työssä toistettavuus on hyvä (Wilson 2000).

Isometrisessä työssä maksimivoiman tuottamiseen kuluu yli sekunti. Voima – aika käyrä on alussa voimakkaasti nouseva, kuten kuvasta 9 nähdään, 60 % voimataso maksimista saavutetaan alle 200 ms:ssa. Maksimi voimantuottonopeus saavutetaan yleensä jo ennen tätä (Sale 1991). Isometrisen voiman mittaamisessa voidaan käyttää vertailuarvona esim. 30 % maksimista tai 500 ms kohtaa (Viitasalo ym. 1980, Häkkinen ym. 1985, Bemiken ym. 1992).



KUVA 9. Isometrisen voima testauksessa saatava voima – aika käyrä ja voimatuottoajat prosenteissa. (Sale 1991)

Isometrinen voima ei korreloi kovinkaan hyvin eri dynaamisiin liikkeisiin. Tästä johtuen se ei sovellu teholajien urheilijoiden testaukseen. (Komi & Bosco 1978, Wilson 2000.)

Isometrisen ja dynaamisen voiman välillä on myös eroja ihmisen neuraalisessa ja mekaanisessa toiminnassa (Nawakaza ym. 1993). Dynaamisessa voimantuotossa on myös venymislyhenemisykli mukana voimantuotossa, joten elastisen energian kautta pystytään tuottamaan enemmän voimaa kuin konsentrisessa suorituksessa (Wilson 2000). Isometrisellä harjoittelulla pystytään parantamaan voimaa isometrisessä liikkeessä, dynaamisella harjoittelulla voidaan parantaa voimaa koko voima–nopeus käyrällä (Sale 1991).

*Dynaaminen* voiman testaaminen on lähempänä urheilusuoritusta ja on näin ollen lajinomaisempi tapa testata voimaa urheilijoilla. Dynaaminen voiman testaus suoritetaan esim. lihaskohtaisesti eri koneissa tai kokonaisvaltaisesti vapaan tangon testeinä. (Logan 2000 ym., 153) Voimaominaisuuksista voidaan testata mm. nopeus-, maksimi- tai kestovoimaa. Nopeusvoiman testauksessa käytetään mm. staattista ja kevennyshyppyä. Vapaalla tangolla testattaessa on oleellista ottaa huomioon, että harjoitteet kohdistuvat yleensä varsin moniin lihaksiin, jolloin tietyn lihaksen voimaa on mahdoton arvioida.

Levytangolla tehdyt voimatestit ovat yhtä toistettavia kuin isometrisetkin voimatestit kunhan suoritustekniikka vakioidaan. (MacDougall 1991 ym., 39-41)

*Isokineettistä* voimaa mitataan eri vakioiduilla kulmanopeuksilla. Mittauksissa on tärkeää, että laitteiston kalibrointi on suoritettu säännöllisesti, jotta nopeus pitää paikkansa. Isokineettinen voima vaihtelee läpi kauden heijastaen urheilijan harjoittelun ja kilpailemisen kokonaisrasitusta. (Wrigley & Strauss 2000.) Mittauksen ajankohta urheilijan päiväohjelmassa tulee ottaa huomioon, koska vuorokauden aika vaikuttaa tuloksiin (Wyse ym. 1994). Eksentristä työtä tehdessä on tärkeää muistaa riittävä lämmittely. Isokineettisessä testauksessa luotettavin tapa on edetä hitaista nopeuksista nopeisiin. Isokineettisten mittauksissa on otettava huomioon, että isokineettiset liikkeet ovat harvinaisia urheilusuorituksissa ja kulmanopeudet ovat yleensä hitaampia kuin monissa nopeaa liikettä vaativissa lajeissa. (Wilhite ym. 1992.)

#### **4.4.2 Kenttätestit**

Kenttätestejä kuulantönnössä, kiekonheitossa ja moukarinheitossa tehdään mm. räjähtävän voimantuoton tason määrittämiseksi. Yleisimpiä testejä tähän ovat kuulanneheittotestit pään yli taakse, jalkojen välistä eteen ja kiekossa lajinomaisena yhdellä kädellä sivulta heitto, joita käytetään testauksessa, mutta myös räjähtävän voiman hankinnassa. (Yrjölä 2000, 102, Rinta-aho 2002, 51, Haaranen 2004, 115.) Muita kenttätestejä ovat mm. lentävän 20 m juoksu, liikkuvuuden testaus esim. eteentaivutuksella ja maksimi-voiman testit levytangolla (Silvester 2003, 9).

#### **4.4.3 Heittotestit**

Lajinomaisin tapa testata kuulantönnön, kiekonheiton tai moukarinheiton suoritusta on suorittaa työntö- tai heittosuoritus. Valmennuksessa käytetäänkin paljon videokameraa, jonka avulla voidaan analysoida suoritus nopeasti jo harjoituksen aikana. Tarkempaan analyysiin päästään tekemällä liikeanalyysi kuvastusta suorituksesta käyttämällä jotakin siihen tarkoitettua erillistä 3 – D analysointiohjelmia. (Stepanek & Susanka 1986.)

Tulokset kilpailuissa kertovat parhaiten heittäjän sen hetkisen kunnon. On kuitenkin muistettava, että vaikka fyysinen suorituskyky olisi huipussa, niin ilman kunnossa olevaa tekniikkaa ei päästä parhaaseen tulokseen. Kilpailun aikana ei pystytä paljoakaan suoritusta muuttamaan, mutta valmentajan neuvoilla voidaan suoritusta hieman parantaa. (Silvester 2003, 42.)

Heittolajien harjoittelussa käytetään yli- ja alipainoisten välineiden suorituksia normaali-painoisen välineen lisäksi. Ylipainoisen välineen heitto (kiekko 2,2-3,0 kg, kuula 8 kg, moukari 8,5-10 kg) kertoo lajivoiman kehittymisestä eli siitä onko voimaharjoittelu ollut oikean tyyppistä ja kohdistunut oikeisiin lihaksiin. Alipainoisten välineiden heitoilla (kiekko 1,75 kg, kuula ja moukari 4-6 kg) pyritään säilyttämään tai kehittämään suorituksen liikenopeutta, koska kummassakin lajissa välineen lähtönopeus on tärkein yksittäinen muuttuja tarkastellessa suorituksen pituutta. Ylipainoista välinettä käytetään testauksessa voimaharjoittelukaudella ja alipainoista kilpailukaudella. (Bartlett 1992, Lintorhe 2001.)

## 5 ERI LIHASRYHMIEN VOIMANTUOTON YHTEYS KILPAILUTULOKSEEN ERI IKÄRYHMILLÄ

### 5.1 Nuoret

Nuorilla voimantuoton osuus kuulantyyönössä ei ole yhtä suuri kuin aikuisurheilijoilla, koska heidän kilpailusuorituksensa tekninen osaaminen lajissa ei ole vielä automaattista. Tähdättäessä maailman huipulle on voimaominaisuuksien pohjan luominen aloitettava mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. (Yrjölä 2000, 97.) Taulukosta 2 voidaan nähdä, että Arsi Harju on nuorena saavuttanut monipuolisen perustason, johon voidaan hyvin rakentaa huippu-urheilijan lajispesifinen harjoittelu.

Taulukko 2. Olympiavoittaja Arsi Harjun tulos- ja ominaisuuskehitys 13 – 23-vuotiaana. (Auvinen 1997)

ikä	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
tulos (m)	10,59	13,65	14,76	18,89	16,40/ /4kg	17,60	18,40	18,74	19,58	19,84	20,66
le 20m (s)	2,65	2,46	2,27	2,14	2,24	2,22	2,21	2,17	2,2		
cooper (m)	2400	2705	2670	2780	2650	2570	2800				
vauhd.pit. (cm)	245	273	285	287	302	305	307	302	305	302	
3-tasal. (cm)	680	825	880	943	965	955	975	945	960	935	
P.Y.T. (m)	13,20	15,5	16,65	16,05	18,53	17,85	18,05	18,20			
P.Y.E. (m)		16,10	18,80	21,00	18,00/4 kg	19,10	19,60	17,20			
olkan. liik. (cm)	42	44	47	48	50	48	50	50	50	50	
penkip. (kg)	60	110	147,5	153	162	165	170	180	195	225	230
jalkak. (kg)	110	160	190	205	220	235	240	250	270	300	
rinnalev. (kg)	50	75	100	125	135	150	150	150			
tempaus (kg)		50	70	92,5	100	105	110	115	125		
työntö (kg)		87,5	95	115	140	150	160	170 x3	200		

Kiekonheitossa nuorilla urheilijoilla on myös oleellista luoda hyvä pohja eri ominaisuuksissa, jotta oltaisiin valmiita aikuisiän harjoitteluun (Haaranen 2004, 106).

## 5.2 Aikuiset

Yleisen sarjan urheilijoilla voimantuoton merkitys kasvaa verrattuna nuoriin heittäjiin. Aikuiset ovat jo pystyneet harjoittelemaan lajitaitoja tarpeeksi, jotta suoritus olisi automaation tasolla. Kilpailuissa korostuvat enää pienet tekniset erot. Lajinomaisella voimantuotolla on suurempi merkitys mitattaessa eroja huippuheittäjien välillä. (Auvinen 1997.)

Kuulantyönnössä työntäjän tarvitsee esim. saada penkkipunnerruksesta 190 kg, jotta hänellä olisi hyvällä tekniikalla mahdollisuuksia työntää 20 m, kuten viimeisten 30 vuoden aikana kerättyjen suomalaisten ja kansainvälisten heittäjien testitulosten pohjalta tehdystä taulukosta 3 nähdään. Kiekonheittäjän täytyy saada 180 kg raakana rinnalle, jotta kiekko voisi tekniikan kohdallaan ollessa lentää 65 m. (Yrjölä 2000, 103, Haaranen, 2004, 43.)

Taulukko 3. Aikuisen kansainvälisen tason kuulantyöntäjän ja kiekonheittäjän ominaisuusvaatimuksia. (Auvinen 1997)

	<b>Kuula</b>		<b>Kiekko</b>	
	N	M	N	M
Tulostaso (m)	18	20	60	65
raaka tempaus (kg)	90	130	85	130
raaka rinnalleveto (kg)	110	170	105	180
etukyykky (kg)			115	200
takakyykky (kg)	170	250		260
penkkipunnerrus (kg)	100	190	100	200
5-vuoroloikka (m)	14,2	16,85	13,5	17
3-tasaloikka (m)	8,7	10,5	8,2	10,5
kuula P.Y.T a (m)	19,00/4	21,00/7	18,00/4	20,00/7
kuula A.E b (m)	17,5/4	19/7		
kuula P.Y.E c (m)			16,5/3	18,5/4

a P.Y.T. = pään yli taakse

b A.E. = alhaalta eteen

c P.Y.E. = pään päältä eteen

kuulan paino tuloksen yhteydessä

### 5.3 Veteraaniurheilijat

Veteraaniheittäjillä tehtyjä tutkimustuloksia voimantuotto-ominaisuuksien muutoksista iän myötä ei ole saatavilla. On kuitenkin selvää, että voima-ominaisuudet laskevat heillä myös iän myötä mutta minkä verran ja missä iässä muutokset ilmenevät suurimpana, on vielä epäselvää. Ikääntyvillä heittäjillä tapahtuva maksimivoiman ja erityisesti nopean voimantuoton aleneminen on todennäköisesti yhteydessä myös lajituloksissa tapahtuvaan laskuun muuta missä määrin, on vielä epäselvää. Veteraaniheittäjät ovat yleensä harjoitelleet esim. lihasvoimaa jossakin määrin useita vuosia, jolloin heidän voimatasona on tavallista kansalaista huomattavasti korkeammalla tasolla.

Veteraaniheittäjistä ei ole kerätty eri voimantuottotestien tuloksia paljoakaan, joten heille ei ole tehty mitään viitearvoja kuten nuorille tai yleisen sarjan heittäjille (Kraemer & Häkkinen 2002, 157). Vanheneminen aiheuttaa voimaa harjoittelemattomilla henkilöillä kuitenkin laskua sekä maksimi-, että nopeusvoimassa (Häkkinen 2003). Miten kyseiset ominaisuudet laskevat iän myötä veteraaniurheilijoilla, jotka ovat voimaharjoitelleet vuosikymmeniä, ei ole vielä selvää. Näyttäisi kuitenkin siltä, että myös voimaharjoitteleilla voimantuotto heikkenisi iän myötä, mutta ei kuitenkaan yhtä nopeasti kuin harjoittelemattomilla. (Häkkinen ym. 2000.)

