

**TEHOSTETUN VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUS 40 – 85 -VUOTIAIDEN
MIESVETERAANIPIKAJUOKSIJOIDEN NOPEUS- JA MAKSIMIVOIMAAN SEKÄ
JUOKSUNOPEUTEEN**

Marko Kulppi
Fysioterapian pro gradu -tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Terveystieteiden laitos
Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Tehostetun voimaharjoittelun vaikutus 40 - 85 -vuotiaiden miesveteraanipikajuoksijoiden nopeus- ja maksimivoimaan sekä juoksunopeuteen

Marko Kulppi

Fysioterapian pro gradu tutkielma

Jyväskylän yliopisto, liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta, terveystieteiden laitos

Kevät 2013

51 sivua

Ohjaajat: Professori Ari Heinonen ja LitT Marko Korhonen, Terveystieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää onko aiempaan harjoitteluun lisätyllä tehostetulla voimaharjoittelulla vaikutusta miesveteraanipikajuoksijoiden nopeus- ja maksimivoimaan sekä juoksunopeuteen.

Aineisto oli osa laajempaa veteraanuurheilijatutkimusta. Tutkimukseen osallistui 83 vapaaehtoista miesveteraanipikajuoksijaa. Tutkimuksesta suljettiin pois 11 henkilöä. Tutkittavat satunnaistettiin koeryhmään (n=42, ikä: 60,8 SD 12,0) ja kontrolliryhmään (n=41, ikä: 63,0 SD 12,0). Koeryhmä osallistui 20 viikon nopeus- ja voimaharjoittelujaksoon. Kontrolliryhmä jatkoi harjoitteluun entiseen tapaan.

Nopeusvoimaa mitattiin reaktiivisella hyppelytestillä ja vauhdittomalla kolmiloikalla. Juoksunopeutta puolestaan mitattiin valokennoilla 60 metrin juoksutestissä ja dynaamista maksimaalista voimaa jalkakyykyllä. Mittaukset tehtiin intervention alussa, kolmannen kuukauden kohdalla ja lopussa. Harjoittelun vaikutuksia tutkittiin koko ryhmällä sekä ikäryhmittäin alle 65 -vuotiaat ja yli 65 -vuotiaat. Harjoittelun vaikutuksia analysoitiin toistettujen mittausten varianssianalyyseillä. Alkutilannetta käytettiin kovariaattina.

Tehostettu nopeus- ja voimaharjoittelu paransi juoksunopeutta koeryhmässä 0,9 %, kun kontrolliryhmässä tulos heikkeni 1,3 % (ryhmien välinen ero 2,2 %, p=0,002). Ikäryhmittäin tarkasteltuna alle 65 -vuotiailla juoksunopeus parani koeryhmässä 1,4 % ja kontrolliryhmän tulos heikkeni 1,9 % (ryhmien välinen ero 3,3 %, p<0,001). Reaktiivisen hyppytestin tulos parani sekä koe- (16,9) että kontrolliryhmällä, (6,6 %) (ryhmien välinen ero 10,3 %, p<0,001). Vauhdittoman kolmiloikan tulos parani koeryhmässä 2,3 %, kontrolliryhmän tulos heikkeni 0,5 % (ryhmien välinen ero 2,8 %, p=0,015). Yli 65 -vuotiailla jalkakyykytestin välimittauksessa niin koe- (26,1 %) kuin kontrolliryhmällä (8,1 %) tulos parani (ryhmien välinen ero 18,0 %, p=0,045).

Tavanomaiseen harjoitteluun lisätyllä tehostetulla voimaharjoittelulla voidaan lisätä 40 - 85 -vuotiaiden veteraanipikajuoksijoiden juoksunopeutta. Lisäksi harjoittelu voi parantaa nopeusvoimaa alle 65 -vuotiailla ja maksimivoimaa yli 65 -vuotiailla veteraanipikajuoksijoilla.

Asiasanat: veteraanuurheilijat, ikääntyminen, harjoittelu, pikajuoksu, voima.

ABSTRACT

Effects of additional intensified speed and strength training on muscle power, running speed and maximal dynamic muscular strength in 40 - 85 years old male master sprinters

Marko Kulppi

Physiotherapy Master's Thesis

University of Jyväskylä,

Faculty of Sports and Health Sciences, Department of Health Sciences

Spring 2013

51 pages

Supervisor: Professor Ari Heinonen and Ph.D. Marko Korhonen, University of Jyväskylä, Department of Health Sciences

The purpose of this study was to examine the effects of additional intensified strength training on running speed, maximal muscle strength and power in male master sprinters.

The study was part of a larger master athletes' research program. Eighty three voluntary male master sprinters participated in this study. Eleven persons were excluded. Subjects were randomly assigned into an exercise group (n=42, age: 60,8 SD 12,0) and a control group (n=41, age: 63,0 SD 12,0). The exercise group participated in 20 weeks' extra speed- and muscle strength training intervention. The control group continued training as previously.

Lower limbs muscle power was measured by vertical counter movement jump and standing triple jump tests. Maximal running speed was measured by 60 meters run and maximal dynamic muscle strength by squat-test. The measurements were performed at baseline, after three and after six months of the intervention. The statistical analyses were done in the whole group and in groups over 65 and under 65 years. The training effects were analysed by repeated measures analysis of variance. The baseline was used as a covariate.

The training group improved their running speed by 0,9 %, and in the control group it decreased 1,3 % (intergroup difference 2,2 %, p=0,002). In the sprinters under 65 years, the training group increased running speed 1,4 % and in the control group it decreased 1,9 % (intergroup difference 3,3 %, p<0,001). The counter movement jump test result improved in the training- 16.9 % and in the control group, 6,6 % (intergroup difference 10,3 %, p<0,001). Standing triple jump test value improved in the training group 2,3 % and in the control group it decreased 0,5 % (intergroup difference 2,8 %, p=0,015). The sprinters over 65 years improved their maximal muscle strength in three month follow-up point in the training and control group 26,1 % and 8,1 % (intergroup difference 18,0 %, p=0,045) respectively.

In conclusion, additional strength training can improve 40 - 85 years old master sprinters running speed. Furthermore, this type of additional training can improve lower limbs muscle power in master sprinters under 65 year old and maximal dynamic strength in sprinters over 65 year old.

Keywords: master athlete, aging, training, sprint running, strength.

SISÄLLYS

Tiivistelmä

Abstract

1 JOHDANTO	1
2 VÄESTÖRAKENTEEN MUUTOS JA IKÄÄNTYMINEN	3
3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄ JA IKÄÄNTYMINEN	3
3.1 Nopeusvoima	5
3.1.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan	6
3.1.2 Harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan veteraaniurheilijoilla	9
3.2 Maksimivoima	10
3.2.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus maksimivoimaan	11
3.2.2 Harjoittelun vaikutus maksimivoimaan veteraaniurheilijoilla	14
3.3 Nopeus	15
3.3.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus nopeuteen	16
3.3.2 Harjoittelun vaikutus nopeuteen veteraaniurheilijoilla	16
3.4 Yhteenveto	17
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYS	19
5 MENETELMÄT	20
5.1 Tutkimusasetelma ja tutkimusaineisto	20
5.2 Mittausmenetelmät	22
5.2.1 Nopeusvoima	22
5.2.2 Maksimivoima	22
5.2.3 Juoksunopeus	23
5.3 Harjoitteluinterventio	23
5.4 Tilastollinen analyysi	24
6 TULOKSET	26
6.1 Antropometriset mittaukset ja harjoittelu	26
6.2 Harjoitusohjelman toteutuminen	26
6.3 Harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan, nopeuteen ja maksimivoimaan	27
POHDINTA	34
JOHTOPÄÄTÖKSET	38
Lähteet	38

1 JOHDANTO

Ikääntyneen väestön osuus ikärakenteessa on kasvanut. Syynä väestön keski-ian kasvuun teollistuneissa maissa on eliniän piteneminen ja syntyvyyden väheneminen (Heikkinen 1997). Yli 80 -vuotiaiden osuus väestöstä kasvaa edelleen, joten tutkimuskohteena ikääntyneet ovat tärkeä väestönosa. Ikääntyminen tuo tullessaan terveyteen ja toimintakykyyn liittyviä muutoksia. Osa muutoksista liittyy iän tuomiin sairauksiin, kun taas osa näistä muutoksista on inaktiivisesta elämäntyylistä johtuvia, joihin voitaisiin fyysisellä aktiivisuudella ja harjoittelulla vaikuttaa (Rantanen 2005). Veteraaniurheilijoilla on takanaan säännöllistä ja intensiivistä harjoittelua monien vuosien ajalta. Veteraaniurheilijat antavat mahdollisuuden tutkia ikääntymisen vaikutuksia toimintakykyyn ja suorituskyykyyn, kun sairaudet ja inaktiivinen elämäntapa eivät ole vaikuttamassa. Tällöin voidaan tutkia missä määrin pelkästään harjoittelulla voidaan suorituskyykyyn vaikuttaa. Veteraaniurheilijoita tutkimalla voidaan määrittellä ylärajoja suorituskyyvyn eri osa-alueiden säilymisessä iän myötä, kun harjoitellaan systemaattisesti.

Normaaliväestössä ikääntymiseen liittyvä suorituskyyvyn lasku on seurausta elimistön biologisista vanhenemismuutoksista ja fyysisen aktiivisuuden alenemisesta (Grassi ym. 1991). Veteraaniurheilijoilla ikääntyminen aiheuttaa niin ikään heikkenemistä suorituskyyvyssä. Fyysisellä harjoittelulla voidaan kuitenkin suorituskyykyä ylläpitää ja jopa kohottaa (Suominen 2011). Michaelisin ym. (2008) ja Reaburnin ym. (2008) mukaan veteraaniurheilijoilla tarkoitetaan 35-vuotiaita ja sitä vanhempia urheilijoita, jotka harjoittelevat ja kilpailevat säännöllisesti vielä vanhemmalla iällä.

Veteraaniurheilijoiden kestävyysuorituskyykyä on aikaisemmin tutkittu runsaimmin (Reaburn ym. 2008), kun taas voimantuotto-ominaisuuksista ja nopeussuorituskyyvystä on vähän tietoa. Tutkimusten mukaan veteraaniurheilijoilla, harjoittelusta huolimatta, maksimivoimasuoritus heikkenee iän myötä, mutta harjoittelu vähentää ikääntymisen vaikutuksia (Aagaard ym. 2010). Nopeusvoiman taas on katsottu heikkenevän ikääntymiseen liittyen veteraaniurheilijoilla, jopa maksimivoimaa enemmän (Pearsson 2002). Nopeuteen ja siihen liittyviä osa-alueita on tutkittu vähän veteraaniurheilijoilla. Harjoittelulla on todettu olevan vaikutusta nopeusominaisuuksien kehittymiseen (Korhonen 2009).

Suorituskyvyn laskun taustalla ovat hermo-lihasjärjestelmään liittyvät muutokset ikääntyessä (Sayers 2007).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia voidaanko veteraanipikajuoksijoiden nopeutta, nopeusvoimaa ja maksimivoimaa edelleen parantaa aiempaan tavanomaiseen harjoitteluun lisättyllä suunnitelmallisella voimaharjoittelulla.

2 VÄESTÖRAKENTEEN MUUTOS JA IKÄÄNTYMINEN

Suomessa väestönrakenteeseen on vaikuttanut syntyvyyden vähentyminen ja iäkkäämpien määrän kasvu kuolleisuuden vähentyessä. Väestön ikärakennetta kuvaavan ikäpyramidin leveyttä ikääntyneiden kohdalla lisää etenkin suurten ikäluokkien osuus väestössä. Eläkeikäisen väestön osuuden ennustetaan edelleen kasvavan (Koskinen ym. 2010). Suurempi joukko ihmisiä saavuttaa korkean iän ja vanhenemiseen liittyvät toiminnanrajoitukset lisääntyvät (Rantanen 2005).

Ikääntymiseen liittyy toimintakyvyn lasku iän myötä. Toimintakykyyn ovat vaikuttamassa vanhenemisprosessit, sairaudet ja elämäntavat. Fyysinen aktiivisuus on yksi kompensatiomenetelmistä, jolla toimintakyvyn parantumiseen ja ylläpysymiseen voidaan vaikuttaa (Heikkinen 1997). Ikääntymisen seurauksena hermo-lihasjärjestelmässä tapahtuu rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia. Ikääntymiseen liittyvästä lihasvoiman heikkenemisellä on merkitystä ikääntyneen toimintakyvyille ja itsenäiselle liikkumiselle sekä terveydelle (Sipilä ym. 2010).

3 HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄ JA IKÄÄNTYMINEN

Rakenteeltaan lihakset ovat muodostuneet lihassäikeistä eli lihassoluista. Ohut sidekudoskerros, endomysium ympäröi jokaista lihassyttä. Lihassy puolestaan on koostunut myofibrilleistä. Myofibrillit taas koostuvat aktiinifilamenteista ja myosiinifilamenteista. Lihassyssä kahden poikittaisen Z-linjan eli Z-levyn välissä olevaa toiminnallista perusyksikköä kutsutaan sarkomeeriksi. Aktiinifilamentit ovat kiinnittyneet Z-levyihin (Guyton & Hall 2000, 67-78, McArdle ym. 2001, 358-380).

Motoneuroni puolestaan hermottaa lihassoluja. Selkäytimen anteriorisesta sarvekkeesta motoneuronia pitkin motoriseen päätelevyyn ja tämän kautta lihassoluun tuleva aktiopotentiaali saa aikaan lihasupistuksen, jolloin aktiinifilamentit liukuvat myosiinifilamenttien lomiin. Tällöin myosiinifilamenttien poikkisillat tarttuvat aktiiniin, irtoavat ja siirtävät aktiinia pienen matkan eteenpäin, jolloin lihassy lyhenee ja lihas supistuu (Guyton & Hall 2000, 67-86). Lihassoluun tuleva aktiopotentiaali leviää T-putkia

pitkin sarkoplasmiseen kalvostoon lihassolun sisälle (McArdle ym. 2001, 358-380). Yksi motorinen hermo hermottaa useampia lihassoluja ja tätä kokonaisuutta kutsutaan motoriseksi yksiköksi, joka on hermo-lihasjärjestelmän perusyksikkö. Lihassupistuksen intensiteettiä voidaan kasvattaa lisäämällä motoristen yksiköiden määrää eli summaatioperiaatteella tai lisäämällä supistusten frekvenssiä (Guyton & Hall 2000, 67-78).

