

**PLYOMETRISEN HARJOITTELUN VAIKUTUKSET
HYPPYSUORITUKSEEN JA HARJOITUKSEN AIHEUTTAMIIN
FYSILOGISIIN VASTEISIIN NUORILLA JA IKÄÄNTYNEILLÄ
NAISILLA**

Liikuntafysiologian Pro-gradu tutkielma:

Olli Leino

kevät 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Minna Tanskanen

Jarmo Piirainen

TIIVISTELMÄ

Olli Leino (2014). Liikuntafysiologian Pro-gradutyö. Plyometrisen harjoittelun vaikutukset hyppysuoritukseen ja harjoittelun aiheuttamiin fysiologisiin vasteisiin nuorilla ja ikääntyneillä naisilla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 85 s.

Ikääntyneiden ihmisten elämänlaatu on noussut tärkeäksi yhteiskunnalliseksi ja kansanterveydelliseksi tekijäksi kohonneen elinajanodotteen ja eläköitymisiän myötä. Merkittäviä ikääntymisen aiheuttamia biomekaanisia haittoja ovat koordinaation, voiman ja tasapainon heikkeneminen. Näistä syistä johtuvien kaatumistapaturmien hoito on yhteiskunnalle kallista ja ennaltaehkäisy siksi tärkeää.

Alaraajojen plyometriaharjoittelun on todettu parantavan räjähtävää voimantuottoa, hyppykorkeutta, juoksunopeutta, voimantuottonopeutta ja tasapainoa. Plyometriaharjoitteista klassisin on pudotushyppy, jossa lihas-jänne –kompleksin elastisuutta voidaan hyödyntää voimantuotossa ponnistettaessa välittömästi maakontaktin tapahduttua.

Tässä tutkimuksessa verrattiin neljä viikkoa kestävästä plyometrisen harjoitusohjelman aiheuttamia fysiologisia ja biomekaanisia vasteita ikääntyneillä ja nuorilla naisilla. Kontrolliryhmänä toimi ikääntyneiden naisten proprioseptinen tasapainoharjoitteluryhmä. Tutkimus toteutettiin alku-, loppu- ja seurantamittauksin. Näissä määritettiin hyppyharjoitteiden vaikutus kehon kuormitusta kuvaaviin verimuuttujiin, kyykky- ja pudotushyppyjen korkeudet, voimantuotot sekä laskimoverinäyttein. Seitsemän viikon mittaisen palautumisjakson avulla voidaan arvioida harjoitteluvasteiden pysyvyyttä.

Hyppyharjoituksen vaikutukset verimuuttujiin olivat vähäisiä. Merkittävät harjoittelujakson aiheuttamat muutokset havaittiin laktaatti- ja glukoosipitoisuuksissa. Ikääntyneiden ja nuorten väliset erot olivat selvimmin

nähtävissä verihiutaleiden ja valko- ja punasolujen osalta. Seurantamittauksissa nuorilla havaittiin laktaattitasojen lasku ja ikääntyneillä hemoglobiinitpitoisuuden nousu. Sekä kyykky- että pudotushyppyominaisuudet paranivat harjoittelujakson ansiosta. Näistä erityisesti hypyn lentoaika ja voiman tuoton kasvu (nuorilla). Nuorilla vaikutukset olivat ikääntyneiden ryhmää selkeämmin nähtävissä. Seurantamittauksissa harjoittelun vaikutukset olivat havaittavissa erityisesti nuorten pudotushypyissä. Kontrolliryhmällä hyppyominaisuuksissa ei havaittu vaihtelua mittauskertojen välillä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että nuorilla näyttää olevan ikääntyneitä parempi kyky räjähtävän voiman kehittämiseen plyometrisella harjoittelulla. Käytetyn harjoittelujakson pituuden ja sisällön tarkempi suunnittelu sekä hyppytekniikan parempi standardointi nousivat esille mahdollisina kehityskohteina jatkotutkimuksiin.

Avainsanat: plyometria, ikääntyneet naiset, pudotushyppy, kyykkyhyppy

ABSTRACT

Olli Leino (2014). Exercise physiology master's thesis. Effects of plyometric training on jumping performance and physiological responses in young and aged women. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, 85 pages.

Due to increased life expectancy and late retirement age, the quality of life of senior citizens has become very topical. Aging causes significant adverse biomechanical effects on body, such as impaired sense of balance, decreased muscle power, and difficulties in coordinating movements. Therefore, senior citizens are particularly accident prone. Primary prevention of these accidents is important both in terms of well-being of individuals and for the society in terms of economic factors.

Plyometric training has been shown to increase explosive power production, jump height, sprint performance, improve speed of muscle contraction and balance. Drop jump is perhaps the best known plyometric exercise, where elasticity of muscle-joint complex provides additional power when jumping takes place immediately after the contact to the ground. The benefit is seen as e.g. increased jumping height.

The purpose of this study was to evaluate biomechanical and physiological responses of a four week plyometric training period in elderly and young women. Proprioceptive balance training group of elderly women was used as a control group in this study. Testing was executed by three measurements; pre, post and detraining measurements. We analyzed height, force and speed of static squat jump and drop jumps. Additionally, we examined venous blood sample for inflammatory markers. Seven week detraining period was used to evaluate how persistent the effects are.

There were only minor effects in measured blood markers. The clearest changes between the pre and post measurements were seen in blood lactate and glucose levels. Aging related changes were seen e.g. in platelet and red and white blood cell

concentrations. Decreasing trend was seen in lactate concentrations in the young women, and hemoglobin levels in the elderly women. Results in both squat jump and drop jump were significantly better in post measurements. The responses in young women were stronger than in elderly women. There were no significant changes in jumping performance of the control group over the study period. The effects of seven weeks detraining period was seen particularly in drop jump results of young women.

In conclusion, young women seem to benefit more from the plyometric training. Further studies on the duration, the content of plyometric training period, and the more careful standardization of jumping techniques are advisable.

Key words: plyometrics, elderly women, drop jump, squat jump

KÄYTETYT LYHENTEET

SSC	Stretch shortening cycle, venymis-lyhenemissykli
ATP	Adenosiinitrifosfaatti
M1	Short latency reflex = lyhyen latenssin refleksi
M2	Medium latency reflex = medium latenssin refleksi
M3	Long latency reflex = pitkän latenssin refleksi
IL-6	Interleukiini 6
CK	Kreatiinikinaasi
PCr	Fosfokreatiini
ADP	Adenosiinidifosfaatti

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	8
2 PLYOMETRIAHARJOITTELU	9
2.1 Plyometriaharjoittelun vaikutukset hyppykorkeuteen.....	10
2.2 Pudotushyppy	11
2.3 Plyometriaharjoittelun biomekaanisia vaikutuksia	12
2.4 Mekanismit plyometriaharjoittelun takana	13
2.5 Ikääntyneet naiset.....	16
2.6 Plyometriaharjoittelu ja vammojen ehkäiseminen	18
2.7 Fysiologiset vasteet	19
2.7.1 Kortisoli	20
2.7.2 Interleukiini 6	21
2.7.3 Kreatiinikinaasi	22
2.7.4 Pieni verenkuvat.....	23
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	24
4 MENETELMÄT	26
4.1 Tutkittavat	26
4.2 Harjoittelujakson kuvaus.....	28
4.3 Mittauspäivät.....	29
4.4 Testissä käytetyt laitteet	31
4.4.1 Fysiologiset mittaukset	33
4.4.2 Kyykkyhyppydatan analysointi.....	34
4.4.3 Pudotushyppydatan analysointi.....	35
4.4 Tilastoanalyysi	36

5 TULOKSET	37
5.1 Verimuuttujat	37
5.2 Hyppymuuttujat.....	44
5.2.1 Kyykkyhyppy	44
5.2.2 Pudotushyppy	47
5.2.3 Hyppyväsytyksen kuormituksen arviointi.....	52
6 POHDINTA.....	54
6.1 Harjoitusjakso	55
6.2 Hyppymittaukset	57
6.2.1 Kyykkyhyppy.....	58
6.2.2 Pudotushyppy	59
6.3 Fysiologiset mittaukset	62
6.4 Tottumisen ja oppimisen vaikutus.....	63
6.5 Plyometriaharjoittelun terveysvaikutukset.....	64
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	66
8 LÄHTEET.....	68

1 JOHDANTO

Ikääntyneiden ihmisten elämänlaatu on noussut yhä tärkeämmäksi yhteiskunnalliseksi ja kansanterveydelliseksi tekijäksi väestön nousseen elinajanodotteen ja kohonneen eläköitymisiän myötä. Erityisen merkittäviä ikääntymisen aiheuttamia biomekaanisia haittoja ovat koordinaation, voiman ja tasapainon heikkeneminen. Etenkin nopeiden lihassolujen määrän väheneminen iäkkäillä lisää riskiä näistä johtuviin tapaturmiin, kuten kaatumisiin, jotka usein johtavat pitkäaikaisiin kalliisiin sairaalahoitoihin ja mahdollisesti pysyviin liikuntarajoitteisiin, jopa kuolemaan (WHO 1994; Myers ym. 1996; Schurch ym. 1996). Ylipaino on yksi merkittävä riskiä lisäävä tekijä (Cummings ym. 1993), mutta myös luun tiheyden pieneneminen lisää kaatumisesta johtuvaa vamma-riskiä (Greenspan ym. 1994). Näiden tapaturmien ennaltaehkäisy on sekä yksilön hyvinvointia edistävää ja yhteiskunnalle taloudellisesti järkevää. Katsausartikkelissa Adams ym. (1999) tunnistikin lihasten voimantuoton heikkenemisen 50 ikävuoden jälkeen olevan tärkein syy vanhusten siirtymiseen hoitolaitoksiin. Luun tiheyden 40 ikävuoden jälkeen on arvioitu pienenevän vuodessa 0.5% (Kohrt ym. 2004). Kuormitus saa aikaan fysiologisia muutoksia, verestä voidaankin tunnistaa erityisiä fyysisestä kuormituksesta indikoivia muuttujia.

Tämä työ kuuluu neljä pro gradu tutkielmaa sisältävään tutkimuskokonaisuuteen, jossa tämän työn tavoitteena on verrata nuorten ja ikääntyneiden naisten plyometriaharjoittelun vaikutusta räjähtäviin voimantuotto-ominaisuuksiin. Tämä tutkielma keskittyy erityisesti vertailemaan plyometriaharjoittelujakson tehokkuutta tutkimuksessa suoritettujen alku-, ja loppumittausten avulla, joilla arvioidaan harjoitusjakson tehokkuutta fysiologisiin (verinäytteistä analysoituja muuttujia) ja biomekaanisiin muuttujiin (kyykkyhypystä ja pudotushypystä analysoidut muuttujat). Lisäksi analysoimme testitilanteessa suoritettua hyppyväsymyksen aiheuttamaa vaikutusta mitattuihin muuttujiin.

2 PLYOMETRIAHARJOITTELU

Plyometriaharjoitteet liitetään yleisesti alaraajojen räjähtävän voiman harjoittamiseen. Joskus nimitystä plyometria käytetään harhaanjohtavasti kaikista hyppyharjoituksista, vaikka alkuperäinen ajatus on nimenomaan maksimivoiman tuottaminen lyhyellä kontaktiajalla (ns. shock method), jossa lihaksen eksentristä vaihetta seuraa välittömästi konsentrisen vaihe. Lisäksi muidenkin kuin alaraajojen lihasryhmien stretch shortening cycle (SSC) tyyllisiä kuormitusharjoitteita on alettu kutsua plyometrisiksi harjoitteiksi, esim. räjähtävästi suoritettu punnerrusliike yläraajojen ojentajalihaksille tai erilaiset kuntopalloharjoitteet. (mm. Radcliffe & Farentinos 1999, sivut 97-132) Alaraajojen harjoittamiseen on olemassa lukuisia eri plyometriaharjoitteita. Perusajatuksena voidaan pitää lyhyellä ja räjähtävällä päkiäkontaktilla suoritettua hyppyä. Tyypillisiä harjoitteita ovat erilaiset pudotushyppyt, laatikkohyppyt, yhden jalan ponnistukset, marssiaskellushyppyt, porrashyppyt jne.

Plyometrisissä liikkeissä tuotetaan suuri reaktiovoima lyhyessä ajassa. Klassisin esimerkkiharjoite on pudotushyppy jota on käytetty räjähtävää ponnistusvoimaa vaativissa urheilulajeissa jo vuosikymmenien ajan. Pudotushypyssä lihaksen nopeaa venytystä välittömästi seuraa supistuminen. SSC:n avulla lihas-jänne –kompleksi pystyy lisäämään niin liikkeen tehoa kuin taloudellisuutta (Fouré ym. 2011). Jalkojen kontaktiajan maahan tulisi olla riittävän lyhyt, jottei hypyn energia siirtyisi lämmöksi kudoksiin, vaan siirtyisi ponnistuksen lisävoimaksi Cavagna (1977). Riittävän lyhyenä kontaktiaikana Keskinen ym. (2007) ehdottavat alle 200 ms.

Koska plyometriaharjoittelu tähtää nimenomaan hermostollisen kehityksen parantamiseen, tulisi palautusaikojen sarjojen välillä olla riittäviä. Täydellinen palautumisaika hermostollisessa harjoittelussa, jossa kreatiinifosfaatti ja ATP varastot täytyvät täysin kestää 2-3 minuuttia (McArdle 2007, 166-168) Lyhyemmillä palautusajoilla harjoittelun

vaikutukset suuntautuvat myös muiden kuin räjähtävien voimaominaisuuksien kehittämiseen. Tosin plyometrinen harjoittelu ei ole samalla tavalla suuresti energiaa kuluttavaa kuin hermostollinen maksimivoimaharjoittelu, joten palautumisaikojen voidaan olettaa olevan hieman lyhyempiä. Radcliffe & Farentinos (1999, sivu 34) suosittavat matalaintensiteettisten plyometrinen harjoitesarjojen välissä 30-60 sekunnin palautumisaikaa ja korkeaintensiteettisissä 2-3 minuuttia.

2.1 Plyometria harjoittelun vaikutukset hyppykorkeuteen

Urheilijat käyttävät plyometrisia harjoitteita parantamaan hyppyominaisuuksia, sillä lihasjänne –kompleksia pystytään harjoittelun avulla muuttamaan aloitustasoa suurempiakin voimia maakontaktin potentiaalienergiasta hypyn voimantuottoon, erityisesti parantamaan hypyn voimantuottonopeutta ja hyppykorkeutta. On ehdotettu, että pudotushypyt parantavat lähinnä voimantuottoa, ja kevennyshypyt koordinaatiota (Bobbert 1990).

Useat tutkimukset viimeisen kolmenkymmenen vuoden ajalta ovat vahvistaneet plyometria harjoittelun hyppykorkeutta parantavan vaikutuksen (Yessis 2009; Bobbert ym. 1987a; Markovic ja Mikulic 2010; Wilson ym. 1996; Fouré ym. 2009; Kyrolainen ym. 2005; Radcliffe ja Farentinos 1999, sivu 1) ja vain harvoissa tutkimuksissa positiivista muutosta hyppykorkeuteen ei ole kyetty havaitsemaan (mm. Vescovi ym. 2008; Young ym. 1999). Erot tutkimuksissa ovat yleensä selitettävissä harjoitusohjelmien suunnittelulla ja toteutuksella. Markovic (2007) suoritti useiden tutkimuksien aineistoihin perustuvan meta-analyysin plyometrian vaikutuksista hyppykorkeuteen ja havaitsi yhdistetyssä aineistossa tilastollisesti merkittävän noin viiden prosentin parannuksen sekä staattisen kyykkyhypyn että pudotushypyn nousukorkeuksiin. Kevennyksellä suoritettuna kyykkyhypyn parannus oli staattista hyppyä yli 50% suurempi. Meta-analyysissä oli mukava laaja ikähaarukka ja hyvin erilaisen harjoitustaustan omaavia henkilöitä. Tätä meta-analyysia voidaankin pitää luotettavana yleisenä näyttönä plyometria harjoittelun vaikutuksista.

Mm. De Villarreal (2011) kollegoineen ja (Naoki & Gregory 2004) tutkivat erilaisia voimantuottotapoja ja totesivat perinteisen alaraajojen voimaharjoittelun (painonnoston kaltaiset maksimivoimasuoritteet) ja plyometriaharjoittelun yhdistelmän tuottavan optimaalisimman kehityksen hyppykorkeuteen. Perinteinen voimaharjoittelu parantaa lihaksen voimaa (strength) ja plyometrinen harjoittelu taas parantaa lihaksen tehokkuutta (power) (Radcliffe & Farentinos 1999, sivu 14). Hyppylajien edustajat käyttävätkin yleensä näitä molempia metodeja harjoittelussaan.

2.2 Pudotushyppy

Pudotushyppy on klassisin plyometriaharjoite ja se on yksittäisistä hyppytesteistä teknisesti vaativin, tosin sitä pidetään myös tehokkaimpana plyometrisenä harjoittelumetodina. Pudotushypyssä henkilö hyppää alas korotetulta tasolta ja maakontakti välittää iskun akillesjänteeseen. Tyypillisesti esiaktiivisuus lisääntyy pudotuskorkeus kasvaessa. Pudotushyppy vastaa tavallaan tehostettua kevennyshyppyä, jossa pelkän nivelkulman äkillisen muutoksen lisäksi myös päkiän isku maahan välittää ei-tahdonalaisen vastareaktiovoiman lihakseen joka voidaan hyödyntää kasvavana hyppykorkeutena (Fouré ym. 2011).

Jotta mittaus tutkisi juuri räjähtävää voimaa, kontaktiajan maahan ei tulisi olla kestoaltaan yli 200 ms (Behm & Kibele 2007; Keskinen ym. 2007, sivu 154), jota voidaan pitää tiukkana rajana. Mm. Kauranen & Nurkka (2010) ehdottavat hieman suurempaa arvoa, 300 ms. Mitä nopeampi venytys-supistus tapahtumana on, sen suurempi teho saadaan välitettyä hyppyyn ja pienempi osa hypyn energiasta ehtii siirtyä lämmöksi kudoksiin. Pudotushypyn optimaalista korkeutta ovat arvioineet mm. Bobbert ym. (1987b), jossa he havaitsivat kuudenkymmenen sentin pudotuskorkeudella saavutettavan pienempiä huippuarvoja voimalle ja että 60 cm pudotuskorkeuden voimat vastaavat 20 cm korkeudelta saatuja voimia. Mm. tästä he päättelivät, että pudotuksen suuruudeksi riittää n. 40 cm (Bobbert ym. 1987b). De Villarreal (2010) lisäksi ehdotti, että parhaan vasteen hyppykorkeuden parantamiseen saisiikin matalaintensiteettisillä plyometrisillä harjoitteilla. Poikkeuksen

pudotushypyn optimikorkeudessa muodostavat hyppylajien edustajat, kuten mäkihyppääjät, korkeushyppääjät ja kolmiloikkaajat, jotka käyttävät pudotushypyissä jopa yli kaksinkertaisia korkeuksia (Blackwood 2005).

Pudotuskorkeuden kasvaessa saavutetaan vaihe, jolloin venytysvoima ylittää lihaksiston kudosten sietokyvyn ja esivenytyksestä ei enää kyetä siirtämään energiaa lihaksen supistukseen. Tämä on nähtävissä hyppykorkeuden alenemisena ja laskevana voimantuottona. Fysiologisesti selityksenä on keskushermoston kehittymättömyys ja golgin jänne-elimen ärsytyskynnyksen mataluus. (Bosco & Komi 1980)

Pudotushyppyjen lämmittelyliikkeinä ennen suoritusta on myös todettu toimivan itse kilpailusuoritusta parantavina (Hilfiker ym. 2007). Lämmittelyssä määrä ja intensiteetti eivät kuitenkaan saa nousta suuriksi ja palautuminen tulee olla riittävää jottei hermo- ja lihaskudokset lihas-hermojärjestelmä ole väsymystilassa itse kilpailusuorituksen aikana.

2.3 Plyometriaharjoittelun biomekaanisia vaikutuksia

Myös muut kuin pelkästään hyppykorkeuden parantamista tavoittelevat lajit saavat hyötyä plyometriaharjoittelusta (Markovic 2007). Plyometriaharjoittelun on joissain tutkimuksissa myös havaittu parantavan juoksunopeutta (mm. Sáez ym. 2012). Tämä on helpposti ymmärrettävissä, sillä plyometriaharjoittelun on havaittu lisäävän alaraajojen räjähtäviä voimaominaisuuksia (Winters & Snow 2000). Kahdenkymmenenkuuden tutkimuksen meta-analyysissä Sáez ym. (2012) määrittivät vähimmäismääriä plyometriaharjoitteille juoksunopeuden parantamiseksi ja päätyivät suosittamaan vähintään 10 viikkoa kestävää, vähintään 15 harjoitussessiota sisältävää harjoittelujaksoa, jossa yhden harjoituksen tulisi sisältää vähintään 80 hyppyä. Rumpf ym. (2012) havaitsivat kolmesta harjoittelumenetelmästä plyometriaharjoituksen lisäävän tehokkaimmin nuorten sprinttijuoksunopeutta. Myös Johnson ym. (2011) päätyivät katsausartikkelissaan vastaaviin päätelmiin ja lisäksi he havaitsivat plyometriaharjoittelun merkittävästi parantavan tasapainoa ja koordinaatiokykyä. Lisäksi he suosittavat kuormituksen nostamista

harjoitusjakson loppua kohden. Vastaavasti Arabatzi ryhmineen (2010) suosittaakin plyometriaharjoittelun jaksottamista erityisesti harjoitus- ja kilpailukauden vaihteeseen. Nämä suositukset vastaavat yleistä harjoittelun jaksottamisen ajatusta (Bompa 1999).

Pitkäaikaisen plyometriaharjoittelun (3-5 harjoituskertaa viikossa 5-12 kuukauden ajan) on todettu kasvattavan myös luuntiheyttä sekä nuorilla että vaihdevuodet ylittäneillä naisilla (Markovic ja Mikulic 2010; Winters & Snow 2000). Tällä on terveyttä edistävää merkitystä erityisesti vanhemmille naisille, joilla vähentyneestä estrogeenin tuotannosta aiheutuva osteoporoosiriski suurenee ja todennäköisyys luun murtumiselle kaatuessa kasvaa (Haug ym. 1995). Lyhyemmät harjoitusjaksot (2-3 harjoituskertaa viikossa 6-15 viikon ajan) taas muuttavat plantar-flexorin lihas-jänne –kompleksin jäykkyysominaisuuksia stiffnessiä ja energiantuottoa sekä urheilijoilla että liikkumattomilla (Markovic ja Mikulic 2010).

Plyometriaharjoittelulla näyttää siis olevan selviä biomekaanisia hyötyjä jotka ollaan tunnettu jo usean vuosikymmenen ajan.