Tutkittaessa eri lajien entisiä huippu-urheilijoita nähtiin, että voimalajeja harrastaneet, suorittivat säännöllistä voimaharjoittelua ja olivat hieman parempia räjähtävää voimaa mittaavassa vertikaalihypyssä (Kettunen ym. 1999).



## 6 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää **hermolihaskäijestelmän suorituskykyä** ala- ja yläraajojen osalta 40-, 50-, 60- ja 75-vuotiailla veteraaniheittäjillä. Tarkoituksena on myös tutkia vuosia jatkuneen voimaharjoittelun vaikutuksia veteraaniurheilijan voimantotto-ominaisuuksiin ja lajisuorituskykyyn.

Tutkimusongelmat ovat:

1. Miten vuosia jatkunut voimaharjoittelu vaikuttaa ala- ja yläraajojen ojentaja- ja koukistajalihaksiin eri ikäisillä?
2. Onko hermolihaskäijestelmän suorituskyvyn heikkeneminen veteraaniheittäjillä iän myötä yhtä voimakasta kuin ikääntyvillä yleensä?

## 7 MENETELMÄT

### 7.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui vapaaehtoisesti 60 koehenkilöä, jotka olivat iältään 35 – 85 -vuotiaita miehiä. 28 heistä osallistui tutkimukseen kontrollihenkilöinä, joilla ei ollut voimaharjoittelutaustaa. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden ikä ja vaihteluväli

	<b>M40</b>	<b>M50</b>	<b>M60</b>	<b>M75</b>	<b>K40</b>	<b>K50</b>	<b>K60</b>	<b>K75</b>
	<b>(n=6)</b>	<b>(n=5)</b>	<b>(n=12)</b>	<b>(n=9)</b>	<b>(n=6)</b>	<b>(n=7)</b>	<b>(n=10)</b>	<b>(n=5)</b>
<b>Ikä (v)</b>	40,0 (±3,0)	50,4 (±1,1)	60,8 (±2,1)	75,0 (±4,9)	42,0 (±3,6)	51,4 (±3,0)	61,1 (±2,7)	69,2 (±3,7)
<b>Vaihteluväli (v)</b>	36-44	49-52	57-64	69-85	35-45	47-55	57-64	65-74

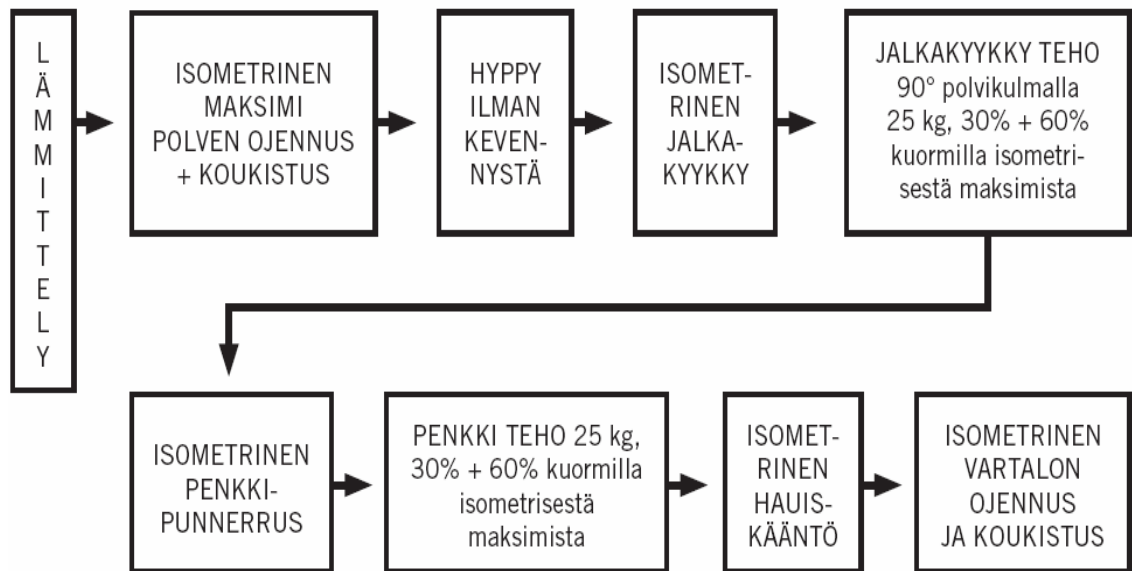
32 koehenkilöä harrastivat ja kilpailivat aktiivisesti yleisurheilun veteraanisarjoissa heit-  
tolajeissa (Taulukko 5). Vuoden 2002 kilpailutulosten perusteella valittiin henkilöt, joil-  
le lähetettiin kyselylomake, jossa tiedusteltiin aikaisempia kilpailutuloksia, saavutuksia,  
harjoittelumääriä 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 tutkimuk-  
sessa mukanaolon. Tutkimuksen toteuttamiseen saatiin Jyväskylän yliopiston eettisen  
toimikunnan hyväksyntä.

TAULUKKO 5. Veteraaniheittäjien harjoitustaustaa ja suoritustasoa kuvaavia lukuja.

	<b>Harjoitus- tausta (v)</b>	<b>Voimaharjoi- tuskerrat/vko (lkm)</b>	<b>Heittoharjoi- tuskerrat/vko (lkm)</b>	<b>Penkki- punnerrus</b>	<b>Jalka- kyykky</b>	<b>Vauhditon pituus</b>
<b>M40</b>	24.5 (±8.3)	2.4 (±1.4)	0.9 (±0.7)	130 (±19)	211 (±41)	269 (±31)
<b>M50</b>	16.4 (±14.5)	2.8 (±1.2)	0.7 (±1.0)	114 (±29)	138 (±40)	256 (±13)
<b>M60</b>	27.5 (±14.8)	2.1 (±1.1)	1.8 (±0.8)	91 (±19)	124 (±35)	224 (±13)
<b>M75</b>	27.2 (±19.8)	1.8 (±0.9)	1.2 (±1.0)	69 (±11)	112 (±50)	205 (±32)

## 7.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin heittäjien osalta Jyväskylässä liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa syksyn 2003 aikana ja kontrollihenkilöiden osalta vuoden 2004 aikana. Koehenkilöille suoritettiin ensin antropometriset mittaukset, joihin kuuluivat pituuden, painon, rasvaprosentin ja lihaspaksuuden määrittäminen. Seuraavaksi koehenkilö suoritti 10 minuutin lämmittelyn polkupyöräergometrillä. Lisäksi tutustuttiin mittauksissa käytettävään Smith-laitteeseen, jossa koehenkilö suoritti 2-4 sarjaa jalkakyykkyä. Tämän jälkeen suoritettiin voimatestit kuvan 10. mukaisessa järjestyksessä. Palautus suoritus-ten välillä oli 2 minuuttia ja liikkeiden välillä 3 minuuttia. Mittausten kokonaiskesto oli noin 2 tuntia.



KUVA 10. Veteraanitutkimuksen voimamittaukset.

## 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 ihopoinmut mitattiin hauik-

sesta, ojentajasta, lapaluun kärjen suuntaisesta poimusta ja suoliluun harjun päällä olevasta ihopoimusta. Rasvaprosentti määritettiin Durnin & Wormersley (1974) taulukkoa käyttäen, jossa otetaan huomioon koehenkilön ikä. Lihaksen paksuus määritettiin ultraäänilaitteen (Aloka Fansonic SSD-190) avulla vastus lateralis (VL) ja vastus intermediuksen (VIM) yhteispaksuus ja triceps brachiin (TB) paksuus. Mittauskohdat määritettiin Freriksin ym. (1999) suositusten mukaan. Polvikulma oli 90 ° mittausten aikana. Mittaus toistettiin 2-4 kertaa ja mittausten keskiarvo otettiin mittaustulokseksi.

*Isometrinen voima.* Alaraajojen ojentajalihasten bilateraalin maksimaalinen tahdonalainen isometrinen voimantuotto mitattiin dynamometrissa 107 ° polvikulmalla, lonkkakulman ollessa 110° (Komi 1973). Jalkojen koukistajien voima mitattiin unilateraalisesti oikeasta jalasta David 200 (David fitness and medical) laitteessa 107 ° polvikulmalla (Häkkinen ym. 1998). Jalkojen ojentajien bilateraalin isometrinen voima mitattiin Smith-laitteessa (Kraftwerk) 90 ° polvikulmalla. Tangon liikkuminen ylöspäin isometrisessä jalkakyykyssä estettiin Smith-laitteen (Kraftwerk) turvarautojen avulla. Isometrisessä jalkakyykyssä koehenkilöitä ohjattiin turvallisuussyistä tekemään 3-4 sekunnin pituinen tasaisesti kasvava puristus, jotta selän asento pysyisi suorana voimantuoton aikana. Oikean kyynärvarren unilateraalinen isometrinen voima mitattiin voimapenkissä 90 ° olka-, kyynärvarren kulmalla. Kyynärvarren ojentajien bilateraalin isometrinen voima mitattiin penkkipunnerrus suorituksena Smith-laitteessa (Kraftwerk) olka-, kyynärvarrenkulman ollessa 90 ° ja hartia-tankolinjan ollessa vertikaalinen. Vartalokoukistajien ja ojentajien isometrinen voima mitattiin vartaldynamometrin avulla (Rantanen ym. 1997). Jokainen isometrinen liike tehtiin kolme kertaa ja jos voima kohosi yli 5 % tehtiin lisäsuoritus. Voiman mittauksissa koehenkilöitä ohjattiin ja kannustettiin voimakkaasti tuottamaan aina mahdollisimman suuri voima mahdollisimman nopeasti. Maksimivoimatason saavuttamisen varmistamiseksi suorituksen kestoksi ohjattiin 3-4 sekuntia.

*Dynaaminen voima.* Kaikki dynaamisen voiman mittaukset suoritettiin Smith-laitteessa (Kraftwerk). Suoritukset tehtiin voimalevyjen (Kistler, keräystaajuus 1000Hz) päällä, joiden data tallennettiin tietokoneelle ja näin saatiin taltioitua myös reaktiivoimat suorituksen ajalta kaikista dynaamisen voimantuoton liikkeistä. Liikkeinä olivat jalkakyyky ja penkkipunnerrus. Kuormanmäärä määriteltiin isometrisistä mittauksista saaduista arvoista. Kuormina oli jokaisessa liikkeessä ensin tanko, joka painoi 25 kg. Lisäksi suo-

ritukset tehtiin 30 % ja 60 % maksimi isometrisestä arvosta. Jokaisella kuormalla koehenkilöllä oli kaksi suoritusta, joista parempi suoritus otettiin mukaan tulosten tarkasteluun.

Jalkakyykyssä laskeuduttiin ensin 90 asteen polvikulmaan, johon pysähdyttiin äänimerkin soitua vähintään sekunniksi. Kyykystä noustiin mahdollisimman räjähtävästi ylös. Penkkipunnerruksessa tanko laskettiin ja pysäytettiin alas, jonka jälkeen se nostettiin räjähtävästi ylös ojentaen kädet suoriksi ja päästäen tangosta irti. Tangon pysäyttämiseen käytettiin tietokone ohjattua jarrua. Sekä jalkakyykyssä että penkkipunnerruksessa koehenkilöllä oli kaksi suoritusta kutakin kuormaa kohden.

Jokaisesta suorituksesta määritettiin teho käyttäen Ballistic Measurement Systemiä (Innervations, Indiana, USA). Ohjelma laskee tehon potentiometrin avulla, joka sijaitsee kohdistuoraa tangon toisen pään alla. Potentiometri ilmoitti tangon kulkeman matkan ja ajan (Izquierdo ym. 2002). Lisäksi ohjelmaan syötettiin tangon massa, jolloin pystyttiin teho laskemaan käyttäen kaavaa  $P=Fv$ , jossa  $F=mg$ . Tiedot tallennettiin tietokoneelle myöhempää analysointia varten. Mittauksissa kontrolloitiin polvikulman muutoksia elektronisen goniometrin (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä) avulla, jonka signaali myös tallennetaan tietokoneelle.

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

## **7.4 EMG aktiivisuuden taltiointi**

Maksimivoimantuoton aikana rekisteröitiin EMG-aktiivisuudet seitsemästä eri lihaksesta; vastus lateralis, vastus medialis, biceps femoris, gastronemius, biceps brachii, triceps brachii ja pectoralis major. EMG-signaali kerättiin talteen telemetrisesti (Glonner, Biomes 2000) ja vahvistettiin 200-kertaiseksi sekä suodatettiin käyttäen 25 – 500 Hz kaista-

taajuutta. Bipolaaristen pintaelektrodien (Beckman 650437, Illinois) sijoittelussa käytettiin Freriksin ym. (1999) suosituksia.