Lihassyt luokitellaan nopeisiin ja hitaisiin soluihin (Guyton & Hall 2000, 67-78). Lihassyitä on vielä kategorisoitu kolmeen päätyyppiin. Hitaasti supistuvat lihassyt, tyyppi I. Nopeasti supistuvat lihassyt eli tyyppin IIa-lihassäikeet sekä nopeasti supistuvat tyyppin IIb-lihassäikeet (Trappe, 2001). Erona lihassyillä on, että nopeasti supistuvat lihassyt ovat suurempia ja energiantuotto tapahtuu glykolyysissa. Hitaasti supistuvilla lihassyillä lihassyt ja hermot ovat pienempiä sekä energiantuotto tapahtuu hitaammin oksidatiivisissa prosesseissa (Guyton & Hall 2000, 67-78). Tarvittava energia tulee adenosinitrifosfaatin (ATP) pilkkoutumisesta. Lihaksen supistuminen voi tapahtua isometrisesti, jolloin lihaksen pituus ei muutu tai isotonisesti, jolloin lihas lyhenee. (Guyton & Hall 2000, 67-78). Eksentrisessä supistuksessa taas voiman tuoton aikana lihaksen pituus kasvaa (McArdle ym. 2001, 358-380).

Ikääntyessä fysiologisilla muutoksilla hermolihaskäytännössä on vaikutusta suorituskykyyn ja sen eri osa-alueisiin (Suominen 2011). Ikääntymisen myötä lihasmassa vähenee 1 - 2 % vuodessa 50 ikävuoden jälkeen. Motoriset yksiköt, jotka ovat yhteydessä lihassoluihin vähenevät ja tämä johtuu selkäytimestä tulevien alfa-motoneuronien kadosta. Lihassolu, joilla ei ole yhteyttä motoneuroniin kuolee ja tämä aiheuttaa lihassolujen kadon. Ikääntymiseen liittyvään lihaskatoon eli sarkopeniaan liittyvät myös hormonaaliset muutokset mm. testosteronissa ja kasvuhormonissa, joilla on merkitystä lihaskasvuun (Sayers 2007).

Harjoittelulla on positiivisia vaikutuksia lihasvoimaan. Lihaksen massan lisääntyessä tapahtuu hypertrofiaa. Hypertrofiassa aktiini- ja myosiinifilamenttien määrä lihassyissä kasvaa lisäten lihassyyn poikkipinta-alaa (Guyton & Hall 2000, 67-78). Lihassolujen satelliittisolulla on tässä merkitystä harjoitteluun liittyvässä adaptaatiossa lihassolun hypertrofiassa (McArdle ym. 2001, 358-380). Voimaharjoittelun vaikutukset voimaan ja tehoon perustuvat lihasten

hypertrofian lisäksi motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssin ja motoristen yksiköiden rekrytoinnin parantumiseen lihassoluissa (McArdle ym. 2001, 529-543, Kamen 2005).

3.1 Nopeusvoima

Nopeusvoimalla tarkoitetaan hermolihaskäytännön kykyä tuottaa suurin mahdollinen voima lyhyimmässä mahdollisessa ajassa tai suurimmalla mahdollisella nopeudella. Nopeusvoima riippuu hermoston kyvystä aktivoida motorisia yksiköitä sekä välittömien energianlähteiden käyttönopeudesta. Motoristen yksiköiden aktivointiin liittyy niiden rekrytointi, syttymisnopeus ja syttymisen ajoittuminen (Kyröläinen 2004).

Nopeusvoimaharjoittelu kehittää sekä tahdonalaista, että reflektorista säätelyjärjestelmää. Tällöin motoristen yksiköiden rekrytointi suurenee ja näin voimantuotto kasvaa. Lihaksiston massan kasvua on lähinnä nopeissa lihassoluissa (Häkkinen 1990, 87-100, Kyröläinen 2004). Harjoittelun hypertrofinen vaikutus lihakseen on nopeusvoimaharjoittelussa pienempi kuin maksimivoimaharjoittelussa, johtuen harjoituksen lyhyestä aktivaatioajasta lihakseen. (Häkkinen 1990, 87-100). Olennaista nopeusvoimaharjoittelussa ovatkin lihasten suuret supistumisnopeudet (Häkkinen 1990, 127-139, Sayers 2007). Harjoitusvaikutukset kohdistuvat tällöin voima-aikakäyrän alkupäähän (Häkkinen 1990, 127-139). Näin yksittäisessä harjoituksessa tulee liikenopeuksien olla suuria (Häkkinen 1990, 213-221). Harjoittelussa käytettävät kuormat puolestaan ovat 30 % - 60 % maksimivoimatasosta (Häkkinen 1990, 87-100).

Nopeusvoiman testaus voi tapahtua hyppytestillä, lisäpainoilla tai isometrisesti. Hyppytesti voidaan suorittaa staattisesti (SJ eli static jump), jolloin saadaan esille konsentrisen lihastyö. Kevennyshyppyjen (CMJ eli counter movement jump) tai pudotushyppyjen avulla taas esille saadaan myös esivenytyksen vaikutus suorituksessa. Muita nopeusvoimahyppytestejä ovat vauhdittomat hyppyt ja reaktiiviset hyppelyt. Lisäpainoilla suoritettavia testejä taas ovat esimerkiksi levytankohyppyt ja heitot eripainoisilla kuntosaloilla. Hyppytestissä määritellään hyppykorkeuden lisäksi tuotettu teho. Yleisiä isometrisiä testejä puolestaan ovat alaraajojen ojentajille tehtävät testit. Isometrisessä testissä tarkastellaan voiman maksimaalista nousunopeutta (RFD) ja aikaa voiman huippuarvon saavuttamiseen (Kyröläinen 2004).

3.1.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan

Nopeusvoimaominaisuudet heikkenevät ikääntymisen seurauksena. Nopeusvoimaominaisuuksilla on ikääntyneillä erityistä merkitystä kehon tasapainon säilyttämisessä tai horjahdusten korjaamisessa (Kyröläinen 2004, Sayers 2007). Ikääntymiseen liittyvän nopeusvoiman heikkenemisen onkin katsottu olevan suurempi toimintakykyä rajoittava tekijä kuin maksimivoiman heikkenemisen (Reid ym. 2012). Nopeusvoimaominaisuuksien heikkenemiseen ikääntyneillä liittyy II-tyyppin lihassäikeiden sekä motoristen yksiköiden kato (Faulkner ym. 2008). Tällä tarkoitetaan sarkopeniaa, jossa lihassäikeiden kadon ja atrofioitumisen myötä lihasmassaa katoaa. Motoristen yksikköjen kadon ja lihassäikeiden kadon lisäksi nopeusvoiman heikkenemiseen liittyvät myös hormonaaliset tekijät testosteroidin ja kasvuhormonin osalta (Deschenes 2004).

Aikaisemmissa poikittaistutkimuksissa tehon ja iän välillä on havaittu yhteys terveillä miehillä ja naisilla voimalevyllä mitattuun CMJ hyppytehoon. Ero 20 - 80 vuoden ikävälillä hyppytehossa oli 50 % (Runge ym. 2004). De Viton ym. (1998) tutkimuksessa tarkasteltiin hyppysuorituksista nopeus- ja voimatekijöitä, joilla teho määritellään. Havaittiin, että 59 - 75 -vuotiailla naisilla tehon aleneminen iän myötä johtui enemmän nopeuden kuin voiman heikkenemisestä. Caserottin ym. (2001) tutkimuksessa 75-vuotiailla miehillä hyppyjen huipputehot olivat naisia paremmat. Tässäkin ero tehossa johtui nopeustekijän heikkenemisestä naisilla.

Ikääntyneitä ja nuorempia ikäryhmiä vertailtaessa ero 65 -vuotiaiden miesten ryhmässä verrattuna 40 -vuotiaisiin miehiin oli räjähtävän voiman osalta CMJ:ssa 27 % ja SJ:ssa 29 %, ollen 40-vuotiailla parempi (Izquierdo ym. 1999). Myös Häkkinen ym. (1998) tutkimuksessa SJ ja vauhditon pituushyppy olivat 40 -vuotiailla paremmat kuin 70 -vuotiailla. Puolikykyllä puolestaan testattuna keskimääräinen alaraajojen teho oli 42 -vuotiailla miehillä 28 % parempi kuin 65 -vuotiailla miehillä (Izquierdo ym. 2001). Myös power rig:llä testattuna 20 - 30 -vuotiaiden miesten alaraajojen teho oli parempi 70 - 80 -vuotiaisiin verrattuna (Pearson ym. 2006).

Interventioilla on tutkittu voimaharjoittelun vaikutuksia alaraajojen tehoon. Tutkimuksessa 65 - 85 -vuotiailla teho polven ekstensiossa parani 22 viikon voimaharjoittelun aikana. Mittaukset tehtiin paineilmalaitteella (Hanson ym. 2009). Harjoittelun vaikutuksia koe- ja kontrolliryhmillä ikääntyneiden voimantuottoon liittyen tutkittiin 53 - 69 -vuotiaita naisia, jossa 12 viikon voimaharjoittelujakson jälkeen harjoitteluryhmällä SJ parani 25 % ja CMJ 22 % (Kalapotharakos ym. 2005). Caserotti ym. (2008) tutkivat puolestaan satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa 75 -vuotiaita miehiä, joilla SJ ja CMJ huippu hyppytehot paranivat noin 2 % ja 5 % 36 viikon harjoittelun aikana, kontrolliryhmän tulokset puolestaan heikkenivät. Harjoittelu sisälsi voimaharjoittelun lisäksi myös aerobista harjoittelua. Lisäksi Sipilä ym. (2001) tutkivat 50 -57 -vuotiailla naisilla 12 kuukauden harjoittelun vaikutuksia vertikaaliseen hyppykorkeuteen. Harjoittelu koostui kuntopiiriharjoittelun lisäksi voimaharjoitteista. Harjoitteluryhmä paransi hyppykorkeuttaan kontrolliryhmään verrattuna.

Nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksia puolestaan tutkittiin ikääntyneillä naisilla (ikä 62 vuotta). 12 viikon nopeusvoimaharjoittelu paransi CMJ:a 40 %. Kontrolliryhmällä ei merkitsevää muutosta tapahtunut (Pereira ym. 2011). De Vos ym. (2008) totesivat satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessaan 69 -vuotiailla tehopainotteisen harjoittelun parantavan huipputehoa ala- ja yläraajoissa merkittävästi voiman osalta kontrolliryhmään verrattuna. Nopeuden osalta huipputehossa ei merkittävää parannusta tapahtunut 12 viikon harjoittelun aikana. Mittaukset tehtiin ilmanpainevastuslaitteilla. Caserotti ym. (2008) satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa alaraajojen ekstensoreiden RFD parani 51 % 80 -vuotiailla ja 21 % 60 -vuotiailla naisilla power rig:lla testattuna. Huippu hyppyteho puolestaan parani 5 % 60 -vuotiailla naisilla. Tällä 12 viikon voimaharjoittelujaksolla keskityttiin suoritusten nopeuteen.

Perinteisellä voimaharjoituksella, jossa käytetään suuria painoja ja hitaampaa liikenopeutta kehitetään maksimivoimaa. Nopeusvoimaa kehitettäessä tulisi kuormaa vähentää ja liikenopeutta suorituksessa lisätä (Häkkinen 1990). Voimaharjoittelun ja tehopainotteisen voimaharjoittelun eroja on vertailtu aiemmissä tutkimuksissa. Satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa yli 65-vuotiailla nopeusvoimaharjoitteluryhmää ja voimaharjoitteluryhmää vertailtaessa 12 viikon harjoittelujakson aikana alaraajojen

maksimivoima kehittyi molemmissa ryhmissä yhtä paljon (Marsh ym. 2009). Nopeusvoima kehittyi kuitenkin tehoharjoittelupainotteisessa ryhmässä kaksi kertaa enemmän verrattuna voimaharjoitteluryhmään. Tehoharjoitteluryhmässä harjoitteet pyrittiin tekemään suurimmalla mahdollisella nopeudella. Mittaukset tehtiin paineilmalaiteella jalkaprässissä ja polven ojennuksessa. Perinteistä voimaharjoittelua toteuttava ryhmä (ikä 70 vuotta), joka harjoitteli 80 % 1RM vastuksella hitaalla liikenopeudella ja tehopainotteinen ryhmä (ikä 74 vuotta), joka harjoitteli 40 % 1RM nopealla liikenopeudella paransi merkittävästi huipputehoja kontrolliryhmään (ikä 73 vuotta) verrattuna 12 viikon intervention aikana. Tehon osalta nopeus parani kuitenkin merkittävämmiin tehoharjoitteluryhmällä kuin perinteisellä voimaharjoitteluryhmällä ja kontrolliryhmällä. Mittaukset tehtiin polven ekstensiossa ilmanpainedynamometrilla (Sayers ym. 2010). Satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa yli 65 -vuotiailla naisilla 16 viikon harjoittelujaksolla tehopainotteisesti ja voimainotteisesti tehdyt harjoitteet paransivat alaraajojen maksimivoimaa yhtä paljon mutta tehoharjoitteluryhmän huipputeho parani enemmän kuin voimaharjoitteluryhmän. Mittarina käytettiin paineilmalaite jalkaprässiä ja -polven ojennusta (Fielding ym. 2002). Voimaharjoittelussa iäkkäillä nopeuden huomioon ottaminen harjoitteissa parantaa tehoa paremmin kuin hitaasti tehdyt harjoitteet. Tämä tarkoittaa sitä, että voimaharjoitteissa liikkeitä tehdään suurimmalla mahdollisella nopeudella (Sayers 2007).

Interventioissa on myös tutkittu yhdistettyä voima- ja nopeusvoimaharjoittelua. Maksimi- ja nopeusvoimaharjoitteita yhdistelemällä 80 ja 60 -vuotiaiden miesten CMJ hyppykorkeus parani 12 viikon harjoittelun aikana 18 % ja 10 % sekä power rig tehotulos 28% ja 14 % (Caserotti 2010). Izquirdon ym. (2001) tutkimuksessa 16 viikon harjoittelujaksolla voima- ja voimatehoharjoittelulla 46-vuotiaat miehet paransivat puolikyykytulosta 46 % ja 64-vuotiaat miehet 37 %. Penkkipunnerrustulos puolestaan parani ryhmissä 26 % ja 21 %. Newton ym. (2002) yhdistivät hypertrofisen-, maksimivoima- ja nopeusvoimaharjoittelun 30 ja 60 -vuotiailla miehillä. Vaikka nuoremmat miehet olivat lisäpainoilla tehdyssä kyykyhyppäyksessä mittauksissa parempia, ei prosentuaalinen muutos ikäryhmissä eronnut toisistaan. Myös ikääntyneet omaavat siis kapasiteettia kovemmallekin harjoittelulle.