2.4 Mekanismit plyometriaharjoittelun takana

Yksinkertaistettuna voidaan sanoa plyometriaharjoittelun hyödyn selittyvän kahden eri mallimekanismin avulla, mekaanisen ja neurofysiologisen. Mekaanisessa mallissa hyöty aiheutuu siitä, että lihas-jänne -kompleksia voidaan pitää mekaanisena jousena, joka haluaa palata alkuperäiseen pituuteensa. Tällöin venytyksessä varastoitunut energia vapautuu konsentriseen vaiheeseen (ns. Hillin malli). Tarkemmin eriteltyinä mahdollisia biomekaanisia selityksiä ovat: 1) agonisti-lihaksen neuraalisen toiminnan kehittyminen, 2) lihaksen aktivointistrategian muutos, 3) mekaaniset muutokset plantar-flexorin lihas-jänne –kompleksissa, 4) muutokset lihaksen koossa ja rakenteessa, 5) muutoksia yksittäisten lihassäikeiden mekaniikassa. (Clark & Scott 2010, sivu 211; Chmielewski ym. 2006)

Vaihtoehtoinen selitysmalli perustuu neurofysiologiseen lähestymistapaan. Kun lihas-jänne -kompleksia venytetään nopeasti, varastoituu elastista energiaa. Kun aktiivista lihasta venytetään, elastinen energia siirtyy hyppyyn lisävoimaksi. Lihasspindellien laukaisema venytysrefleksi aiheuttaa lisääktivaatiota lihassoluissa ja siten venytystä seuraavassa supistuksessa saadaan tuotettua enemmän voimaa ja nopeammin (Potach 2008). Ensimmäisessä vaiheessa (M1) lihassukkula aiheuttaa eksitaation samaiseen lihakseen ja läheisiin synergistilihaksiin ja interneuronivälitteisen inhibition vastavaikuttajamotoneuroneihin (Dietz ym. 1979). Vaiheessa M2 aktivoituu lihassukkulan Ila afferentti hermotus ja kolmannessa vaiheessa M3 toimii lihasjäykkyyden säätely keskushermostosta (Chequer ym. 1994; Lee & Tatton 1978).

Eksentrisen työn vaatima energiatarve on konsentrista työtä pienempi, sillä keho tarvitsee eksentrisessä liikkeessä vähemmän motoristen yksiköiden aktivaatiota ja näin ollen kuluttaa vähemmän happea (Radcliffe & Farentinos 1999, sivut 2-3). Tästä voi johtua eksentrisen työn parempi mekaaninen hyötysuhde. Nopeassa eksentrisessä työssä rekrytoituvat nopeat motoriset yksiköt, jotka ovat suurempia ja joilla on korkeampi syttymistajuus ja näin ollen tuottavat enemmän voimaa motorista yksikköä kohden josta johtuu kehon kyky tuottaa enemmän jännitystä jänteeseen eksentrisessä työssä. (Radcliffe & Farentinos 1999, sivut 2-3) Näiden kemiallisten, mekaanisten ja neurologisten tekijöiden ansiosta eksentrisen työ on olennainen osa plyometrista mekanismia.

Lihäs-jänne kompleksin yhteydessä usein käytetty termi stiffness kuvaa kudosten kykyä vastustaa tietyn tason venytystä. Termi käännetään usein jäykkyydeksi, mutta tämä nimitys helposti harhaanjohtaa tässä yhteydessä lihas-jänne -kompleksin liikkuvuuteen ja notkeuteen. Monet tutkijaryhmät ovat juuri sitä mieltä, että tämä stiffness selittää SSC tyyppisen liikkeen lisääntyneen voimantuoton. Malisoux ryhmineen (2006a) havaitsi plyometria harjoittelun lisäävän akilles-jänteen stiffnessiä, supistusnopeutta ja calcium-herkkyyttä lihasfiibereissä. Myös Wu ym. (2010) havaitsi jänteen stiffnessin, elastisen energianoton ja hyppykorkeuden kasvaneen plyometria harjoittelun tuloksena (jänteen stiffnessin vaikutus hyppykorkeuteen 29%) ja että vaikutus johtuu pikemmin *soleus*- kuin

gastrocnemius -lihaksen aktiivisuuden kasvusta. Tämä on peräisin lisääntyneestä neuraalisesta toiminnasta spinaali- ja/tai supraspinaali keskuksissa (Maffiuletti 2002; Gondin ym. 2006). Fouré ym. (2010) tähdentää, että Hillin mallin mukaisesti elastisten komponenttien stiffness jakautuu passiiviseen osaan (jänne ja aponeuroosi) ja aktiiviseen osaan (supistuvat osat), jotka reagoivat hyvin eri tavoin harjoitukseen. Asiaan ei kuitenkaan ole vielä saatu vahvistusta ja stiffnessin osuus lisääntyneeseen voimantuottoon ja hyppykorkeuteen on vieläkin epäselvä (Fouré ym. 2010).

Tutkijaryhmät ovat myös esittäneet lukuisia muita tarkempia selityksiä mekanismille. McBride kollegoineen (2008) päättelivät plyometriaharjoittelun positiivisen vasteen johtuvan lihaksen esiaktiivisuudesta, kun taas Kubo ym. (2007) päättelivät plyometriaharjoittelun lisääntyneen voimantuoton johtuvan pääasiassa lihas-jänne – kompleksin mekaanisista muutoksista, ei niinkään lihaksen aktivointistrategiasta. Maffiuletti ym. (2002) taas havaitsi elektromyostimulaation lisäävän plantaarifleksorin aktiivisuutta. Gondin ryhmineen (2006) lisäksi suosittelee V-aallon ja transkraniaalisen elektrisen stimulaation käyttöä plyometrian neuraalisen adaptaation vaikutusten tutkimiseen

Harjoittelulla voidaan vaikuttaa lihassolutyypin määriin, joka taas voi selittää harjoittelun avulla saadun hyödyn mekanismia. Malisouxin (2006b) tutkimuksessa kahdeksan viikon plyometriaharjoittelun havaittiin lisäävän tyypin IIa lihassoluja 33 prosentista 42 prosenttiin ja Macaluso ym. (2012) taas havaitsivat, että nuorilla harjoittelemattomilla plyometriaharjoittelun vaikutukset kohdistuvat tyypin II lihassoluihin. Potteiger ym. (1999) taas esittivät, että plyometriaharjoittelu kasvattaa sekä tyypin I ja II lihassolujen poikkipinta-alaa, jonka Malisoux (2006a) vahvisti. Erot näissä tutkimustuloksissa saattavat selittyä tutkimuksien harjoitusjakson pituuksien vaihteluilla.

Vaikka jänteen poikkipinta-alan kasvamista puoltavia löytöjä on raportoitu (mm. Malisoux 2006a, Malisoux 2006b), plyometriaharjoittelun aikaan saamaa poikkipinta-alan kasvua ei ole yleisesti vahvistettu. Sen sijaan voimaharjoittelun aikaan saama poikkipinta-alan kasvu on yleisesti tunnustettu, sekä kestävyysharjoittelun aikaan saama lyhenemisnopeuden kasvu

(Malisoux 2007). Mielenkiintoista on, että edellä mainittu tutkimus havaitsi plyometriaharjoittelun parantavan sekä fiiberin voimantuottoa, että lyhenemisnopeutta. Sekä voima-, että plyometriaharjoittelun havaittiin myös lisäävän maksimivoimaa, jonka taas tutkimuksessa havaittiin heikkenevän kestävyysarjoittelun myötä.

2.5 Ikääntyminen

Ikääntyminen heikentää motoristen toimintojen suorittamista, kuten asennon ylläpitämistä ja tasapainoa. Tähän vaikuttavat sekä periferiset että neuraaliset tekijät (Bohannon ym. 1984). Huolimatta jo vuonna 1993 American College of Sport Medicine lehden julkaisemasta ikääntyneille suunnatusta voima- ja nopeusharjoittelusta (Flipse ym. 1993), yleinen trendi vieläkin tuntuu olevan ettei kovemman intensiteetin harjoittelua suositella ikääntyneille. Plyometriaharjoittelulla voitaisiin mahdollisesti juuri vähentää ikääntymisestä johtuvia terveyshaittoja, kuten kaatumisia (Whipple ym. 1987). Tähän yleisimpänä syynä lienee mahdollisten vammojen välttäminen. Esipuberteetti-ikäisille plyometriaharjoitteita ei suositella kasvuiän nivel- ja lihasongelmien välttämiseksi (Radcliffe & Farentinos 1999, sivu 12).

Ikääntyneiden ihmisten riittävän alaraajojen lihasvoiman ja koordinaation on myös osoitettu parantavan heidän elämänlaatua ja kykyä selviytyä päivittäisissä askareissa ja työelämässä (Basse ym. 1992). Aniansson ym. (1984) havaitsivat, että ikääntymisen aiheuttama tyypin II lihassolujen määrän väheneminen on yhteydessä lonkkamurtumien esiintyvyyteen ja vastaavasti Whipple ym. (1987) havaitsivat polven ja nilkan isokineettisen voiman olevan vahvin kaatumista ennustava tekijä hoitokodissa elävillä vanhuksilla.

Skelton ym. (1994) havaitsivat nimenomaan räjähtävän voimantuoton aleneman maksimivoimaa nopeammassa tahdissa iän karttuessa. Lisäksi ryhmä teki mielenkiintoisen huomion lihastasapainon roolista kaatumisissa. He havaitsivat lihasasymmetrian olevan parempi mittari kuin perinteiset absoluuttiset voimamittaukset. Niillä ikääntyneillä naisilla jotka olivat kaatuneet, oli 24% pienempi räjähtävä voimantuotto heikommassa

alाराajassansa kuin niillä jotka eivät olleet kaatuneet. Tätä voidaan pitää yhtenä tasapainon ja voiman yhdistävänä linkkinä kaatumisten ennaltaehkäisijänä. Lisäksi tämän avulla voitaisiin kartoittaa ne ihmiset joille harjoittelusta olisi eniten hyötyä.

Ikääntyessä tapahtuu hermo-lihas tasolla monia muutoksia. Lihaksen poikkipinta-ala pienenee (Frontera ym. 2000), erityisesti nopeissa tyypin II motorisissa yksiköissä. Lisäksi motoristen neuronien johtavuusnopeudet pienenevät (Metter ym. 1998), neuromuskulaarinen tiedonsiirto heikkenee (Cardasis & LaFontaine 1987) ja ekstitaatio-supistus koplaukset heikkenee (Delbono ym. 1997). Lisäksi venytysrefleksin heikkenemisen on ehdotettu olevan osallisena ikääntyneiden motoristen kykyjen heikkenemiseen (Obata ym. 2010; Kawashima ym. 2004). Sáez ym. (2010) havaitsivat matalaintensiteettisten plyometriaharjoitteiden olevan optimaalisia ikääntyneille naisille. Tärkeä huomio on, että plyometriaharjoittelun vasteet ikääntyneellä väestöllä näyttivät eroavan nuorempien vastaavista (Malisoux 2007).

Eryityisesti *soleus* -lihaksen rooli on suuri kävelyn ja asennon säätelyssä (Koceja ym. 1995). Tiedetään, että *soleus*- ja *tibialis anterior* -lihaksilla on eri roolit alaraajojen liikuttamisessa ja niiden kytkennät motoriseen aivokuoreen ovat hyvin erilaiset (Bawa ym. 2002). Siksi ei ole ihme, että ikääntymisen vaikutukset näihin lihaksiin ovat erilaiset. *Tibialis anterior* -lihaksella on tärkeä rooli nilkan jänteen stabiloinnissa (Nakazawa ym. 2003). Obata ym. (2010) löysikin ikääntyneillä pitkän latenssijan refleksi (M3) vasteiden olevan selkeästi nuoria suuremman juuri *tibialis anterior* -lihaksessa. *Soleus* -lihaksessa tilanne oli päinvastainen, jossa lyhyen latenssijan refleksi (M1) ja keskipitkän latenssijan refleksi (M2) vasteet olivat ikääntyneillä nuoria suuremmat. Tutkijaryhmä esittääkin neljä selvää eroa nuorten ja ikääntyneiden henkilöiden pohkeen alueen lihasten välillä. 1) erot refleksin aikaansaaman vasteen todennäköisyydessä, 2) refleksivasteen kestossa *tibialis anterior* -lihaksessa levossa ollessa, 3) ero venytysrefleksin M2 komponentissa pohkeen lihaksissa, ja 4) erot *soleus* -lihaksen M1 ja M2 supistuksessa. He eivät havainneet eroa H-refleksin avulla määritetyssä motoneuronialtaan ekstitaatioissa nuorten ja ikääntyneiden välillä.

län mukana hermoston, lihasten ja nivelten kyky tuottaa energiaa vähenee, jonka takia ikääntyneiden urheilijoiden plyometriaharjoittelulla ei saavuteta nuorilla saatuja hyötyjä. On kuitenkin todisteita siitä, että räjähtävyyden väheneminen on vain osaksi ikääntymisen aiheuttamaa. Ikääntymiseen liittyvät elämäntapamuutokset, lisääntyneen kestovoiman harjoittaminen ja vähentynyt räjähtävien ominaisuuksien harjoittaminen vaikuttavat tähän myös (Radcliffe & Farentinos 1999, sivu 12). On myös esitetty, että miehet kykenevät saamaan naisia enemmän irti itsestään voimaharjoittelussa (Linnamo ym. 2006). Tämä vaikuttaa räjähtävän voiman tuoton kykyyn, etenkin ikääntyneillä naisilla.

2.6 Plyometriaharjoittelu ja vammojen ehkäiseminen

Plyometriaharjoittelun on myös ehdotettu toimivan alaraajojen vammariskiä pienentävänä harjoittelumuotona (O'Driscoll ym. 2011), erityisesti naisurheilijoilla (Markovic ja Mikulic 2010). Etty & Letha (2003) tunnistivat erityisesti neuromuskulaarisen harjoittelun olevan avain vammojen ennaltaehkäisemiseksi. Tosin joissain tutkimuksissa naisten on havaittu tyypillisesti saavuttavan plyometriaharjoittelulla miehiä vähäisempiä tulosparannuksia (De Villarreal 2009), joka voi myös liittyä em. naisten miehiä heikompaan voimaharjoitteluvasteeseen (Linnamo ym. 2006).

Vaihtoehtoisena selityksenä harjoittelun hyödyille voi olla lihaksen stiffnessin kasvamisen ansiosta saavutettu suojaava vaikutus (Wilson ja Flanagan 2008). Eräs mahdollinen suojaava tekijä on jänteen poikkipinta-alan kasvaminen, kuten Houghton (2012) kollegoineen havaitsi. Tosin kuten edellä on jo mainittu, monet tutkijaryhmät eivät ole vahvistaneet harjoittelun kasvattavan jänteen poikkipinta-alaa (mm. Kubo ym. 2007; Fouré ym. 2010).

Räjähtäviä ominaisuuksia harjoitellessa on luonnollisesti myös riskinsä vammautua. Vammariski kasvaa voimakkaasti pudotuskorkeuden lisääntyessä ja harjoittelun pitäisi olla progressiivista. Mm. Bobbert (1990) esittävät kevyempien hyppyharjoitusten olevan harjoittelun alussa samoin tavoin tehokkaita ja heidän progressiivinen plyometrinen

harjoitussuosituksensa sisälsikin ensin tavallisia hyppyharjoituksia jonka jälkeen vasta voimaharjoittelua painojen avulla ja viimeisenä pudotushyppyjä. Saman suuntaisia ohjeita harjoitteluun tarjoavat Radcliffe & Farentionos (1999). Luonnollisesti kunnollinen alkulämmittely on olennaista vammojen ehkäisyssä.

Riittävää valmiutta aloittaa plyometriaharjoittelu voidaan arvioida henkilön alaraajojen voimatason perusteella. Rubley (2011) esitti, että korkean intensiteetin plyometriaharjoittelua ei tulisi suositella henkilöille jotka eivät kykene suorittamaan takakyykkyä pudotushypyn polvikulman syvyydelle vastuksella joka on 150 – 200 % oman kehon massasta. Tämä raja voi olla monille ikääntyneille jo liian suuri. Ikääntyneillä naisilla suoritettu matalaintensiteettinen plyometriaharjoittelu kuitenkin näytti, että nimenomaan matalan intensiteetin plyometriaharjoittelu sekä parantaa hyppykorkeutta, että on samaan aikaan turvallista tehdä (de Villarreal ym. 2010).

Plyometriaharjoittelulla voidaan myös ehkäistä erityisesti naisilla rakenteellisista syistä yleisemmin esiintyviä polvivammoja (Herrington 2010). Polvivammat ovat yleisempiä naisilla kuin miehillä, joka johtuu sukupuolieroista mm. alaraajojen voimantuotosta, *quadricepsin* erilaisesta kulmasta ja neuromuskulaarisesta kontrollista. (Barber-Westin ym. 2010). Myös naisten leveämpi lantio suurentaa reisiluu-*patella* välistä kulmaa (Floyd 2009). Pitää muistaa vaikka hyppyharjoituksia voidaan suositella ikääntymisen tuomia haittoja ehkäisemään, ne voivat joskus myös itse aiheuttaa rasitusvammoja kuten moni muukin harjoittelu.

2.7 Fysiologiset vasteet

Alaraajojen plyometrinen harjoittelu kuormittaa suuresti kehoa ja tämä rasitus voidaan havaita biomekaanisin sekä fysiologiin mittauksin vielä kolmen päivän päästä rasituksesta (Beneka ym. 2013; Cadore ym. 2013).

2.7.1 Kortisoli

Kortisoli on lisämunuaisen erittämä kortikosteroideihin kuuluva steroidihormoni jonka päätehtävänä on nostaa veren glukoositasoa glukoneogeneesin välityksellä. Lisäksi kortisolia erittyy vasteena stressireaktioihin, kuten tulehdus, vamma sekä fyysinen tai psyykinen rasitus. Eritystä säätelee hypotalamus. Kortisoli osallistuu myös rasvojen, proteiinien ja hiilihydraattien metaboliaan (McArdle 2007, sivu 584). Seerumin kortisolista suurin osa on sitoutuneena proteiineihin, kuten corticosteroid binding protein ja albumiini. Harjoitteluun kortisolilla on tärkeä rooli, sillä se stimuloi proteiinien hajoitusta aiheuttaen lihaskudoksen kataboliaa, sekä estää glukoosin käyttöä ja hapetusta (McArdle ym. 2007, 584). Sekä liian alhaiset tai korkeat kortisolipitoisuudet ovat haitallisia. Erityisesti pitkään jatkunut korkealle kortisolipitoisuudelle altistuminen aiheuttaa useita fysiologisia muutoksia kehossa, kuten insuliinitason heilahteluja (Brown & Brown 2003), kehon kuivumista (Sjale ym. 1981) ja immuunipuolustuksen heikkenemistä (Besedovsky ym. 1986).

Seerumin kortisolipitoisuutta laskevat mm. aerobisen rasituksen jälkeinen magnesium-lisä (Golf ym. 1998) ja omega-3 rasvahappojen saanti (Bhathena ym. 1991). Myös musiikin (Uedo ym. 2004), hieronnan (Field ym. 2005), naurun ja tanssin (Berk 2008; Quiroga 2009) on havaittu laskevan kortisolitasoja. Toisaalta kortisolitasoja nostavia tekijöitä ovat mm. kofeiini (Lovallo 2006), univaje (Leproult ym. 1997) ja intensiivinen fyysinen kuormitus (Robson 1999). Vammat tai psyykinen stressi voivat pitkäaikaisestikin nostaa kortisolin pitoisuutta veressä. Harjoitusjaksojen aiheuttaman plasman kortisolitasojen nousun taas on havaittu olevan pienempi harjoitelleilla kuin harjoittelemattomilla (McArdle ym. 2007, sivu 584). Pitoisuudet ovat korkeimmillaan heti kuormituksen jälkeen ja saattavat laskea jopa alle lepotason tuntien jälkeen (Scott ym. 2012).

Yksittäisen harjoituksen jälkeen on yleisesti havaittu kortisolitason nousu (Bobbert ym. 2012; Garatachea ym. 2012; Horne ym. 1997; Skoluda ym. 2012). Pidemmän harjoitusjakson on hämmäntävästi todettu joko laskevan tai nostavan kortisolipitoisuutta. Mm. Ozen (2012) havaitsi kuuden viikon plyometria harjoittelun laskevan

kortisolipitoisuutta n. 13 prosenttiyksikköä. Selkeää selitystä harjoitusjakson jälkeisiin kortisolitason epäjohdonmukaisiin muutoksiin ei ole vielä löydetty. Ero voi selittyä esim. tutkimuksissa käytetyillä erilaisilla harjoitteilla. Kortisoli-pitoisuuden alenemisen syynä voi olla koehenkilöiden adrenaliinin inhibitio. Ozen (2012) ehdotti mekanismiksi tähän joko hypotalamus-aivolisäke -yhteyden herkkyyden vähenemistä joka aiheuttaa negatiivisen adrenaliinivasteen, tai vähentynttä adrenokortikotrofisen hormonin stimulaatiota.

2.7.2 Interleukiini 6

Interleukiini 6 (IL-6) on proteiini jota koodaa IL-6 geeni. IL-6 voi toimia sekä pro-, että anti-inflammatorisena sytokiinina, eli solun viestintään erikoistuneina proteiineina. Lihaksessa IL-6, jota kutsutaan myös myokiiniksi, stimuloi energian käyttöä ja täten nostaa kehon lämpötilaa ja stimuloi immuunipuolustusta. Fyysisessä kuormituksessa tyypin I ja II lihassolut tuottavat IL-6 ja tämän takia sitä voidaankin pitää kuormituksen mittarina (Febbraio ja Pedersen 2005; Pedersen ym. 2007). Vaikka kohonneet IL-6 pitoisuudet ovat kytköksissä moniin vakaviin sairauksiin (mm. sydänkohtaus, diabetes) nykyinen käsitys on, että IL-6 pitoisuudet eivät ole pelkästään negatiivinen ilmiö, vaan esimerkiksi Fisman & Tenenbaum (2010) ehdottavatkin, että liikunnan positiiviset terveysvaikutukset olisivat IL-6:n ansiota. Lisäksi IL-6 stimuloi osteoklastien muodostumista ja siten IL-6 tasapaino vaikuttaa positiivisesti luun tiheyteen ja ehkäisevästi osteoporoosin puhkeamiseen, joka erityisesti ikääntyneillä naisilla on olennaista (Raisz 2005).

IL-6 lisää myös muiden anti-inflammatoristen sytokiinien (mm. IL-1ra ja IL10) määrää verenkierrossa ja inhiboi proinflammatorisen TNF- α sytokiinin tuotantoa, sekä stimuloi lipolyysiä ja rasvojen hapettamista. (Febbraio ja Pedersen 2005). Tämän perusteella IL-6:lla voikin jälleen olla tärkeä rooli fyysisen harjoittelun terveysvaikutusten suhteen, erityisesti diabeteksen ja sydän- ja verisuonisairauksien ehkäisijänä (Libby ym. 2002; Djaona ym. 2004). Näiden sairauksien yleisyyden takia IL-6 pitoisuus onkin mielenkiintoinen ja tärkeä suure seurattavaksi.

Plyometriaharjoittelun vaikutuksesta IL-6 eritykseen tunnetaan vielä huonosti. Yleisesti IL-6 pitoisuus kehossa nousee ikääntymisen seurauksena (Rohleder ym. 2012). Joissain tutkimuksissa on havaittu heti kuormituksen jälkeen IL-6 pitoisuus nousu (Jareozzi ym. 2007; Liakos ym. 2012). Kolmen kuukauden mittaisessa polkupyöräergometriharjoittelussa IL-6 pitoisuuden taas havaittiin laskevan (Nowak ym. 2012). Pitoisuus kuormituksen jälkeen saavuttaa nopeasti maksiminsa (alle tunnissa), riippuen harjoituksen kestosta ja intensiteetistä (Pedersen ym. 2001; Nowak ym. 2012). Pitkäkestoisessa suorituksessa, kuten maraton-juoksu, ehtii maksimipitoisuus tulla jo suorituksen aikanakin.

2.7.3 Kreatiinikinaasi

Kreatiinikinaasi (CK) on systolinen entsyymi joka katalysoi kreatiinin fosforylaatiota, eli kreatiinin muuttamista fosfokreatiiniksi (PCr) ja adensiini difosfaatiksi (ADP). Energianlähteenä tähän käytetään adensiinitrifosfaattia (ATP). Kreatiinin katalysoima reaktio voi myös edetä käänteiseen suuntaan jolloin ATP:ta voidaan valmistaa PCr:sta ja ADP:sta.