## 7.5 Analyysit

Isometrisistä voimatesteistä (jalkojen bilateraalin ekstensio ja unilateraalinen fleksio, käden bilateraalin ekstensio ja unilateraalinen fleksio, sekä vartalon ojennus ja koukistus) analyysiin valittiin kolmesta suorituksesta paras. Voimantuottonopeutta tarkasteltiin lisäksi RFD-arvolla (Viitasalo ym. 1980) sekä 100 ja 500 millisekunnin keskimääräisen voiman avulla (Häkkinen ym. 1985). Lihasaktivaatiota arvioitiin tasasuunnatun ja integroidun EMG-signaalin (iEMG) avulla aikaväleillä 0-100ms, 0-500ms ja 500-1500ms. Näistä jälkimmäinen määritettiin maksimaaliseksi iEMG-arvoksi, jota käytettiin referenssinä dynaamisen ja isometrisen voimantuoton lihasaktivaatiota arvioitaessa.

Lihasaktiivisuutta arvioitiin kaikissa suorituksissa iEMG signaalin avulla polven ojentajalihaksista ja polven ekstensiossa antagonistina toimineesta biceps femoris lihaksesta. Antagonistikoaktivaatiota arvioitiin suhteuttamalla dynaamisen liikkeen iEMG arvo lihasryhmän maksimaaliseen iEMG arvoon (maksimiaktiivisuus) (Häkkinen ym. 1998a).

Dynaamisissa liikkeissä laskettiin suorituksessa tankoon tuotettu keskimääräinen teho. (Izquierdo ym. 2002). Suorituksista valittiin tarkasteltavaksi se suoritus, jossa tangon maksiminopeus oli suurin. Jalkakyykky suorituksia analysoidessa laskenta suoritettiin lähtöasennon ala-asennosta täyteen jalkojen ojennukseen yläasennossa. Dynaamisten liikkeiden lihasaktiivisuus analysoitiin Kulma ohjelman (Jyväskylän Yliopisto, Liikuntabiologian laitos) avulla liikkeen ajalta 107 +/-5- asteen polvikulmaväliltä. Antagonistikoaktivaatiota arvioitiin suhteuttamalla dynaamisen liikkeen iEMG arvo lihasryhmän maksimaaliseen iEMG arvoon (Häkkinen ym. 1998).

Penkkipunnerruksessa suorituksen teho laskettiin ala-asennosta yläasentoon olleelta matkalta. Tarkasteluun valittiin suoritus, jossa tangon maksiminopeus oli suurin. Suorituksessa käytettiin apuna mekaanista jarrua, jotta koehenkilö voi tuottaa voimaa koko

matkan ajalta tasaisesti, eikä joudu pysäyttämään tankoa lopussa suorille käsille, vaan pystyy irrottamaan siitä lopussa.

## **7.6 Tilastolliset analyysit**

Aineiston tilastolliseen käsittelyyn käytettiin SPSS 11.01 for Windows - ja Excel Office XP – ohjelmia. Tilastollisissa analyysissä käytettiin keskiarvoja, keskihajontoja ja keskivirheitä. Merkitsevyyksiä ryhmien välille laskettaessa käytettiin Post Hoc LSD – testiä. Tilastollisen merkitsevyyden havaitsemiseksi asetettiin merkitsevyyden 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

Tarkasteltaessa veteraaniheittäjien välisiä eroja M40 ryhmä oli merkitsevästi pitempi ja painavampi kuin M60 ja M75 ryhmä ( $p<0.05$ ). Painon ja pituuden suhteen muiden ryhmien välillä ei ollut tilastollista eroa. M40 ryhmän ultraäänimittauksella todettu reisilihaksen paksuus oli merkitsevästi suurempi kuin kahdella ikääntyneimmällä ryhmällä ( $p<0.01$  ja  $p<0.001$ ). Käden ojentalihaksen paksuus oli M40 ryhmällä merkittävästi suurempi kuin M60 ja M75 ryhmällä ( $p<0.05$ ). Ainoastaan rasvaprosentin määrittämisellä ihopoimumittauksella saatiin merkitsevä ero M40 ja M60 ryhmän välille ( $p<0.05$ ), muiden ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Ryhmien antropometristen mittaustulosten keskiarvot ja -hajonnat

	<b>Ikä (v)</b>	<b>Pituus (cm)</b>	<b>Paino (kg)</b>	<b>Rasva % Ihopoimu</b>	<b>Rasva % Bioimpedanssi</b>	<b>Lihaspaksuus VL+VIM</b>	<b>TB</b>
<b>M40</b>	39.5 (36-44)	185.5 (±7.5)	109.2 (±19.2)	21.3 (±5.0)	24.1 (±4.3)	4.8 (±0.4)	3.6 (±0.7)
<b>M50</b>	50.4 (49-52)	181.6 (±3.8)	94.7 (±12.5)	22.6 (±3.4)	23.4 (±5.2)	4.2 (±0.8)	3.3 (±0.4)
<b>M60</b>	60.7 (57-64)	177.8 (±8.0)	94.2 (±13.4)	27.1 (±5.8)	25.5 (±4.7)	3.9 (±0.7)	3.2 (±0.4)
<b>M75</b>	75.0 (69-85)	177.3 (±4.7)	87.4 (±11.0)	23.3 (±7.5)	27.4 (±3.7)	3.7 (±0.7)	2.9 (±0.3)
<b>K40</b>	42.0 (35-45)	179.8 (±10.2)	78.3 (±11.3)	23.0 (±4.1)	21.8 (±3.4)	4.0 (±0.4)	2.5 (±0.4)
<b>K50</b>	51.4 (47-55)	174.4 (±8.8)	75.5 (±10.9)	24.9 (±5.7)	22.2 (±4.1)	3.8 (±0.5)	2.4 (±0.5)
<b>K60</b>	61.1 (57-64)	177.1 (±5.7)	80.0 (±12.2)	24.2 (±4.4)	26.1 (±3.1)	3.8 (±0.4)	2.6 (±0.3)
<b>K75</b>	69.2 (65-74)	175.2 (±5.8)	75.7 (±11.1)	25.5 (±5.4)	24.7 (±2.2)	3.1 (±0.2)	2.4 (±0.2)

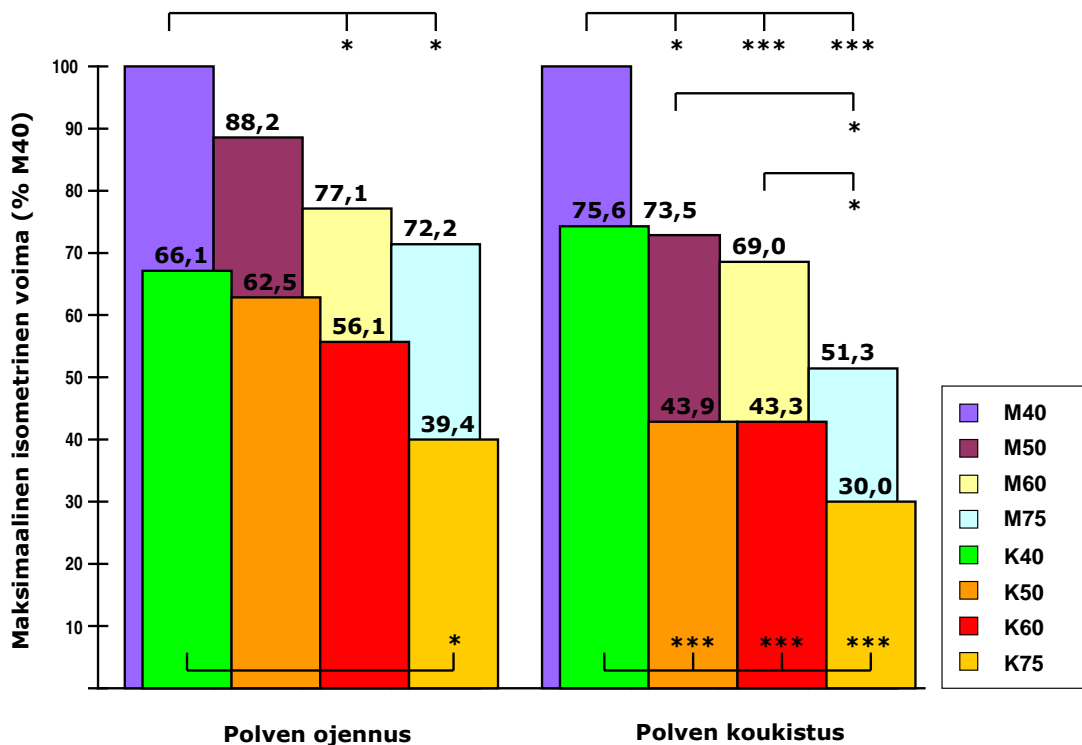
Kontrolliryhmän ja heittäjien välillä oli merkitsevä ero pituudessa M40 ja K50, K60 ja K75 ryhmien välillä ( $p<0.05$ ). M40, M50 ja M60 ryhmät olivat merkittävästi painavampia kuin kontrolliryhmät ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Ainoastaan M75 ryhmä ei eronnut kontrolliryhmistä painon suhteen merkittävästi. Rasvaprosenttimittauksissa eroa tuli vain impedanssimittauksessa, jossa M75 ryhmällä oli merkittävästi suurempi rasvaprosentti kuin K40 ja K50 ryhmillä ( $p<0.05$ ), lisäksi K60 oli merkittävästi suurempi rasvaprosentti kuin K40 ryhmällä ( $p<0.05$ ).



Vastus medialiksen ja vastus intermediuksen yhteispaksuudessa M40 oli merkittävästi paksumpi lihas kuin kontrolliryhmillä ( $p<0.001$ ). Lisäksi K75 lihaspaksuus oli merkittävästi pienempi kaikkiin muihin ryhmiin verrattuna ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Triceps brachii (TB) – lihaksen paksuus oli M40, M50 ja M60 ryhmillä merkittävästi suurempi kuin kontrolliryhmillä ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). M75 ryhmällä oli lisäksi merkittävästi paksumpi TB kuin K50 ryhmällä ( $p<0.05$ ).

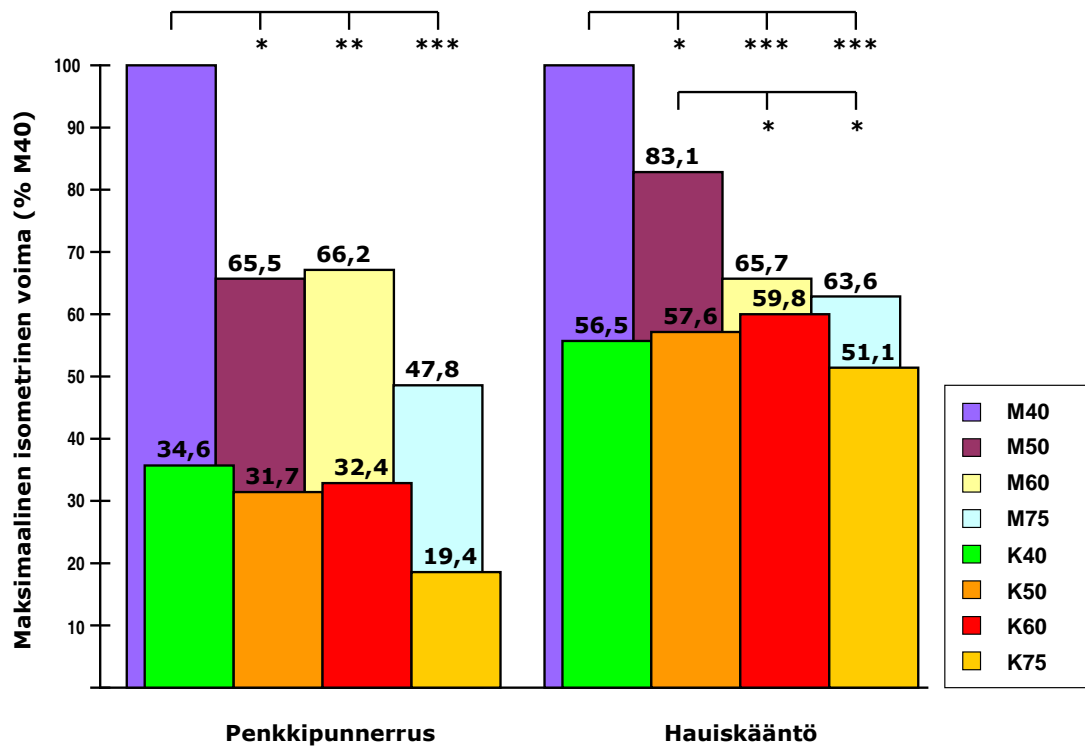
## 8.2 Isometrinen voimantuotto

Maksimaalinen isometrinen voima oli M40 bilateraaliossa alaraajojen ojennuksessa merkittävästi suurempi kuin M60 ja M75 ryhmillä ( $p<0.05$ ). Isometrisessä unilateraaliossa polven koukistuksessa erot olivat suurempia ja merkittävät erot muodostuivat M40 ja M75 ryhmien lisäksi myös M40 verrattuna M50 ja M60 ryhmien välille. Myös M50 ja M60 ryhmien voima polven koukistajien isometrisessä maksimivoimassa oli merkittävästi suurempi kuin M75 ryhmällä. (Kuva 11.)