Interventioissa on aiemmin tarkasteltu myös voima-, nopeusvoima- ja kestävyysarjoittelua. 65 - 74 -vuotiailla miehillä 16 viikon voimaharjoitteluryhmällä, jolla harjoitteluun oli

sisällytetty puolet nopeusvoimatyyppistä harjoittelua, lisäsi voimaharjoitteluryhmän puolikyydyn tehoa 37 % (Izquierdo ym. 2004). Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoitteluryhmän puolikyydyn teho muuttui 38 %. Penkkipunnerruksessa vastaavat muutosprosentit tehossa olivat voimaharjoitteluryhmällä 18 % ja yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmällä 11 %. Vastaavalla tavalla 40 - 67 -vuotiailla miehillä 21 viikon harjoittelujaksolla alaraajojen teho voimaharjoitteluryhmässä sekä yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmässä kasvoi molemmissa 16 %. Nopeiden II-tyyppin lihassolujen poikkipinta-ala kasvoi kuitenkin vain voimaharjoitteluryhmässä. Tehon mittaukset tehtiin dynamometrillä (Karavirta ym. 2011). Sipilän ym. (1996) tutkimuksessa 18 viikon harjoittelu 76 - 78 -vuotiailla naisilla niin voimaharjoitteluryhmässä kuin kestävyysharjoitteluryhmässä paransi voimantuottoa polven isometrisessä ekstensiossa. Kontrolliryhmän tulos puolestaan heikkeni. Tulokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Mittaukset tehtiin istuen dynamometrituolissa.

3.1.2 Harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan veteraaniurheilijoilla

Nopeaan voimantuottokykyyn liittyviä tutkimuksia veteraaniurheilijoilla on tehty niukasti. Tämän tutkimuksen aineistoa on käytetty aiemmin tutkittaessa CMJ:a nuorilla 18 - 35 -vuotiailla sprintterimiehillä sekä ikäryhmittäin 40 - 49, 50 - 59, 60 - 69 ja 70 - 84 -vuotiailla veteraanipikajuoksijoilla. Tulokset heikkenivät vanhemmissa ikäryhmissä (Korhonen ym. 2006). Poikittaistutkimuksessaan Michaels ym. (2008) totesivat, että voimalevyltä mitattuna pika-, keski- ja pitkien matkojen mies- ja naisveteraanijuoksijoiden CMJ hyppytehot olivat yhteydessä ikääntymiseen. Hyppytehot laskivat lineaarisesti iän myötä vanhemmissa ikäryhmissä. Pikamatkojen juoksijoiden hyppytehot olivat korkeammat kuin muilla ryhmillä. Sipilä ym. (1991) poikittaistutkimuksessa 70 - 81 -vuotiailla miehillä CMJ oli voimaharjoittelua -, nopeusharjoittelua - ja kestävyysharjoittelua toteuttaneiden ryhmissä parempi kuin harjoittelemattomilla. Nopeusharjoittelua toteuttaneiden ryhmä puolestaan hyppäsi korkeammalle kuin voimaharjoittelua ja kestävyysharjoittelua toteuttaneet. Grassi ym. (1991) poikittaistutkimuksessa taas kestävyys- ja voimalajien veteraaniurheilijoiden hyppyteho SJ:ssa voimalevyltä mitattuna laski lineaarisesti noin 50 % 20 - 75 ikävuoden välissä.

Ojala ym. (2007) mittasivat maksimivoimaa ja sen tuottonopeutta isometrisessä polven fleksiossa ja ekstensiossa, penkkipunnerruksessa, kyykyssä sekä hauiskäännössä veteraaniheittäjillä ja kontrolliryhmällä. Voiman maksimaalinen nousunopeus (RDF) oli nuorimmalla ikäryhmällä (40 vuotta) parempi vanhempiin ikäryhmiin (50, 60, 75 vuotta) verrattuna. Urheilijoilla voimantuotto oli parempi, kuin kontrolliryhmällä. Maksimaalinen isometrinen voimantuotto penkkipunnerruksessa ja kyykyssä nuoremmilla heittäjillä oli parempi vanhempiin heittäjiin verrattuna. Sipilä ym. (1994) tutkimuksessa 66 - 85 -vuotiailla naisilla isometrinen polven ojentajien voimantuotto oli kontrolliryhmää parempi. Mittaus tehtiin dynamometrillä istuen.

Pearson ym. (2002) havaitsivat poikittaistutkimuksessaan 40 - 87 -vuotiailla painonnostajilla olevan 32 % enemmän voimaa maksimaalisessa isometrisessä polven ekstensiossa kuin kontrolliryhmällä. Maksimivoima heikkeni painonnostajilla ikäryhmissä 0,6 % vuodessa ja kontrolliryhmässä 0,5 % vuodessa. Jalkojen ojennustehoa testattiin istuen power-rig dynamometrillä. Huipputeho oli 32 % suurempi kuin kontrolliryhmällä. Huipputeho heikkeni ikäryhmissä painonnostajilla 1,2 % ja kontrolliryhmällä 1,3 % vuodessa. Painonnostajat olivat siis ikäryhmissä voimakkaampia mutta voiman ja tehon heikkenemisen taso molemmissa ryhmissä oli sama. Teho heikkeni molemmissa ryhmissä voimaa nopeammin. The ym. (2003) tutkimuksessa yli 35 -vuotiaiden miespainonnostajien nopeaa voimantuottotehoa kuvaavat olympianostosuoritukset heikkenivät 1,9 % vuodessa, naispainonnostajien 1,4 % vuodessa.

Harjoittelun vaikutusta nopeusvoimaan on selvitelty muutamassa tutkimuksessa veteraaniurheilijoilla. Gonzalez-Rave ym. (2011) tutkimuksessa selvitettiin 60 - 70 -vuotiailla veteraanikestävyysurheilijoilla ja fyysisesti aktiivisilla ei urheilevilla ikääntyneillä henkilöillä 16 viikon vastusharjoittelun vaikutusta vertikaalihyppyyn. Tulokset paranivat veteraaniurheilijoilla ja ei urheilijoilla SJ 21,8 % ja 21,7 %, CMJ 14,8 % ja 21,5 %, depth jump 7,4 % ja 26,5 %, CMJ 15 sekunnin hyppysarjassa 6,2 % ja 6,2 %. Depth jump oli kevennetty versio pudotushypystä ja lähtö tapahtui samalta tasolta kuin voimalevy. Cristea ym. (2008) tutkimuksessa vauhditon kolmiloikkatulokset parani 4 % ja reaktiivinen CMJ 29 % sekä SJ 10 % 52 - 78 -vuotiailla miespikajuoksijoilla 20 viikon harjoittelujakson aikana. Cristean tutkimuksessa oli mukana kahdentoista miehen otos tämän tutkimuksen aineistosta (Korhonen 2009).

3.2 Maksimivoima

Maksimivoimalla tarkoitetaan suurinta voimatasoa, jonka lihas tai lihasryhmä tuottaa tahdonalaisessa kertasupistuksessa (Ahtiainen & Häkkinen 2004). Lihaksen voimantuottoaika on pitempi kuin nopeusvoimassa (Häkkinen 1990, 41-42).

Maksimivoimaharjoittelussa riittävän intensiteetin ja harjoittelun progressiivisuuden lisäksi on huomioitava harjoittelun spesifisyys (Häkkinen 1990, 101-126). Tällä tarkoitetaan lihastyötappaa, nivelkulmia, kuormaa, supistusten määrää ja nopeutta, sarjojen määrää sekä palautuksen kestoa joilla harjoitteet tehdään. Ylikuormitusperiaatteen mukaan kuorman tulee harjoituksessa olla jopa 80 % - 100 % maksimista (Häkkinen 1990, 198-213). Maksimivoimaharjoittelu saa aikaan muutoksia voima-aika käyrällä voimapäässä (Häkkinen 1990, 101-126).

Maksimivoiman testaus voi tapahtua isometrisesti, isokineettisesti tai isoinertiaalisesti. Isometrisessä testissä voima tuotetaan liikkumatonta vastusta vasten halutulla nivelkulmalla. Mittaukset tehdään erilaisilla voimadynamometreillä. Maksimivoiman testauksen lisäksi voidaan suorituksesta arvioida voimantuottonopeutta. Isokineettisessä testissä puolestaan liikenopeus on laitteessa vakioitu. Isoinertiaalinen eli isotoninen testi taas voidaan tehdä vapailla painoilla tai laitteilla joko toistomaksimina, jolloin kuorma pysyy samana tai yhden toiston toistomaksimina (1 RM) (Ahtiainen & Häkkinen 2004). Toistomaksimitestausta käytetään loukkaantumisriskin ehkäisyn vuoksi (Häkkinen 1990, 198-213).

3.2.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus maksimivoimaan

Ikääntymiseen liittyy spinaalisten motoneuronien väheneminen, joka johtaa lihassäikeiden määrän ja koon katoon (sarkopenia). Tästä on seurauksena maksimaalisen lihasvoiman aleneminen (Aagaard ym. 2010). Lihassmassan on todettu vähenevän 30 % - 50 % 40 - 80 ikävuoden välillä (Faulkner ym. 2007). Hitaiden I-tyyppin ja nopeiden II-tyyppin lihassoluissa tapahtuu molemmissa katoa mutta II-tyyppin suhteellinen kato on suurempi. Ikääntymisen myötä tapahtuvien fysiologisten muutosten lisäksi myös inaktiivinen elämäntapa ja lihasten

vähäinen käyttö ovat syynä lihaskatoon ja voiman alenemiseen (Maharam ym. 1999). Voimaharjoittelulla voidaan kuitenkin tähän vaikuttaa ja saadaan ikääntyneillä aikaan lihasten hypertrofiaa (Maharam ym. 1999, Trappe 2001).

Useissa poikittaistutkimuksissa ikääntymisellä on todettu yhteys isometrisen ja dynaamisen maksimivoiman vähentymiseen alaraajoissa. Tutkimuksissa on todettu, että 40-vuotiailla oli dynamometrillä mitattuna parempi isometrinen ja konsentrisen polven maksimaalinen ekstensio kuin 70-vuotiailla. Lihaksen poikkipinta-ala oli myös pienempi vanhemmassa ikäryhmässä (Häkkinen ym. 1998). Ikääntyneillä 50-80 -vuotiailla naisilla oli nuoriin 20-29 -vuotiaisiin naisiin verrattuna heikompi polven maksimaalinen isometrinen ekstensio sekä dynaaminen ekstensio ja fleksio (Johnson 1982). Polven maksimaalisessa isometrisessä ekstensiossa ero terveillä 20 - 55 -vuotiailla naisilla oli 10 %, 55 - 80 -vuotiailla naisilla 40 %. Miehillä erot olivat vastaavasti 24 % ja 23 % (Samson ym. 2000). Maksimaalisessa isometrisessä polven ekstensiossa 65 -vuotiaiden miesten suoritus oli 24 % heikompi verrattuna 42 -vuotiaiden miesten suoritukseen ja dynaamisessa puolikykytestissä (1 RM) 14 % heikompi (Izquierdo ym. 2001). Edelleen 63 -vuotiailla oli 76 -vuotiaisiin verrattuna keskimäärin 51 % heikompi 1RM voima alaraajoissa mitattaessa lonkan, polven ja nilkan eri liikesuuntia. Lisäksi lihasmassan todettiin vähenevän ikääntyessä (Lamoureux ym. 2001). 65 -vuotiaiden miesten ryhmässä oli verrattuna 40 -vuotiaisiin miehiin yläraajoissa 21 % ja alaraajoissa 14 % heikompi maksimaalinen konsentrisen lihasvoima penkkipunnerruksella ja puolikykyllä testattuna. Tässä tutkimuksessa tuli myös esille lihasmassan väheneminen vanhemmassa ikäryhmässä (Izquierdo ym. 1999). Viitasalon ym. (1985) tutkimuksessa tarkasteltiin 32 -, 53 - ja 72 -vuotiailla miehillä maksimaalisen polven ojennusvoiman lisäksi myös käden puristusvoimaa sekä vartalon ja kyynärnivelen ojennus- ja koukistusvoimaa dynamometrillä. Nuorempien ikäryhmien tulos oli parempi kuin vanhempien ikäryhmien.

Voimaharjoittelulla ikääntyneiden maksimivoimaa voidaan parantaa. Maksimivoima paranee neuraalisen adaptaation eli motoristen yksiköiden aktivaation lisääntymisen myötä sekä edullisesta nopeiden II-tyyppin lihasolujen kasvun johdosta (Aagaard ym. 2010). Tutkimuksessa kuuden kuukauden voimaharjoittelu paransi 40- ja 70-vuotiaiden miesten ja naisten dynamometrillä mitattua isometristä ja konsentrista polven ojennusvoimaa 26 % - 28 % ja 27 % - 35 %. Naisilla myös I- ja II-tyyppin lihassolujen pinta-ala kasvoi harjoittelujakson

aikana (Häkkinen ym. 2001). Niin ikään Hanson ym. (2009) tutkimuksessa 22 viikon voimaharjoittelulla maksimaalinen polven ekstensio ja jalkaprässitulos paranivat 65 - 85 -vuotiailla. Mittaukset tehtiin paineilmalaitteilla. Caserottin (2010) tutkimuksen 12 viikon voimaharjoittelujaksolla isometrinen maksimaalinen jalkaprässitulos parani 80 -vuotiailla 28 % ja 60 -vuotiailla 22 %. Häkkisen ym. (2002) tutkimuksessa 60 - 75 -vuotiaiden 1 RM puolikyky parani miehillä 38 % ja naisilla 35 % 12 viikon voimaharjoittelujakson aikana. Lisäksi I ja II-tyyppin lihassolujen pinta-alat kasvoivat merkitsevästi. Sousa ym. (2011) totesivat 12 viikon harjoittelulla (ikä 73 vuotta) miehillä olevan 1 RM yläraajojen maksimivoimaan vastuslaitteilla mitattuna suuremman vasteen kuin alaraajojen maksimivoimaan. Muutos alku- ja loppumittausten välillä oli keskimäärin 81 % ja 66 %. Holvialan ym. (2006) tutkimuksessa 21 viikon harjoittelu paransi 53 -vuotiaiden naisten 1RM jalkaprässitulosta 28 % ja 64 -vuotiaiden 27 %. Edelleen Izquierdo ym. (2001) tutkimuksessa 16 viikon voima- ja tehoharjoittelujakson aikana 46-vuotiailla miehillä 1 RM puolikykytulokset parani 45 % ja 64-vuotiailla 41 %, penkkipunnerrustulos parani molemmissa ryhmissä 36 %. Dynamometrillä mitattu polven ojennus parani 46-vuotiailla 29 % ja 64-vuotiailla 25 %, isometrinen polven ojennus puolestaan 27 % ja 26 %.