Eri syistä johtuva kudostuho aiheuttaa CK:n vapautumisen verenkiertoon. Kohonnutta kreatiinikinaasia voidaan pitää signaalina kasvaneesta lihaksen hajoamisesta ja harjoittelun kuormittavuudesta tai vammasta. Mitä suurempi kuormitus tai vaurio, sitä korkeampi CK-arvo. Varsinkin harjoittelemattomilla tämä on nähtävissä selvästi. Kun harjoittelematon henkilö äkisti käyttää rajusti lihaksiaan, siihen liittyvä lihasten kipeytyminen ja lievä lihasvaurio suurentaa CK-arvoa (Duodecim 2012). CK:ta pidetään myös markkerina sydäninfarktin toteamisessa, mutta mahdolliset muut kehon lievätkin vammat häiritsevät suuresti tämän diagnoosin luotettavuutta (Duodecim 2012).

Viitearvoina naisilla pidetään 35-210 IU/l (Yhtyneet Medix Laboratoriot 2012), munuaisen toimintahäiriötä epäillessä normaaleina pidetään vielä arvoja 60-400 IU/l (Armstrong & Golan 2008). Statiinilääkityksen omaavilla henkilöillä CK-arvo on korkeampi ja alkoholisteilla ja reumapotilailla alhaisempi. Erityisesti naisilla tehdyssä

juoksukuormituskokeessa kreatiinikinaasi kohosi heti kuormituksen jälkeen saavuttaen maksiminsa noin kymmenen tunnin kuluttua (Hirao ym. 2012). Kreatiinikinaasin on havaittu olevan koholla 48-72 tuntia plyometrisen kuormituksen jälkeen (Tofas ym. 2008).

2.7.4 Pieni verenkuvava

Pienestä verenkuvasta ilmenevät verenpuna, punasolujen tilavuusosuus (hematokriitti), punasolujen ja valkosolujen kokonaismäärät. Näiden avulla saadaan yleiskuva henkilön veren soluista, jonka avulla voidaan arvioida mm. tulehduksen laajuutta. Se on helpoin ja halvin veren perustesti ja se valmistuu käytännössä välittömästi.

Pienessä verenkuvassa erityisesti valkosolujen määrä ja erityisesti valkosoluista neutrofiilien ja lymfosyyttien määrä kuvaavat tulehdusreaktiota kehossa. Neutrofiilit muodostavat 60 – 70 % kaikista veren valkosolutyypeistä. Lymfosyytit taas ovat tärkeä osa immuunipuolustusta. Lymfosyytit voidaan edelleen jakaa tappajasoluihin, T- ja B auttajasoluihin (Alberts 2005).

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Liikuntakyky ja erityisesti kaatumisista johtuvien vammojen merkitys ikääntyvien naisten elämänlaadulle on erittäin merkittävä. Sopivalla ikääntyneille naisille suunnatulla liikuntaharjoittelulla pystytään parantamaan ja ennaltaehkäisemään loukkaantumisia ja tapaturmia. Tämä työ tutki räjähtävän voimaharjoittelun vaikutuksia ikääntyneillä naisilla.

Työssä tarkasteltiin valittujen fysiologisten ja biomekaanisten muuttujien avulla plyometrisen harjoitusjakson vaikutusta kahteen ryhmään, ikääntyneet naiset ja nuoret naiset. Näille ryhmille tehtiin mittauspäivinä myös hyppyväsytykset, jonka jälkeen veri- ja hyppymuuttujat mitattiin uudelleen. Lisäksi kontrolliryhmänä toimi ikääntyneiden naisten ryhmä joka harjoitteli proprioseptistä tasapainoharjoittelua. Fysiologisina muuttujina olivat kortisoli-, IL6- ja kreatiini-kinasipitoisuudet sekä pienen veren kuvan muuttujat. Biomekaanisina muuttujina olivat kyykkyhypyn voimantuotto ja lentoaika, pudotushypyssä voimantuotto, voimantuottonopeus eri vaiheissa hyppyä sekä hyppykorkeus. Alku-, loppu-, ja seurantamittauksien välillä tapahtuvia muutoksia vertailemalla voitiin arvioida plyometrisen harjoitusjakson tehokkuutta.

Tutkimuskysymykset:

- 1) Millaiset ovat plyometria-harjoittelun vaikutukset valittuihin verimuuttujiin?
- 2) Millaiset ovat harjoittelun vaikutukset valittuihin biomekaanisiin muuttujiin?
- 3) Miten plyometrinen harjoittelujakso vaikuttaa erityisesti iäkkäillä naisilla?
- 4) Miten hyppyväsytykset vaikuttavat analysoituihin muuttujiin?
- 5) Kuinka pysyviä ovat saadut muutokset?

Alkuelämäkset:

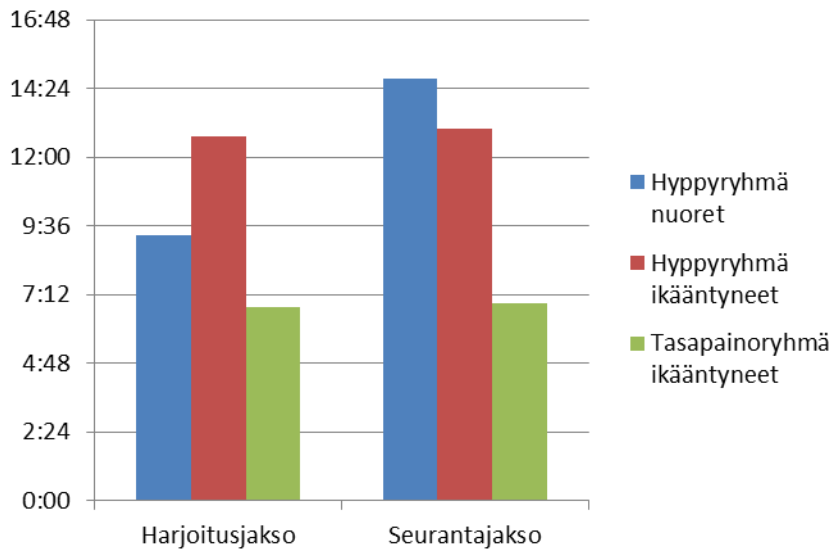
- 1) Plyometrisen harjoituksen vaikutukset ovat nähtävissä kuormituksille reagoivissa verimuuttujissa
- 2) Plyometrinen harjoittelu parantaa alaraajojen voimantuottoa ja voimantuottonopeutta
- 3) Nuorten alaraajojen voimatasot tutkimuksen alussa ovat ikääntyneitä paremmat

4 MENETELMÄT

Tässä työssä termillä ”mittaus” tarkoitetaan kolmea eri kalenteripäivää jolloin tutkittaville suoritettiin sarja testejä. Harjoittelujaksolla tarkoitetaan alku- ja loppumittausten välistä suoritettua plyometrasta harjoittelua. Seurantajaksolla tarkoitetaan loppumittauksen ja seurantamittauksen välistä aikaa.

4.1 Tutkittavat

Tutkittavina olivat vapaaehtoiset nuoret (N=9, 18-30 v) ja ikääntyneet naiset (N=10, 60-70 v), sekä kontrolliryhmä (N=9, 63-69 v). Tutkittavat edustavat liikunta-aktiivisuudeltaan keskimääräisiä ikäryhmänsä edustajia. Fyysistä aktiivisuutta arvioitiin kyselytutkimuksella, jotka kerättiin testikertojen yhteydessä (kuva 1). Tilastollista kuvausta ei tästä semikvantitatiivisesta datasta ollut järkevää tehdä, sillä yksilöiden suorittamat liikuntamuodot ja intensiteetit vaihtelevat niin suuresti ettei ryhmien tilastollinen kuvailu tai vertailu ole mielekäästä. Kuvan liikunta-aktiivisuudessa on pientä vaihtelua sekä jaksojen suhteen, että ryhmien välillä. Erot ryhmien välillä eivät kuitenkaan ole niin suuria, että näistä voitaisi ajatella aiheutuvan suurta harhan lähdettä tuloksiin.



Kuva 1. Fyysinen aktiivisuus (tuntia/viikko) tutkimuksen eri ryhmissä.

Nuorten naisten ryhmän keski-ikä oli 23 vuotta ja ikääntyneiden 63. Pituus mitattiin pyöristäen 0.1 senttimetrin tarkkuudella. Kehon paino mitattiin 0.01 kg:n tarkkuudella (Inbody 720 Body Compositor Analyzeria; Biospace Co Ltd, Seoul, South Korea). BMI laskettiin jakamalla paino kilogrammoissa metreissä ilmoitettuun pituuden neliöllä. Taulukossa 1 on esitettyinä ryhmien antropometriset mittaukset. Ryhmien keskimääräiset painot kolmena mittauskertoina pysyivät käytännössä muuttumattomin ja myös ryhmien väliset erot ovat pienet.

Taulukko 1. Antropometriset mitat

	Nuoret hyppy (N=9)		Ikääntyneet hyppy (N=10)		Kontrolliryhmä (N=9)	
	KA	SD	KA	SD	KA	SD
Ikä (v)	23 ± 3		63 ± 3		66 ± 3	
Pituus (cm)	163 ± 6		161 ± 4		164 ± 7	
Paino (kg)	65 ± 11		69 ± 9		74 ± 23	
BMI (kg/m ²)	24 ± 4		26 ± 3		25 ± 13	

Tutkittaville jaettiin valmistautumisohjeet testipäiville johon sisältyi ruokailun ja juomisen vakioiminen testipäivinä.

4.2 Harjoittelujakson kuvaus

Plyometriaryhmän harjoitusjakso sisälsi kuusi räjähtävää hyppyä kelkkaergometrillä jatkuvana hyppelynä joita suoritettiin viisi sarjaa. Kelkkaergometrejä käyttivät myös mm. Kuitunen (2010) ja Horita (2000). Viidensarjan välillä pidettiin kolmen minuutin palautumisaika. Hypyissä ohjeistettiin mahdollisimman terävään kontaktiin (tavoitteena 120 asteen polvikulma). Tätä kontrolloitiin goniometrin avulla. Kelkkaergometrin kaltevuuskulma oli sama kuin testeissä.

Kontrolliryhmänä toimivan tasapainoharjoitteluryhmän harjoitusjakso sisälsi kolmen minuutin kestoisia ennakkoon ohjelmoituja tasapainohäiriöitä testeissä käytetyllä laitteella. Poikkeutuksien kiihtyvyyksinä käytettiin 0.5 m/s^2 (hitaat poikkeutukset) ja 2.5 m/s^2 (nopeat poikkeutukset) ja poikkeutuksia oli sarjassa 20 kappaletta. Sarjoja suoritettiin kolme ja palautusaika sarjojen välillä oli kolme minuuttia.

Kaikki ryhmät suorittivat lisäksi kuntosaliharjoittelua. Ensimmäisellä viikolla toistomäärä oli 12, toisella 10 ja tästä eteenpäin 8 toistoa koehenkilölle mitoitettulla kuormalla. Sarjoja laitteilla tehtiin kolme kappaletta. Tämä vastaa Potach ym. (2009) suosittamaa harjoittelun sisäistä rytmittämistä. Sekä sarjojen että laitteiden välillä pidettiin yhden minuutin palautukset. Liikkeinä olivat ylävartalon kierto istualtaan, ylävartalon ojennus (selkäpenkki), ylävartalon koukistus (vatsalihaspennä), ylätalja ja punnerruspennä. Laitteina toimivat valmistaja HUR:n pneumaattiset kuntosalilaitteet. Tutkittavat jaettiin taulukon 2 mukaisesti kolmeen ryhmään.

Taulukko 2. Tutkittavien jakautuminen harjoitteluryhmiin

Ryhmä	Harjoittelu	n
Nuoret hyppy	Plyometrasta harjoittelua kelkassa + kuntosali	9
Ikääntyneet hyppy	Plyometrasta harjoittelua kelkassa + kuntosali	10
Kontrolliryhmä	Proprioseptista harjoittelua + kuntosali	9

Neljän viikon mittaisen harjoittelujakson harjoittelumäärät jakautuvat siten, että ensimmäisinä kolmena viikkona suoritettiin kaksi harjoittelukertaa viikossa ja viimeisinä kolmena viikkona kolme harjoittelukertaa viikossa.

4.3 Mittauspäivät

Tämän tutkimuksen jokaisena mittauspäivänä seurattiin kehon fysiologisia vasteita laskimo- ja sormenpääverinäyttein joista analysoitiin esiteltyjä verimuuttujia. Verikokeita otettiin kolmena ajankohtana:

- 1) Juuri ennen testin aloittamista
- 2) Välittömästi testin hyppyväsytytkuormituksen jälkeen
- 3) Kaksi tuntia testin hyppyväsytytkuormituksen jälkeen

Tutkimuksen näytteenottoajankohdat valittiin kirjallisuuden perusteella siten, että muutokset pitoisuuksissa olisivat havaittavissa tutkituissa verimuuttujissa.

Esimittauksissa tutkittavat kävivät läpi koko testiprotokollan (taulukko 3), jota käytettiin myös kaikilla seuraavilla mittauskerroilla. Hyppyväsytytkuormituksen suuruus määritettiin kertomalla 70 % tason nousukorkeus ja käytetty aika (max 2 min) ja tähän lisäämällä 90 % tason nousukorkeus ja käytetty aika (max 2 min). Testiprotokolla sisältää mittauksia neljään eri tutkimukseen, tämä tutkielma keskittyy hyppy- ja verimuuttujien mittaamiseen. Tästä syystä tämän työn ulkopuolisia mittauksia ei ole esitetty mittausprotokollassa.

Taulukko 3 Mittauspäivien testiohjelma

Testi	Suoritusmäärä
<i>Laskimo- ja sormenpääverinäyte</i>	
Kyykkyhyppy	3 toistoa (polvikulma 90 astetta)
Pudotushypyn maksimikorkeuden etsiminen	10 cm:n välein nosto mikäli hyppykorkeus kasvoi edelliseen korkeuteen verrattuna
Pudotushyppy	Min 6 hyväksytyä suoritusta (polvikulma 120 astetta +/- 2 cm)
Väsytytkuormitus hyppyillä	2 min 70% + 2 min 90% max pudotushypyn nousukorkeudesta
<i>Laskimo- ja sormenpääverinäyte</i>	
Kyykkyhyppy post	3 toistoa (polvikulma 90 astetta)
Pudotushyppy post	Min 6 hyväksytyä suoritusta (polvikulma 120 astetta +/- 2 cm)
<i>Laskimo- ja sormenpääverinäyte</i>	

Esimittausten tuloksia ei käytetty varsinaisiin analyysiin. Alkumittaukset suoritettiin esimittauksia seuraavalla viikolla. Tämän jälkeen tutkittavat kävivät läpi kuuden viikon ohjatun harjoittelujakson. Harjoittelujakson jälkeen suoritettiin loppumittaukset, jotka sisälsivät saman testiprotokollan kuin esi- ja alkumittaus. Lisäksi vaikutusten pysyvyyden arviointia varten suoritettiin vielä seurantamittaus seitsemän viikon päästä

loppumittauksista. Verinäytettä ei otettu kontrolliryhmänä toimivana ikääntyneiden naisten tasapainoryhmältä, vain nuorten ja ikääntyneiden naisten hyppyryhmiltä.

4.4 Testissä käytetyt laitteet

Hypyissä käytettiin Jyväskylän yliopiston valmistamaa kelkkaergometriä (kuva 2). Ergometrin kaltevuuskulma pidettiin samana läpi koko harjoitus- ja tutkimusjakson (23 astetta). Ergometrin ponnistusalustassa on kiinnitettynä voimalevyt joiden avulla analysoitiin tuotettu voima ja hyppyykorkeus. Kyykkyhypyissä ilman kevennystä käytettiin 90 asteen ja pudotushypyissä 120 asteen polvikulmaa. Polvikulmat mitattiin goniometrillä ja astelukuja vastaavat korkeuslukemat luettiin kelkkaergometrin mitta-asteikolta. Testattava ohjeistettiin suorittamaan kyykkyhyppy maksimaalisesti staattisesta lähtötilanteesta ja pudotushypyissä räjähtävästi antamalla välittömän palautteen polvikulmasta (tavoitteena polvikulma 120 astetta). Pudotushyppyjä tehtiin neljän hypyn sarjoissa joiden välillä pidettiin 20 sekunnin palautumisaika.

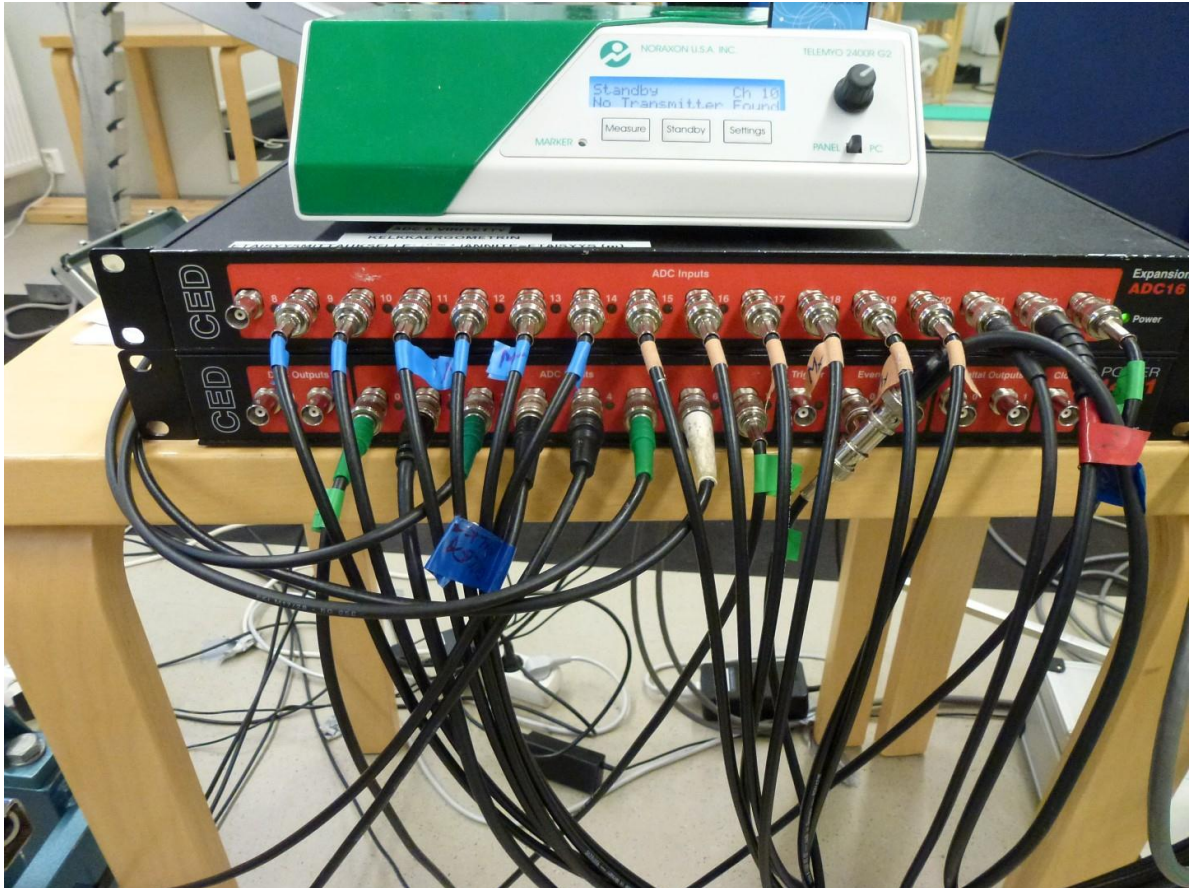


Kuva 2 Kelkkaergometri

Väsytyskuormituksessa testattava suoritti jatkuvia hyppyjä kelkkaergometrissä vapaalla polvikulmalla, ensin kahden minuutin jakso 70 % korkeudelle testipäivän pudotushypyn maksimikorkeudesta, jonka jälkeen välittömästi tutkittava jatkoi hyppyjä 90 % korkeudelle testipäivän pudotushypyn maksimikorkeudesta. Testaajat antoivat jatkuvasti palautetta tutkittaville sopivan hyppyvoiman löytämiseksi. Testattavaa kannustettiin voimakkaasti läpi suorituksen. Mikäli testattava ei jaksanut koko neljän minuutin väsytyskuormitusta loppuun, merkittiin suoritettu aika ja kuorma ylös.

Analysoinnissa ja monitoroinnissa käytettiin Spike 2 ohjelmaa, CED Ltd., Cambridge, England. AD-muuntimena toimi CDD Power 1401. Esivahvistimena toimi For Amps v.1.2.

Esivahvistuksena etureisipenkissä oli 24 mV/kg ja refleksivasarassa 40 mV/aste. Kuvassa 3 osa laitekonfiguraatiosta ja kytkennöistä.



Kuva 3. Mittauksissa käytettyä laitteistoa

4.4.1 Fysiologiset mittaukset

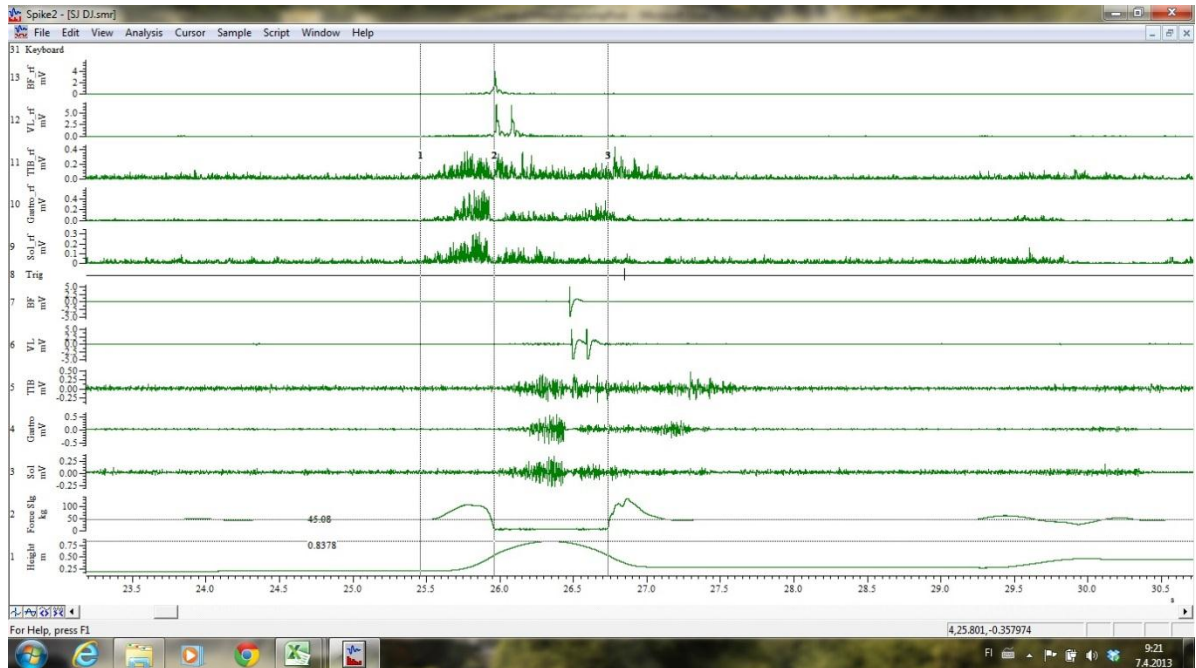
Pieni verenkuv. Laskimoverinäyte otettiin 1 millilitran Vacuette K1 EDTA-vakuumiputkeen, josta analysoitiin SYSMEX KX-21N verenkuvaa-analysaattorilla (Sysmex Co. Kobe, Japan) peruserenkuvaa.