KUVA 11. Suhteellinen isometrinen maksimivoima bilateraaliossa polven ojennuksessa ja unilateraaliossa polven koukistuksessa. (\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$ )

K40 tuotti merkitsevästi enemmän voimaa bilateraalisessa alaraajojen ojennuksessa kuin muut kontrolliryhmät ( $p < 0.05$ ). Isometrisessä unilateraalisisessa polven koukistuksessa K40 oli merkitsevästi suurempi maksimaalinen voima kuin K50, K60 ja K75 ryhmillä ( $p < 0.001$ ). Sekä bilateraalisessa polven ojennuksessa, että unilateraalisisessa polven koukistuksessa maksimaalinen isometrinen voima oli merkittävästi suurempi M40 ryhmällä verrattuna K40, K50, K60 ja K75 ryhmiin ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Samoin myös M50 ryhmä oli merkitsevästi vahvempi K50, K60 ja K75 ryhmiä ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ) kummassakin liikkeessä. Kuten myös M60 oli vahvempi kuin K60 ja K75 ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ). Lisäksi M75 oli merkittävästi vahvempi kuin K75 ( $p < 0.01$ ) alaraajojen liikkeissä.



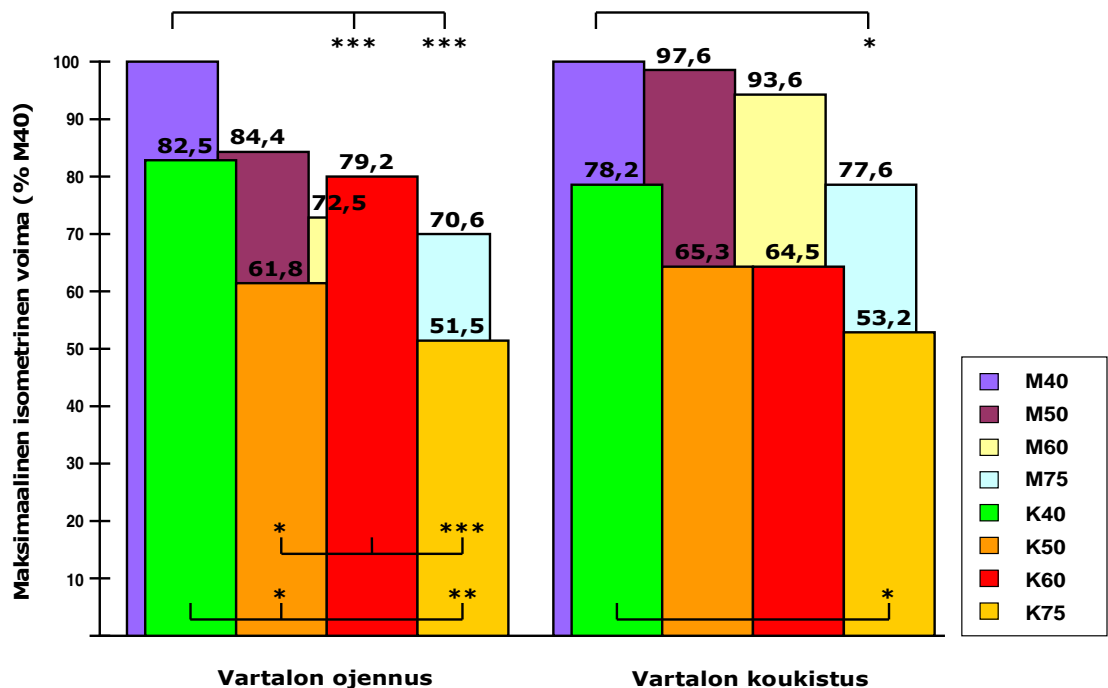
KUVA 12. Suhteellinen isometrinen maksimivoima bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa (penkkipunnerrus) ja unilateraalisisessa kyynärvarren koukistuksessa (hauiskääntö). (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ )

Sekä bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa, että unilateraalisisessa kyynärvarren koukistuksessa M40 isometrinen maksimivoima oli merkittävästi suurempi kuin M50, M60 ja M75 ryhmien ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Lisäksi unilateraalisisessa kyynärvarren koukistuksessa M50 ryhmä oli merkittävästi vahvempi kuin M60 ja M75 ( $p < 0.05$ ).

Kontrolliryhmien välille ei muodostunut tilastollisesti merkitsevää laskua isometrisessä maksimivoimassa ylävartalon liikkeissä. (Kuva 12.)

M40 ja M50 olivat merkitsevästi vahvempia kontrolliryhmiin verrattuna sekä bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa, että unilateraalisessa kyynärvarren koukistuksessa ( $p < 0.001$ ). M60 oli bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa merkitsevästi vahvempi kuin M75 ( $p < 0.05$ ). Bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa M60 oli kaikkia kontrolliryhmiä merkitsevästi vahvempi ( $p < 0.001$ ). M75 oli K50, K60 ja K75 merkitsevästi vahvempi bilateraalisessa kyynärvarren ojennuksessa ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ).

Vartalon koukistuksessa merkitsevä ero oli vain M40 ja M75 ryhmän välillä ( $p < 0.05$ ), kun taas vartalon ojennuksessa M40 oli merkittävästi vahvempi M60 ja M75 ryhmiin verrattuna ( $p < 0.001$ ). Kontrolliryhmien välillä K40 ja K60 olivat merkitsevästi vahvempia K50 ja K75 verrattuna vartalon ojennuksessa ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). K40 oli merkittävästi vahvempi K75 verrattuna vartalon koukistuksessa ( $p < 0.05$ ). (Kuva 13.)



KUVA 13. Suhteellinen isometrisen maksimivoima vartalon ojennuksessa ja vartalon koukistuksessa. (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ )

M40, M50 ja M60 olivat merkittävästi vahvempia vartalon koukistuksessa verrattuna kontrolliryhmiin ( $p < 0.001$ ). M75 ryhmä erosi merkittävästi K75 ryhmästä vartalon kou-

kistuksessa ( $p < 0.05$ ). Vartalon ojennuksessa M40 oli merkittävästi vahvempi kontrolliryhmiä ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ). M50 erosi merkittävästi K50 ja K75 ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ). M60 ja M75 erosivat merkittävästi K75 ryhmästä vartalon ojennuksessa ( $p < 0.05$ ).

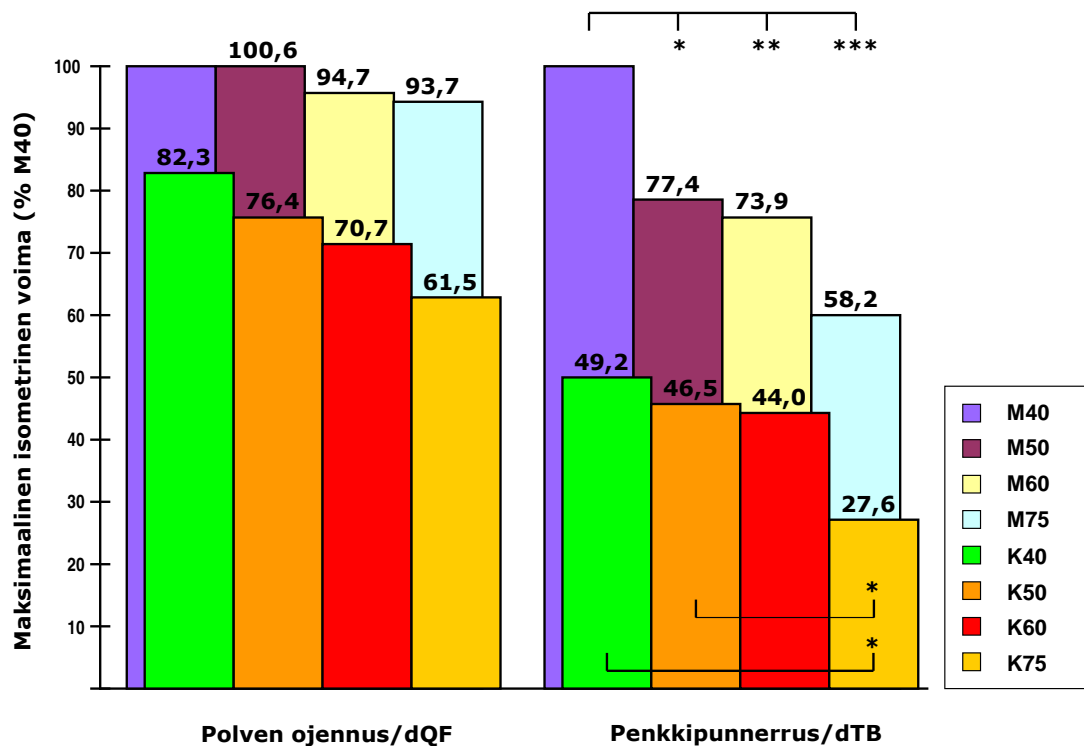
TAULUKKO 7. Voimatuottonopeus (%) eri liikkeissä suhteutettuna M40 arvoihin.

RFD	Polven ojennus	Polven koukistus	Penkki- punnerrus	Hauiskääntö
M40	100	100	100	100
M50	57,6	40,7	61,1	43,3
M60	51,3	48,1	59,1	56,8
M75	44,8	35,2	43,1	53,0
K40	59,2	64,7	61,3	62,4
K50	50,4	35,9	55,2	54,1
K60	58,6	32,7	51,3	66,0
K75	26,9	17,1	41,0	38,4

Tarkasteltaessa voimantuottonopeutta isometrisissä liikkeissä M40 ryhmän arvo oli muita ryhmiä merkitsevästi suurempi ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Polven ojennuksessa M50, M60, K40, K50 ja K60 tuottivat K75 ryhmään nähden merkittävästi nopeammin voimaa ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). Polven koukistuksessa M60 ryhmä erosi merkittävästi M75 ja K75 ryhmistä ( $p < 0.05$ ). K40 erosi M75, K50, K60 ja K75 ryhmistä merkittävästi. ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). (Taulukko 7.)

TAULUKKO 8. Voiman keskiarvo (%) ensimmäisten 500 ms aikana suhteutettuna M40 arvoon

Voiman ka. 0-500 ms	Polven ojennus	Polven koukistus	Penkki- punnerrus	Hauiskääntö
M40	100	100	100	100
M50	70,6	57,0	85,7	55,5
M60	58,9	57,1	73,2	59,6
M75	51,0	27,9	50,7	56,5
K40	59,2	70,7	42,1	64,2
K50	53,8	41,1	34,0	65,3
K60	57,5	41,3	43,1	76,3
K75	57,5	21,6	20,2	66,2



KUVA 14. Suhteellinen isometrinen maksimivoima jaettuna lihaspaksuudella bilateraalissa polven ojennuksessa ja bilateraalissa kyynärvarren ojennuksessa (penkkipunnerrus). (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ )

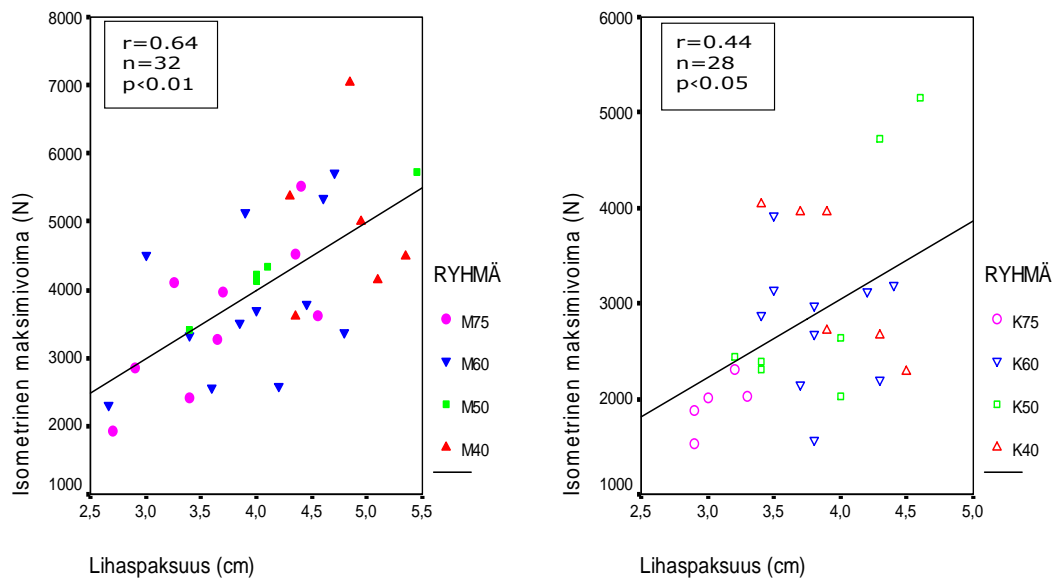
Jaettaessa isometrinen maksimivoima lihaspaksuudella heittäjä ja kontrolliryhmien sisällä ei ilmennyt merkitsevyyksiä. Penkkipunnerruksessa M40 oli merkittävästi vahvempi kuin M50, M60 ja M75 ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Kontrolliryhmien välillä K40 ja K50 olivat merkittävästi vahvempia kuin K 75 ryhmä ( $p < 0.05$ ). (Kuva 14.)