Tutkimuksissa on myös tarkasteltu voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutuksia voiman kehittymiseen. Kestävyys harjoittelun on ajateltu inhihoivan voimaharjoittelun vaikutuksia (Häkkinen 1990, 139-144). Holviala ym. (2012) mukaan 21-viikon voimaharjoitteluryhmällä sekä yhdistetyllä voima- ja kestävyys harjoitteluryhmällä alaraajojen maksimivoima jalkaprässissä parani 21 % ja 22 % (ikä 56 vuotta) miehillä. Myös Izquierdo ym. (2004) tutkimuksessa 65 - 74 -vuotiailla miehillä 16 viikon harjoittelulla maksimaalinen puolikykytulokset parani voimaharjoitteluryhmällä 41 % ja yhdistetyllä voima- ja kestävyys harjoitteluryhmällä 38 %. Yläraajojen osalta penkkipunnerrustulos parani puolestaan 36 % ja 22 %. Kestävyys harjoittelu voimaharjoittelun ohessa ei siis näissä tutkimuksissa vaikuttanut heikentävästi ikääntyneiden voiman kehittymiseen. Reisilihaksen poikkipinta-alassa tapahtui kasvua 11 % molemmissa ryhmissä. Karavirta ym. (2011) totesivat myös 40 - 67 -vuotiailla miehillä 21 viikon harjoittelujaksolla alaraajojen maksimivoiman paranevan samassa määrin voimaharjoitteluryhmässä (21 %) kuin voima- ja kestävyys harjoitteluryhmässä (22 %). II-tyyppin lihassolujen poikkipinta-ala kasvoi kuitenkin vain voimaharjoitteluryhmässä. Sipilän ym. (1996) tutkimuksessa 18 viikon harjoittelu 76 - 78

-vuotiailla naisilla niin voimaharjoitteluryhmässä kuin kestävyysarjoitteluryhmässä paransi maksimivoimaa polven isometrisessä ekstensiossa. Mittaukset tehtiin istuen dynamometrituolissa. Lisäksi Sipilä ym. (2001) tutkivat 50 -57 -vuotiailla naisilla 12 kuukauden harjoittelun vaikutuksia maksimaaliseen isometriseen polven ekstensioon. Harjoittelu koostui kuntopiiriharjoittelun lisäksi voimaharjoitteista. Tässä harjoitteluryhmän tuloksissa ei ollut eroa kontrolliryhmään verrattuna. Tutkimuksessa oli mukana myös harjoitteluryhmä yhdistettynä hormonikorvaushoitoon. Tämän ryhmän tulos oli parempi verrattuna kontrolliryhmään.

3.2.2 Harjoittelun vaikutus maksimivoimaan veteraaniurheilijoilla

Ikääntymisestä johtuvaa spinaalisten motoneuronien katoa ja tästä johtuvaa lihasmassan vähenemistä on myös hyvin harjoitelleilla veteraaniurheilijoilla. Voimaharjoittelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa lihaksiin ja hermolihas järjestelmään ja näin kompensoida ikääntymisen aiheuttamia muutoksia (Aagaard ym. 2010).

Korhonen ym. (2006) tutkimuksessa tarkasteltiin maksimaalista polven isometrista ojennusvoimaa nuorilla 18 - 35 -vuotiailla sprintterimiehillä sekä ikäryhmittäin 40 - 49, 50 - 59, 60 - 69 ja 70 - 84 -vuotiaita veteraanipikajuoksijoita. Tulokset heikkenivät vanhemmissa ikäryhmissä. Aineisto oli veteraaniurheilijoiden osalta sama tämän tutkimuksen kanssa. McCrory ym. (2009) tutkivat poikittaistutkimuksessaan yli 65-vuotiailla kestävyyslajien urheilijoilla polven maksimaalista isometrista voimaa. Lihassoima ekstensiossa oli 38 % ja fleksiossa 66 % parempi veteraaniurheilijoilla kuin kontrolliryhmällä. Miehet olivat puolestaan 8 % ekstensiossa ja 10 % fleksiossa naisia voimakkaampia. Ikääntymisellä ei ollut yhteyttä voiman vähenemiseen. Trappen (2001) mukaan veteraanipitkänmatkanjuoksijoilla lihassäikeiden supistumisnopeus oli parempi inaktiivisiin verrattuna. Sallisen ym. (2008) poikittaistutkimuksessa puolestaan 52 ja 72 -vuotiailla miehillä polven isometrinen maksimaalinen voima ekstensiossa dynamometrillä mitattuna oli veteraaniurheilijoiden ryhmissä suurempi kuin kontrolliryhmissä. Myös lihaksen paksuus veteraaniurheilijoilla oli suurempi kontrolliryhmään verrattuna.

Tarpenning ym. (2004) tutkivat poikittaistutkimuksessaan niin ikään dynamometrillä 40 - 88 -vuotiaiden kestävyysjuoksijoiden ikääntymisen yhteyttä jalan ekstensoreiden maksimaaliseen isokineettiseen voimaan sekä I ja II tyyppin lihassyiden pinta-alaan ja suhteelliseen jakaumaan. Merkittävää voiman alenemista ei tapahtunut ennen 70 ikävuotta. Lihassyiden pinta-alassa ja jakaumassa ei ollut eroja eri ikäryhmissä. Kestävyysharjoittelulla voi sanoa näin olevan lihasvoimaa ja sen lihasrakennetta ylläpitävä vaikutus. Wiswell ym. (2001) poikittaistutkimuksen mukaan 40 - 86 -vuotiailla mies- ja naisjuoksijoilla polven isokineettinen ja isometrinen maksimaalinen voima dynamometrillä mitattuna aleni melko suoraviivaisesti 1 % / vuosi 70-vuoden ikään saakka, mitä seurasi nopeampi voiman heikkeneminen. Laskussa ei miesten ja naisten välillä ollut eroja.

Ojasen ym. poikittaistutkimuksen (2007) mukaan nuoremmilla veteraaniheittäjillä maksimaalinen isometrinen voima ylä- ja alaraajoissa oli suurempi kuin vanhemmissa ikäryhmien heittäjillä. Voimatasot heittäjillä olivat, myös ei harjoitteleviin kontrolliryhmiin verrattuna, kaikki suurempia. Myös kontrolliryhmien voimatasot olivat heikkomat vanhemmissa ikäryhmissä. Sipilä ym. (1994) tutkimuksessa 66 - 85 -vuotiailla veteraaniurheilijanaisilla maksimaalinen isometrinen polven ojennus oli kontrolliryhmää parempi. Mittaus tehtiin dynamometrillä istuen.

Harjoitteluinterventioita on veteraaniurheilijoille tehty niukasti. Cristean ym. (2008) tutkimuksessa 20 viikon harjoittelujakson aikana dynaaminen maksimaalinen kyykkytestitulokset parani 52 - 78 -vuotiailla miehillä 27 %. Samalla lihassolukossa tapahtui hypertrofiaa etenkin nopeissa tyyppin II lihassoluissa.

3.3 Nopeus

Nopeus voidaan jakaa reaktionopeuteen, räjähtävään nopeuteen ja liikkumisnopeuteen. Liikkumisnopeus voidaan jakaa vielä maksimaaliseen kiihdytysnopeuteen ja maksimaaliseen vakionopeuteen. Liikkumisnopeudessa merkitystä on liikefrekvenssillä sekä askelpituudella. Nopeus riippuu lihaskoordinaatiosta, kyvystä nopeisiin lihassupistuksiin, kudosten aiheuttamasta vastuksesta eli viskositeetista, antropometriasta, notkeudesta ja ulkoisen kuorman suuruudesta (Mero 2004).

Nopeusharjoittelussa juoksunopeudessa pyritään parantamaan maksimaalista kiihdytysnopeutta ja maksimaalista vakionopeutta. Olennaisia ovat myös tekniikkaharjoitteet sekä voiman eri osa-alueiden harjoittaminen (Mero ym. 1987).

Nopeutta testattaessa reaktionopeutta testataan reaktioaikana kuulo- tai näköärsykkeeseen. Räjähävää nopeutta puolestaan voidaan testata kuten räjähtävää voimaakin erilaisilla hyppytesteillä. Liikkumisnopeudelle perustestinä on juoksu. Tällöin voidaan testata maksimaalista kiihdytysnopeutta tai maksimaalista vakionopeutta. Mittaus tapahtuu valokennojen ja kellon avulla (Mero 2004).

3.3.1 Ikääntymisen ja harjoittelun vaikutus nopeuteen

Normaaliväestössä ikääntyneiden henkilöiden maksimaalista liikkumisnopeutta on harvoin mitattu pikajuoksutesteillä. Saez-Saez De Villareal ym. (2010) tutkivat kahdeksan viikon plyometrisen harjoittelun vaikutusta 10 metrin sprinttiin 40 – 70 -vuotiailla naisilla. Harjoittelulla ei ollut vaikutusta tulokseen. Surakan (2005) tutkimuksessa selvitettiin pidemmän, neljä kuukautta kestävä, nopeusvoimatyypin harjoitusohjelman tehokkuutta keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Pieni mutta merkitsevä harjoitusvaikutus havaittiin 20 metrin pikajuoksussa ja vauhdittomassa pituushypyssä.

3.3.2 Harjoittelun vaikutus nopeuteen veteraaniurheilijoilla

Ikääntymisen myötä tapahtuvan II tyypin lihassolujen atrofian vuoksi alaraajojen maksimaalinen voima ja voimantuottonopeus hidastuu (Korhonen 2009). Lisäksi elastisen energian palautuksen heikkeneminen jänteissä on ajateltu olevan syynä juoksunopeuden alenemiseen vanhemmilla sprintterimiehillä (Arampazis ym. 2011). Myös veteraanikestävyysjuoksijoilla juoksunopeuden heikkenemisellä on yhteys maksimivoiman ja tehon heikkenemiseen vanhemmissa ikäryhmissä (Quinn ym. 2011). Lihassoimalla on yhteys juoksunopeuteen (Maharam ym. 1999). Tarkasteltaessa 40 - 90 -vuotiaiden miesveteraanijuoksijoiden maailmanennätyksiä havaitaan, että tulokset heikkenevät tasaisesti 80 ikävuoteen saakka, mutta nopeammin tästä iästä eteenpäin (Rittweger ym.

2009). Harjoittelulla on kuitenkin positiivisia fysiologisia vaikutuksia. Harjoitelleilla 65 -vuotiailla kestävyysveteraanijuoksijoilla oli Power ym. (2010) mukaan enemmän motorisia yksiköitä kuin 65 -vuotiailla kontrolliryhmässä ja eroa 25 -vuotiaisiin kontrolliryhmäläisiin ei ollut.

Poikittaistutkimuksissa 40 - 88 -vuotiailla miesveteraanipikajuoksijoilla ja 35 - 87 -vuotiailla naisveteraanipikajuoksijoilla juoksunopeus oli alhaisempi naisilla 5 % - 6 % / vuosikymmen ja miehillä 5 % -7 % / vuosikymmen. Selkein muutos suorituskyvyssä tapahtui noin 65 - 70 -vuoden iässä (Korhonen ym. 2003). Juoksunopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat askelpituus ja askelfrekvenssi. Pikajuoksijoilla askelpituus lyheni iän myötä, mutta askelfrekvenssissä ei vastaavanlaista heikkenemistä havaittu (Hamilton 1993, Korhonen ym. 2003). Esille ovat tulleet myös II-tyyppin lihassolujen atrofia sekä alentuneet voimantuottoteho ja maksimivoima ikääntyessä (Korhonen 2009, Korhonen ym. 2009). Näiden muutosten myötä kyky tuottaa tehokkaasti alustan reaktiovoimia oli alentunut, joka vaikuttaa askelkontaktin työntövaiheeseen (Korhonen ym. 2009). Lisäksi alentui alaraajojen jäykkyys, joka vaikuttaa nopeaan siirtymiseen askeleen jarrutusvaiheesta työntövaiheeseen (Korhonen 2009).

Nopeuden osalta harjoitteluinterventioita on niukasti. Cristea ym. (2008) tutkimuksessa 20 viikon harjoittelujakson aikana veteraanipikajuoksijoiden 60 metrin juoksutestissä nopeus parani 2 % 52 - 72 -vuotiailla miehillä.

3.4 Yhteenveto

Nopeusvoimatyypistä ja nopeusharjoittelua veteraanuurheilijoilla on tutkittu vähän. Maksimaalisesta lihasvoimasta tutkimuksia on enemmän. Harjoitteluun tottuneet ikääntyneet veteraanuurheilijat tarjoavat mahdollisuuden tutkia tehokkaan harjoittelun vaikutuksia ikääntyneillä.

Nopeusvoima ikääntyneillä aikaisempien poikittaistutkimusten mukaan on heikompi vanhemmissa ikäryhmissä. Tarkemmin tehoa tarkasteltaessa nopeuden heikkeneminen on selkeämpää. Voimaharjoittelua toteuttaneiden nopeusvoima on parempi kuin harjoittelemattomilla kontrolliryhmässä interventioiden jälkeen. Perinteisellä

voimaharjoittelulla ja nopeusvoimatyypillisellä voimaharjoittelulla saadaan aikaan parannusta molemmilla harjoitusmenetelmillä voimaan mutta tehopainotteisella harjoittelulla vielä spesifimmin nopeusvoimaan.

Myös veteraaniurheilijoilla nopeusvoimaominaisuudet laskevat vanhemmissa ikäryhmissä. Ominaisuuksien heikkeneminen tapahtuu jopa samassa suhteessa ei urheileviin verrattuna mutta nopeusvoimataso on ei urheileviin verrattuna huomattavasti parempi. Myös veteraaniurheilijoiden nopeusvoimatasoa voidaan ohjatulla harjoittelulla parantaa.

Maksimivoiman osalta niin dynaaminen kuin isometrinen voima on heikompi vanhemmissa ikäryhmissä ikääntyneillä. Voimaharjoittelun johdosta maksimivoimaan voidaan saada huomattavia parannuksia. Maksimivoima heikkenee ikääntyessä myös veteraaniurheilijoilla mutta voimataso verrattuna ei harjoitteleviin on suurempi. Voidaan myös sanoa, että harjoittelua ohjelmoimalla voidaan maksimivoimaa parantaa myös veteraaniurheilijoilla.

Nopeuden osalta tutkimuksia ikääntyneiden osalta ei ymmärrettävästi löydy kuin muutama tutkimus liittyen liikkumisnopeuteen. Harjoittelulla ei näissä sanottavasti ollut vaikutusta nopeuteen. Veteraaniurheilijoiden osalta tietoa on myös niukasti. Korhosen (2009) mukaan voidaan kuitenkin sanoa, että vanhempiin ikäryhmiin liittyvää laskua nopeudessa tapahtuu ja ohjatulla harjoittelulla voidaan myös tätä suorituskyvyn osa-aluetta parantaa veteraaniurheilijoilla.