Laktaatti ja glukoosi. Laktaatti- ja glukoosipitoisuudet analysoitiin 20 mikrolitran kapillaariverinäytteestä (1 ml hemolysointiliuosta) käyttäen Biosen C-line analysaattoria (EKF diagnostic, Magdeburg, Germany).

Kreatiinikinaasi, kortisoli ja interleukiini 6. Kreatiinikinaasi (S-CK), kortisoli (S-COR) ja IL-6 (S-IL-6) analysoitiin 7 ml laskimoverinäytteestä (Vacuette seerumivakuumiputki). Hyytymisen jälkeen näyte sentrifugoitiin 10 minuutin ajan (3500 rpm) IEC Centra CL2 sentrifugilla, USA). Analyysit tehtiin seerumista. Kreatiinikinaasi analysoitiin Konelab 20 Xti (Thermofisher Scientific, Vantaa, Finland) analysaattorilla käyttäen CK-reagenssia (Thermofisher). Kortisoli ja IL-6 analysoitiin käyttäen Immulite 1000 laitetta (Siemens,Healthcare/DPC, LA, USA) ja Immulite (Siemens) reagensseja.

4.4.2 Kyykkyhyppydatan analysointi

Analyysit ovat tehty Spike 2 ohjelmalla: Analysoitavaksi valittiin korkein hyppy kolmesta. Kuvassa 4 on havainnollistettu voima- ja EMG-datan analysointia ohjelman avulla. Kuvassa alimpana on hyppyykorkeus, toiseksi alimpana voima ja EMG signaalit näiden yläpuolella. Pystykursorien 1-2 väli kuvaa konsentrista vaihetta ja kursorien 2-3 väli lentoaikaa.

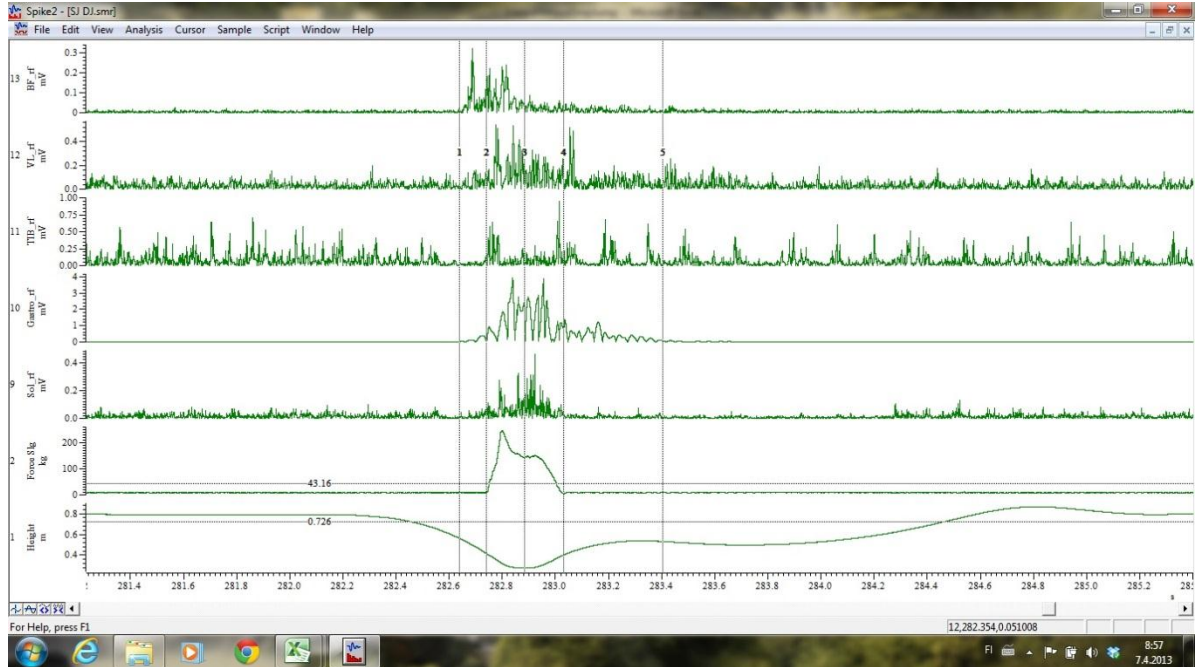


Kuva 4. Kyykkyhypyn raakadatan analysointi.

Hyppyjen voiman ja hyppyykorkeuden määrittämiseen käytettiin kelkkaergometrin ponnistusalueeseen liitettyä voimalevyä, joka kalibroitiin ennalta tiedetyllä kuormalla ennen testiä. Data kerättiin 1000 Hz taajuudella ja talletettiin Spike 2 tietokoneohjelmalla jatkoanalyysia varten. Mitatuille kyykkyhyppyjen muuttujille laskettiin ryhmien keskiarvot. Piikkivoima laskettiin Canavan ja Vescovi (2004) käyttämällä laskukaavalla.

4.4.3 Pudotushyppydatan analysointi

Pudotushyppyjen analyysit ovat tehty Spike 2 ohjelmalla. Kuvassa 5 nähdään pudotushyppydatan analysointia. Alimpana kuvassa on esitettyä korkeus, tämän yläpuolella voima ja näiden yläpuolella EMG signaalit. Mittauspäivänä kerättiin kuusi onnistunutta hyppyä (polvikulma $120^{\circ} \pm 2^{\circ}$) joista laskettiin tutkittaville keskiarvo. Eksentrisen voiman nähdään pystykursorien 2-3 välisenä alueena, konsentrisen voima kursorien 3-4 välinen alueena ja kursorien 4-5 välistä määritetään maksimihyppyykorkeus.



Kuva 5. Pudotushyppyjen raakadatan analysointi

4.4 Tilastoanalyysi

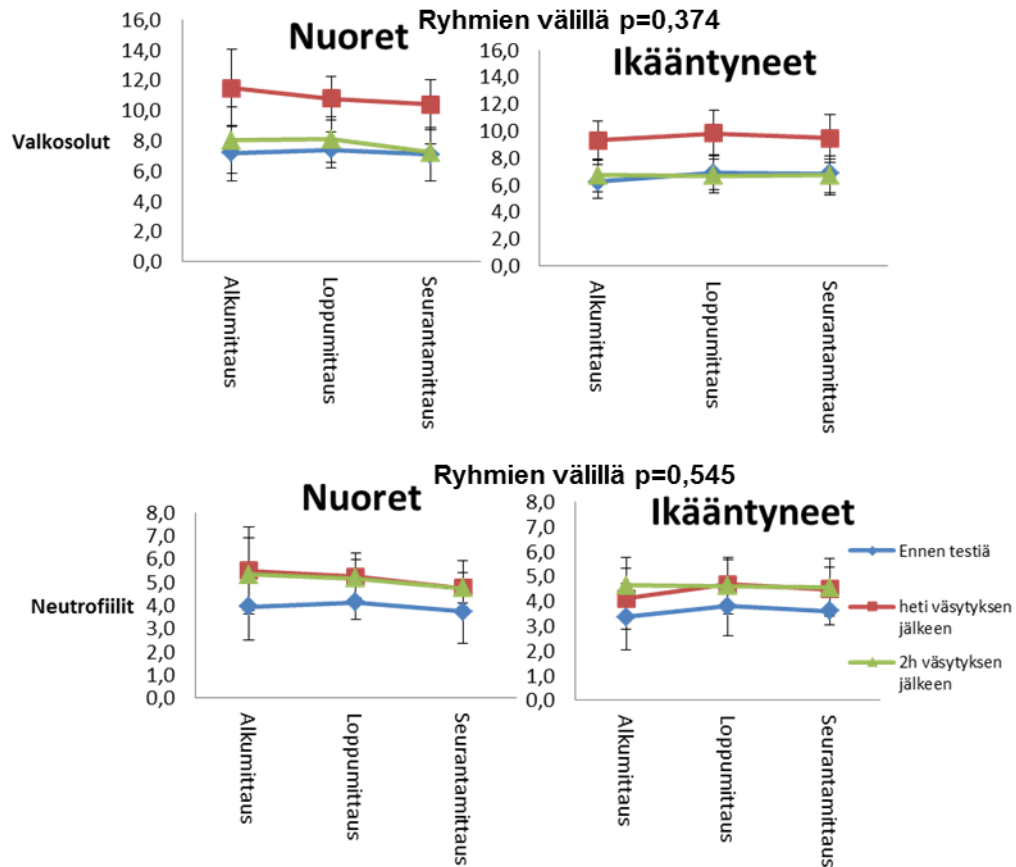
Data käsiteltiin PAWS statistics 21 (SPSS inc., Chigago, IL) ohjelmalla. Muuttujista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat (keskiarvo \pm SD). Muuttujien jakautumisen normaalisuuden tarkistaminen suoritettiin Saphiro-Wilkinsonin testillä ja muuttujien eroja tarkasteltiin General Linear Model (GLM) monisuuntaisella vertailuanalyysillä. Merkitsevyystasoina pidetään (Holopainen & Marttinen 1999): * $p < 0,05$ tilastollisesti melkein merkittävä, ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkittävä, *** $p < 0,01$ tilastollisesti erittäin merkittävä

5 TULOKSET

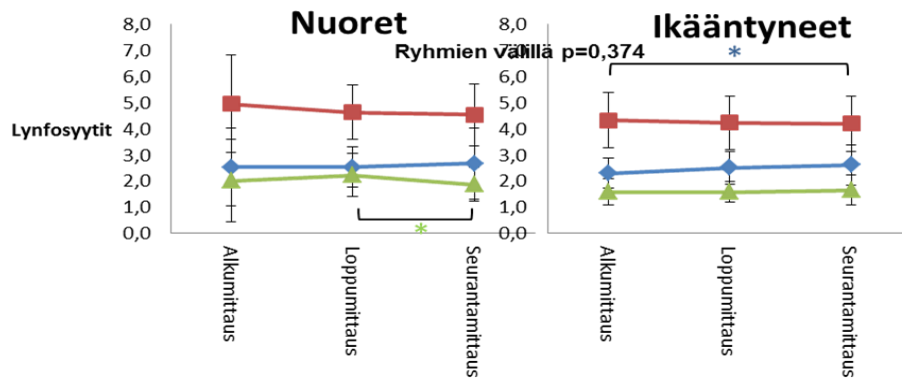
5.1 Verimuuttujat

Kuvissa 6-12 on esitetty tärkeimpiä verimuuttujia. Tilastollisten merkittävyyksien merkinnöissä käytetyn tähti-symbolin väri vastaa näyteajankohdan vastaavaa väriä. Nuorten ja ikääntyneiden mittausten välistä eroa, eli ryhmän vaikutusta tuloksiin, kuvaava tilastollinen merkittävyys on ilmoitettu p-arvona kuvassa.

Valkosolujen ja neutrofiilien määrissä ei havaittu merkittäviä eroja kolmen mittauskerran välillä (kuva 6). Nuorten naisten lymfosyyttien määrä laski tilastollisesti merkittävästi loppumittauksesta seurantamittaukseen kaksi tuntia hyppyväsytyksestä otetussa näytteessä ja iäkkäillä lymfosyyttien määrä nousi tilastollisesti merkittävästi levossa otetussa näytteessä (kuva 7).

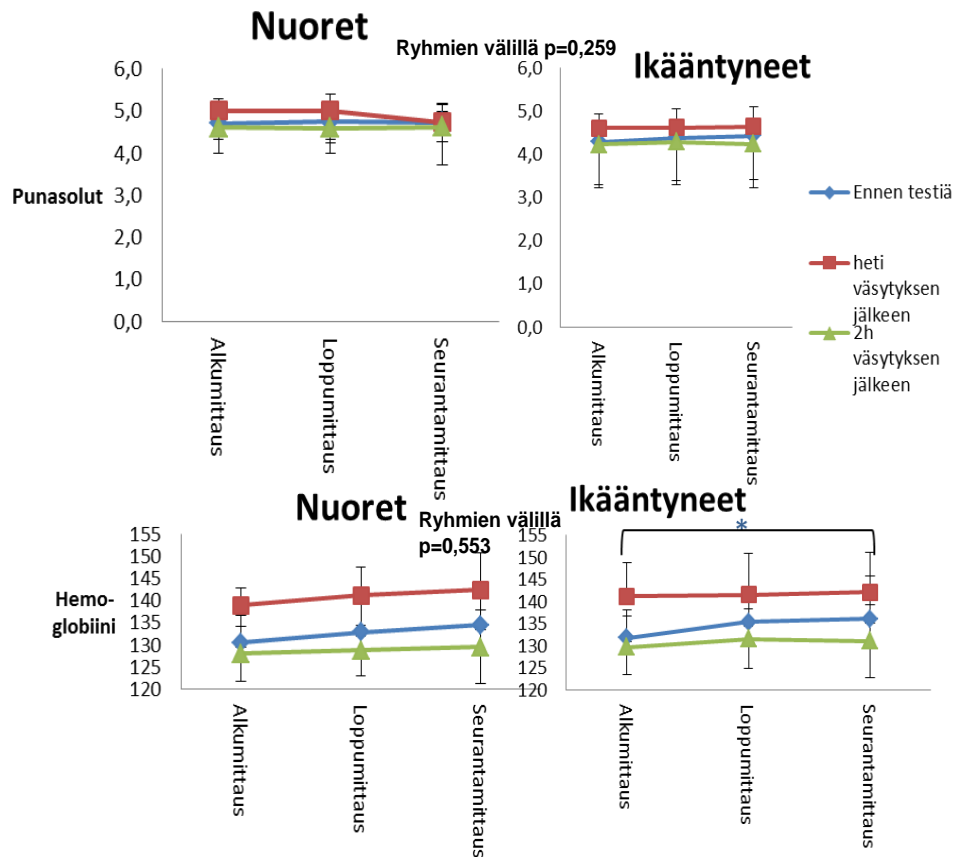


Kuva 6. Valkosolujen ($\times 10^9/l$) ja neutrofiilien määrä ($\times 10^9/l$) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus).



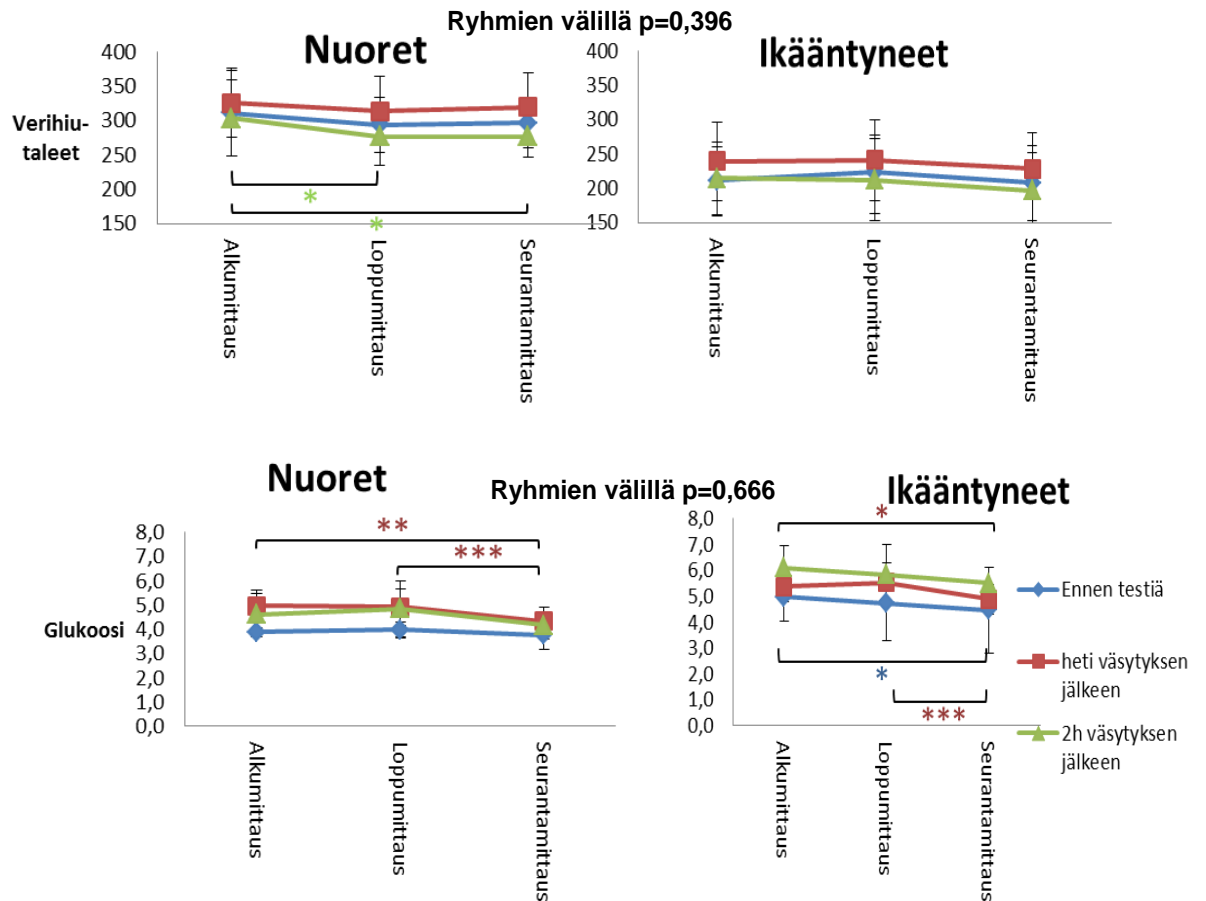
Kuva 7 Lymfosyytit ($\times 10^9/l$) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus) * $p < 0,05$. Tähti-symbolien värit vastaavat näyteajankohtien värejä.

Punasoluissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia mittauskertojen välillä. Ikääntyneiden lepohegoglobiiniarvo oli noussut merkittävästi alkumittauksesta seurantamittaukseen (kuva 8). Verihiutaleissa nuorilla havaittiin kaksi tuntia väsytyksen jälkeen otetuissa näytteissä merkittävää pitoisuuden laskua sekä alkumittauksesta loppumittaukseen, että alkumittauksesta seurantamittaukseen (kuva 9)

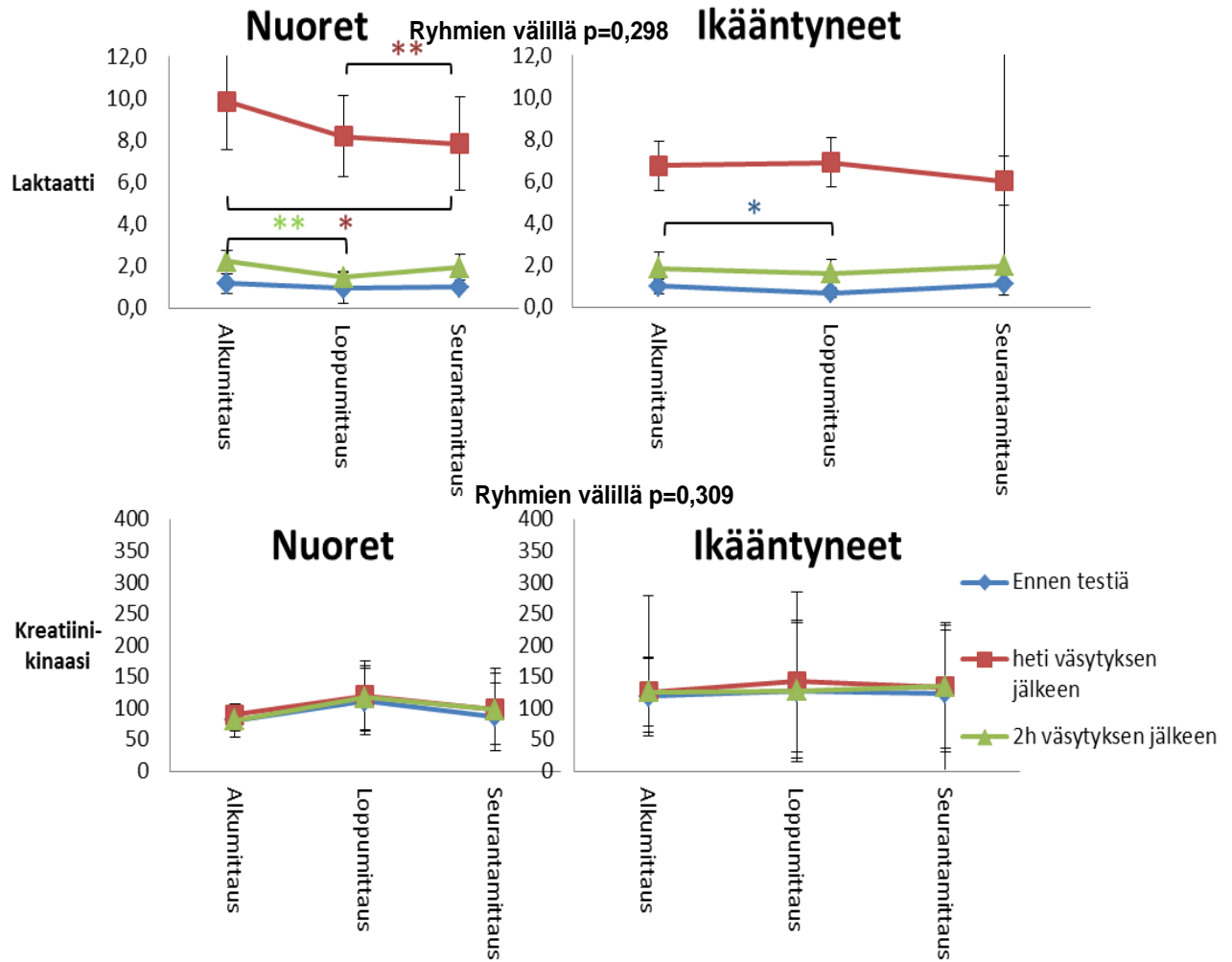


Kuva 8 Punasolut ($\times 10^{12}/l$) ja hemoglobiini (g/l) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus) * $p < 0.05$. Tähti-symbolien värit vastaavat näyteajankohtien värejä.