Heittäjät olivat kummassakin liikkeessä vahvempia joka ikäryhmässä verrattuna kontrolliryhmiin. Jalkojen voimassa K60 ja K75 olivat merkittävästi heikompia kuin heittäjäryhmät ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). Käsien voimassa M40, M50 ja M60 olivat merkittävästi vahvempia kuin kontrolliryhmät ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). M75 oli merkittävästi vahvempi kuin K75 ryhmä ( $p < 0.01$ ).

Keskimääräinen voima ensimmäisen 500 ms aikana oli merkittävästi isompi M40 ryhmällä verrattuna muihin ryhmiin kaikissa liikkeissä ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ), ainoastaan penkkipunnerruksessa M50 ryhmään ei tullut merkitsevää eroa. Polven koukistuksessa M50

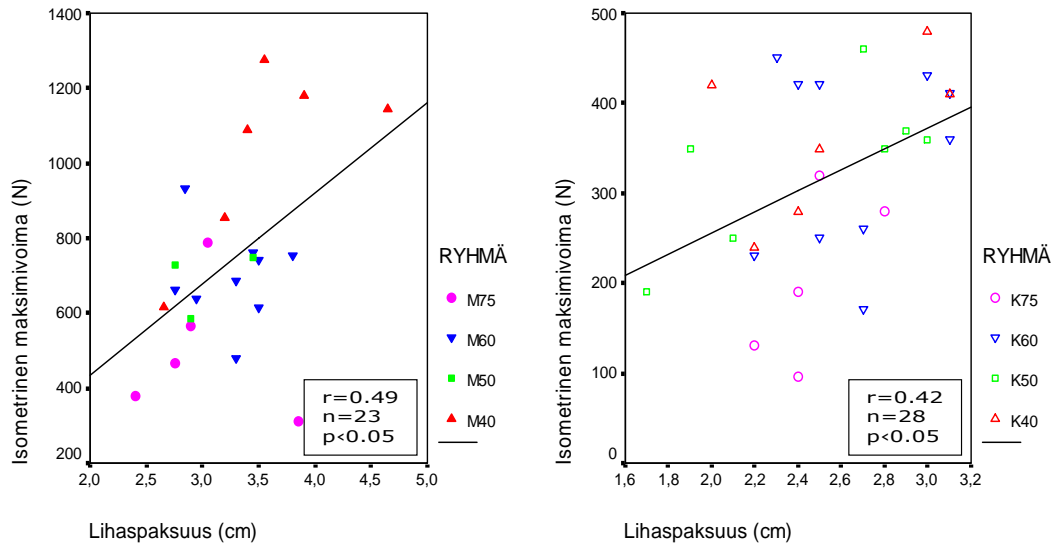
ja M60 ryhmät tuottivat merkitsevästi enemmän voimaa ensimmäisen 500 ms aikana kuin M75 ja K75 ( $p < 0.05$ ). K40 ryhmän ja muiden kontrolliryhmien välille tuli merkitsevyys polven koukistuksessa ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Penkkipunnerruksessa M50 tuotti merkitsevästi nopeammin voimaa kuin M75 ja kaikki kontrolliryhmät ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). M60 oli kontrolliryhmiä parempi ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). M75 tuotti K75 nopeammin voimaa ( $p < 0.001$ ). (Taulukko 8.)

Kuvasta 15 nähdään, että isometrisen alaraajojen ojennuksen maksimivoiman ja lihaspaksuuden välillä oli merkitsevä korrelaatio sekä heittäjillä ( $r = 0.64$ ,  $p < 0.01$ ), että kontrolliryhmillä ( $r = 0.44$ ,  $p < 0.05$ ).



KUVA 15. Lihaspaksuuden ja isometrisen alaraajojen maksimivoiman korrelaatio heittäjillä ja kontrolleilla.

Myös isometrisen yläraajojen ojennuksen maksimivoiman ja lihaspaksuuden välillä oli merkitsevä korrelaatio sekä heittäjillä ( $r = 0.49$ ,  $p < 0.05$ ), että kontrolliryhmillä ( $r = 0.42$ ,  $p < 0.05$ ) (Kuva 16).

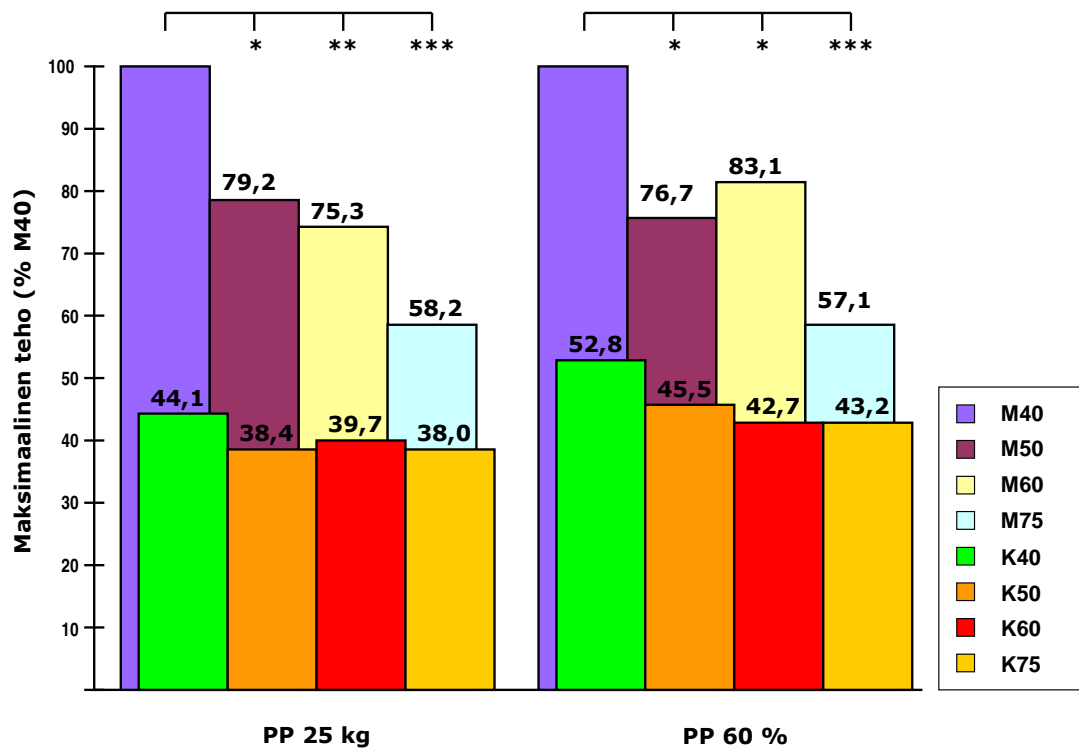


KUVA 16. Lihaspaksuuden ja isometrisen yläraajojen maksimivoiman korrelaatio heittäjillä ja kontrolleilla.

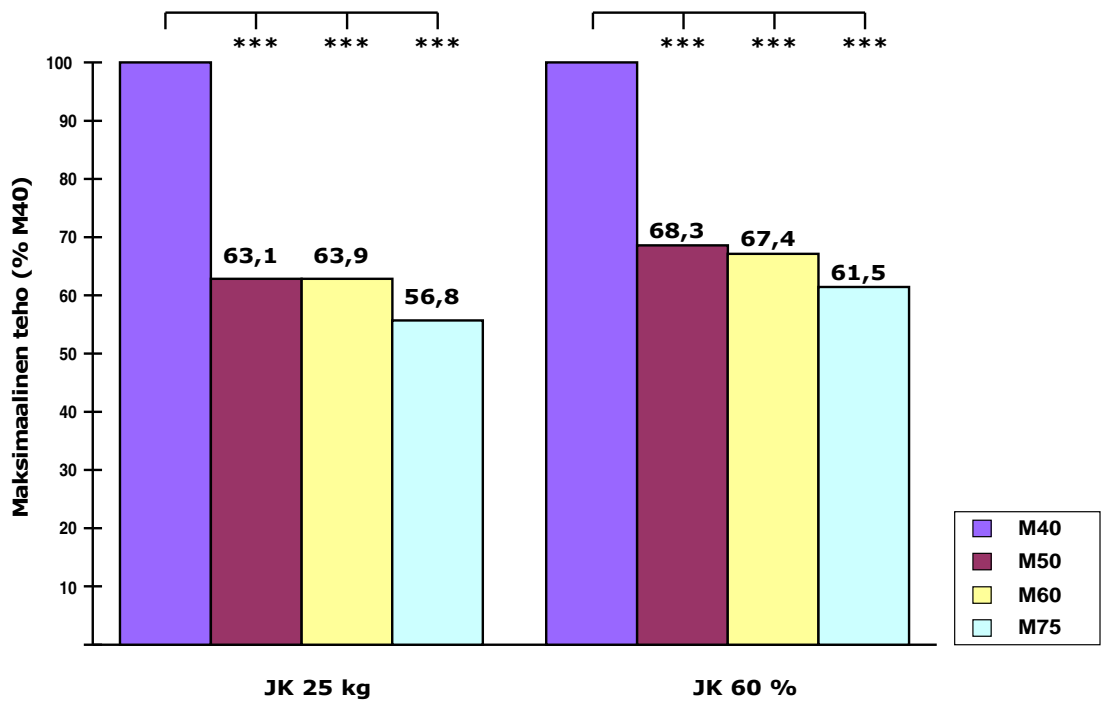
### 8.3 Teho

Penkkipunnerruksessa M 40 ryhmä pystyi tuottamaan suuremmat tehot sekä 25 kg, että 60 % kuormilla verrattuna muihin ryhmiin ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). Kontrolliryhmien välillä ei ollut merkitsevyyksiä. M40, M50 ja M60 tuottivat merkittävästi enemmän tehoa kuin kontrollit sekä 25 kg, että 60 % kuormalla ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ). M75 tuotti merkitsevästi enemmän tehoa 25 kg kuormalla verrattuna K50, K60 ja K75 ryhmiin ( $p<0.05$ ). (Kuva 17.)

Jalkakyykyssä ja rinnallevedossa teho mitattiin ainoastaan heittäjiltä. Jalkakyykyssä M40 oli merkitsevästi suurempi kuin muilla ryhmillä ( $p<0.001$ ) sekä 25 kg, että 60 % kuormilla (Kuva 18). Rinnallevedossa 25 kg kuormalla M40 erosi ainoastaan M75 ryhmästä merkitsevästi ( $p<0.05$ ). 60 % kuormalla isometrisestä maksimista M40 tuotti enemmän tehoa kuin muut ryhmät ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ) (Kuva 19).