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää onko aiempaan tavanomaiseen harjoitteluun lisätyllä voimaharjoittelulla vaikutusta veteraaniurheilijoiden suorituskykyyn nopeusvoimassa, maksimivoimassa ja juoksunopeudessa. Harjoittelun vaikutuksia tutkittiin myös eri ikäryhmissä jakamalla aineisto alle 65 -vuotiaiden ryhmään ja yli 65 -vuotiaiden ryhmään.

Tutkimuskysymys:

Onko lisätyllä tehostetulla voimaharjoittelulla vaikutusta nopeusvoimaan, alaraajojen maksimaaliseen dynaamiseen lihasvoimaan sekä juoksunopeuteen veteraanipikajuoksijoilla koko tutkimusjoukolla sekä eri ikäryhmissä?

5 MENETELMÄT

5.1 Tutkimusasetelma ja tutkimusaineisto

Tämän satunnaistetun ja kontrolloidun tutkimuksen aineisto on osa laajemmasta tutkimusprojektista, jonka tarkoituksena oli selvittää nopeus- ja voimaharjoittelun sekä ikääntymisen vaikutuksia veteraanipikajuoksijoiden nopeussuorituskykyyn, voimantuotto-ominaisuuksiin ja lihasrakenteen muutoksiin (Korhonen 2009). Aineisto on kerätty vuosina 2002 - 2003. Tutkimukseen valikoitiin kansainvälisen ja kansallisen tason veteraanipikajuoksijoita Suomen Veteraaniurheiluliiton jäsenluettelosta. Tutkittavilla tuli olla pitkä harjoittelutausta pikajuoksusta sekä menestystä kansallisissa - tai kansainvälisissä kilpailuissa. Tutkittavat olivat iältään 40 – 85 -vuotiaita miesveteraanipikajuoksijoita (n=83). Tutkimuksesta pois suljettiin 11 henkilöä. Poissulkukriteereinä olivat riittämättömät harjoitteluolosuhteet kotipaikkakunnalla tai heikko terveystilanne.

72 vapaaehtoista tutkittavaa satunnaistettiin kymmenen vuoden ikäryhmissä koeryhmään (n=40) ja kontrolliryhmään (n=32). Tutkittaville tehtiin alkumittaukset ja kolmannen sekä kuudennen kuukauden kohdalla seurantamittaukset (Cristea ym. 2008, Korhonen 2009).

Antropometriset mittaukset, pituus ja paino, tehtiin tavanomaisin menetelmin. Tiedot tutkittavien harjoittelusta saatiin kyselylomakkeilla ja haastatteleamalla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet tutkimuksen alussa ja harjoitteluhistoria koe- ja kontrolliryhmissä. (ka, SD).

Muuttuja	Koeryhmä (n=42)	Kontrolli- ryhmä (n=41)	p-arvo
Ikä (vuosi)	60,8 (12,0)	63,0 (12,0)	0,404
Pituus (cm)	174,9 (6,5)	173,0 (6,6)	0,195
Paino (kg)	73,2 (7,3)	73,1 (8,4)	0,950
BMI	23,9 (2,0)	24,5 (2,3)	0,240
Harjoittelu (krt/vko)	4,3 (1,3)	4,3 (1,2)	0,865
Harjoittelu (h/vko)	6,3 (2,8)	6,7 (3,1)	0,401
Voimaharjoittelu (h/vko)	1,1 (1,2)	1,3 (1,4)	0,706
Nopeusharjoittelu (h/vko)	2,9 (1,7)	3,2 (2,2)	0,463
Muu liikunta (h/vko)	2,4 (1,6)	2,3 (2,4)	0,803
Harjoitteluvuodet	34,6 (16,2)	29,1 (16,0)	0,159

Ennen kirjallista suostumusta tutkimukseen tutkittavia henkilöitä informoitiin tutkimuksen mahdollisista riskeistä. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta on antanut myöntävän lausunnon tutkimukseen (Korhonen 2009).

5.2 Mittausmenetelmät

5.2.1 Nopeusvoima

Reaktiivinen hyppytesti. Nopeusvoimamittauksessa mittausmenetelminä käytettiin reaktiivista hyppelytestiä voimalevyllä. Testissä pyritään määrittämään voiman ja nopeuden yhteisvaikutusta eli tehoa. Hyppelysarja tehtiin mahdollisimman suurin jaloin ja sarjan kesto oli 10 sekuntia. Testattavia informoitiin hyppäämään mahdollisimman korkealle ja minimoimaan kontaktiaika. Jokaisen hypyn kontakti- ja lentoaika mitattiin, jotta voitiin laskea hyppelyn mekaaninen teho kehon painokiloa kohti (Korhonen 2009). Hyppelytestissä analysointiin mukaan otettiin kaksi parasta hyppyä, joista molemmista kontakti- ja lentoajan perusteella laskettiin hyppelyn teho painokiloa kohti.

$$P \text{ (W/kg)} = 2 \cdot g \cdot h \cdot t^{-1}$$

Kaavassa h = painopisteen nousukorkeus, t = kontaktiaika ja $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Kahden parhaan hypyn tehosta lasketusta keskiarvosta saatiin lopullinen tulos (Kyröläinen, 2010).

Vauhditon kolmiloikka. Testi suoritettiin pituushyppypaikalla. Lähtö suoritettiin viisi senttimetriä korkealta korokkeelta varpaat reunan yli. Käsien heilautus lähdössä oli sallittu. Vaihtoehtoisen oikean ja vasemman jalan ponnistuksen jälkeen alastulo tuli tehdä hiekalle kahdella jalalla. Kolmesta yrityksestä paras tulos otettiin mukaan analyysiin (Korhonen 2009).

5.2.2 Maksimivoima

Maksimivoimamittauksessa lihasvoimatestinä käytettiin yhden toiston (1RM) dynaamista 90 asteen puolikykyä Smith-laitteessa (Frapp fitness, Joensuu, Suomi). Testattavan tuli laskeutua paino hartioilla 90 asteen polvikulmaan ja pysyä tässä asennossa yksi sekunti. Suoritusta kontrolloitiin äänisignaalilla, jonka jälkeen testattavan tuli ojentautua lähtöasentoon. Suorituksia tehtiin siihen asti kunnes tulos ei enää parantunut, keskimäärin viisi yritystä (Korhonen 2009).

5.2.3 Juoksunopeus

Juoksunopeusmittauksessa nopeustestinä oli 60 m:n juoksu sisähallissa tartanradalla. Kaikki juoksijat käyttivät piikkareita. Tutkittavat tekivät oman yksilöllisen noin 30 - 45 minuuttia kestäväen lämmittelyn, joka sisälsi submaksimaalisia juoksuveitoja testiradalla. Lämmittelyn jälkeen testattavat tekivät kaksi maksimaalista juoksuosuoritusta. Lähtö tapahtui pystylähdöllä 70 cm valokennoista ja siinä ei käytetty lähtömerkkiä. Juoksuajojen mittauksessa käytettiin lähtö ja maalipaikalle sijoitettuja valokennoportteja. Palautusaika juoksujen välissä oli 5 - 7 minuuttia (Korhonen 2009).

5.3 Harjoitteluinterventio

Tutkittavien aiempi harjoittelu oli sisältänyt pääasiassa juoksuharjoittelua ja interventiossa voimaharjoittelun lisääminen oli keskeinen muutos harjoittelutottumuksiin. Koeryhmä osallistui 20 viikon nopeus- ja voimaharjoittelujaksolle, joka sisälsi 3 - 4 harjoituskertaa viikossa. Harjoittelujakso oli jaettu kahteen 11 ja 9 viikon periodiin, jotka oli edelleen jaettu 3 - 4 viikon jaksoihin harjoittelun intensiteetin, -määrän ja -tyypin vaihtelun vuoksi (Korhonen 2009).

Voimaharjoittelu kohdistui polven ekstensoreihin, hamstringeihin ja gluteus-lihasryhmään. Harjoittelu sisälsi hypertrofisia, maksimaalisia ja räjähtäviä painojen nostoja sekä plyometrisia harjoitteita. Tavoitteena oli lisätä maksimaalista ja räjähtävää voimaa sekä lihasten hypertrofiaa. Harjoittelu sisälsi samanaikaisesti myös aiemman kaltaista nopeusharjoittelua, mutta sen osuus väheni.

Harjoittelun ensimmäiset neljä viikkoa toteutettiin matalalla intensiteetillä ja suurella määrällä kestävyysvoima / hypertrofia harjoitteita (3 - 4 sarjaa x 8 - 12 toistoa 50 - 70 % teholla 1 RM:sta) lihasten valmistelemiseksi intensiivisempään harjoitteluun. Toisella ja kolmannella jaksolla otettiin mukaan maksimivoima harjoitteet (2 - 3 sarjaa x 4 - 6 toistoa 70 - 85 % teholla), räjähtävät painonnostoharjoitteet (2 - 3 sarjaa x 4 - 6 toistoa 35 - 60 % teholla) ja plyometriset harjoitteet (2 - 3 sarjaa x 3 - 10 toistoa). Viikon kevyemmän palautusjakson jälkeen toisen ja kolmannen jakson harjoitukset toistettiin hieman

kovemmalla intensiteetillä. Maksimaaliset voimaharjoitteet ja plyometriset harjoitteet olivat mukana heti toisen periodin alusta (Korhonen 2009).

Voimaharjoitteet tehtiin kaksi kertaa viikossa, ei peräkkäisinä päivinä. Harjoituksen kesto oli 50 - 90 minuuttia. Tässä harjoitteina käytettiin jalkaprässiä ja / tai puolikyökkyä laitteessa sekä tempausta polvien tasolta ja/tai maastavetoa. Täydentävinä harjoitteina olivat koko liikeradalla laitteissa tehtävät lonkan ekstensio ja fleksio, polven ekstensio ja fleksio ja nilkan plantaarifleksio. Lisäksi jokaisella harjoituskerralla oli kahdesta neljään harjoitetta muille kehon lihasryhmille. Vartalon ekstensio ja fleksio, penkkipunnerrus, rinnalta työntö ja pikajuoksun käsiliikkeet ilman käsipainoja sekä käsipainojen kanssa. Plyometrisiä harjoitteita käytettiin osana räjähtävän voiman harjoittelua vertikaalihyppyistä horisontaalihyppyihin. Nämä harjoitteet tehtiin nopeusharjoittelukertojen alussa (Korhonen 2009).

Nopeus- eli pikajuoksuharjoittelua jatkettiin mutta vähennettiin, kun voimaharjoittelu sisällytettiin ohjelmaan. Pikajuoksuharjoittelu sisälsi nopeuskestävyys harjoituksia, kovatehoisia lyhyitä vetoja sekä kiihdytys- ja tekniikkaharjoitteita. Tavoitteena oli parantaa kiihdytystä ja maksimaalista nopeutta. Harjoitteet olivat samat ensimmäisellä ja toisella periodilla. Alussa tehtiin yhdistelmäharjoituksena nopeuskestävyys interalleja (3 - 5 x 200 - 250 m 75 – 85 % teholla maksiminopeudesta) ja kiihdytysharjoituksia pystylähtöasennosta (4 x 30 m 80 % teholla). Toisella ja kolmannella jaksolla lisättiin maksiminopeusharjoitteet ja intensiteetti nostettiin miltei kilpailutasolle (2 - 3 x 30 - 80 m 90 – 98 % teholla) sekä juoksumatkoja lyhennettiin. Harjoituksiin sisällytettiin räjähtäviä lähtöjä ja kiihdytyksiä lähtötelineestä (2 - 4 x 30 m 90 – 98 % teholla). Jokainen harjoituskerta sisälsi myös koordinaatio ja juokсутekniikka harjoituksia. Pikajuoksuharjoitteita tehtiin kaksi kertaa viikossa, ei peräkkäisinä päivinä. Harjoituksen kesto oli 50 - 90 minuuttia. Harjoittelua seurattiin harjoituspäiväkirjan avulla. Kontrolliryhmä jatkoi omilla harjoittelurutiineillaan. (Korhonen 2009).

5.4 Tilastollinen analyysi

Analysointia varten aineisto jaettiin luokkiin 40 – 65 -vuotiaat ja yli 65 -vuotiaat veteraaniurheilijat. Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Ryhmien välisiä eroja

alkutilanteessa ja harjoittelun toteutumista testattiin T-testillä. Harjoittelun vaikutusta testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä (MANOVA) koe- ja kontrolliryhmällä sekä ikäryhmittäin ryhmien kesken. Lisäksi tarkasteltiin koe- ja kontrolliryhmien välisiä prosentuaalisia muutoksia ryhmien sisällä T-testillä. Aineiston analysointi suoritettiin SPSS -ohjelmalla (SPSS versio, 18 PASW Statistics). Tilastollisen merkitsevyyden raja-arvona käytettiin $p < 0,05$.

6 TULOKSET

6.1 Antropometriset mittaukset ja harjoittelu

Koe- ja kontrolliryhmien fyysiset ominaisuudet eivät eronneet merkitsevästi toisistaan tutkimuksen alkutilanteessa. Tutkimusta edeltänyt harjoitteluhistoria oli ryhmien kesken hyvin samankaltainen kokonaisharjoittelun ja voimaharjoittelun sekä nopeusharjoittelun osalta (Taulukko 1).

6.2 Harjoitusohjelman toteutuminen

Intervention aikana koe- ja kontrolliryhmien nopeus- ja voimaharjoittelu ei harjoittelun kertamäärien sekä harjoitteluun käytetyn ajan perusteella eronnut toisistaan (Taulukko 2).

Taulukko 2. Nopeus- ja voimaharjoittelun toteutuminen koe- ja kontrolliryhmissä ka(SD).

Harjoittelu	Koeryhmä (n=38)	Kontrolliryhmä (n=27)	P-arvo
Juoksuharjoittelu x/jakso	23,9 (11,0)	27,3 (13,3)	0,210
Voimaharjoittelu x/jakso	22,0 (10,9)	19,5 (9,7)	0,500
Juoksuharjoittelu x/vko	1,4 (0,5)	1,5 (0,7)	0,168
Juoksuharjoittelu h/vko	1,5 (0,8)	1,2 (0,6)	0,328
Voimaharjoittelu x/vko	1,3 (0,5)	1,1 (0,5)	0,771
Voimaharjoittelu h/vko	1,5 (0,7)	1,0 (0,5)	0,067
Muu harjoittelu x/vko	1,0 (1,0)	1,4 (1,5)	0,096
Muu harjoittelu h/vko	0,9 (0,9)	1,4 (1,4)	0,092

6.3 Harjoittelun vaikutus nopeusvoimaan, nopeuteen ja maksimivoimaan

Harjoittelun vaikutus muuttujiin koko tutkimusjoukolla on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Ryhmän ja ajan välistä yhdysvaikutusta ei ollut alku- ja 3 kk:n mittausten välillä (Taulukko 3).