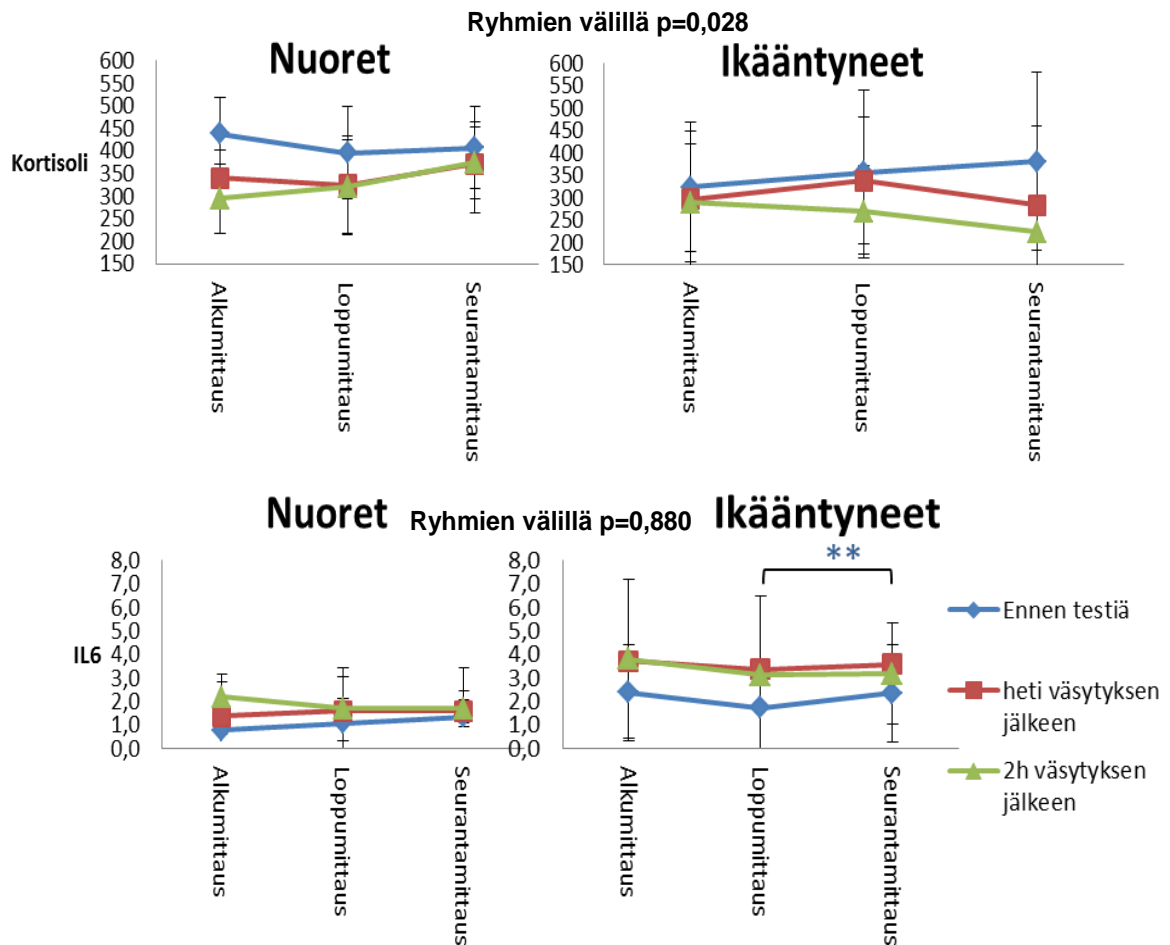
Glukoositasoissa havaittiin selkeitä eroja testikertojen välillä (kuva 9). Erityisesti heti hyppyväsytyksen jälkeen otetuissa näytteissä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevää laskua niin alku- ja loppumittauksen ja loppu- ja seurantamittauksen välillä. Laktaattipitoisuuksissa havaittiin erityisesti nuorilla laskua heti hyppyväsytyksen jälkeen ja kaksi tuntia väsytyksen jälkeen otetuissa näytteissä (kuva 10). IL-6 pitoisuudessa havaittiin ikääntyneillä tilastollisesti merkitsevä nousu loppumittauksesta seurantamittaukseen (kuva 11).



Kuva 9. Verihiutaleet ($\times 10^9/l$) ja glukoosi (mmol/l) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus). * $p < 0.05$. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Tähti-symbolien värit vastaavat näyteajankohtien värejä.



Kuva 10. Laktaatti (mmol/l) ja kreatiini-kinaasi (U/L) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus). * p<0.05, ** p<0.01. Tähti-symbolien värit vastaavat näyteajankohtien värejä.



Kuva 11. Kortisoli (mmol/l) ja interleukiini-6 (pg/ml) nuorilla ja ikääntyneillä ennen väsytestiä, välittömästi väsytyksen jälkeen ja 2 tuntia väsytyksen jälkeen harjoittelujakson alussa, lopussa sekä 7 viikon palautusjakson jälkeen (seurantamittaus). ** $p < 0.01$. Tähti-symbolien värit vastaavat näyteajankohtien värejä.

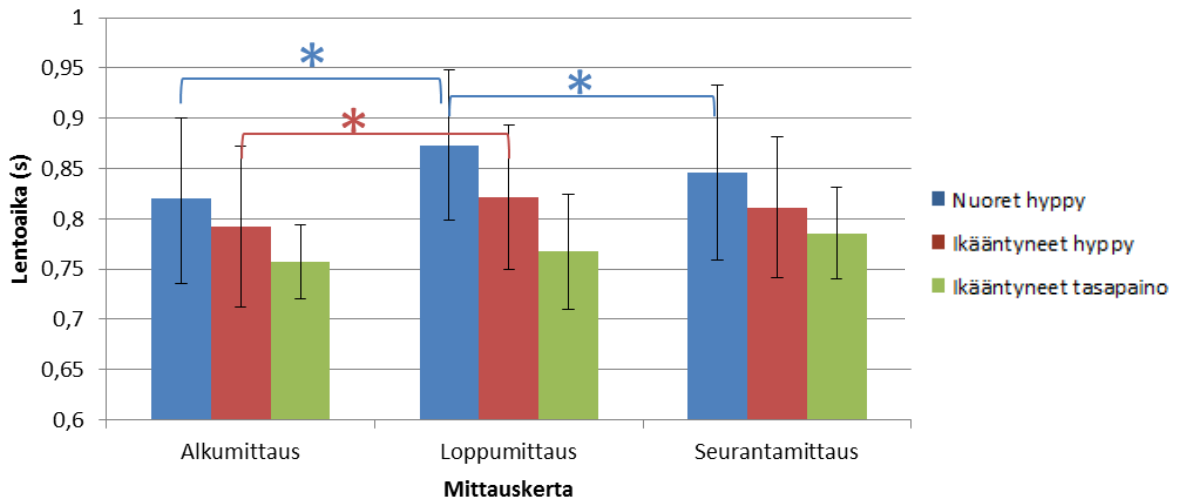
Veriarvot nuorten ja ikääntyneiden välillä vaihtelevat. Esimerkiksi uvassa 9 ikääntyneillä on nähtävissä noin 12 % nuoria alhaisemmat verihitaleiden pitoisuudet ($p < 0.01-0.05$). Myös valko- ja punasolujen osalta nuorilla pitoisuudet ovat ikääntyneitä korkeammat (kuvat 6 ja 8). Päinvastainen tilanne, eli ikääntyneiden nuoria suuremmat pitoisuudet ovat havaittavissa IL6 ja kreatiinikinaasin osalta (kuva 10).

5.2 Hyppymuuttujat

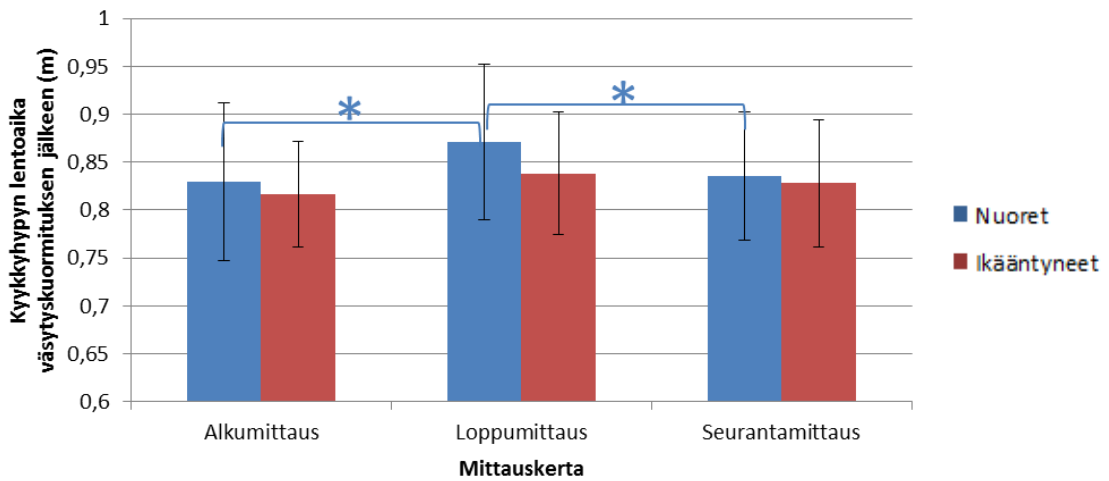
5.2.1 Kyykkyhyppy

Kuvissa 12-15 on vertailtu kyykkyhypyn tuloksia mittauskertojen välillä. Tuloksissa on nähtävissä nuorten hypyn lentoajan ja voiman tuoton kasvu alku- ja loppumittauksen välillä, sekä väheneminen loppu- ja seurantamittauksen välillä. Ikääntyneillä havaittiin myös tilastollisesti merkittävä nousu hypyn lentoajassa ($p < 0.05$) (Kuva 12). Kontrolliryhmänä toimivalla tasapainoryhmällä ei suuria muutoksia mittauskertojen välillä havaittu. Hyppyväsytytkuormituksen jälkeinen kyykkyhypyn voimantuotto väheni kaikilla ryhmillä eri testikerroilla ($p < 0.05$) (Kuva 15).

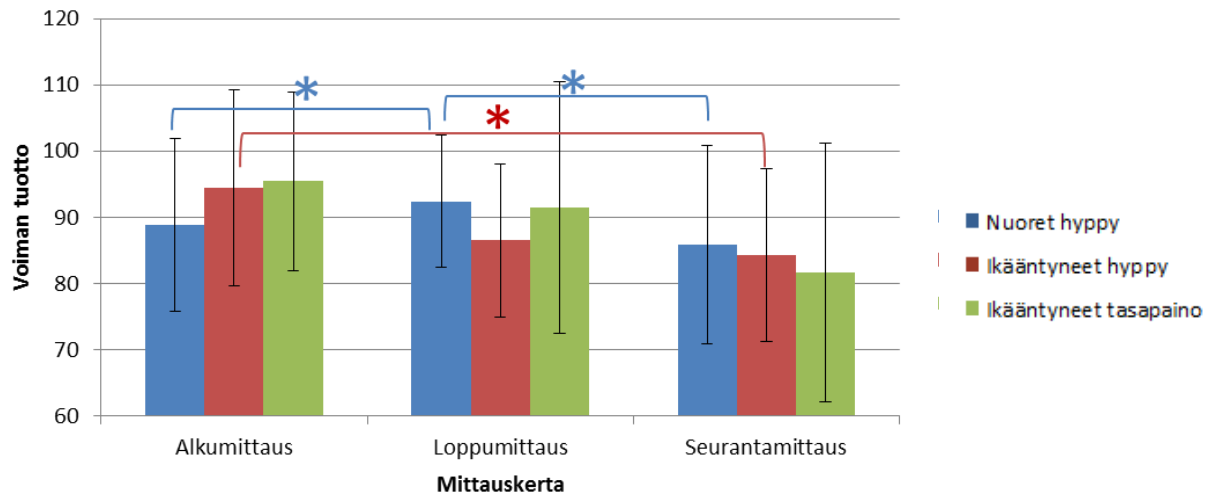
Kuvien 12 ja 13 lentoaikojen tuloksia vertailtaessa havaitaan, että ikääntyneillä mittauskerroilla toteutettu hyppyväsytyksen itse asiassa paransi väsytyksen jälkeisiä lentoaikoja. Samaa ilmiötä ei havaittu nuorilla. Kuvissa 14 ja 15 voiman tuottoja vertailtaessa ei vastaavaa ikääntyneilläkään havaittu.



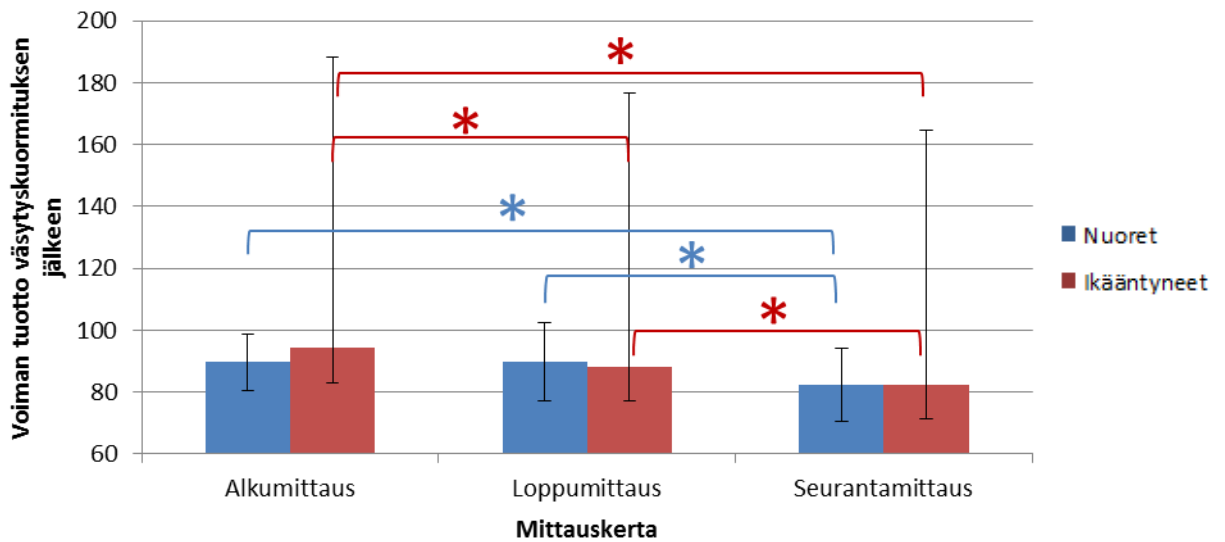
Kuva 12. Kyykkyhyppyn lentoajat sekunteina. Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä. Symboli * tarkoittaa p-arvoa < 0,05. Symbolin värit vastaavat ryhmien värejä.



Kuva 13. Kyykkyhyppyn lentoaika sekunteina väsytytkuormituksen jälkeen. Symboli * tarkoittaa p-arvoa < 0,05. Symbolin värit vastaavat ryhmien värejä.



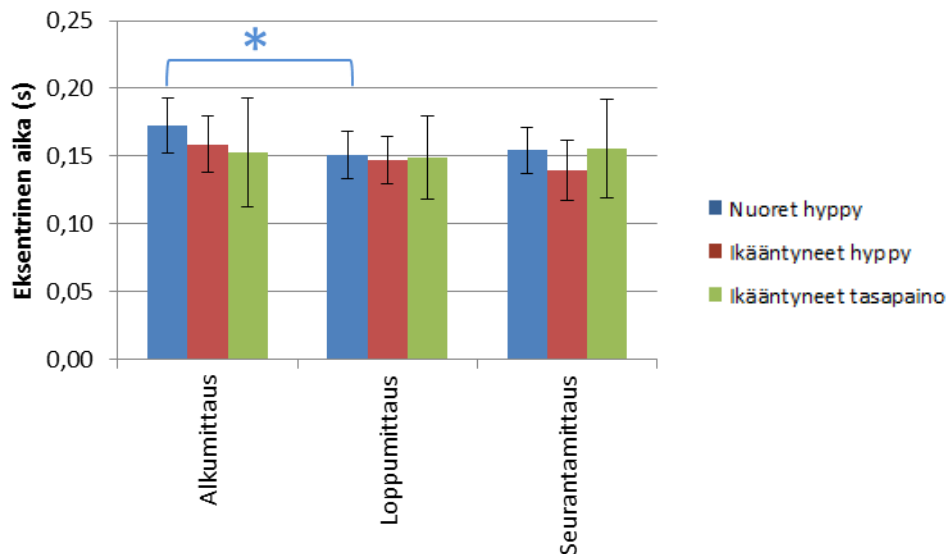
Kuva 14. Kyykkyhypyn konsentriinen voimantuotto (N/kg ruumiin paino). Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä. Symboli * tarkoittaa p-arvoa < 0,05. Symbolin värit vastaavat ryhmien värejä.



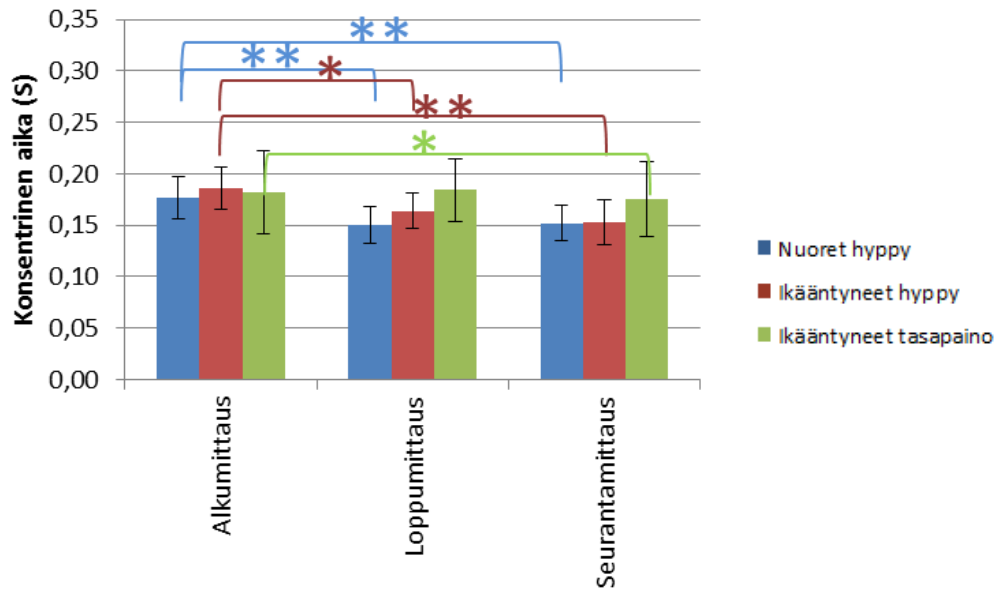
Kuva 15. Kyykkyhypyn voimantuotto (N/kg ruumiin paino) väsytyksuormituksen jälkeen alku-, loppu- ja seurantamittauksissa. Symboli * tarkoittaa p-arvoa < 0,05. Symbolin värit vastaavat näyteajankohtien ryhmien värejä.

5.2.2 Pudotushyppy

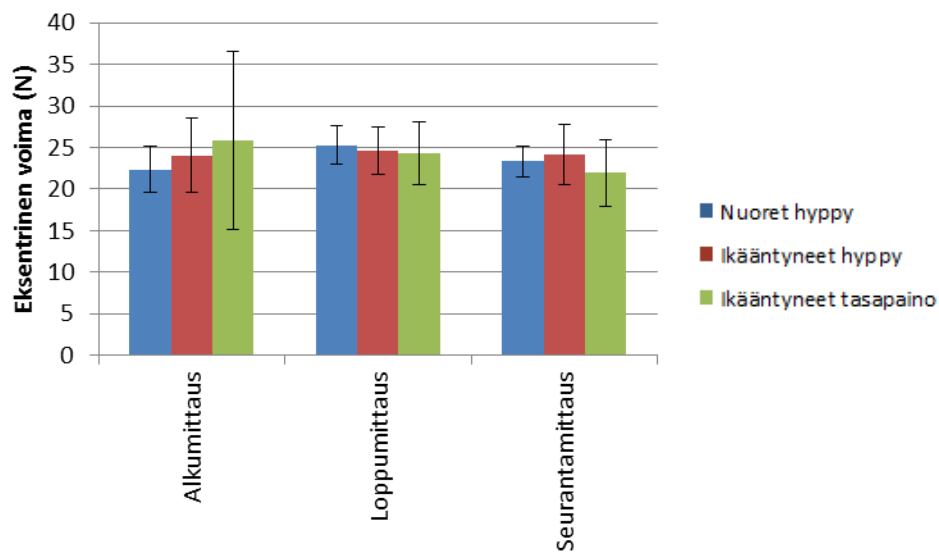
Pudotushyppyjen tuloksia on esiteltyä kuvissa 16-21. Kuvista 16 ja 17 nähdään, että eksentrisen vaiheen aika on lyhentynyt nuorilla ($p < 0.05$) ja konsentrisen vaiheen aika molemmilla hyppyryhmällä (nuoret $p < 0.01$ ja seniorit $p < 0.05$). Eksentrisen ja konsentrisen voimantuotto nuorten hyppyryhmällä lisääntyi jonkin verran, tosin ei tilastollisesti merkittävästi ($p > 0.05$) (kuvat 17 ja 18). Hyppykorkeuden muutos ja voimantuottonopeus ovat nähtävissä voimakkaampana nuorten hyppyryhmällä, tosin ei tilastollisesti merkittävänä ($p > 0.05$) (kuvat 19 ja 20). Tasapainoryhmällä kaikkien hyppymuuttujien vaihtelut mittausten välillä ovat hyvin pieniä ($p > 0.05$) (kuvat 16-21).



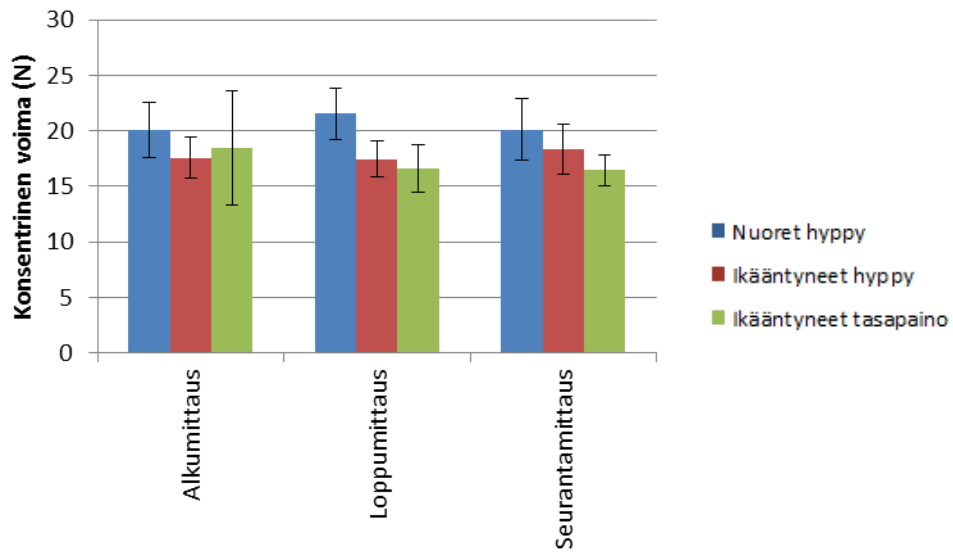
Kuva 16. Pudotushypyn eksentrisen vaiheen kesto sekunteina. Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä. Symboli * tarkoittaa p-arvoa $< 0,05$. Symbolin värit vastaavat ryhmien värejä.



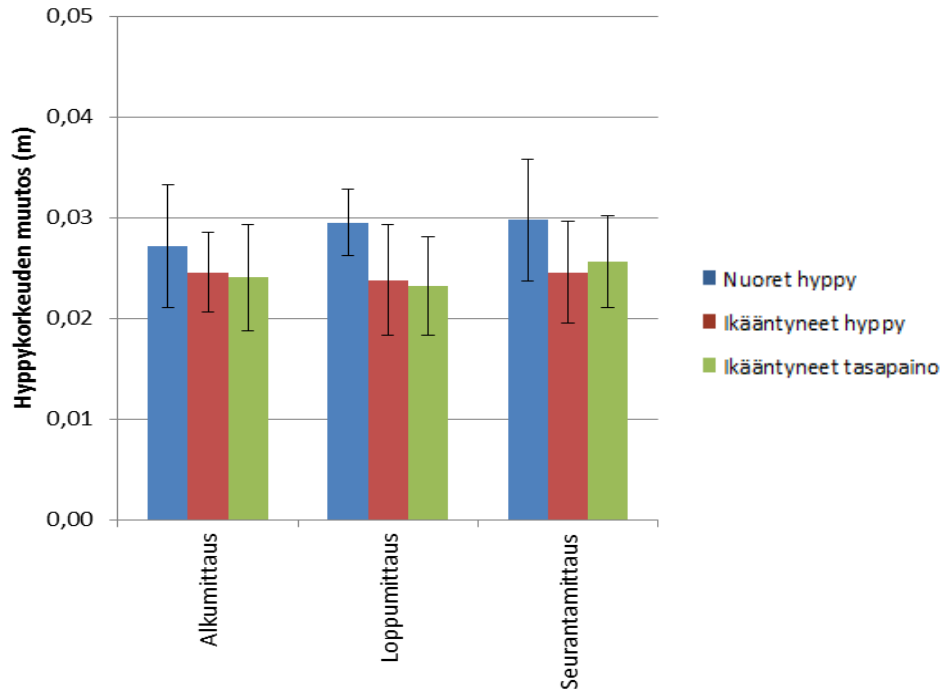
Kuva 17. Pudotushypyn konsentrisen vaiheen kesto sekunteina. Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä. Symboli * tarkoittaa p-arvoa < 0,05 ja symboli ** p-arvoa < 0,01 Symbolin värit vastaavat ryhmien värejä.