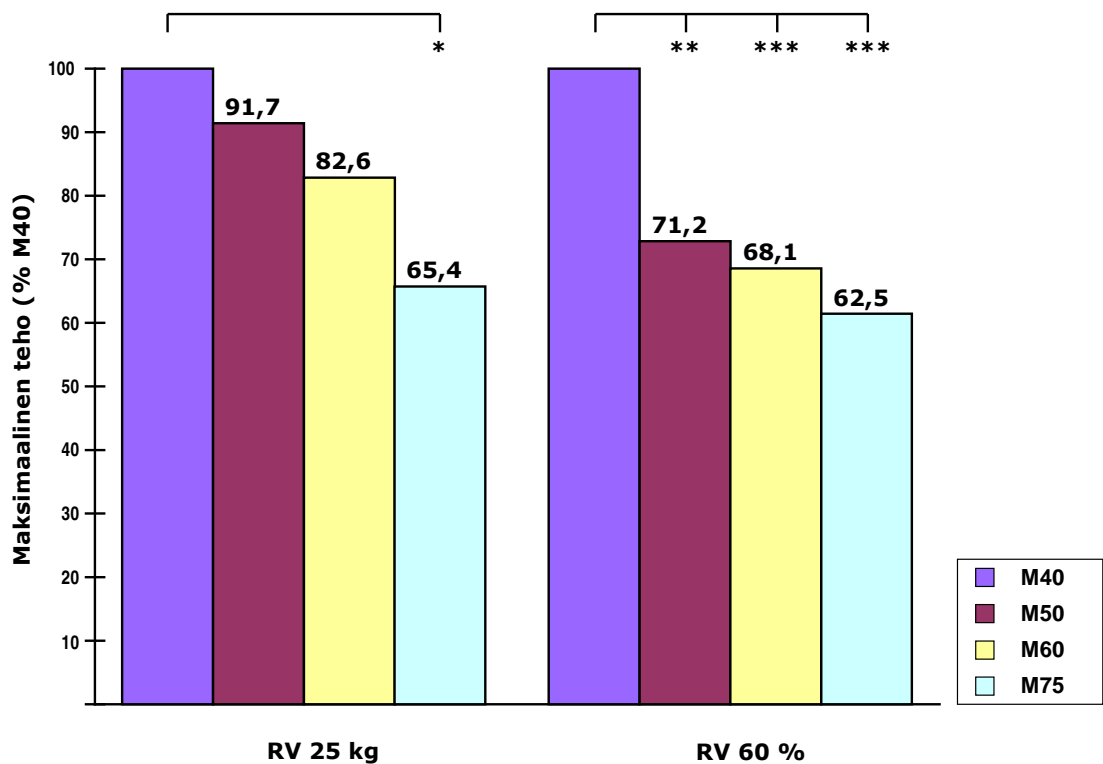


KUVA 17. Suhteellinen maksimaalinen teho penkkipunnerruksessa 25 kg ja 60 % kuormalla isometrisestä maksimista. (\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001)



KUVA 18. Suhteellinen maksimaalinen teho jalkakyykyssä 25 kg ja 60 % kuormalla isometrisestä maksimista. (\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001)



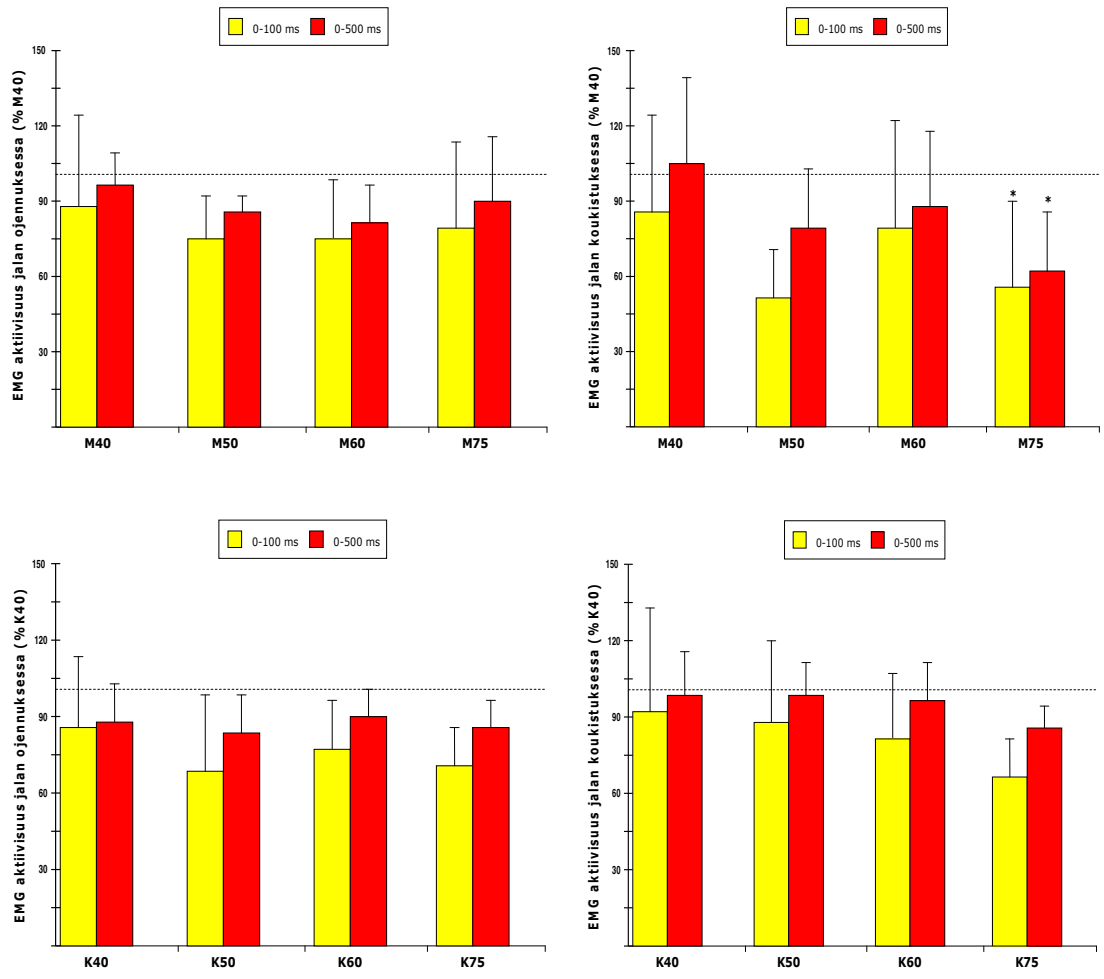


KUVA 19. Suhteellinen maksimaalinen teho rinnallevedossa 25 kg ja 60 % kuormalla isometrisestä maksimista. (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ )

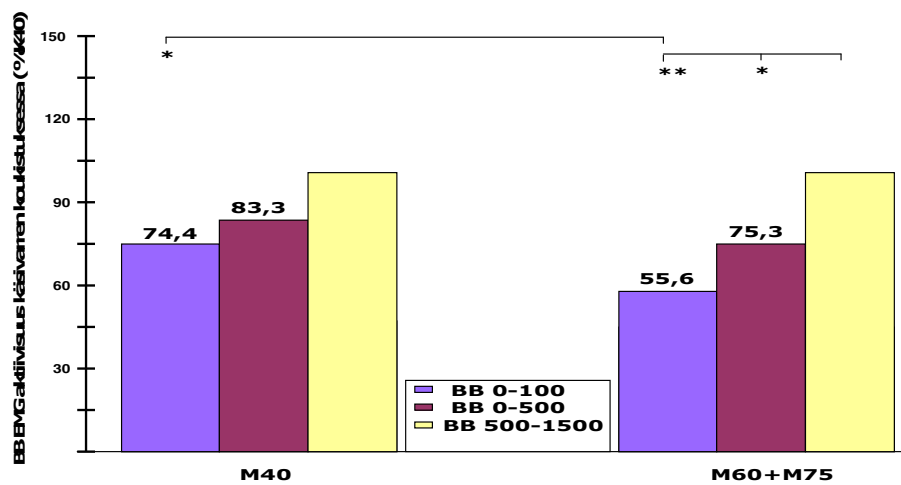
## 8.4 Lihasaktiivisuudet

Bilateraalisessa alaraajojen EMG: n tuottonopeus oli M40 ryhmällä muita ryhmiä suurempaa ja maksimissaan ensimmäisen 100 millisekunnin aikana. Merkitsevyyksiä ei kuitenkaan heittäjäryhmien välillä ilmennyt. Unilateraalisessa polven koukistuksessa M40 EMG aktiivisuus oli M75 ryhmää merkittävästi korkeampi ensimmäisten 100ms ja 500 ms aikana ( $p < 0.05$ ). (Kuva 20.) Kontrolliryhmissä ei syntynyt merkitseviä eroja alaraajojen isometrisissä liikkeissä.

Kyynärvarren unilateraalisessa koukistuksessa M40 oli merkittävästi suurempi iEMG -aktiivisuus ensimmäisten 100 ms aikana kuin yhdistetyllä M60+M75 ryhmällä (Kuva 21). Bilateraalisen kyynärvarren ojennuksen aikana ei havaittu merkitseviä eroja iEMG -aktiivisuudessa. Kontrolliryhmien kesken ei havaittu merkitseviä eroja yläraajojen liikkeissä. Antagonistiaktivaatiossa ei löytynyt merkitseviä eroja hauiskäännössä, penkkipunnerruksessa eikä jalkojen ojennuksessa.



KUVA 20. Polven ojentajien (VL ja VM) ja koukistajien (BF) iEMG – aktiivisuudet isometrisessä alaraajojen ojennuksessa ja koukistuksessa 0-100 ms ja 0-500 ms ajalta. (\*p<0.05).



KUVA 21. Kynärvarren koukistajan (BB) iEMG – aktiivisuus isometrisessä kynärvarren koukistuksessa 0-100 ms ja 0-500 ms ajalta (\*p<0.05, \*\*p<0.01).

## 9 POHDINTA

Maksimivoima- ja nopeusvoimaominaisuudet laskevat iän myötä sekä aktiivisesti voimaharjoittelua tekevillä heittäjillä että kontrolliryhmillä. Maksimaalinen isometrinen voima laskee ikääntymisen myötä enemmän alaraajoilla tehtävissä suorituksissa verrattuna yläraajoilla tehtyihin liikkeisiin aktiivisesti voimaharjoittelua tekevillä veteraaniheittäjillä. Kontrolliryhmillä lasku on samansuuntaista alaraajojen ja vartalon liikkeissä, mutta ylävartalon liikkeissä suhteessa hieman loivempaa. Nopeusvoimaominaisuuksien lasku ikääntymisen myötä on suurempaa kuin isometrisen maksimivoiman lasku. Tältä osin saatu tulos oli samansuuntainen monien aikaisempien tutkimustulosten kanssa. (Izquierdo ym. 1999a, Pearson ym. 2002.) Veteraaniheittäjien voimataso on kuitenkin saman ikäisiin verrattuna selkeästi korkeampi (Frontera ym. 1991 ja Izquierdo ym. 1999a).

Izquerdon ym. (1999a) tutkimuksessa isometrisessä bilateraalisessa polven ojennuksessa M65 ikäryhmä pystyi tuottamaan 72 % M40 ikäryhmän maksimista. Veteraaniheittäjillä M60 ikäryhmällä vastaava luku oli 77,1 % ja M75 ikäryhmällä 72,2 %. Veteraaniheittäjät olivat selkeästi korkeammalla absoluuttisella voimatasolla kuin kontrolliryhmät. Kaikissa liikkeissä, paitsi polven koukistuksessa ja vartalon ojennuksessa 75-vuotiaat heittäjät olivat 40-vuotiaita kontrolleja korkeammalla absoluuttisella voimatasolla (Kuvat 11, 12, 13). Etenkin penkkipunnerruksessa vanhin heittäjäryhmä oli selkeästi vahvempi kuin nuorin kontrolliryhmä (Kuva 12). Aikaisemmissa tutkimuksissa on käytetty samoja menetelmiä ja laitteita vastaaviin ikäryhmiin kuuluvien voiman mittamiseen (Izquierdo ym. 1999a, Häkkinen ym. 1998, 2000). Maksimivoimassa huomaitavaa on kontrolliryhmien tasaisuus unilateraalisessa kyynärvarren koukistuksessa (Kuva 12). Tämä oli ainoa liike, jossa tulokset poikkesivat iän myötä laskevasta suunnasta. Syynä tähän voi olla mm. nuorimman ryhmän vähäinen käden koukistajalihasten käyttö. Vaikka suoritustekniikkaa kontrolloitiin, sen vaihtelut voivat myös selittää tasaisuuden.