Taulukko 3. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin koe- ja kontrolliryhmissä koko tutkimusjoukolla alku- ja 3 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA (p-arvo) Ryhmä x aika
	Alku	3kk	Alku	3kk			
Hyppy (W/kg)	31,3 (9,3) (n=29)	36,8 (9,8)	30,7 (9,5) (n=27)	34,6 (9,7)	-1,0	(-3,2 - 1,2)	0,314
3-loikka(m)	7,03 (0,87) (n=28)	7,02 (0,89)	7,04 (0,82)	7,07 (0,68)	-0,01	(-0,13 - 0,12)	0,783
60 m (s)	8,56 (0,87)	8,53 (0,93)	8,40 (0,67)	8,40 (0,59)	-0,01	(-0,14 - 0,12)	0,389
Kyykky (kg)	137 (34) (n=25)	149 (31)	139 (35) (n=22)	153 (35)	3	(-6 - 13)	0,734

Taulukosta 4 nähdään, että koko tutkimusjoukolla alku- ja loppumittauksen välillä ryhmän ja ajan välinen yhdysvaikutus oli 60 metrin juoksussa ($p=0,002$). Koeryhmän tulos parani 0,9 %, kun taas kontrolliryhmän tulos heikkeni 1,3 % (Kuva 3a).

Taulukko 4. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin koe- ja kontrolliryhmissä koko tutkimusjoukolla alku- ja 6 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA (p-arvo) Ryhmä x aika
	Alku	6kk	Alku	6kk			
Hyppy (W/kg)	31,3 (9,3) (n=31)	36,8 (8,9)	30,7 (9,4) (n=26)	33,5 (9,9)	-3,3	(-6,3 - -0,2)	0,105
3-loikka(m)	7,03 (0,87)	7,12 (0,87)	7,04 (0,82)	7,00 (0,71)	-0,08	(-0,21 - 0,06)	0,255
60 m (s)	8,56 (0,87)	8,50 (0,9)	8,40 (0,67) (n=28)	8,51 (0,63)	0,17	(0,05 - 0,28)	0,002
Kyykky (kg)	137 (34) (n=25)	159 (39)	139 (35) (N=15)	165 (34)	-1	(-11 - 8)	0,969

Ikäryhmittäin tarkasteltuna alle 65 -vuotiailla tulokset on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Alku- ja 3 kk:n mittausten välillä ryhmän ja ajan välinen yhdysvaikutus oli hyppytestissä ($p=0,018$) ja 60 metrin juoksupuotestissä ($p=0,018$) (Taulukko 5). Hyppytestissä koeryhmän tulos parani 14,1 % ja kontrolliryhmän 8,9 % (Kuva 1b). Koeryhmän tulos parani juoksussa 0,8 %, kun taas kontrolliryhmän tulos heikkeni 1,4 % (Kuva 3b).

Taulukko 5. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin 40 - 65 -vuotiailla koe- ja kontrolliryhmissä alku- ja 3 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA
	Alku	3kk	Alku	3kk			(p-arvo)
							Ryhmä x aika
Hyppy (W/kg)	36,4 (6,6) (n=18)	42,0 (7,1)	37,9 (6,5) (n=13)	41,2 (7,0)	-1,4	(-4,7 - 1,9)	0,018
3-loikka(m)	7,49 (0,60)	7,50 (0,65)	7,73 (0,42) (n=14)	7,63 (0,42)	-0,11	(-0,26 - 0,04)	0,061
60 m (s)	8,09 (0,49) (n=19)	8,02 (0,42)	7,86 (0,39)	7,95 (0,40)	0,11	(-0,01 - 0,23)	0,018
Kyykky (kg)	152 (25)	159 (24)	163 (27) (n=10)	174 (30)	9	(-3 - 21)	0,215

Taulukosta 6 nähdään, että alle 65 -vuotiailla alku- ja loppumittauksen välillä ryhmän ja ajan välinen yhdysvaikutus oli hyppytestissä ($p < 0,001$). Koeryhmän tulos parani 16,9 % ja kontrolliryhmän 6,6 % (Kuva 1b). Vauhdittomassa kolmiloikassa oli myös yhdysvaikutus ($p = 0,015$). Tulos parani koeryhmässä 2,3 %, kun taas kontrolliryhmällä tulos heikkeni 0,5 % (Kuva 2b). Yhdysvaikutus havaittiin myös juoksutestissä ($p < 0,001$). Koeryhmän tulos parani 1,4 %, kun taas kontrolliryhmän tulos heikkeni 1,9 % (Kuva 3b).

Taulukko 6. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin 40 - 65 -vuotiailla koe- ja kontrolliryhmissä alku- ja 6 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA
	Alku	6kk	Alku	6kk			(p-arvo)
							Ryhmä x aika
Hyppy (W/kg)	36,4 (6,6) (n=19)	41,3 (6,3)	37,9 (6,5) (n=12)	39,2 (7,6)	-3,1	(-6,6 - 0,4)	<0,001
3-loikka(m)	7,48 (0,60) (n=20)	7,57 (0,68)	7,73 (0,42)	7,61 (0,46)	-0,20	(-0,37 - -0,03)	0,015
60 m (s)	8,09 (0,49) (n=20)	8,07 (0,46)	7,86 (0,40) (n=13)	8,02 (0,35)	0,24	(0,12 - 0,36)	<0,001
Kyykky (kg)	152 (25) (n=18)	174 (29)	163 (27) (n=7)	182 (27)	-3	(-17 - 11)	0,975

Yli 65 -vuotiailla tulokset on esitetty taulukoissa 7 ja 8. Ryhmän ja ajan välinen yhdysvaikutus todettiin kyykkytestissä alku ja 3 kk:n mittauksen välillä ($p=0,045$) (Taulukko 7). Koeryhmän kyykkytestin tulos parani 26,1 % ja kontrolliryhmän tulos parani 8,1 % (Kuva 4b).

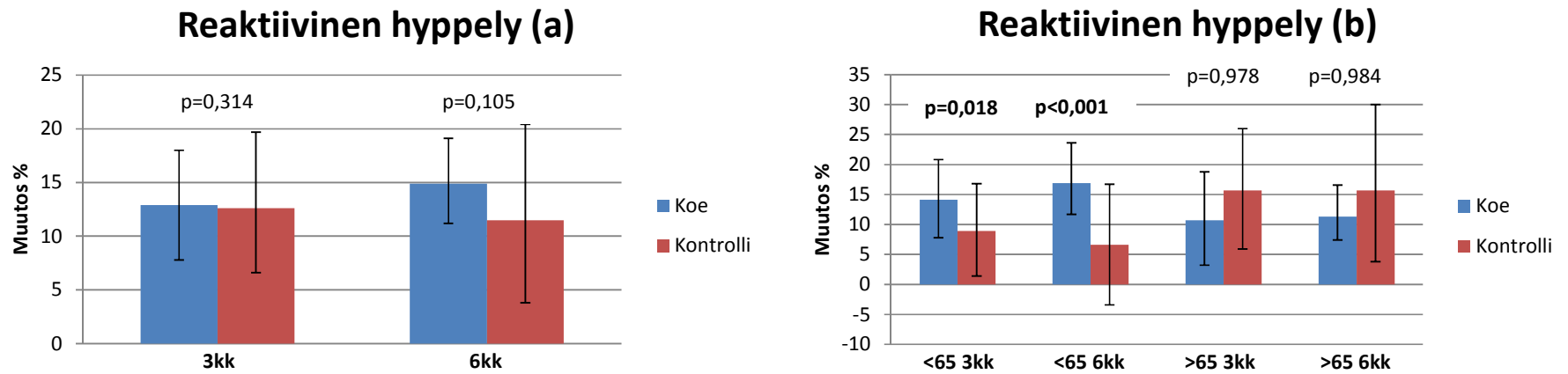
Taulukko 7. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin yli 65 -vuotiailla koe- ja kontrolliryhmissä alku- ja 3 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA
	Alku	3kk	Alku	3kk			(p-arvo)
							Ryhmä x aika
Hyppy (W/kg)	24,0 (6,3) (n=10)	30,0 (5,9)	24,0 (6,5) (n=14)	28,3 (7,5)	-0,4	(-3,3 - 2,6)	0,978
3-loikka(m)	6,38 (0,59) (n=9)	6,36 (0,41)	6,35 (0,45) (n=13)	6,47 (0,27)	0,15	(-0,03 - 0,32)	0,240
60 m (s)	9,20 (0,70) (n=9)	9,30 (0,57)	8,91 (0,42)	8,82 (0,39)	-0,24	(-0,50 - 0,02)	0,180
Kyykky (kg)	101 (22) (n=6)	132 (28)	117 (26) (n=12)	132 (26)	-11	(-28 - 5)	0,045

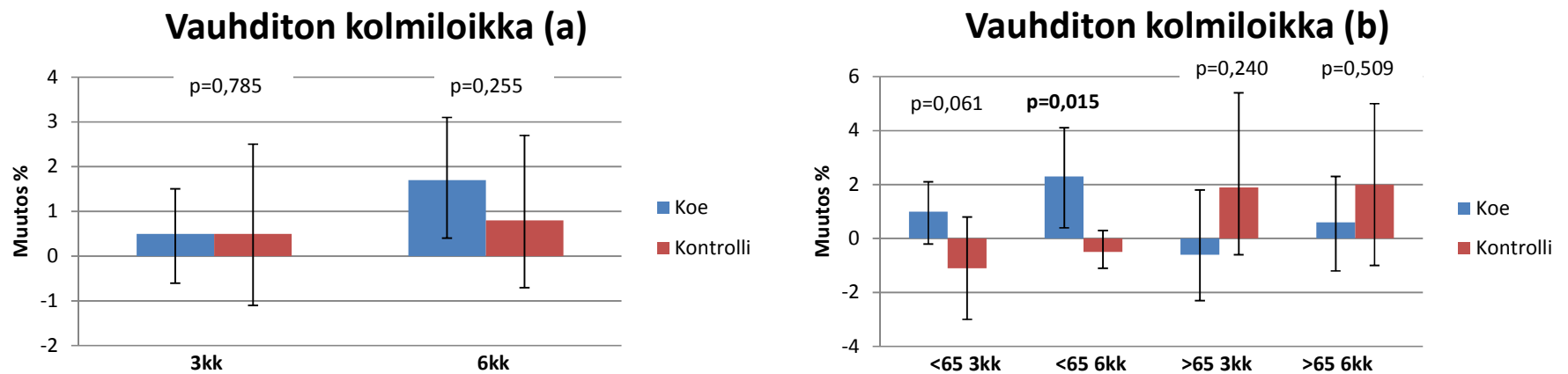
Yli 65 -vuotiailla alku- ja loppumittauksen välillä yhdysvaikutusta ei havaittu (Taulukko 8).

Taulukko 8. Voima- ja nopeusharjoittelun vaikutus muuttujiin yli 65 -vuotiailla koe- ja kontrolliryhmissä alku- ja 6 kk:n mittausten välillä (ka, SD).

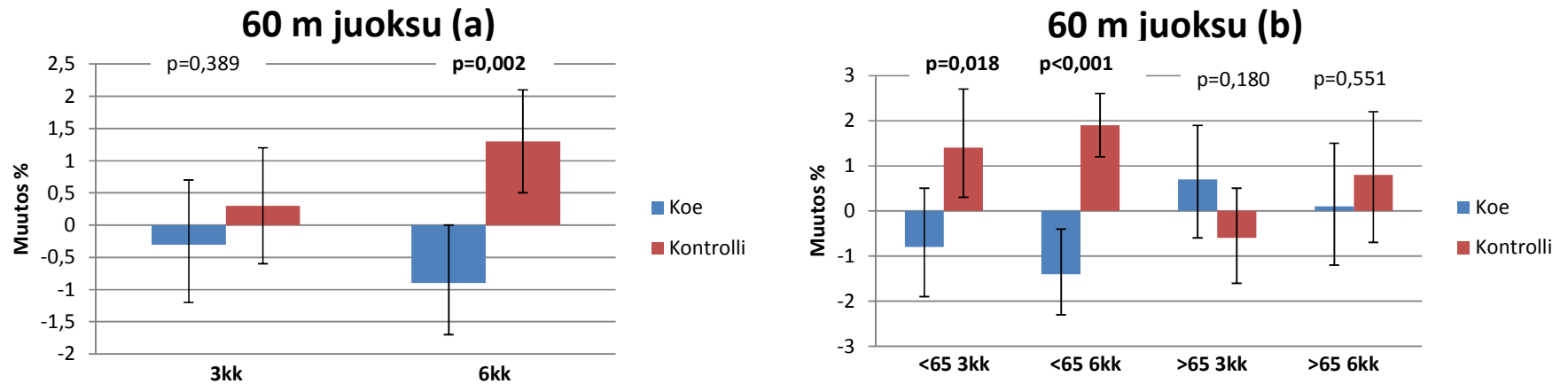
Muuttujat	Koe		Kontrolli		Ryhmien välinen ero	95 % LV	MANOVA
	Alku	6kk	Alku	6kk			(p-arvo)
Hyppy (W/ kg)	24,0 (6,3) (n=12)	29,8 (7,9)	24,0 (6,4) (n=14)	28,6 (9,2)	-2,8	(-8,3 - 2,7)	0,984
3-loikka(m)	6,38 (0,59) (n=11)	6,37 (0,59)	6,35 (0,45)	6,48 (0,38)	0,10	(-0,12 - 0,32)	0,509
60 m (s)	9,20 (0,70) (n=11)	9,27 (0,99)	8,91 (0,42) (n=15)	8,93 (0,49)	0,07	(-0,14 - 0,29)	0,551
Kyykky (kg)	101 (22) (n=6)	125 (38)	117 (26) (n=8)	145 (31)	-7	(-26 - 11)	0,277



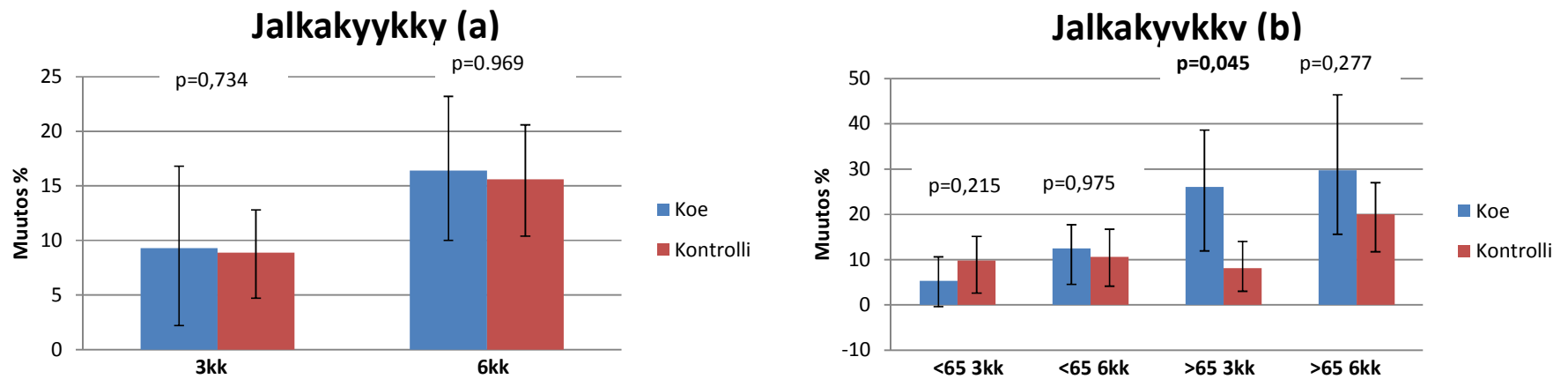
Kuva 1. Koe- ja kontrolliryhmien prosentuaaliset muutoserot ja 95 % LV reaktiivisessa hyppytestissä koko tutkimusjoukolla (a) ja ikäryhmittäin (b).