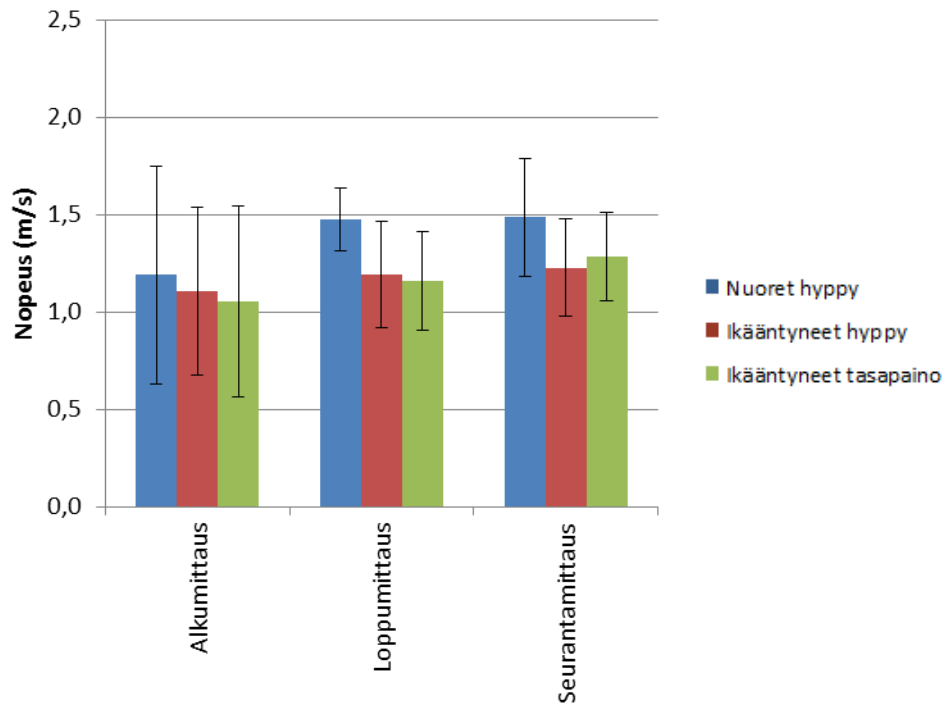
Kuva 18. Pudotushypyn eksentrisen voimantuotto (N/kg ruumiin paino). Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä.



Kuva 19. Pudotushypyn konsentrinen voimantuotto (N/kg ruumiin paino). Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä.



Kuva 20. Hyppykorkeuden muutos metreinä. Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä.



Kuva 21. Voimantuottonopeus. Tasapainoryhmä on kontrolliryhmä.

Taulukoista 4 ja 5 on nähtävissä pudotushypyn parametrien tilastollisesti merkitsevät erot ryhmien välisessä vertailussa. Näistä on havaittavissa erityisesti nuorten naisten hyppyryhmän erot ikääntyneiden ryhmiin, (taulukko 4) sekä loppumittauksissa nuorten naisten ja muiden ryhmien väliset erot (taulukko 5). Seurantamittauksissa nähdään myös nuorten naisten ryhmän harjoitteluvaikutusten pysyvyys kontrolliryhmään verrattuna (taulukko 5)

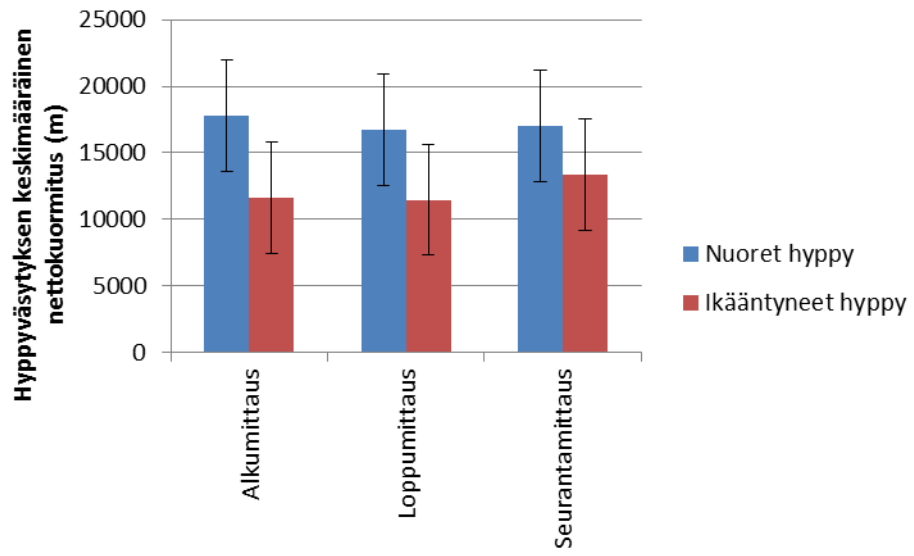
Taulukko 5. Pudotushyppäjien ryhmien väliset tilastolliset merkitsevyydet eri testikerroilla.

* p-arvo < 0,05, ** p-arvo < 0,01, *** p-arvo < 0,001.

Mittaus	Ryhmävertailu		Eksent- rinen aika	Eksent- rinen voima	Konsen- trinen aika	Konsen- trinen voima	Eksent- rinen voima N	Hyppykor- keuden muutos	Nopeus	Konsen- trinen voima N
Alku- mittaus	nuoret hyppy	seniori hyppy	-		-	-	-	-	-	-
		kontrolli- ryhmä	-	*	-	-	-	-	-	-
	seniori hyppy	nuoret hyppy	-	-	-	-	-	-	-	-
		kontrolli- ryhmä	-	-	-	-	-	-	-	-
Loppu- mittaus	nuoret hyppy	seniori hyppy	-	-	-	-	-	*	*	**
		kontrolli- ryhmä	-	-	-	-	-	**	**	***
	seniori hyppy	nuoret hyppy	-	-	-	-	-	*	*	**
		kontrolli- ryhmä	-	-	-	-	-	-	-	-
Seuranta- mittaus	nuoret hyppy	seniori hyppy	-	-	-	-	-	-	-	-
		kontrolli- ryhmä	-	-	*	-	-	-	-	***
	seniori hyppy	nuoret hyppy	-	-	-	-	-	-	-	-
		kontrolli- ryhmä	-	-	-	-	-	-	-	-

5.2.3 Hyppyväsytyksen kuormituksen arviointi

Testeissä hyppäjien avulla suoritettujen väsytyskuormituksen suuruuden arviointi on esitetty kuvassa 22. Kuormitus laskettiin kertomalla hyppykorkeus hyppäisiin käytetyllä ajalla, jolloin saadaan arvio kokonaiskuormitukselle ryhmälle. Mittauskertojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Ikääntyneiden tasapainoryhmälle väsytyskuormitusta ei suoritettu.



Kuva 22. Hyppyväsytyksen kuormituksen määrä.

6 POHDINTA

Tutkimuksessa havaittiin yleisesti nuorten naisten ryhmän paremmat harjoitteluvasteet ikääntyneiden ja kontrolliryhmän ikääntyneisiin naisiin verrattuna. Eroja havaittiin erityisesti kyykky- ja pudotushyppyjen osalta. Verimuuttujissa ei systemaattisia trendejä havaittu, vaikka joitain tilastollisesti merkitseviä eroja alku- ja loppumittausten välillä esiintyikin. Lisäksi verinäytteistä oli havaittavissa luonnollisia vanhenemisesta johtuvia eroja nuorten ja ikääntyneiden ryhmien välillä. Ikääntyminen onkin fysiologisesti tärkein selittävä tekijä kehossa tapahtuville lihaksistollisille muutoksille. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että se tapahtuu kaikilla samaan aikaan tai että vaikutukset olisivat yhtä suuret. Urheilijoilla ikääntymisen vaikutukset voimantuottoon eivät ole yhtä dramaattisia, joka vihjaa muihinkin mahdollisiin tekijöihin. Ikääntyessä tapahtuvien yleisten fysiologisten muutosten lisäksi päivittäisen fyysisen aktiivisuuden väheneminen elämäntavan muuttumisen takia on tärkeässä roolissa (Häkkinen & Häkkinen 1991; Radcliffe & Farentionos 1999, sivu 12). Esimerkiksi perheeseen, työuraan tai muuhun aikaa vievään toimintaan panostaminen on pois oman ruumiinkunnon harjoittamisesta.

Leppäsen (1999) Pro gradu -tutkielmassa havaittiin yhteys yhden vuoden kestoisen plyometriaharjoittelun ja esikevennetyn hypyn nousukorkeuden ja sprinttijuoksun välillä postmenopausaalisilla naisilla. Sen sijaan alaraajojen ojennustehoon vaikutusta ei yllättäen havaittu. Leppäsen käyttämä harjoittelujakson pituus on epätavallisen pitkä ja miltei poikkeuksetta plyometrinen harjoittelujaksojen pituudet lasketaan viikoissa, ei kuukausissa (Blackwood 2005).

Yksittäisten tutkimusten tilastollinen voima on usein riittämätön ja heikommat yhteydet jäävät helposti löytämättä. Meta-analyysi tarjoaa mahdollisuuden suurempaan tilastolliseen aiheistoon, kuten Markovic (2007) työsssänsä korosti. Pieni aineisto muodostui haasteeksi myös tässä työssä, sillä ryhmien tutkittavien määrät ryhmissä olivat pieniä, alle kymmenen

henkilöä. Pienissä aineistoissa tilastollisten merkittävyksien kuvaaminen pelkkien symbolien avulla ei aina anna havainnollista kuvaa tuloksista. Niissä voi näkyä selkeästi tilastollisesti merkittävämpiä yhteyksiä (p-arvo lähellä 0.05) mutta näitä ei nosteta esiin. Lukuarvo 0.05 on kuitenkin vain sopimuksellisesti määritelty merkitsevyystaso. Esimerkiksi tässä työssä nuorten hyppyryhmän pudotushyppyjen testikertojen välisten muutosten p-arvot olivat muita ryhmiä lähempänä ensimmäistä tilastollista merkitsevyystasoa $p < 0.05$.

6.1 Harjoitusjakso

Tutkimuksessa käytetty harjoitusjakso räätälöitiin sopimaan erityisesti ikääntyneille naisille, joilla suuri-intensiteettiset pudotushypyt voisivat olla liian vamma-alttiita. Tutkimuksen harjoitusjakson ohjauksen suorittivat Kajaanin ammattikorkeakoulun opiskelijat ja hyppyharjoittelu suoritettiin kelkkaergometrilla. Erityisen tärkeää on suorittaa harjoitusjakson hypyt aidon plyometrisesti, muuten juuri räjähtävien ominaisuuksien kehittäminen kärsii ja harjoittelu voidaan laskea vain alaraajojen yleiseksi voimaharjoitukseksi. Harjoitusjakson aikana kontaktiaikaa seurattiin silmävaraisesti ponnistushetken polvikulmaa seuraten ja täyttä varmuutta hypyn kontaktiajan riittävästä lyhydestä ei täten ole. Ikäihmisillä on myös tyypillisesti vaikeuksia saada tarpeeksi lyhyitä kontaktiaikoja. Ponnistukset ohjeistettiin kuitenkin tehtäväksi mahdollisimman terävästi.

Erot plyometrian harjoitusvasteita tarkastelevien tutkimustulosten välillä ovat usein todennäköisimmin seurausta mm. eroista käytetyissä harjoitteissa, harjoittelujakson pituudessa, tiheydessä, määrässä ja tehossa (Markovic 2007). Tämän tutkimuksen kuuden viikon harjoittelujakso on kestoaltaan keskimääräistä lyhyempi. Tosin plyometria harjoittelun vaikutukset ovat lihaksen koon kasvun sijaan pääosin hermostollisia ja hermostollinen kehitys tapahtuu juuri harjoittelun alkuvaiheessa (Moritani & DeVries 1979). Tieteellisessä kirjallisuudessa on käytetty hyvin vaihtelevia plyometria harjoitusjaksoja ja standardoitua harjoitusjaksoa ei ole olemassa. Onkin käytännössä mahdotonta löytää täsmälleen samanlaista harjoitteluohjelmaa jota olisi käytetty jossain toisessa tutkimuksessa. Yksi

mahdollisuus vertailtavuuden parantamiseksi olisi käyttää harjoittelujaksoa toisesta julkaistusta tutkimuksesta, mikäli tämän harjoitusjakson sisältö on suunniteltavana olevaan tutkimuskysymykseen soveltuva. Yleisiä linjoja harjoittelun jaksottamisesta ja harjoittelun jälkeisiä optimaalisia palautumisaikoja voidaan kuitenkin käyttää myös plyometriaharjoittelun harjoitteluohjelman luomiseen (Weis ym. 2003), kuten tässäkin työssä tehtiin.

Harjoittelujakson vaihtelulla on varmasti vaikutusta yksittäisiä tutkimuksia vertailtaessa, mutta meta-analyysit kuitenkin näyttävät suurimman osan tutkimuksista päätyvän tulosten osalta samoihin suuruusluokkiin (De Villarreal ym. 2009; Markovic 2007). Pääajatuksena voidaan pitää harjoittelujakson edetessä harjoitteiden määrän vähentämistä ja intensiteetin lisäämistä, jota kutsutaan Matveyev:n malliksi (Weis ym. 2003). Tällöin harjoittelun lopussa vähennetään kuormituksesta aiheutuvaa väsymystä ja lisätään adaptaatiota. Ebben ryhmineen (2010) tutki plyometriaharjoittelujakson rytmittämistä (periodisaatiota) ja havaitsi harjoittelumäärän volyymin 40-60 % pudottamisella harjoittelujakson loppua kohden (sadasta hypystä kuuteenkymmeneen hyppyyn) olevan hyppyykorkeutta ja huippuvoimaa parantava vaikutus. Lisäksi vaikutus ei näyttänyt katoavan 2-10 päivän mittaisella harjoituskauden jälkeisellä lepojaksolla. Toisaalta harjoitusmäärän vähentäminen näyttää olevan tehokkaampi keino (koeryhmällä 25.0 % parannus hyppyykorkeuteen) kuin harjoittelukauden jälkeen pidetty kymmenen päivän (Gibala ym. 1994) tai neljän viikon palautusjakso (Izquierdo ym. 2007). Blackwood (2005) ehdotti, että pudotushyppyharjoittelu tulisi lopettaa kymmenen päivää ennen tärkeää kilpailua. Tässä pro gradu työssä tutkittavat jatkoivat harjoittelua lopputestipäivään asti.

Cadore ym (2013) tutkivat eri harjoitusmäärien vaikutusta fysiologisiin vasteisiin, kuten laktaatti- ja kortisolipitoisuuksiin harjoituksen jälkeen, mutteivät havainneet eroja sadan, kahden sadan ja kolmen sadan hypyn ryhmien välillä. Tämä vihjaisi siihen, että jo pienet hyppymäärät aiheuttavat selviä fysiologisia vasteita kehossa.

Puhtaasti hermostollista optimisuoritusta ajatellen palautumisaikojen olisi tullut olla pidempiä niin mittausten testeissä kuin harjoittelujaksolla. Testeissä suoritettiin pudotushypyt kuuden hypyn sarjoissa, ja sarjojen välillä oli palautusaikaa n. 30 sekuntia. Radcliffe ja Farentinos (1999, sivu 34) suosittavat keskirasittavien plyometriasarjojen välillä 30-60 sekunnin palautumisaikaa. Koska kuitenkin kaikille tutkittaville palautumisajat mittauksissa olivat yhteneväiset, vaikutus tuloksiin ei pitäisi olla dramaattinen. Tärkeintä onkin harjoitusjaksolla käytettyjen sarjojen välinen palautumisaika (tässä työssä käytettiin 2-3 min), jotta harjoituksilla olisi positiivisia vaikutuksia tutkittaville.

Tutkittavien ikä, sukupuoli, kuntotaso ja epidemiologisissa tutkimuksissa yleisesti esiintyvät sekoittavat tekijät (tupakointi, paino, alkoholin käyttö, sosioekonominen status ym.) luonnollisesti voivat vaikeuttaa tutkimusten vertailua. Nämä voidaan myös ottaa huomioon tilastollisessa analyysissä. Tässä tutkimuksessa näitä suureita ei kuitenkaan kvantifioitu.

6.2 Hyppymittaukset

Tulokset kyykky- ja pudotushypystä ovat samansuuntaisia. Nuorten hyppyryhmällä havaittiin selkeä parannus hyppymuuttujissa (etenkin eksentrisen ja konsentrisen aikojen lyhenemiset) alku- ja loppumittausten välillä. Ikääntyneiden hyppyryhmällä vaikutus oli nähtävissä, mutta se oli vaatimattomampi. Kontrolliryhmällä tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei havaittu.

Vertikaalin hyppykorkeuden mittauksen määrittämistä ei ole yleisesti standardoitu, mutta siihen on useita vaihtoehtoisia menetelmiä, sillä se seuraa yksinkertaista ja hyvin ennustettavissa olevaa fysikaalista ilmiötä, yleistä heittoliikettä. Hyppyjen mittaus ja analysointi asettaa kuitenkin omat haasteensa. Yhtenä ongelmana oli, että harjoitusjakson ohjaajat olivat eri henkilöitä kuin testien mittaajat. Tällöin hyppyharjoitteiden erilaisuus testitilanteen ja harjoitusjakson hypyissä tuo tutkimukseen mahdollisen virhelähteen. Myös ohjeistajan vaihtuminen testeissä ja kannustuksen määrän erot aiheuttavat potentiaalisen virhelähteen.

Campillo ym (2012) tutkivat seitsemän viikon plyometriaharjoittelun vaikutusta räjähtäviin ominaisuuksiin sekä optimaalista pudotuskorkeutta. He havaitsivat muiden tutkimusten tapaan merkittävän parannuksen räjähtäviin ominaisuuksiin, mutta havaitsivat myös että alustalla on vaikutus optimaaliseen voimantuottoon räjähtävissä ponnistuksissa. Käytettäessä kovaa alustaa, paras voimantuoton lisäys ei saatukaan tutkimuksen suurimmalla harjoittelumäärällä. Tämän tutkielman mittauksissa alustana oli metallinen voimalevy jota voidaan pitää kovana ponnistuslujana. Voidaan vain spekuloida onko tässä tutkielmassa kovan alustan merkitys voimantuottoa vähentävä, mutta harjoitusjakson ollessa suhteellisen lyhyt (tässä harjoitusjaksona neljä viikkoa), ei alustan vaikutus todennäköisesti nouse kovin merkittäväksi.

Hyppyväsytyksen kuormittavuutta arvioitaessa (kuva 23) on oletettu, että hyppyfrekvenssi pysyy vakiona ja täten kuormituksen suuruutta voidaan arvioida yksinkertaisesti kertomalla tavoitehyppykorkeus (ensimmäiset kaksi minuuttia 70% ja jälkimmäiset kaksi minuuttia 90% pudotushypyn maksiminousukorkeudesta) ajalla jonka tutkittava kykeni hyppäämään tavoitekorkeuteen. Tämä kuvastaa väsytyksen kokonaiskuormitusta. Väsytyskuormituksessa ei havaittu suuria muutoksia testikertojen välillä, joka tarkoittaa että tutkittavilla ei tapahtunut kehitystä kestävyuden osalta. Heti hyppyväsytyksen jälkeen otetuissa mittauksissa erityisesti nuorilla oli nähtävissä laskeva trendi laktaattipitoisuudessa (kuva 10 tuloksissa), vaikka hyppyominaisuudet olivat parantuneet. Mahdollisena selityksenä voi olla, että ensimmäisellä mittauskerralla nuoret pystyivät samaan hyppyväsytyksessä itsestensä enemmän irti. Vaihtoehtoinen selitys on, että hyppyharjoittelu olisi vähentänyt laktaatin kertymistä (Tofas yms. 2008).

6.2.1 Kyykkyhyppy

Kyykkyhypyn muuttujat noudattivat normaalijakauman tilastollisia kriteerejä. Tilastollisesti merkittävät parannukset havaittiin nuorten hyppyryhmän kohdalla. Iäkkäiden naisten hyppyryhmällä muutokset olivat maltillisempia ja kontrolliryhmällä vielä vähäisemmät, käytännössä mitättömät. Tästä voidaan johtaa hypoteesi, että räjähtävän voimantuoton

kehittyminen iäkkäillä naisilla on nuoria heikompaa. Samansuuntaisia päätelmiä ovat ehdottaneet aiemmin kirjallisuuskatsauksessa esitellyt Skelton ym. (1994), Frontera ym. (2000), Metter ym. (1998), Cardasis & LaFontaine (1987), Delbono ym. (1997), Obata ym. 2010 ja Kawashima ym. (2004). Olisi myös tärkeää selvittää oliko harjoitusjakso yksinkertaisesti liian lyhyt tai olivatko harjoituksissa käytetyt liikkeet oikeita tuottamaan positiivista vastetta. Sinällään kyykkyhyppy oli tämän työn hypyistä selkeästi helpoiten standardoitavissa. Myös oppimisen aiheuttaman vaikutuksen kyykkyhypyssä pitäisi olla vähäisempi kuin pudotushypyssä. Täten kyykkyhyppyä voidaankin pitää luotettavana mittarina voimaominaisuuksien muutoksiin.

Tässä tutkimuksessa nuorten naisten jokaisella kyykkyhyppymuuttujilla tapahtui tilastollisesti merkittävää parannusta loppumittauksen ja seurantamittauksen välillä. Iäkkäillä vastaavaa ei havaittu. Tähän voi olla selityksenä se, että iäkkäiden naisten harjoitusvasteet kyykkyhypyssä olivat nuoria pienemmät ja siten seurantajaksolle tulosparannuksetkin ovat vähäisempiä. Lubbers ym. (2003) havaitsivat neljän ja seitsemän viikon pituisten plyometrinen harjoitusjaksojen olleen yhtä tehokkaita hyppykorkeuden ja anaerobisen voiman kehittäjiä. Suurin ero oli, että seitsemän viikon harjoitusjakson vaikutus säilyi pitempään.

6.2.2 Pudotushyppy

Pudotushyppyjen muuttajat noudattivat kaikki normaalijakauman tilastollisia kriteerejä. Tilastollisesti merkittävät vaihtelut havaittiin erityisesti konsentrisen ajan yhteydessä. Ryhmien välisessä vertailussa nuorten hyppyryhmä oli ikääntyneitä merkittävästi parempia etenkin hyppykorkeuden muutoksen, nopeuden ja konsentrisen voimantuoton alueilla, mutta myös muut pudotushypyn muuttajat nuorilla olivat lähellä tilastollista merkittävyydestä. Pudotushyppyjen tuloksista voidaan vetää olettaen, että nuoret reagoivat iäkkäitä paremmin plyometriseen harjoitteluun. Sáez De Villarreal (2010) havaitsivat kolmen ikäryhmän naisia vertaillessaan keski-ikäisten ja ikääntyneiden parantaneen eniten hyppykorkeutta matalaintensiteettisen plyometrisen harjoitusjakson ansiosta. Sáez De

Villarrealin ryhmän löydös on vastakkainen tämän tutkimuksen kanssa. Selityksenä erolle voi olla harjoitusjakson intensiteetin ero näissä kahdessa tutkimuksessa.