Ikääntymisen johdosta voima alkaa laskea 50-60 ikävuoden välillä kiihtyvästi (Narici ym. 1991, Izquierdo ym. 1999 ja Häkkinen 2003). Sekä heittäjä-, että kontrolliryhmien välillä oli laskeva trendi maksimivoimassa kaikissa suoritetuissa liikkeissä. Maksimivoimassa heittäjien kohdalla merkitsevä ero voimassa todettiin M50 ja M75 sekä M60

ja M75 ikäryhmien välillä vain alaraajoissa unilateraalisessa polven koukistuksessa. Näyttäisi, että veteraaniheittäjien aktiivinen voimaharjoittelu auttaa ylläpitämään voimatasoja korkeina kontrolliryhmiin verrattuna näiden ikävuosien välillä. Aktiivisella hermolihasjärjestelmän kuormittamisella pystytään ylläpitämään myös nopeusvoimatasoa. Voimantuottonopeudessa sekä ylä-, että alavartalon liikkeissä ei löydetty merkitsevää eroa M60 ja M75 ikäryhmien välillä.

Tarkasteltaessa tuloksia on otettava huomioon koehenkilöiden pieni määrä erityisesti M50 ja K75 ryhmissä sekä tutkimuksen poikkileikkausasetelma. Ikääntyneimpien ryhmien osalta nopeusvoimaominaisuuksien arvioinnissa on huomioitava myös muiden toiminnallisten tekijöiden kuten tasapainon merkitys suoritukseen. Tämä seikka oli havaittavissa myös ikääntyneimpien koehenkilöiden osalta mittaustilanteissa, jossa koehenkilö ei kyennyt suoritusta turvallisesti toteuttamaan ja tietyistä liikkeistä päätettiin tämän johdosta luopua. Kontrollihenkilöiden kohdalla tämä johti dynaamisen jalkakyyky- ja rinnallevetosuoritusten jättämiseen pois mittausprotokollasta. Kaikki koehenkilöt oli arvioitu lääkärin toimesta ja heitä voitiin pienistä toiminnallisista vajavuuksista huolimatta pitää terveinä miehinä. Veteraaniurheilun henkeen kuuluu, että jokainen tekee parhaansa toiminnallisista vajavuuksista huolimatta. Voidaankin todeta, että tutkimukseen osallistuneet suorittivat kaikki voimatestit erittäin motivoituneesti.

Iän myötä tapahtuva maksimivoiman lasku näyttäisi olevan suurempaa siis jalkojen lihaksissa. Polven koukistajissa maksimivoiman lasku näyttäisi olevan suurempaa kuin polven ojentajissa. Tämä voi selittyä takareiden lihasten vähäisemmällä kuormittumisessa päivittäisessä liikkumisessa. Reiden takaosien lihasmassaa ei tässä tutkimuksessa mitattu. Mahdollisesti voiman vähenemistä selittävää lihasmassa katoa ei reiden takaosien osalta kyetty näin ollen toteamaan. Polven koukistajien osalta on huomioita se, että M75 ryhmä kykeni tuottamaan vain 27,9 % M40 ryhmän voimantuottonopeuden arvosta. Sama havaittiin myös K75 ryhmässä, joka tuotti vain 21,6 % M40 ryhmän voimantuottonopeuden arvosta. Verrattaessa M75 ryhmää M60 ryhmään ja K75 ryhmää K60 ryhmään voidaan todeta, että vanhempi ryhmä tuotti vain noin puolet nuoremman voimantuottonopeuden arvosta polven koukistuksessa (27,9 % - 57,1 % ja 21,6 % - 41,3 %) (Taulukko 7). Maksimivoimassa erot olivat pienemmät. Ikääntyneillä reiden takaosien kuormitus saattaa olla vähäisempää heittäjien harjoittelussa. Voimaharjoittelun määrässä ei kuitenkaan heittäjien välillä löydetty merkitsevää eroa (Taulukko 5). Myös

voimaharjoittelun sisällöllä on luultavasti suuri merkitys koukistajien voiman nopeampaan laskuun. Käsissä maksimivoiman lasku näyttäisi olevan lähes yhtä suurta sekä koukistajissa, että ojentajissa. Tämä johtuu luultavasti käsien suuremmasta päivittäisestä käytöstä ja voimaharjoittelun sisällön tasapainoisuudesta.

Maksimivoiman lasku näyttäisi selittyvän pienemmällä lihasmassalla. Jalkojen ojentajasta mitattu lihaspaksuus pieneni merkitsevästi verrattaessa M40 ikäryhmää M60 ja M75 ikäryhmiin. Käden ojentajan lihaspaksuus pieneni merkitsevästi vain verrattaessa M40 ikäryhmää M75 ikäryhmään, M40 ja M60 ikäryhmien välille merkitsevää eroa ei löytynyt. Merkitsevää lihasmassa vähenemistä ei ollut M60 ja M75 ikäryhmien välillä (Taulukko 6). Lihaspaksuuden muutokset jaloissa ja käsissä tukevat olettamusta, että maksimaalinen voima vähenee iän myötä enemmän jaloilla tehdyissä liikkeissä kuin käsillä tehdyissä.

Tarkasteltaessa mitattuja tehon arvoja jalkakyykystä ja penkkipunnerruksesta, voidaan todeta tuotetun tehon laskeneen merkitsevästi verrattaessa M40 ikäryhmää M60 ja M75 ikäryhmiin kummassakin liikkeessä. Jalkakyykyssä ei löydetty merkitseviä eroja M60 ja M75 ikäryhmien välille 25 kg tai 60 % kuormilla (Kuva 18). Penkkipunnerruksessa saatiin merkittävä ero M60 ja M75 ikäryhmien välille 25 kg kuormalla, mutta ei 60 % kuormalla isometrisestä maksimista (Kuva 19). Jalkakyykyssä merkitsevyydet olivat vahvempia kuin penkkipunnerruksessa. Tehoa mitattaessa jalkakyyky ja penkkipunnerrus suoritettiin aina ilman esikevennyksiä, koska venymis-lyhenemisyksiköiden vaikutus voimantuottoon haluttiin eliminoida ja pyrkiä mittaamaan nopeusvoimaominaisuutta konsentrisesti paremman luotettavuuden johdosta. Voimantuottoon molemmissa liikkeissä vaikutti myös muitakin lihaksia kuin mitatut lihakset, mutta niiden toimintaa ei pyritty tällä kertaa selvittämään.

Ikääntymisen myötä tyypin II lihassoluissa on todettu ilmenevän atrofiaa (Larsson ym. 1978, Lexell ym. 1988). Tutkimuksessa ei otettu lihasbiopsianäytteitä, joista tyypin II lihassolujen muutoksia olisi voinut nähdä. Kuitenkin voimantuottonopeuden ja tehon tuoton lasku antavat olettaa, että II-tyypin lihassolujen määrä vähenee myös veteraaniheittäjillä ikääntymisen myötä. Muita nopeaan voimantuottoon negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä voivat olla muutokset lihaksen viskoelastisissa ominaisuuksissa ja lihaksen sisäisten lyhenemistä vastustavien voimien lisääntyminen ikääntyessä (Porter ym.

1995). Huomion arvoista on kuitenkin se, että veteraaniheittäjien voimaharjoittelu ei ole ainoastaan kuntosaliharjoittelua, vaan sisältää myös runsaasti nopeusvoimatyypistä voimaharjoittelua, esim. lajiharjoitukset. Voimaharjoittelua veteraaniheittäjät tekevät 2-3 kertaa viikossa ja heittoharjoittelua 1-2 kertaa viikossa (Taulukko 5). Iän myötä heittoharjoitusten määrä suhteessa voimaharjoituksiin näyttää nousevan. Syy, miksi näin on, ei selvinnyt tässä tutkimuksessa. Kuitenkin tämän kaltainen harjoittelun suhteen muutos voi ylläpitää nopeaa voimantuottoa vanhimmissa heittäjäryhmissä.

Isometrisen maksimivoiman lasku näyttäisi selittyvän pitkälti lihassmassan vähenemisellä, joka oli merkitsevää alaraajojen osalta M40 verrattaessa kontrolliryhmiin ja muihin heittäjäryhmään. Yläraajojen osalta M40 erosi merkitsevästi kaikista muista ryhmistä paitsi M50 ryhmästä. Lihassmassa määrittely toteutettiin mittaamalla kahden reiden ojentajalihaksen, vastus lateralis ja vastus intermedius, ja kyynärvarren ojentajalihaksen, triceps brachii paksuus ultraäänellä. Lihaspaksuuden ja isometrisen maksimivoiman välille muodostui merkitsevä korrelaatio sekä heittäjillä, että kontrolleilla molemmissa ala- ja yläraajojen liikkeissä (Kuvat 15 ja 16). Samanlaisia tuloksia on saatu tutkimuksissa, joissa lihassmassan määrittely on tapahtunut lihaksen poikkipinta-alan avulla tai MRI- tekniikan avulla (Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999a). Erot ojentajalihasten paksuudessa noudattelivat odotetusti hypoteesia, että lihassmassa vähenee kokonaisuutena myös aktiivisesti voimaharjoittelua tekeville ikääntyneillä miehillä. Lihaspaksuudessa merkitsevä ero muodostui heittäjillä kuitenkin vain M40 ryhmän ja muiden ikääntyneempien ryhmien välille. Merkitsevää lihassmassan häviämistä ei siis ollut todettavissa 50 - 75 ikävuoden välillä. Tämä havainto eroaa harjoittelemattomien miesten tutkimuksissa saaduista havainnoista, joissa on voitu todeta lihassmassa katoamisen nopeutuvan erityisesti 70 ikävuoden jälkeen (Aniansson ym.1986, Vandervoort 2002). Kontrollihenkilöillä K75 erosi merkittävästi alaraajojen lihaspaksuuden osalta muista kontrolliryhmistä, kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa on todettu.

Nopean dynaamisen liikkeen tehon lasku selittyi kaikilla ryhmillä sekä voiman että nopeuden muutoksella. Vertailtaessa yläraajojen nopeusvoimaominaisuuksien absoluuttisella tasolla, voidaan todeta isometrisen voimantuoton tavoin, että veteraaniheittäjät ovat merkittävästi selvästi kontrollihenkilöitä korkeammalla tasolla. Suhteellisen tehon lasku oli merkittävää heittäjäryhmien välillä, M75 tuotti penkkipunnerruksessa 60 % kuormalla enää 57,1 %, jalkakyykyssä enää 61,5 % ja rinnallevedossa 62,5 % M40

ryhmän maksimista. Kun lihaspaksuus otettiin huomioon erot tasoittuivat, penkkipunnerruksessa M40 tuotti enää merkitsevästi ainoastaan M75 ryhmää enemmän tehoa (69,7 %) ja jalkakyykyssä M75 tuotti 78,5 % M40 arvosta. Voidaankin olettaa, että 75-vuotiaiden ryhmä kykeni aktivoimaan absoluuttisesti mitattuna pienempää lihasmassaa yhä samalla tasolla kuin M50 ja M60 ryhmä. Tätä tukevat myös EMG aktiivisuudesta saadut tulokset. Nopeuden selvempi muuttuminen tukisi näin ollen myös oletuksia siitä, että ikääntymiseen liittyviä ja dynaamisen voimantuottoon vaikuttavia muutoksia tapahtuu lihastasolla jopa enemmän kuin muutoksia lihasten supraspinaalisessa ohjauksessa (Vandervoort & McComas 1986).

Lihaskäyttöä verrattiin suhteuttamalla liikkeen aikaista lihasaktiivisuutta kunkin henkilön omaan mitattuun maksimiaktivaatioon maksimaalisessa supistuksessa. Tuloksista voidaan päätellä, että supraspinaalisessa ohjauksessa ei olisi eroja ryhmien välillä ja myös ikääntyneet kykenivät aktivoimaan lihaksia maksimaalisesti. Alaraajojen koukistuksessa EMG:n tuottonopeus ensimmäisen 100 millisekunnin aikana oli nopeampaa M40 ryhmällä muihin verrattuna, vaikka tilastollista merkitsevyyttä ei muodostunut kuin M75 ikäryhmään (Kuva 20). Yläraajojen koukistajissa M40 ryhmä erosi merkitsevästi M60+M75 ryhmästä EMG:n tuottonopeudessa ensimmäisen 100 millisekunnin aikana (Kuva 21). Alaraajojen ojennuksessa M40 ryhmällä aktiivisuus oli tyypillisesti maksimissaan jo ensimmäisen 100 millisekunnin aikana.

Lisääntynyttä antagonistikoaktiivisuutta isometrisessä voimantuotossa ei todettu toisin kuin eräissä aikaisemmissa tutkimuksissa (Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999a). On huomioitava, että tämän tutkimuksen koehenkilöt olivat jo pitkään voimaharjoittelua toteuttaneita miehiä. Muissa tutkimuksissa koehenkilöillä ei yleensä ole ollut taustaa voimaharjoittelusta, jolloin antagonistikoaktivaation muutokset selittyvät mahdollisesti voimantuoton oppimisvaikutuksilla ja ikääntymisen mukanaan tuoman inaktiivisuuden vaikutuksilla hermolihasjärjestelmään.