Kuva 2. Koe- ja kontrolliryhmien prosentuaaliset muutoserot ja 95 % LV vauhdittomassa kolmiloikassa koko tutkimusjoukolla (a) ja ikäryhmittäin (b).



Kuva 3. Koe- ja kontrolliryhmien prosentuaaliset muutoserot ja 95 % LV 60 metrin juoksussa koko tutkimusjoukolla (a) ja ikäryhmittäin (b). Kuvassa negatiivinen muutos kuvaa aikojen parantumista, positiivinen muutos taas aikojen heikkenemistä.



Kuva 4. Koe- ja kontrolliryhmien prosentuaaliset muutoserot ja 95 % LV dynaamisessa kyykkytestissä koko tutkimusjoukolla (a) ja ikäryhmittäin (b).

POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia onko tavanomaiseen aiempaan juoksuharjoitteluun lisätyllä voimaharjoittelulla vaikutusta 40 - 85 -vuotiaiden miesveteraanipikajuoksijoiden nopeusvoimaan, maksimivoimaan ja nopeuteen. Tulosten mukaan 20 viikon tehostettu harjoittelujakso veteraanipikajuoksijoilla paransi juoksunopeutta koeryhmässä (0,9 %), samalla kun kontrolliryhmän tulos puolestaan juoksunopeudessa heikkeni. Ikäryhmien tarkastelussa juoksunopeuden paraneminen oli merkitsevää alle 65 -vuotiaiden ryhmässä (1,4 %). Nopeusvoiman osalta taas hyppytestin tulos parani alle 65 -vuotiailla sekä koeryhmässä että kontrolliryhmässä. Koeryhmässä tulos parani kuitenkin enemmän (16,9 %). Myös vauhdittoman kolmiloikan tulos parani alle 65 -vuotiailla koeryhmässä (2,3 %). Yli 65 -vuotiailla dynaamista maksimivoimaa mittaavassa kyykkytestissä välimittauksessa niin koe- kuin kontrolliryhmä paransivat suoritusta. Koeryhmän tulos parani tässä kontrolliryhmää selkeämmin (26,1 %).

Nopeusvoima. Tässä tutkimuksessa veteraaniturheilijoilla nopeusvoima, jota mitattiin reaktiivisella hyppytestillä ja vauhdittomalla kolmiloikalla parani alle 65 -vuotiaiden ryhmässä. Tulokset ovat samansuuntaisia Gonzales-Rave ym. (2011) tutkimuksen mukaan, joissa nopeusvoima hyppytestissä parani spesifillä harjoittelulla veteraaniturheilijoilla. Heidän tutkimuksessa ei-urheilevan kontrolliryhmän tulos (21,5 %) CMJ:ssa parani jopa enemmän kuin veteraaniturheilijoiden (14,8 %). Tämä ei ole yllättävää, sillä aiemmissa tutkimuksissa ikääntyneillä ei-harjoitelleilla CMJ:ssa on saatu harjoitteluinterventioissa huomattavia parannuksia esille (Pereira ym. 2011, Caserotti ym. 2010, Kalapotharakos ym. 2005). Tämä johtunee osittain liikunnallisesti passiivisten ihmisten alhaisesta lähtötasosta, jolloin harjoitusvaikutusten aikaansaaminen on helpompaa.

Tämän tutkimuksen perusteella tehostetulla voimaharjoittelulla voidaan siis nopeusvoimaa parantaa edelleen myös veteraanipikajuoksijoilla. Harjoittelussa on syytä ottaa kuitenkin huomioon nopeusvoimaharjoittelun periaatteet harjoitusvaikutusten optimoimiseksi. Tarkoituksena on tehdä yksittäisessä voimaharjoitteessa liike niin nopeasti kuin mahdollista. Tätä ajatusta tukee aiemmat tutkimukset ikääntyneillä, joissa on todettu, että nopeusvoimaan voidaan vaikuttaa positiivisesti pelkästään voimaharjoittelulla

(Kalapotharakos ym. 2005, Caserotti ym. 2008, Hanson ym. 2009) tai spesifisti nopeusvoimaharjoittelulla (De Vos ym. 2008, Pereira ym. 2011) tai voima- ja nopeusvoimaharjoittelua yhdistelemällä (Izquierdo ym. 2001, Newton ym. 2002, Caserotti ym. 2010). Kuitenkin ikääntyneillä tehtyjen tutkimusten mukaan on lisäksi todettu, että spesifi nopeusvoimaharjoittelu, jossa käytetään pienempää kuormaa ja suurempaa liikenopeutta parantaa nopeusvoimaa paremmin kuin perinteinen voimaharjoittelu, jossa käytetty kuorma on suuri ja liikenopeus hitaampi (Fielding ym. 2002, Marsh ym. 2009, Sayers ym. 2010).

Aiempaan kirjallisuuteen perustuen ikääntyneiden kohdalla nopeusvoiman kehittämisellä on ehkä vielä enemmän arjen käytännön merkitystä. Perry ym. (2006) toteavat mm., että heikentyneellä nopeusvoimalla on yhteys kaatumisiin. Nopeusvoiman heikkenemisellä on myös yhteys ikääntymiseen (De Vito ym. 1998, Runge ym. 2004), lisäksi vanhemmissa ikäryhmissä nopeusvoiman on todettu olevan heikompi verrattuna nuorempiin (Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999, Izquierdo ym. 2001, Pearson ym. 2006). Ikääntyneiden voimaharjoittelu puolestaan parantaa maksimaalista voimaa sekä räjähtävää voimaa ja tällä on yhteys tasapainoon (Holviala ym. 2012, 2006).

Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu ikäryhmien välisiä eroja mutta aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että nopeusvoimaominaisuudet ovat heikompia vanhemmissa ikäryhmissä myös veteraaniurheilijoilla (Grassi ym. 1991, Ojala ym. 2002, Michaels ym. 2008, Pearsson ym. 2002, The ym. 2003). Tämän tutkimuksen aineistoa on aiemmin analysoitu ikäryhmittäin ja nopeusvoiman on todettu olevan heikompi vanhemmissa ikäryhmissä (Korhonen ym. 2006). Nopeusvoiman on todettu heikkenevän niin ikääntyneillä kuin veteraaniurheilijoilla jopa nopeammin kuin maksimivoiman. Nopeusvoima on kuitenkin veteraaniurheilijoilla harjoittelemattomiin verrattuna parempi (Pearsson ym. 2002). Nopeusvoima siis heikkenee harjoittelusta huolimatta ikääntymisen myötä, ollen kuitenkin korkeammalla tasolla harjoittelemattomiin verrattuna, joten harjoittelun liittäminen ikääntyneiden toimintakykyä lisäävään tai ylläpitävään harjoitteluun vahvistaa edelleen nopeusvoiman harjoittamisen merkitystä kaatumisten ennaltaehkäisyssä ikääntyvillä. Veteraaniurheilijoilla lisäharjoittelulla voidaan puolestaan harjoittelun vaikutuksia optimoida, joka tuli esille myös tässä tutkimuksessa.

Maksimivoima. Tässä tutkimuksessa yli 65 -vuotiaiden ikäryhmällä maksimivoimatulos parani välimittauksessa intervention aikana dynaamisessa jalkakyykyssä. Lisätyllä harjoittelulla voidaan siis saada aikaan edelleen parannusta maksimivoimassa myös vanhemmilla veteraaniurheilijoilla. Veteraaniurheilijoiden voidaan katsoa näin hyötyvän lisästä harjoittelusta. Useissa aiemmissä tutkimuksissa on jo todettu, että voimaharjoittelulla voidaan kompensoida ikääntymisestä johtuvaa maksimivoiman heikkenemistä ikääntyneillä (Sipilä ym. 1996, Häkkinen ym. 2001, Izquierdo ym. 2001, Häkkinen ym. 2002, Holviala ym. 2006, Caserotti ym. 2010).

Useissa poikittaistutkimuksissa todetaan maksimivoiman olevan alhaisempi vanhemmissa ikäryhmissä ikääntyneillä (Johnsson ym. 1982, Viitasalo ym. 1985, Häkkinen ym. 1998, Izquierdo ym. 1999, Samson ym. 2000, Izquierdo ym. 2001, Lamourex ym. 2001). Tässä tutkimuksessa ei selvitelty ikäryhmien välisiä eroja mutta aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että myös vanhemmissa ikäryhmissä veteraaniurheilijoilla maksimivoima on heikompi verrattuna nuorempiin ikäryhmiin (Wiswell ym. 2001, Korhonen ym. 2006, Ojanen 2007). Lisäksi maksimivoiman osalta veteraaniurheilijat ovat harjoittelemattomia voimakkaampia (Sallinen ym. 2008, McGrory ym. 2009).

Nopeus. Tämän tutkimuksen mukaan juoksunopeus parani veteraaniurheilijoilla intervention myötä. Tulokset ovat myös tämän suorituskyvyn osa-alueen kohdalla samankaltaisia kuin Cristea ym. (2008) tutkimuksessa, jossa juoksunopeus parani 2 %. Cristean tutkimuksessa oli mukana pienempi otos tämän tutkimuksen aineistosta (Korhonen 2009). Aiemmissä tutkimuksissa askelpituuden lyheneminen ja kontaktiajan piteneminen ovat syynä nopeuden heikkenemiseen veteraanijuoksijoilla (Hamilton 1993, Korhonen ym. 2003). Ikääntyneillä juoksunopeutta ei ymmärrettävästi ole tutkittu aiemmin. Korhosen (2009) mukaan juoksunopeus heikkenee iän myötä veteraaniurheilijoilla. Mutta kuten tässäkin tutkimuksessa todettiin, spesifillä harjoittelulla voidaan nopeussuorituskykyä parantaa veteraaniurheilijoilla.

Nopeusvoiman, maksimivoiman ja nopeuden heikkenemisen taustalla ovat ikääntymisen tuomat fysiologiset muutokset hermolihasjärjestelmässä. Aiempien tutkimusten mukaan

nopeusvoiman ja maksimivoiman heikkenemiseen liittyy motoristen yksikköjen ja lihassolujen kato (Deschenes 2004, Faulkner ym. 2008, Aagaard 2010). Toisaalta Karavirran ym. (2011) mukaan lihassolujen poikkipinta-alaan oli harjoittelulla positiivinen vaikutus ikääntyneillä. Nopeustutkimuksessa veteraaniurheilijoilla oli taas enemmän motorisia yksiköitä kuin saman ikäisellä kontrolliryhmällä (Power ym. 2010). Tässä tutkimuksessa suorituskyvyssä saatiin aikaan parannusta, joten harjoittelulla voidaan muutoksia olettaa hermolihasjärjestelmässä tapahtuneen.

Harjoittelu ei koe- ja kontrolliryhmien välillä eronnut määrällisesti toisistaan harjoitteluun käytetyn ajan tai harjoitteluun käytettyjen kertamäärien puolesta. Voimaharjoittelun viikoittaisissa tuntimäärissä voidaan nähdä lievää eroa koe- ja kontrolliryhmien välillä. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Harjoittelussa voidaan kuitenkin katsoa tulleen interventiossa sisällöllistä muutosta harjoittelun toteutumisen myötä, koska muutoksia suorituskyvyssä saatiin näkyviin. Jo harjoitelleilla veteraaniurheilijoilla pystyttiin suorituskykyä edelleen parantamaan, kun harjoittelu toteutettiin harjoitettavaa ominaisuutta silmälläpitäen ja sisällöllisesti oikein. Tässä tutkimuksessa harjoittelussa käytettiin nopeusvoimaa, maksimivoimaa ja nopeutta kehittäviä harjoitteita ja harjoittelun intensiteettiä pyrittiin intervention aikana progressiivisesti nostamaan.

Tämän tutkimuksen vahvuutena voidaan nähdä olevan satunnaistettu ja kontrolloitu tutkimusasetelma. Tutkimusmenetelmät ja mittaukset ovat myös hyvin toistettavissa. Aineiston koko oli myös riittävän suuri. Tulokset olivat samankaltaisia aiemmin tehdyille tutkimuksille ja antoivat näin tukea aiemmalle tutkimukselle veteraaniurheilijoiden lisäharjoittelun vaikutuksista nopeusvoimaan, maksimivoimaan ja nopeuteen. Tutkimuksen heikkoutena voi olla kontrolliryhmän puuttuminen tutkimuksesta. Ei-harjoitellut ikääntyneiden kontrolliryhmä olisi tuonut lisää tietoa tutkimukseen. Toisaalta valittujen maksimaalisten testien turvallinen suorittaminen olisi ollut kyseenalaista heidän kohdallaan. Sukupuolen suhteen naiset puuttuivat tästä tutkimuksesta. Tämä olisi myös tuonut lisätietoa tutkimukseen.

Veteraaniurheilijoiden suorituskyvyn mittaustuloksilla ei sellaisenaan ole merkitystä tavalliselle ikääntyneelle henkilöille. Kuitenkin jonkinlaisia raja-arvoja suorituskyvyssä

ikäntyneillä voidaan veteraaniurheilijoiden tutkimisen avulla määrittää. Nopeusvoimaominaisuuksilla on aiemmissa tutkimuksissa todettu olevan merkitystä esimerkiksi ikääntyneiden tasapainoon ja kaatumisten ennaltaehkäisyyn (Kyröläinen 2004, Sayers 2007). Sovellusarvoa tutkimuksen tiedoilla ikääntyneillä voi siis olla voimaharjoittelussa sovellettujen nopeusvoimaharjoitteiden liittämistä ryhmäliikunnan sekä yksilöterapian suunnitteluun ja toteutukseen.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Lisääntyneellä tehostetulla voimaharjoittelulla oli vaikutusta 40 - 85 -vuotiaiden veteraanipikajuoksijoiden nopeuteen. Nopeusvoiman osalta harjoittelulla oli vaikutusta alle 65 -vuotiailla. Maksimivoimassa harjoittelun vaikutus näkyi tilastollisesti merkittävänä vain yli 65 -vuotiaiden välimitäyksessä.