Tuloksista havaittu hyppyryhmien (erityisesti nuorten hyppyryhmän) eksentrisen ja konsentrisen ajan lyheneminen viittaisi siihen, että alaraajojen räjähtävät ominaisuudet ovat kehittyneet (kuvat 16 ja 17). Voimantuottonopeudessa ei kuitenkaan tilastollista merkittävyyttä mittauskertojen välillä havaittu. Eksentrisen voimataso oli molemmilla ikäryhmillä samankaltainen, mutta nuorilla konsentrisen voimantuotto oli iäkkäämpiä suurempi (kuva 19). Nuorten parempi konsentrisen voimantuottaminen on nähtävissä iäkkäitä suurempina parannuksin hyppykorkeuteen ja voimantuottonopeuteen (kuvat 20 ja 21).

Pudotushypyn suorittaminen ja mittaaminen on monessa mielessä kyykkyhyppyä haasteellisempaa. Tämän tutkielman mittauksissa optimaalinen pudotuskorkeus määritettiin nostamalla kelkkaergometrin pudotuskorkeutta aina 10 cm:n korkeammalle mikäli pudotushypyn nousukorkeus kasvoi. Ajatuksena oli, että jossain kohtaa tulee vastaan raja jolla hypyn energiaa ei enää pystytä siirtämään ponnistuksen energiaksi, vaan energia sitoutuu lähinnä lihas-jänne-kompleksin lämmöksi. Suurella osalla tutkittavia tämä pudotuskorkeuden määritysmenetelmä toimi hyvin, mutta osalla tutkittavista oli vaikeuksia saada ponnistus riittävän räjähtäväksi, ja polvikulma ponnistushetkellä pääsi putoamaan alle 120 asteen. Polvikulmaa seurattiin sekä kelkkaergometriin kytketyltä näyttöpäätteeltä, että pudotuskelkan visuaaliselta mitta-asteikolta ja näiden avulla ohjeistettiin tutkittavaa seuraavaan suoritukseen. Lisäksi tutkittavilla joilla pudotuskorkeus oli huomattavan matala ja ponnistuksen ajoittaminen tuotti ongelmia ja tämä taas aiheutti hajontaa nousukorkeuksiin.

Markovic (2007) meta-analyysissään ehdotti hyppytekniikkaerojen selittävän erot eri tulosten välillä. Tämä oli myös havaittavissa tämän tutkimuksen testien mittauksissa. Toisille tutkittaville pudotushypyt onnistuivat helposti, toisille taas ohjeistusta jouduttiin antamaan enemmän joka voi muuttaa hypyn tekniikkaa siten että hyppysuoritusten

vertailtavuus huononee. Yleisesti ohjeistettiin ponnistamaan ikään kuin ponnistusalue olisi kuuma ja tavoittelemaan pikemminkin mahdollisimman nopeaa ponnistusta kuin tavoittelemaan maksimikorkeutta. Mikäli tutkittavalla polvikulma putosi järjestelmällisesti liian alas, ohjeistukseen liitettiin esijännitys ja ojennus nilkkoihin, jotta riittävän räjähtävä ponnistus saatiin aikaiseksi. Tämän seurauksena yleensä tutkittava kykeni tuottamaan hyväksyttävän suorituksen, mutta huomio kiinnittyi enemmän polvikulman kuin itse ponnistukseen. Koska kuitenkin hyväksytyistä pudotushypyistä (polvikulma $120^{\circ} \pm 2^{\circ}$) analysoitiin kuitenkin juuri maksimi nousukorkeus, voi olla että osalla ei pudotushypyn ponnistus ollut maksimaalinen ja tämä siten voi vaikuttaa hyppyjen nousukorkeuksiin.

Koska pudotushyppy voi olla myös vammaherkkä harjoitusmenetelmä ja lisäksi teknisesti hankalasti standardoitavissa (Bobbert 1990), käytimme tämän tutkimuksen mittauksissa kaltevassa tasossa laskeutuvaa kelkkaergometriä. Lisäksi tämä vähentää varsinkin vanhemmilla tutkittavilla ylisuurista kuormista johtuvia vammoja ja helpottaa ponnistuksen ajoitusta. Lisäksi ponnistus on teknisesti paremmin standardoitavissa ja mitattavissa. Pääosa tutkittavan voimantuotosta kelkkaergometrissä tulee polven ojennuksesta. Myös nilkan ojennus esijännityksessä ja ponnistuksen viimeisessä vaiheessa ovat tärkeässä osassa. Pudotuskelkassa suoritettussa harjoitteessa lantion ojennuksen rooli on vähäisempi kuin pudotushypyssä, joka vähentää hyppytekniikan merkitystä ja näin parantaa tulosten vertailtavuutta.

Toisin kuin kyykkyhyppyissä, pudotushyppyjen muuttujien tulostaso loppu- ja seurantamittausten välillä ei tässä tutkimuksessa laskenut merkittävästi kummallakaan ikäryhmällä, Tämä voi selittyä hyppytekniikan oppimisen vaikutuksena. Pudotushyppy on kyykkyhyppyä huomattavasti teknisempi ja herkempi suorite jossa aiemmin suoritettut toistot voivat parantaa seurantamittauksen tuloksia.

6.3 Fysiologiset mittaukset

Verinäytteenotto testitilanteessa suoritettiin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti ongelmitta. Nuorten ryhmän heti väsytyksen jälkeisessä näytteessä erään tutkittavan punasolujen pitoisuus $23 \times 10^{12}/l$ poikkeaa selkeästi muiden tutkittavien arvoista (muut arvot välillä $4-5 \times 10^{12}/l$). Tämä vääristi ryhmän jakaumaa ja nosti selkeästi keskiarvoa. Siksi tätä yksittäistä poikkeavaa mittaustulosta ei laskettu mukaan tuloksiin. Kyseessä on todennäköisesti joko näppäilyvirhe tai laitehäiriö.

Valko- ja punasolujen pitoisuudet eivät vaihdelleet merkittävästi mittauskertojen välillä. Hemoglobiinissa on havaittavissa molemmilla ikäryhmillä lievä kasvava trendi mittauskertojen välillä, joista ikääntyneillä myös tilastollisesti merkittävä muutos. Myös Serkan ym. (2012) havaitsivat 12 viikon plyometriaohjelmajakson lisäävän hemoglobiinipitoisuutta ja hematokriittia, mutta ei muita pienen veren kuvan muuttujia. Tässä tutkimuksessa palautusjakso näytti vaikuttavan lähinnä verimuuttujiin (kuvat 7-12), sillä verimuuttujissa nähtiin eniten tilastollisesti merkitseviä eroja alku- ja seurantamittausten välillä (mm. hemoglobiinin nousut ja glukoosipitoisuuden laskut).

Verihiutaleiden pitoisuudessa nuorilla havaittiin tilastollisesti merkitsevä pitoisuuden lasku alku- ja loppumittausten, sekä alku- ja seurantamittausten välillä. Tämä tuskin selittyy voimaharjoittelulla, sillä Ahmadizad & El-Sayed (2003) mukaan voimaharjoittelun pitäisi päinvastoin lisätä verihiutaleiden määrää. Tuoreessa tutkimuksessa Hossein & Monireh (2012) tutkivat koripalloilijoilla plyometriaohjelmajakson vaikutuksia pienen veren kuvan verimuuttujiin, eivätkä löytäneet tilastollisesti merkitseviä muutoksia muille kuin hemoglobiinipitoisuuden alenemiselle harjoituksen jälkeen. Tutkijaryhmän löydös on taas ristiriidassa tämän tutkimuksen tulosten kanssa jossa hemoglobiinipitoisuus nimenomaan nousi.

Tuloksissa sekä nuorilla että ikääntyneillä nähtiin glukoosipitoisuuden laskeminen mittauskertojen välillä. Kortisolin tunnetaan aiheuttavan glukoositasoa laskua (Brown &

Brown 2003), mutta tutkimuksessa mitatuista kortisolitasoista ei ole selittäjäksi glukoositason laskuun, sillä kortisolipitoisuuden vaihtelu oli mittausjaksojen välillä pientä. Anabolinen hormoni insuliini taas laskee glukoositasoa (McArdle 2007, sivu 584) mutta plyometriaharjoittelun ei pitäisi olla niinkään anabolista, vaan hermostollista, joten tämäkään mekanismi ei tarjoa tyydyttävää selitystä. Todennäköisesti vaikutukset ovat peräisin jostain muusta harjoittelujaksoon liittyvästä elämäntapa tekijästä, esimerkiksi tutkittavien ravitsemustaso, kuin plyometrisesta harjoittelusta.

Häyrynen & Vänttinen (2000) havaitsivat plyometrisen harjoittelujakson aiheuttavan kreatiinikinasipitoisuuden vain vähäisiä muutoksia. Tämä johtopäätös on yhtenevä tämän tutkimuksen verestä mitattujen muuttujien kanssa. Myöskään kortisolipitoisuudessa ei nähty merkitseviä eroja mittauksen välillä, mutta IL 6 pitoisuudet olivat ikääntyneillä naisilla nousseet tilastollisesti merkitsevästi seurantamittauksiin.

Verimuuttujista glukoosi-, laktaatti ja IL6 pitoisuuksissa havaittiin loppu- ja seurantamittausten välillä tilastollisesti merkittävät muutokset. Glukoosin kohdalla molemmilla ryhmillä pitoisuudet pienenevät ja IL6 tapauksessa ikääntyneillä pitoisuus nousi seurantamittaukseen. Nuorilla laktaattipitoisuus laskee tilastollisesti merkittävästi loppumittauksesta seurantamittaukseen. Ensimmäisellä testikerralla nuoret mahdollisesti kykenivät viemään väsytyssuorituksen pidemmälle.

6.4 Tottumisen ja oppimisen vaikutus

Merkille pantavaa on myös, että plyometriaharjoittelun positiiviset vaikutukset vaativat ylläpitävää harjoittelua. Winters & Snow (2000) tutkimuksessa kuuden kuukauden seurantajakso kumosi harjoittelusta hankitut hyödyt voimassa ja luun tiheydessä. Tämän takia ylläpitävää harjoittelua voidaankin pitää erittäin suositeltavana. Tämän tutkimuksen seitsemän viikon palautusjaksolla ei ollut dramaattisia vaikutuksia analysoituihin pudotushyppy- ja verimuuttujiin, mutta nuorten kyykkyhyppytulokset heikkenivät seurantamittauksessa. Palautumisjakson vaikutukset oli nähtävissä paremmin

verimuuttujissa, esim. IL-6, lymfosyytti- ja hemoglobiinitasojen nousut ikääntyneillä (testipäivän ensimmäisessä näytteessä) sekä laktaatti- ja glukoositasojen laskut nuorilla (heti hyppyväsytyksen jälkeen otetuissa näytteissä). Näistä erityisesti hemoglobiinitason nousu sekä laktaattitasojen laskut voidaan tulkita positiivisiksi harjoitusvasteiksi.

Mittauksissa oppimisen vaikutus näkyi selkeästi pudotushyppyjen kohdalla loppu- ja seurantamittauksissa missä tutkittavat kykenivät vähemmällä ohjeistuksella löytämään tavoitteen polvikulman ponnistuksessa. Tällä voi olla vaikutusta tuloksiin, erityisesti seurantamittausten tuloksia nostavana tekijänä.

Kuvien 12 ja 13 lentoaikoja vertailtaessa havaittu ikääntyneiden ryhmän parantunut suorituskyky voidaan myös selittää oppimisen vaikutuksella. Hyppyväsytykset toimivat ikääntyneillä mahdollisesti sopivana harjoitteluna ja lämmittelyä kyykkyhypyn ponnistukseen. Tämä oli myös kuultavissa koehenkilöiden välittömässä palautteessa väsytyksuorituksen jälkeisten hyppyjen suorituksen jälkeen.

6.5 Plyometriaharjoittelun terveysvaikutukset

Plyometriaharjoittelu parantaa alaraajojen lihasten hermostollista toimintaa ja raajojen kykyä reagoida nopeasti muuttuviin tilanteisiin. Tämä toimii primaaripreventiona kaatumisia vastaan. Sekundaaripreventiona voidaan pitää plyometriaharjoittelun suotuisaa vaikutusta luun tiheyden kasvamiseen joka taas pienentää osteoporoosiriskiä (Markovic ja Mikulic 2010; Winters & Snow 2000) ja tästä johtuvaa vammojen todennäköisyyttä kaatumistapauksissa. Näiden kahden hyödyllisen vaikutuksen takia räjähtävien harjoitteiden, kuten plyometriaharjoitteiden, tutkiminen on yhteiskunnallisesti ja sosiaalisesti hyödyllistä.

Kaikki hyppyyihin keskittyneet tutkimukset eivät ole kuitenkaan pystyneet havaitsemaan em. terveyshyötyjä (mm. Basse & Ramsdale 1994; Basse ym. 1998; Heinonen ym. 1996), ja

parhaimmat vasteet niin voimantuottoon kuin luun tiheyden kasvuun näytettäisi saatavan yhdistetystä alaraajojen voima- ja plyometriaharjoittelusta (Winters & Snow 2000). Vaihdevuoden aikana naisilla tapahtuvaa merkittävää luun tiheyden pienenemistä ei pystytä pelkästään harjoittelulla estämään (Kohrt ym. 2004). Estrogeenihoidolla saavutetaan jonkin verran etua vaihdevuosien aikana (Leppänen 1999).

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielma tavoitteena oli syventää ymmärrystä erityisesti iäkkäiden naisten vasteista plyometriseen harjoitteluun.

Verimuuttujat

Hyppyharjoituksen vaikutukset verimuuttujiin olivat vaihtelevia, mutta pääosin vähäisiä. Tilastollisesti merkittävää vaikutusta nähtiin parhaiten laktaatti- ja glukoosipitoisuuden osalta, ja jonkin verran verihiutale- ja IL6 pitoisuuksissa. Ikääntyneiden ja nuorten väliset erot olivat selvimmän nähtävissä verihiutaleiden, valko- ja punasolujen osalta (ikäntyneillä alhaisemmat pitoisuudet), sekä IL6 ja kreatiinikinaasin osalta (ikäntyneillä korkeammat pitoisuudet). Seurantamittauksessa nuorilla havaittiin tilastollisesti merkittävinä muutoksina laktaattitasojen lasku ja ikääntyneillä hemoglobiinipitoisuuden kasvu.

Kyykkyhyppy

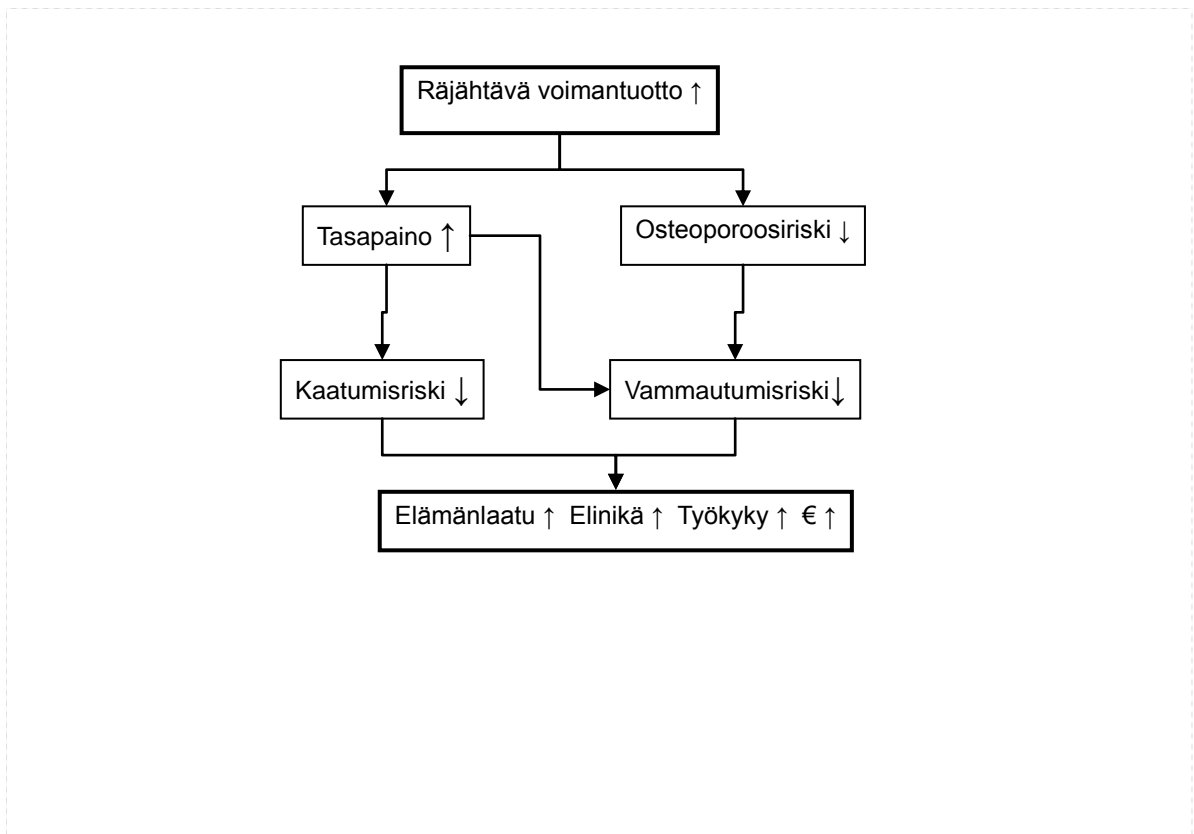
Koska kyykkyhypyn mittaaminen on kohtalaisen mutkatonta, voidaan erityisesti kyykkyhypyn tuloksista voidaan vetää johtopäätös, että nuoret reagoivat iäkkäitä paremmin plyometriaharjoitteluun. Seitsemän viikon jälkeen suoritettussa seurantamittauksessa nuorilla naisilla kyykkyhypyn tulostaso heikkeni. Ikääntyneillä ei vastaavaa havaittu.

Pudotushyppy

Pudotushypyn suorittaminen on teknisesti kyykkyhyppyä haasteellisempaa ja mittaukset kyykkyhyppyä monimutkaisempia. Pudotushyppyjen tulokset kuitenkin ovat kyykkyhypyn kanssa samansuuntaisia, nuoret näyttävät reagoivan harjoitteluun iäkkäitä naisia paremmin, vaikkakin mitatuilla biomekaanisilla muuttujilla molemmilla hyppyryhmillä tapahtui suotuisaa kehitystä. Seitsemän viikon jälkeen suoritettussa seurantamittauksessa suuria tulostason alenemia pudotushypyn muuttujissa ei havaittu.

Mahdollisia jatkotutkimuksia

Ikääntyneiden räjähtävän voiman harjoittelun vaikuttavuutta ja yhteiskunnallista merkittävyyttä voitaisi tutkia rakentamalla probabilistinen laskentamalli arvioimaan harjoittelusta saatuja hyötyjä (esim. terveydellinen, taloudellinen, yhteiskunnallinen). Kuvan 24 mind map -kaavio voisi toimia lähtökohtana probabilistiselle mallille johon voidaan lisätä jo olemassa olevaa altistus-vastetietoa joita on esitelty tämän tutkielman kirjallisuuskatsauksessa (mm. Haug ym. 1995; Markovic ja Mikulic 2010; Winters & Snow 2000; Malisoux 2006b; Whipple ym. 1987; Aniansson ym. 1984; Skelton ym. (1994)). Laskentamallin avulla voitaisi hyöty muuntaa kvantitatiiviseen muotoon, joka olisi paremmin käytettävissä liikuntasuosituksen suunnittelussa ja päätöksenteossa.



Kuva 24 Räjähtävän voimantuoton terveyshyödyt ikääntyneillä naisilla

8 LÄHTEET

Adams, K., O'Shea, P. & O'Shea, KL.1999. Aging: It's effects on strength, power, flexibility and bone density. National strength and conditioning association. Volume 21, number 2, pages 65-77.

Ahmadizad, S. & El-Sayed, MS. 2003. The effect of graded resistance exercise on platelet aggregation and activation. *Med Sci Sports Exerc*, Jun 35(6): 1026-32.

Alberts, B. 2005. Leukocyte functions and percentage breakdown. *Molecular Biology of the Cell*. NCBI.

Aniansson, A., ym. 1984. Impaired muscle function with aging: A background factor in the incidence of fractures of the proximal end of the femur. *Clinical Orthopedics and Related Research*, 191, 193–201.

Arabatzi F, Kellis E, & Saèz-Saez De Villarreal E. 2010. Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, ja combined (weight lifting + plyometric) training. *J Strength Cond Res*. 2010 Sep;24(9):2440-8.

Arce, JC. & De Souza, MJ. 1993. Exercise ja male factor infertility. *Sports Med*. 15:146-169.

Armstrong, AW. & Golan DE. 2008. Pharmacology of Hemostasis ja Thrombosis. In David E. Golan, Armen H. Tashjian, Ehrin J. Armstrong ja April W. Armstrong. *Principles of pharmacology: the pathophysiologic basis of drug therapy*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. p. 388.

Barber-Westin, SD., Smith, ST., Campbell, T., & Noyes, FR. 2010. The Drop-Jump Video Screening Test: Retention of Improvement in Neuromuscular Control in Female Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* , 3055-3061.

Bassey, EJ., Fiatarone, MA., ja O'Neill, EF. 1992. Leg extensor power ja functional performance in very old men ja women. *Clin. Sci. (Lja)*. 82:321-327.

Bassey, EJ., & Ramsdale, SJ. 1994. Increase in femoral bone density in young women following high-impact exercise. *Osteoporos Int* 4:72–75.

Bassey, EJ., Rothwell, MC., Littlewood, JJ., Pye, DW. 1998. Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high-impact exercise. *J Bone Miner Res* 13:1805–1813.

Bawa, P., Chalmers, GR., Stewart, H., & Eisen, AA. 2002. Responses of ankle extensor ja flexor motoneurons to transcranial magnetic stimulation. *J. Neurophysiol.* 88:124-132.

Behm & Kibele. 2007. Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *Eur J Appl Physiol.* 2010:587-594.

Beneka AG, Malliou PK, Missailidou V, Chatzinikolaou A, Fatouros I, Gourgoulis V, & Georgiadis E. 2013. Muscle performance following an acute bout of plyometric training combined with low or high intensity weight exercise. *J Sports Sci.* 2013;31(3):335-43.

Berg, IJ., Enqvist, JK, Mattason, CM., Carlsson-Skwirut, C., Sundberg, CJ., Ekblom, B., & Bang, P. 2008. Lack of sex differences in the IGF-IGF BP response to ultra endurance exercise. *Scja. J. Med. Sci. Sports.* 18:706-714

Berk, LS., Tan, SA., & Berk, D. 2008. Cortisol ja Catecholamine stress hormone decrease is associated with the behavior of perceptual anticipation of mirthful laughter. *The FASEB Journal* 22 (1): 946.11.

Besedovsky, HO., Del Rey, A., & Sorkin E. 1986. Integration of Activated Immune Cell Products in Immune Endocrine Feedback Circuits. In Oppenheim JJ, Jacobs DM. *Leukocytes ja Host Defense. Progress in Leukocyte Biology. 5.* New York: Alan R. Liss. p. 200.

Bhathena, SJ., Berlin, E., Judd, JT., Kim, YC., Law, JS., Bhagavan, HN., & Ballard-Barbash, R.. 1991. Effects of omega 3 fatty acids ja vitamin E on hormones involved in carbohydrate ja lipid metabolism in men. *The American journal of clinical nutrition* 54 (4): 684–688.

Blackwood, B. 2005. Drop Jumps. *Strength and conditioning journal.* Volume 27, number 4 57-59.

Bobbert, MF., Huijing, PA., & van Ingen, SGJ. 1987a. Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sce Sports Exerc.* Aug:19(4):332-338.

Bobbert, MF., Huijing, PA., & van Ingen, SGJ. 1987b. Drop jumping II. The influence of dropping height on the biomechanics of jumping. *Med Sce Sports Exerc.* Aug:19(4):339-348.