Tarkasteltaessa absoluuttisia voima-arvoja nähdään, että veteraaniheittäjät ovat ikäryhmissään muita selvästi korkeammalla tasolla isometrisessä maksimivoimassa, voimantuottonopeudessa ja tehon tuottamisessa. Veteraaniheittäjien voimaominaisuuksissa tapahtuu ikääntymisen myötä samansuuntaisia muutoksia kuin voimaharjoittelemattomilla miehillä. Alavartalon lihasten voimantuoton ja lihasmassan väheneminen on suu-

rempaa kuin ylävartalon lihasten myös veteraaniheittäjillä huolimatta heidän voimaharjoittelutaustastaan. Voiman ja voimantuottonopeuden lasku näyttäisi olevan merkittävästi suurempaa reiden takaosan lihaksissa. Veteraaniheittäjien säännöllisellä voimaharjoittelulla voidaan todeta olevan vaikutusta lihasmassan, maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksien säilymisessä ikävaiheessa, jossa ei-harjoitteleilla voidaan todeta kiihtyvää lihasmassan, maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksien vähenemistä. Tässä tutkimuksessa ei M60 ja M75 ikäryhmien välillä todettu näissä muuttujissa merkitseviä muutoksia. Näyttäisi, että veteraaniheittäjillä ei tapahdu suurtakaan muutosta voima-arvoissa 60 ja 75 ikävuoden välillä. Pitkään jatkunut säännöllinen voimaharjoittelu näyttää auttavan ylläpitämään lihasvoimaa hyvinkin vanhoilla ihmisillä.

Vaikka osassa tutkimusikäryhmissä oli koehenkilöiden lukumäärä pieni, tulokset olivat systemaattisia sekä heittäjillä että kontroleilla. Jatkossa pitäisi saada kerättyä mittaustuloksia veteraaniheittäjiltä enemmän, jotta pystyttäisiin tarkemmin selvittämään läpi elämän jatkuneen voimaharjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmään verrattuna voimanharjoittelemattomiin henkilöihin. Säännöllinen voimaharjoittelu auttaa veteraaniruuhkeilijoita harrastamaan omaa lajiaan hyvinkin vanhaksi asti. Voimaharjoittelua ei tulisi unohtaa missään vaiheessa urheilu-uraa/elämää.



## LÄHTEET

Aagaard P., Simonsen E., Andersen J., Magnusson P., Bojsen-Moller F., Dyhre-Poulsen P. (2000) Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 10: 58-67

Abernethy, P., Wilson, G. (2000) Introduction to the Assessment of Strength and Power. Teoksessa Gore, C. (Toim.) *Physiological tests for elite athletes*. Human Kinetics, USA.

Akasaki K., Mita K., Wakatabe M., Ito K. (2002) Age related changes in motor unit activation strategy in force production. *Muscle and Nerve* 25:505-512

Aniansson A., Hedberg M., Henning G., Grimby G. (1986) Muscle morphology enzymatic activity and muscle strength in elderly men: a follow-up study. *Muscle and Nerve* 9:585-591

Auvinen, M. (1995) Heittojen koulutusmateriaali liittovalmentajatutkinnolle. KVT-työ. Suomen Urheiluliiton julkaisu. Helsinki.

Bartlett, R., M. (1992) The biomechanics of discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10, 467-510.

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.

Bartonietz, K. (2000) Hammer Throwing: Problems and Prospects. Teoksessa Zatsiorsky, V., M. (toim.) *Biomechanics in Sport*. Blackwell Science Ltd, UK, 458-486.

Behm D., Sale D.(1993) Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine* 15 (6) 374-388

Bemiken, M., G., Massay, B., H., Boileau, R., A. (1992) Reability of isometric force time curve parameters for men aged 20 to 79 years. *Journal of Applied Sports Science Research*, 6 (3): 158-164.

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

Brooks, S.V. & Faulkner, J.A. (1994) Skeletal muscle weakness in old age: underlying mechanisms. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26:432-439.

Brown, A. B., McCartney, N., Sale, D. G. (1990) Positive adaptation to weightlifting training in the elderly. *Journal of Applied Physiology* 69 (5), 1725-1733.

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.

Dessureault, J. (1978) Kinetic and kinematic factors involved in shot putting. *Teoksessa Asmussen, E. & Jörgensen, K. (Toim.) Biomechanics V-B. University Park Prees, Baltimore*, 51-60.

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

Durnin, J.,V., Womersley, J. (1974) Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition* 32 (1): 77-97.

Enoka R.M. (1994) *Neuromecahnical basis of kinesiology*. Human Kinetics, Champaign, Illinois

- Enoka R.M. (2000) *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics, Champaign, Illinois
- Fleck, S. & Kraemer, W. (1997) *Designing resistance training programs*. 2<sup>nd</sup> edition USA.
- Freriks, B., Hermens, H., Disselhorst-Klug, C., Rau, G. (1999) The recommendations for sensors and sensor placement procedures for surface electromyography. In: *SENIAM: European recommendations for Surface Electromyography*, edited by Hermans, H., Gaithersburg, M.D. Aspen, 1999, 15-53.
- Frontera W., Meredith C., O'Reilly K., Knuttgen H., Evans W. (1988) Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology* 64:1038-1044
- Frontera , W.R., Hughes, V.A., Lutz, K.J & Evans, W. J. (1991) A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology* 71(2), 644-650.
- Haaranen, J. (2004) *Kieikonheitto*. Suomen Urheiluliiton julkaisu. Helsinki.
- Hay, J. G. & Yu, B. (1995) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sport Sciences*, 13, 125-140.
- 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.
- Hubbard, M., Neville, J. de Mestre, Scott, J. (2001) Dependence of release variables in the shot put. *Journal of Biomechanics*, 34, 449-456.
- Häkkinen K., Komi P.V.(1983) Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15(6), 455-460

Häkkinen, K., Alen, M., Komi, P., V. (1985) Electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavia*, 125:573-585.

Häkkinen K., Pakarinen A. (1993) Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavia* 148, 199-207

Häkkinen, K. & Häkkinen, A. (1995) Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 35, 137-147.

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

Häkkinen, K. (2000) 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., Kraemer W.J., Newton R.U., Alen M (2001) Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavia*, 171: 51-62

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 Physiologica 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.

Kettunen, J., Kujala, U., Rätty, H., Sarna, S. (1999) Jumping height in former elite athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 197-201

Kirkendall, D., Garrett, W. (1998) The Effects of Aging and Training on Skeletal Muscle. *The American Journal of Sports Medicine*, 26 (4), 598-602.

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

Komi, P., V., Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*. 10: 261-265.

Kraemer, W.J., Häkkinen, K. (2002) *Strength Training for Sport*. UK.

- 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.
- Lichtenberg, D.B. & Wills, J.G. (1978) Maximizing the range of the shot put. *American Journal of Physics*, 46, 546-549.
- Liite ry. (1998) Kuntotestauksen perusteet. Helsinki.
- Linthorne, N., P. (2001) Optimum release angle on the shot put. *Journal of Sport Sciences*, 19, 359-372.
- Luhtanen, P., Blomqvist, M. & Vääntinen, T. (1997) A comparison of two elite putters using the rotational technique. *New Studies in Athletics*, 12(4), 25-33.
- Logan, P., Fornasiero, D., Abernethy, P., Lynch, K. (2000) Protocols for the Assessment of Isoinertial Strength. Teoksessa Gore, C. (Toim.) *Physiological tests for elite athletes*. Human Kinetics, USA, s. 151-154.
- MacDougall, J., Wenger, H., Green, H. (Toim.) *Physiological Testing of the high performance athlete* (2<sup>nd</sup> edition). Champaign Illinois: Human Kinetics, USA.
- 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.
- McComas, A.J. (1996) Aging. In: *Skeletal Muscle: Form and Function*. A.J McComas, ed. Champaign, IL: Human Kinetics. spp. 325-342.
- Mirkov, D., M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., Jaric, S. (2003) Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European Journal of Applied Physiology*, 91 (2-3), 147-154.

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

Moritani, T. & deVries, H.A. (1979) Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58 (3), 115-130.

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

Nawakaza, K., Karayami, Y., Fukumaga, T., Yano, H., Miyashita, M. (1993) Differences in activation patterns in elbow flexors during isometric, concentric and eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 66, 214-220.

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*, 561-570.

Osternig L.R., Hamill J., Lander J.E., Robertson R.(1986) Co-activation of sprinter and distance runner muscles in isokinetic exercise. *Medicine and Science in Sports and exercise* 18 (4) 431-435

Patten, C., Kamen, G., Rowland, D.M. (2001) Adaptations in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle and Nerve*, 24:542-550.

Pearson S.J., Young A., Macaluso A., Devito G., Nimmo M.A., Cobbold M., Harrigde 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

Rahikainen, A. (1998) Kuulantyyntön pyörähdystyylin työntötekniikka 1996 ja 1997. Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto, Espoo 1998/52.

Rahikainen, A., Luhtanen, P., (2001) Uusi menetelmä arvioida kuulantyyntäjän pyörimisnopeuden vaikutusta työntötulokseen, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto, Otaniemi 2001/60

Ranta, M., von Hertzen, R., Holmlund, U. (1998) Kuulantyyntön dynaaminen malli, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto, Otaniemi 1996/44

Red, W.E. & Zogaib, A.J. (1977). Javelin dynamics including body interaction. *Journal of Applied Mechanics*, 44, 496-498.

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

Roos, M.R., Rice, C.L. & Vandervoort, A.A. (1997) Age-related changes in motor unit function. *Muscle and Nerve*. 20:679-690.

Sale, D. G. (1991) Testing Strength and Power. Teoksessa MacDougall, J., Wenger, H., Green, H. (Toim.) *Physiological Testing of the high-performance athlete* (2<sup>nd</sup> edition). Champaign Illinois: Human Kinetics, USA. s. 21-106.

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

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



Staron R. S., Malicky E. S., Leonardi M. J., Falkel J. E., Hagerman F. C., Dudley G. A. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance trained women. *European Journal of Applied Physiology* 1989 60:71-79

Stone M., Sanborn K., O'Bryant H., Hartman M., Stone M., Proulx C., Ward B., Hruby J. (2003) Maximum strength-power- performance relationships in collegiate throwers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(4). 739-745

Susanka, P. & Stepanek, J. (1986) Discus throw: Results of a biomechanical study. *New Studies in Athletics*, 1, 25-36.

Terzis, G., Georgiadis, G., Vassiliadou, E., Manta, P. (2003) Relationship between shot put performance and triceps brachii fiber type composition and power production. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 10-15.

Thompson, L.V. (1994) Effects of age and training on skeletal muscle physiology and performance. *Physical. Therapy*. 74:71-81.

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

Viitasalo, J., Saukkonen, S., Komi, P., V. (1980) Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 20, 487-501.

Viitasalo, J., Erä, P., Leskinen, A. & Heikkinen, E. (1985) Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31-35, 51-55, 71-75 years. *Ergonomics* 28, 1503.

Wilhite, M., R., Cohen, E., R., Wilhite, S., C. (1992) Reliability of concentric and eccentric measurements of quadriceps performance using the KIN-COM dynamometer. The effect of testing order for three different speeds. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 15 (4), 175-182.

Wilmore J.H. (1990) The aging of bone and muscle. *Clinics in Sports Medicine* 10 (2): 231-234

Wilson, G.(2000) Limitations to the Use of Isometric Testing in Athletic Assessment. Teoksessa Gore, C. (Toim.) *Physiological tests for elite athletes*. Champaign Illinois: Human Kinetics, USA, s. 145-150.

Wrigley, T., Strauss, G. (2000) Strength Assessment by Isokinetic Dynamometry. Teoksessa Gore, C. (Toim.) *Physiological tests for elite athletes*. Champaign Illinois: Human Kinetics, USA, s. 155-199.

Wyse, J. P., Mercer, T. H., Gleeson, N. P. (1994) Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *British Journal of Sports Medicine*, 28 (3), 167-170.

Young A., Stokes M., Crowe M. (1985) The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clinical Physiology* 5: 145 -154

Yue, G.H., Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Liu, J.Z. & Sahgal, V. (1999) Older adults exhibit a reduced ability to fully activate their biceps brachii muscle. *Journals of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences* 54(5), 249-253.

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.

Zatsiorsky, V. (2003) *Biomechanics of Strength and Strength Training*. Teoksessa Komi. P.V. (Toim.) *Strength and Power in Sport*. Blackwell Science Ltd, UK, 439-479.