Harjoittelun sisältöön tulisi kiinnittää huomiota, mikäli halutaan parantaa nopeusvoimaominaisuuksia. Tuloksia voidaan myös jatkossa pyrkiä soveltamaan ikääntyvien liikuntaohjelmiin. Ikääntyneiden liikuntaohjelmien ja yksilöterapian suunnittelussa voitaisiin voimaharjoitteiden yhteyteen liittää nopeusvoimatyyppisiä sovellettuja harjoitteita ennaltaehkäisevässä mielessä.

Lähteet

Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scan J Med Sci Sports* 2010;20:49-64.

Ahtiainen J, Häkkinen K. Maksimivoima. Teoksessa Keskinen KL, Häkkinen K, Kallinen M (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. Tampere: Liikuntatieteellinen seura, 2004:138-148.

Caserotti P. Strength training in older adults: changes in mechanical muscle function and functional performance. *The Open Sports Sciences Journal* 2010;3:62-66.

Caserotti P, Aagaard P, Puggaard L. Changes in power and force generation during coupled eccentric-concentric versus concentric muscle contraction with training and aging. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:151-161.

Caserotti P, Aagaard P, Simonsen E, Puggaard L. Contraction specific differences in maximal muscle power during stretch-shortening cycle movements in elderly males and females. *Eur J Appl Physiol* 2001;84:206-212.

Caserotti P, Aagaard P, Butturp Larsen J, Puggaard L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:773-782.

Cristea A, Korhonen MT, Häkkinen K, Mero A, Alen M, Sipilä S, Viitasalo JT, Koljonen MJ, Suominen H, Larsson L. Effects of combined strength and sprint training on regulation of muscle contraction at the whole-muscle and single-fibre levels in elite master sprinters. *Acta Physiol* 2008;193:275-289.

Deschenes M. Effects of aging on muscle fibre type and size. *Sports Med* 2004;34:809-824.

De Vito G, Bernardi M, Forte R, Pulejo C, Macaluso A, Figura F. Determinants of maximal muscle power in women aged 50 - 75 years. *Eur J Appl Physiol* 1998;78:59-64.

De Vos N, Singh N, Ross D, Stavrinou T, Orr R, Fiantore Singh M. Effect of power-training intensity on the contribution of force and velocity to peak power in older adults. *J Aging Phys Activ* 2008;16:393-407.

Faulkner J, Davis C, Mendias C, Brooks S. The aging of elite male athletes: age related changes in performance and skeletal muscle structure and function. *Clin J Sport Med* 2008;18:501-507.

Faulkner J, Larkin L, Claflin D, Brooks S. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clin Exp Pharmacol P* 2007;34:1091-1096.

Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Finatarore Singh MA. High-velocity resistance training for increasing peak muscle power in elderly women. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:655-662.

Gonzalez JM, Delgado M, Vaquero M, Juarez D, Newton RU. Changes in vertical jump height, antropometric characteristics, and biochemical parameters after contrast training in master athletes and physically active older people. *J Strength Cond Res* 2011;25:1866-1878.

Grassi B, Gerretelli M, Narici MV, Marconi C. Peak anaerobic power in master athletes. *Eur J Appl Physiol* 1991;62:394-399.

Guyton A, Hall J. *Textbook of medical physiology*. 10. painos. Philadelphia: Saunders, 2000.

Hamilton N. Changes in sprint stride kinematics with age in master's athletes. *J Appl Biomech* 1993;9:15-26.

Hanson E, Srivatsan S, Agrawal S, Menon K, Delmonico M, Wang M, Hurley B. Effects of strength training on physical function: influence of power, strength, and body composition. *J Strength Cond Res* 2009;23:2627-2637.

Heikkinen E. Iäkkäiden ihmisten terveystoimintakyky ja elämänlaatu. Teoksessa Era P (toim.) Ikääntyminen ja liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108. 3. painos. Jyväskylä: Likes, 1997: 1-13.

Holviala J, Kraemer WJ, Sillanpää E, Karppinen H, Avela J, Kauhanen A, Häkkinen A, Häkkinen K. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:1335-1347.

Holviala J, Sallinen J, Kraemer W, Alen M, Häkkinen K. Effects of strength training on muscle strength characteristics, functional capabilities, and balance in middle-aged and older women. *J Strength Cond Res* 2006;20:336-344.

Häkkinen K. Voimaharjoittelun perusteet. Jyväskylä: Gummerus, 1990.

Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Mälkiä E, Kraemer W, Newton R. Muscle CSA, force production, and activation of leg extensors during isometric and dynamic actions in middle-aged and elderly men and women. *J Aging Phys Activ* 1998;6:232-247.

Häkkinen K; Kraemer WJ, Newton U, Alen M. 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 Physiol Scand* 2001;171:51-62.

Häkkinen K, Kraemer W, Pakarinen A, Triplett-McBride T, McBride J, Häkkinen A, Alen M, McGuigan M, Bronks R, Newton R. Effects of heavy resistance/power training on maximal strength, muscle morphology, and hormonal response patterns in 60-75-year-old men and women. *Can J Appl Physiol* 2002;27:213-231.

Izquierdo M, Häkkinen K, Anton A, Garrues M, Ibanez J, Ruesta M, Gorostiaga EM. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exer* 2001;33:1577-1587.

Izquierdo M; Häkkinen K, Ibanez J, Garrues M, Anton A, Zuniga A, Larrion JL, Gorostiaga EM. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 2001;90:1497-1507.

Izquierdo M, Ibanez J, Gorostiaga E, Garrues M, Zuniga A, Anton A, Larrion JL, Häkkinen K. Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand* 1999;167:57-68.

Izquierdo M, Ibanez J, Häkkinen K, Kraemer W, Larrion H, Gorostiaga E. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:435-443.

Johnson T. Age-related differences in isometric and dynamic strength and endurance. *Phys Ther* 1982;62:985-989.

Kalapotharakos VI, Tokmakidis SP, Smilios I, Michalopoulos M, Gliatis J, Godolias G. Resistance training in older women: effect on vertical jump and functional performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:570-577.

Kamen G. Aging, resistance training, and motor unit discharge behavior. *Can J Appl Physiol* 2005;30:341-351.

Karavirta L, Häkkinen A, Sillanpää E, Garcia-Lopez D, Kauhanen A, Haapasaari A, Alen M, Pakarinen A, Kraemer WJ, Izquierdo M, Gorostiaga E, Häkkinen K. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67-year old men. *Scand J Med Sci Sports* 2011;21:402-411.

Korhonen MT. Effects of aging and training on sprint performance, muscle structure and contractile function in athletes. *Studies in sport, physical education and health* 137. Jyväskylän yliopisto, 2009.

Korhonen MT, Cristea A, Alen M, Häkkinen K, Sipilä S, Mero A, Viitasalo JT, Larsson L, Suominen H. Aging, muscle fibre type, and contractile function in sprint-trained athletes. *J Appl Physiol* 2006;101:906-917.

Korhonen MT, Mero A, Alen M, Sipilä S, Häkkinen K, Liikavainio T, Viitasalo JT, Haverinen MT, Suominen H. Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:844-856.

Korhonen MT, Mero A, Suominen H. Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1419-1428.

Koskinen S, Nieminen M, Martelin T, Sihvonen A-P. Väestön määrän ja rakenteen kehitys. Teoksessa Heikkinen E, Rantanen T (toim.) *Gerontologia*. 2.-3. painos. Helsinki: Duodecim, 2010:28-35.

Kyröläinen H. Nopeusvoima. Teoksessa Keskinen KL, Häkkinen K, Kallinen M (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. Tampere: Liikuntatieteellinen seura, 2004:149-163.

Lamoureux E, Sparrow W, Murphy A, Newton R. Differences in the neuromuscular capacity and lean muscle tissue in old and older community-dwelling adults. *Journal of Gerontology* 2001;56A:M381-M385.

Maharam L, Bauman P, Kalman D, Skolnik H, Perle S. Masters athletes factors affecting performance. *Sports Med* 1999;28:273-285.

March A, Miller M, Rejeski J, Hutton S, Kritchhevsky S. Lower extremity muscle function after strength and power training in older adults. *J Aging Phys Activ* 2009;17:416-443.

Mero A. Nopeus. Teoksessa Keskinen KL, Häkkinen K, Kallinen M (toim.) Kuntotestauksen käsikirja. Tampere: Liikuntatieteellinen seura, 2004:164-168.

Mero A, Peltola E, Saarela J. Nopeuden ja nopeuskestävyyden harjoittaminen käytännössä perustuen tutkimustuloksiin ja käytännön kokemuksiin. Teoksessa Mero A, Peltola E, Saarela J (toim.) Nopeus- ja nopeuskestävyysharjoittelu. Jyväskylä: Mero oy, 1987:55-117.

McArdle W, Katch F, Katch V. Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance. 5. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.

McCroy J, Salacinski A, Hunt S, Greenspan S. Thigh muscle strength in senior athletes and healthy controls. J Strength Cond Res 2009;23:2430-2436.

Michaelis I, Kwiet A, Gast U, Boshof A, Antvorskov T, Jung T, Rittweger J, Felsenberg D. Decline of specific peak jumping power with age in master runners. J Musculoskeletal Neuronal Interact 2008;8:64-70.

Newton R, Häkkinen K, Häkkinen A, McCormick M, Volek J, Kraemer W. Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. Med Sci Sports Exerc 2002;34:1367-1375.

Ojanen T, Rauhala T, Häkkinen K. Strength and power profiles of the lower and upper extremities in master throwers at different ages. J Strength Cond Res 2007;21:216-222.

Pearsson S, Cobbold M, Orrell R, Harridge S. Power output and muscle myosin heavy chain composition in young and elderly men. Med Sci Sports Exerc 2006;38:1601-1607.

Pearsson SJ, Young A, Macaluso A, Devito G, Nimmo MA, Gobbold M, Harridge SDR. Muscle function in elite master weightlifters. Med Sci Sports Exerc 2002;34:1199-1206.

Pereira A, Izquierdo M, Silva A, Costa A, Bastos E, Gonzales-Badillo J, Marques M. Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol* 2011;47:250-255.

Perry M, Carville S, Smith C, Rutherford O, Newham D. Strength, power output and symmetry of legs muscles: effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:553-561.

Power G, Dalton B, Behm D, Vandervoot A, Doherty T, Rice C. Motor unit number estimates in masters runners: use it or lose it? *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1644-1650.

Quinn T, Manley M, Aziz J, Padham J, MacKenzie M. Aging and factors related to running economy. *J Strength Cond Res* 2011;25:2971-2977.

Rantanen T. Vanhuuden toimintakyky tutkimuksen kohteena. *Gerontologia* 2005;19:200-202.

Reaburn P, Dascombe B. Endurance performance in master athletes. *Eur Rev Aging Phys Act* 2008;5:31-42.

Reid K, Fielding R. Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. *Exerc Sport Sci Rev* 2012;40:4-12.

Rittweger J, Di Prampero PE, Maffulli N, Narici M. Sprint and endurance power and aging: an analysis of master athletic world records. *Proc R Soc B* 2009;276:683-689.

Runge M, Rittweger J, Russo CR, Schiessi H, Falsenberg D. Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004;24:335-340.

Saez Saez De Villareal E, Requena B, Arampatzi F, Salonikidis K. Effect of plyometric training on chair-raise, jumping and sprinting performance in three age groups of women. *J Sport Med Phys Fit* 2010;50:166-173.

Sallinen J, Ojanen T, Karavirta, Ahtiainen JP, Häkkinen K. Muscle mass and strength, body composition and dietary intake in master strength athletes vs untrained men of different ages. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48:190-196.

Samson M, Meeuwse I, Grove A, Dessens J, Durma S, Veerhaar H. Relationships between physical measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Aging* 2000;29:235-242.

Sayers S. High-speed power training: a novel approach to resistance training in older men and women. A brief review and pilot study. *J Strength Cond Res* 2007;21:518-526.

Sayers S, Gibson K. A comparison of high-speed power training and traditional slow-speed resistance training in older men and women. *J Strength Cond Res* 2010;24:3369-3380.

Sipilä S, Multanen J, Kallinen M, Era P, Suominen H. Effects of strength and endurance training on isometric muscle strength and walking speed in elderly women. *Acta Physiol Scand* 1996;156:457-464.

Sipilä S, Rantanen T, Tiainen K. Lihasvoima. Teoksessa Heikkinen E, Rantanen T (toim.) *Gerontologia*. 2.-3. painos. Helsinki: Duodecim, 2010:105-119.

Sipilä S, Suominen H. Knee extension strength and walking speed in relation to quadriceps muscle composition and training in elderly women. *Clin Physiol* 1994;14:433-442.

Sipilä S, Taaffe DR, Cheng S, Puolakka J, Toivanen J, Suominen H. Effects of hormone replacement therapy and high-impact physical exercise on skeletal muscle in post-menopausal women: a randomized placebo-controlled study. *Clin Sci* 2001;101:147-157.

Sipilä S, Viitasalo J, Era P, Suominen H. Muscle strength in male athletes aged 70 - 81 years and a population sample. *Eur J Appl Physiol* 1991;63:399-403.

Sousa N, Mendes R, Abrantes C, Sampaio J. Differences in maximum upper and lower limb strength in older adults after a 12 week intense resistance training program. *J Hum Kinet* 2011;30:183-188.

Suominen H. Aging and maximal physical performance. *Eur Rev Aging Phys Act* 2011;8:37-42.

Surakka J. Power type strength training in middle-aged men and women. Department of Physiology University of Kuopio. Kuopion yliopisto, 2005.

Syers S. High speed power training: a novel approach to resistance training in older men and women. A brief review and pilot study. *J Strength Con Res* 2007;21:518-526.

Tarpenning K, Hamilton-Wessler M, Wiswell R, Hawkins S. Endurance training delays age of decline in leg strength and muscle morphology. *Med Sci Sport Exerc* 2004;36:74-78.

The DJ, Ploutz-Snyder. Age, body mass, and gender as predictors of master olympic weightlifting performance. *Med Sci Sport Exerc* 2003;35:1216-1224.

Trappe S. Master athletes. *Int J Sport Nutr Exe* 2001;11:196-207.

Viitasalo JT, Era P, Leskinen AL, Heikkinen. Muscular strength profiles and antropometry in random samples of men aged 31-35, 51-55 and 71-75 years. *Erconomics* 1985;28:1563-1574.

Wiswell R, Hawkins S, Jaque V, Hyslop D, Constantino N, Tarpenning K, Marcell T, Schroeder T. Relationship between physiological loss, performance decrement, and age in master athletes. *Journal of Gerontology* 2001;56A:618-626.