Bobbert, MF. 1990. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports medicine* 9 (1) 7-22.

Bobbert, T., Mai, K., Brechtel, L., Schulte, HM., Weger, B., Pfeiffer, AF., Spranger, J., & Diedrich, S. 2012. Leptin ja endocrine parameters in marathon runners. *Int. J. Sports Med.* 33: 244-248.

Bohannon, RW., Larkin, PA., Cook, AC., Gear, J., & Singer, J. 1984. Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys. Ther.* 64:1067-1070.

Bompa, TO. *Periodization*, 4th edition. 1999. York University.

Bosco, C. & Komi, PV. 1980. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology* 45: 209-219.

Brown, DF., ja Brown DD. 2003. *USMLE Step 1 Secrets: Questions You Will Be Asked on USMLE Step 1*. Philadelphia: Hanley & Belfus. p. 63.

Cadore EL, Pinheiro E, Izquierdo M, Correa CS, Radaelli R, Martins JB, Rodrigues Lhullier FL, Laitano O, Cardoso M, & Pinto RS. 2013. Neuromuscular, hormonal ja metabolic responses to different plyometric training volumes in rugby players. *J Strength Cond Res.* 2013 Feb 25. [Epub ahead of print]

Cardasis, CA. & LaFontaine, DM. 1987. Aging rat neuromuscular junctions: A morphometric study of cholinesterase-stained whole mounts and ultrastructure. *Muscle & Nerve*, 10 (3), 200–13.

Campillo RR, Jarade DC, & Izquierdo M. Effects of plyometric training volume ja training surface on explosive strength. *J Strength Cond Res.* 2012 Dec 18. [Epub ahead of print]

Canavan, PK & Vescovi, JD. 2004. Evaluation of power prediction equations: Peak vertical jumping power in women. *Med Sci Sports Exerc* 36:1589-1593.

Cavagna, GA. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and sports science review* 5:89-129.

Chequer, RS., Goodin, DS., Aminoff, JM. & Maezly, C. 1994. Late electromyographic activity following stretch in human forearm muscles: physiological role. *Brain research* 641 (2) 273-278.

Chmielewski, TL., Myer, GD., Kauffman, D. ja Tillman, SM. 2006 Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application. *J Orthop Sports Phys Ther*, Volume 36, Number 5, 308-319.

Clark, MA. and Scott, CL. *NASM's essentials of sport performance training*. Lippincott Williams & Wilkins. 2010.

Cummings, SR., Black, DM., Nevitt, MC. 1993. Bone density at various sites for prediction of hip fractures. *Lancet* 341:72-75.

De Souza, MJ., Arce, JC., Pescatello, LS., Scherzer, HS., & Luciano, AA. 1994. Gonadal hormones ja semen quality in male runners. A volume threshold effect of endurance training. *Int. J. Sports Med.* 15:383-391.

De Villarreal, ESS., Kellis, E., Kraemer, WJ., & Izquierdo, M. 2009. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 23: 495-506.

De Villarreal, ESS., Requena, B., Arampatzi, F., & Salonikidis, K. 2010. Effect of plyometric training on chair-rise, jumping, and sprinting performance in three age groups of women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* , 166-173.

De Villarreal ESS, Izquierdo M, & Gonzalez-Badillo JJ. 2011. Enhancing jump performance after combined vs. maximal power, heavy-resistance, ja plyometric training alone. *J Strength Cond Res.* 2011 Dec;25(12):3274-81.

Delbono, O., Renganathan, M., & Messi, M.L. 1997. Excitation-Ca²⁺ release-contraction coupling in single aged human skeletal muscle fiber. *Muscle & Nerve*, 5, S88–92.

Dietz, V., Schmidtbleicher, D. & Noth, J. 1979. Neuronal mechanisms of human locomotion. *J Neurophysiol* 42: 1212-1222.

Djaona, P., Aljada, A., & Bjayopadhyay, A. 2004. Inflammation: the link between insulin resistance, obesity ja diabetes. *Trends Immunol* 25: 4–7.

Duodecim. 2012. Kustannus Oy Duodecim snk03141 (003.141)

Ebben, WP., Feldman, CR., VjaerZjaen, TL., ML, Fauth, & Petushek, EJ. 2010. Periodized plyometric training is effective for women, ja performance is not influenced by the length of posttraining recovery.

Etty, G. &, Letha, Y. 2003. Neuromuscular Training and Injury Prevention in Sports. *Clinical Orthopaedics & Related Research*: [April 2003 - Volume 409 - Issue - pp 53-60](#)

Febbraio, MA., & Pedersen, BK. 2005. Contraction-induced myokine production ja release: is skeletal muscle an endocrine organ?. *Exerc Sport Sci Rev* 33 (3): 114–119.

Field, T., Hernjaez-Reif, M., Diego, M., Schanberg, S., & Kuhn, CT. 2005. Cortisol decreases ja serotonin ja dopamine increase following massage therapy. *The International journal of neuroscience* 115 (10): 1397–1413.

Fisman EZ, & Tenenbaum A. 2010. The ubiquitous interleukin-6: a time for reappraisal. *Cardiovasc Diabetol.* Oct 11;9:62.

Flipse, D., et al. 1993. Increased muscular performance in the elderly with moderate speed isotonic training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25 (5), S130.

Floyd, R. 2009. *Manual of Structural Kinesiology*. New York: McGraw Hill.

Fouré, A., Nordez, A., Guette, M., & Cornu C. 2009. Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii ja the musculoarticular complex of the ankle joint. *Scja. J. Med. Sci. Sports.* 19:811-818.

Fouré, A., Nordez, A., & Cornu, C. 2010. Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness ja dissipative properties. *J Appl Physiol.* Sep;109(3):849-54. Epub 2010 Jun 24.

Fouré, A., Nordez, A., McNair, P., & Cornu, C. 2011. Effects of plyometric training on both active ja passive parts of the plantaflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. *Eur. J. Appl Physiol.* 111: 539-548.

Frontera, WR.. 2000. Aging of skeletal muscle: A 12-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology*, 88 (4), 1321–26.

Garatachea, N., Hernández-García, R., Villaverde, C., González-Gallego, J., & Torres-Luque, G. 2012. Effects of 7-weeks competitive training period on physiological ja mental condition of top level judoists. *J. Sports Med. Phys Fitness.* 52:1-10.

Gibala, MJ., MacDougall, JD., & Sale, DG. 1994. The effects of tapering on strength performance in trained athletes. *Int J Sports Med* 15:492-497.

Golf, SW., Bender, S., & Grüttner, J. 1998. On the significance of magnesium in extreme physical stress. *Cardiovascular drugs ja therapy / sponsored by the International Society of Cardiovascular Pharmacotherapy*. 12 2 (2suppl): 197–202.

Gondin, J., Duclay, J., & Martin, A. 2006. Soleus- ja Gastrocnemii-evoked V wave responses increase after neuromuscular electrical stimulation training. *J. Neurophysiol.* 95: 3328-3335.

Greenspan, SL., Meyers, ER., Maitland, LA., Resnick, NM., & Hayes, WC. 1994. Fall severity and bone mineral density as risk factors for hip fracture in ambulatory elderly. *JAMA* **271**:128–133.

Haug, E., Sand, O., Sjastrand, OV., Toverud, KC. 1995 *Ihmisen fysiologia*. Suomentanut Kirsti Sillman. Universitetsförlaget. WSOY Porvoo s. 505-506, 1995.

Heinonen, A., Kannus, P., Sievanen, H., Oja, P., Pasanen, M., Rinne, M., Uusi-Rasi, K., & Vuori, I. 1996. Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet* **348**:1343–1347.

Herrington. 2010. The Effects of 4 Weeks of Jump Training On Landing Knee Valgus and Crossover Hop Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* , 3427-3432.

Hilfiker R, Hübner K, Lorenz T, & Marti B. 2007. Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *J Strength Cond Res*. May;21(2):550-5.

Hirao, T., Koikawa, N., Aoki, K., Sakuraba, K., Shimmura, Y., Suzuki, Y., & Sawaki, K. 2012. Female distance runners show a different response to post-workout consumption of

wheat gluten hydrolysate compared to their male counterparts. *Exp Ther Med.* 2012 Apr;3(4):641-644. Epub 2012 Jan 9.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P: 1999. *Tilastolliset menetelmät*, s. 91. WSOY.

Horita, T. 2000. *Stiffness regulation during stretch-shortening cycle exercise*. PhD Thesis. University of Jyväskylä. *Studies in Sport, Physical Education and Health* 70.

Horne, L., Bell, G., Fisher, B., Warren, S., & Janowska-Wieczorek, A. 1997. Interaction between cortisol and tumor necrosis factor with concurrent resistance and endurance training. *Clin. J. Sport Med.* 7:247-251.

Hosseini, S. & Monireh, MH. 2012. Effects of short term plyometric training program on hemorheological parameters in male College basketball players. *Annals of Biological Research*, 3(6):2813-2830.

Houghton, L., Dawson, B. & Rubenson, J. 2012. Achilles tendon mechanical properties after both prolonged continuous running and prolonged intermittent shuttle running (cricket batting). *J Appl Biomech*, Aug 22.

Häkkinen, K. & Häkkinen A. 1991. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *European Journal of Applied Physiology* 64: 410-414.

Häyrynen, M. & Vääntinen, LJ. 2000. *Hermolihasjärjestelmän mukautuminen toistuviin hypertrofistyyppiin venymis-lyhenemisyklin sisältämiin voimaharjoituksiin*. Biomekaniikan pro gradu –tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzales-Badillo, JJ., Ratamess, NA., Kraemer, WJ., Häkkinen, K., Bonhabau, H., Granados, C., French DN., & Gorostiaga, EM. 2007. Detraining ja tapering effects on hormonal responses ja strength performance. *J Strength Cond Res* 21:768-775.

Jareozzi, GM., Martini, R., & Cordova, R., 2007. Circulating levels of cytokines (IL-6 and IL-1beta) in patients with intermittent claudication, at rest, after maximal exercise treadmill test ja during restore phase. Could they be progression markers of the disease? *Int Angiol* 2007; 26: 245–252.

Johnson BA, Salzberg CL, & Stevenson DA. 2011. A systematic review: plyometric training programs for young children. *J Strength Cond Res*. Sep;25(9):2623-33.

Kauranen, K. ja Nurkka, N. *Biomekaniikka*. 2010. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 166. Helsinki.

Kawashima, N., Nakazawa, K., Yamamoto, SI, Nozaki, D, Akai, M., & Yano, H. 2004. Stretch reflex excitability of the anti-gravity ankle extensor muscle in elderly humans. *Acta Physiol. Scja*. 180:99-105.

Keskinen, KL., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 161. Helsinki.

Koceja, DM, Markus, CA, & Trimble, MH. 1995. Postural modulation of the soleus H-reflex in young ja old subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 97:398.397.

Kohrt, WM., Bloomfield, SA., Little, KD, Nelson, ME., Yingling, VRY., Kraemer, WJ., Mazzetti, SA., & Nindl, BC. 2001. Effect of resistance training on women's strength/power an occupational performances. *Med. Sci. Sports Exerc*. 33:1011-1025.

Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, & Fukunaga T. 2007. Effects of plyometric ja weight training on muscle-tendon complex ja jump performance. *Med Sci Sports Exerc.* Oct;39(10):1801-1810.

Kuitunen, S. 2010. Muscle and Joint Stiffness Regulation during Normal and Fatiguing Stretch-Shortening Cycle Exercise. *STUDIES IN SPORT, PHYSICAL EDUCATION AND HEALTH* 149. Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä.

Kyrolainen, H., Avela, J., McBride, JM., Koskinen, S. Jaersen, JL, Sipila, S., Takala, TE & Komi, PV. 2005. Effect of power training on muscle structure ja neuromuscular performance. *Scja. J. Med. Sci. Sports.* 15:58-64.

Lee, RG, & Tatton, WG. 1978. Long loop reflexes in man: clinical applications. Teoksessa Desmedt, JE. (toim.) *Cerebral motor control in man: long loop mechanisms*, Karger. Basel s.320-333.

Leproult, R., Copinschi, G, Buxton, O., & Van Cauter, E. 1997. Sleep loss results in an elevation of cortisol levels the next evening. *Sleep* 20 (10): 865–870.

Leppänen, M. 1999. Pro gradu tutkielma: Hyppelyharjoitteiden ja estrogeenihoidon alaraajojen ojennustehoon ja juoksunopeuteen postmenopausaalisilla naisilla. Jyväskylän yliopisto, terveystieteiden laitos.

Liakos, CI, Vyssoulis, GP, Michaelides, AP, Chatzistamatiou, EI, Theodosiades, G, Toutouza, MG, Markou, MI, Synetos, AG, Kallikazaros, IE, & Stefanadis, CI. 2012. The effects of angiotensin receptor blockers vs. calcium channel blockers on the acute exercise-induced inflammatory ja thrombotic response. *Hypertens Res.* 2012 Sep 6. [Epub ahead of print]

Libby, P., Ridker, PM., & Maseri A. 2002. Inflammation ja atherosclerosis. *Circulation* 105: 1135–1143.

Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P., Kraemer, WJ. & Häkkinen, K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *Journal of strength and conditioning research*. 19(3), 566-571.

Lovallo, WR., Farag, NH., Vincent, AS., Thomas, TL., & Wilson, MF. 2006. Cortisol responses to mental stress, exercise, ja meals following caffeine intake in men ja women. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 83 (3): 441–447.

Luebbers, PE., Potteiger, JA, Hulver, MW., Thvfall, JP., Carper, JM, & Lockwood, RH. 2003. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res*. Nov, 17 (4) 704-9.

Macaluso, F., Isaacs, AW., & Myburgh, KH. 2012. Preferential Type II Muscle Fiber Damage From Plyometric Exercise. *J Athl Train*. 2012;47(4):414-420.

Maffiuletti, NA., Pensini, M., & Martin, A. 2002. Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *J. Appl. Physiol.* 92: 1383-1392.

Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., Renard, P., Lebacq, J., & Theisen, D. 2006a. Calcium sensitivity of human single muscle fibers following plyometric training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 1901-1908.

Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., Theisen, D. 2006b. Stretch shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *J. Appl. Physiol.* 100:771-779

- Malisoux, L., Francaux, M., & Thiesen, D. 2007. What Do Single-Fiber Studies Tell Us about Exercise Training? *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol 39, No 7, pp 1051-1060
- Markovic, G. 2007. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br. J. Sports Med.* 41:349-355.
- Markovic, G. & Mikulic, P. 2010. Neuro-musculoskeletal ja performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med.* 2010 Oct 1;40(10):859-95.
- McArdle, WD., Katch, FI., & Katch, VI. 2007. *Exercise physiology. Energy, Nutrition ja Human Performance.* Sixth Edition. Lippincott Williams & Wilkins.
- McBride JM, McCaulley GO, & Cormie P. 2008. Influence of preactivity ja eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):750-7.
- Metter, E.J. 1998. The relationship of peripheral motor nerve conduction velocity to age-associated loss of grip strength. *Aging (Milano)*, 10 (6), 471–78.
- Moritani, T & Vries, H. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58 (3): 115-130.
- Myers, AH., Young, Y., Langlois, JA. 1996. Prevention of falls in the elderly. *Bone* **18**:87S–102S.
- Nakazawa, K., Kawashima, N., Obata, H., Yamanaka, K., Nozaki, D., & Akai, M. 2003. Facilitation of both stretch reflex ja corticospinal pathways of the tibialis anterior muscle during stjaing in human. *Neurosci. Lett.* 338: 53-56.

Naoki, K. & Gregory, HG. 2004. The Optimal Training Load for the Development of Muscular Power. *Journal of Strength & Conditioning Research*: [August 2004](#)

Nowak, WN., Nowobilski, R., Kusinska, K., Rukowska-Strakova, K., Nizankowski, R., Joskowicz, A., Szczeklik, A. & Dulak, J. 2012. Exercise training in intermittent claudication: effects on antioxidant genes, inflammatory mediators and proangiogenic progenitor cells. *Thromb Haemost*, Nov, 108(5) 824-31.

Obata, H., Kawashima, N., Akai, M., Nakazawa, K., & Ohtsuki, T. Age-related changes of the stretch reflex excitability in human ankle muscles. *Journal of electromyography and kinesiology*. 28:55-60.

O'Driscoll, J., Kerin, F. & Delahunt, E. 2011. Effect of a 6-week dynamic neuromuscular training programme on ankle joint function: A case report. *Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Ther. Technol.* 3:13.

Ozen, SV. Reproductive hormones and cortisol responses to plyometric training in males. 2012. *Biol. Sport*; 29; 193-197.

Pedersen, BK., Akerstrom, TC., Nielsen, AR., & Fischer, CP. 2007. Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol*; 103: 1093–1098.

Pedersen, BK., Steensberg, A., & Schjerling, P. 2001. Muscle-derived interleukin-6: possible biological effects. *Journal of Physiology* (2001), 536.2, pp.329–337

Pilz-Burgstein, R., Ashkenazi, Y., Yaakovovitz, Y., Cohen, Y., Zigel, L, Nernet, D., Shamash, H., & Eliakim, A. 2010. Hormonal response to taekwondo righting simulation in elite adolescent athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110:1283-1290.

Potach, DH., & Chu, DA. 2008. Plyometric Training. In *Essentials of Strength Training and Conditioning* (pp. 414-455). Champaign: Human Kinetics.

Potach DH, Katsavelis D, Karst GM, Latin RW, & Stergiou N. 2009. The effects of a plyometric training program on the latency time of the quadriceps femoris ja gastrocnemius short-latency responses. *J Sports Med Phys Fitness*. Mar;49(1):35-43.

Potteiger, JA., Lockwood, RH., Haub, MD., Dolezal, BA., Almuzaini, KS., Schroeder JM., & Zebas, CJ. 1999. Muscle power ja fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 13:275-279.

Quiroga, MC., Bongard, S., & Kreutz, G. 2009. Emotional ja Neurohumoral Responses to Dancing Tango Argentino: The Effects of Music ja Partner. *Music ja Medicine* 1 (1): 14–21.

Radcliffe, JC. & Farenthinos, RC. 1999. High powered plyometrics. *Human Kinetics*.

Raisz, L. 2005. Pathogenesis of osteoporosis: concepts, conflicts, ja prospects. *J Clin Invest* 115 (12): 3318–25.

Robson, PJ., Blannin, AK., Walsh, NP., Castell, LM., & Gleeson, M. 1999. Effects of exercise intensity, duration ja recovery on in vitro neutrophil function in male athletes. *Int J Sports Med* 20 (2): 128–35.

Rohleder, N., Aringer, M., & Boentert, M. 2012. Role of interleukin-6 in stress, sleep, ja fatigue. *Ann N Y Acad Sci*. 2012 Jul;1261(1):88-96.

Rubley, M.D., Haase, AC., Holcomb, WR., Girourard, TJ., & Tandy, RD. 2011. The Effect of Plyometric Training on Power and Kicking Distance in Female Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* , 129-134.

Rumpf MC, Cronin JB, Pinder SD, Oliver J, & Hughes M. 2012. Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr Exerc Sci.* 2012 May;24(2):170-86.

Sáez de Villarreal E., Requena, B., & Cronin, JB. 2012. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* Feb;26(2):575-84.

[Sáez De Villarreal E.](#), [Requena, B.](#), [Arampatzi, F.](#), & [Salonikidis, K.](#) 2010. Effect of plyometric training on chair-rise, jumping and sprinting performance in three age groups of women. [J Sports Med Phys Fitness.](#) 2010 Jun;50(2):166-73.

Safarinejad, MR., Azma, K., & Kolahi, AA. 2009. The effects of intensive, long-term treadmill running on reproductive hormones, hypothalamus-pituitary-testis axis, ja semen quality: a randomized controlled study. *J. Endocrinol.* 200: 259-271.

Scott, JPR., Sale, C., Greeves, JP., Casey, A., Dutton, J., & Fraser, WD. Effect of fasting versus feeding on the bone metabolic response to running. *Bone xxx (2012) xxx–xxx*

Schurch, A., Rizzoli, MAR., Mermillod, B., Vasey, H., Michel JP. & Bonjour, A. 1996. A prospective study on socioeconomic aspects of fracture of the proximal femur. *J. Bone Miner. Res.* 11:1935–1942,

Serkan, I., Serkan, H. & Ibrahim, D. 2012. The effect of plyometric training on hematological parameters in alpine skiers. *Sport Scientific & practical Aspects;* Jun 2012, Vol. 9 Issue 1, p15.

Sjale, GI., Keir, MJ., & Record, CO.1981. The effect of hydrocortisone on the transport of water, sodium, ja glucose in the jejunum. Perfusion studies in normal subjects ja patients with coeliac disease. *Scja. J. Gastroenterol.* 16 (5): 667–71.

Skelton, DA. 1994. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65–89 years. *Age and Ageing*, 23 (5), 371–77.

Skoluda, N., Dettenborn, L., Stalder, T., & Kirschbaum, C. 2012. Elevated hair cortisol concentrations in endurance athletes. *Psychoneuroendocrinology*. 37: 611-617.

Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, Papageorgakopoulou N, & Theocharis DA. 2008. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage ja collagen breakdown. *J Strength Cond Res*. Mar;22(2):490-6.

Uedo, N., Ishikawa, H., Morimoto, K., Ishihara, R., Narahara, H., Akedo, I., Ioka, T., Kaji, I., & Fukuda, S. 2004. Reduction in salivary cortisol level by music therapy during colonoscopic examination. *Hepato-gastroenterology* 51 (56): 451–453.

Vescovi, JD., Canavan, PK., & Hasson, S. 2008. Effects of plyometric program on vertical ljaing force ja jumping performance in college women. *Pys Ther Sport* 9:185-192.

Weis, LW., Coney, HD., & Clark, FC. 2003. Optimal post-training abstinence for maximal strength expression. *Res Sports Med* 11: 145–155.

Wheeler, G., Cumming, D., Burnham, R., Maclean, I., Stoley BD, Bhambhani, Y., & Steadward, RD. 1994. Testosterone, cortisol ja catecholamine responses to exercise stress ja autonomic dysreflexia in elite quadriplegic athletes. *Paraplegia*. 32: 292-299.

Whipple, RK., Wolfson, LI., & Amerman, PM. 1987. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: An isokinetic study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 35 (1), 13–20.

World Health Organization (WHO) 1994 Assessment of Fracture Risk and Its Application to Screening for Osteoporosis. Geneva, Switzerland: WHO. WHO technical report series 843.

Wilson, JM & Flanagan, EP. 2008. The role of elastic energy in activities with high force ja power requirements: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2008 Sep;22(5):1705-15.

Wilson GJ, Murphy AJ, & Giorgi A. 1996. Weight ja plyometric training: effects on eccentric ja concentric force production. *Can J Appl Physiol.* Aug;21(4):301-15.

Winters, K. & Snow, CM. Detraining Reverses Positive Effects of Exercise on the Musculoskeletal System in Premenopausal Women. 2000. *Journal of Bone and Mineral Research.* [Volume 15, Issue 12](#), pages 2495–2503, December.

Wu, Y-K., Lien, Y-H., Lin, K-H., Shih, T-F., Wang, T-G & Wang, H-K. 2010. Relationships between three potentiation effects of plyometric training ja performance. *Scja. J. Sci. Sports.* 20: e80-e86.

Yessis, M. 2009. Explosive Plyometrics. *Ultimate Athlete Concepts.*

Yhtyneet Medix Laboratoriot. Laboratory manual. Internet Accessed August 31th 2012.

Young, WB., Wilson, CJ., & Byrne, CA. 1999. A comparison of drop jump training methods. Effects on leg extensor strength qualities ja jumping performance. *Int J Sports Med* 20:295-303.

