

**PLYOMETRISEN KUORMITUKSEN AKUUTIT
FYSILOGISET JA BIOMEKAANISET VASTEET
NUORILLA JA IKÄÄNTYNEILLÄ NAISILLA**

Riikka Keskinen

Liikuntafysiologian Pro-gradu tutkielma

Kevät 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Minna Tanskanen

Jarmo Piirainen

TIIVISTELMÄ

Riikka Keskinen (2015). Plyometrisen kuormituksen akuutit fysiologiset ja biomekaaniset vasteet nuorilla ja ikääntyneillä naisilla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian Pro gradu – tutkielma, 70 s.

Ikääntyminen lisää sarkopenian todennäköisyyttä minkä lisäksi osteoporoosin ja lähes kaikkien muiden sairauksien riski kasvaa. Etenkin suurten ikäluokkien ikääntymisen myötä yhteiskunnalle aiheutuu suuria kustannuksia sosiaali- ja terveystaloukselle. Tämän vuoksi tarvitaan keinoja ennaltaehkäistä ikääntyvien fysiologisia muutoksia sekä sairauksia ja parantamaan heidän elämänlaatuaan. Oikealla liikunnalla voidaan saavuttaa mittavia tuloksia ikääntyneidenkin terveydessä. Plyometrinen harjoittelu on nopeusvoimaharjoittelua, jonka on osoitettu kasvattavan lihaksen maksimaalista voimaa, tehoa ja lisäävän nopeutta.

Fyysisenharjoittelun tarkoituksena on kehittää elimistön suorituskykyä antamalla sille ärsykeitä kuormituksella. Tätä harjoitusvaikutusta kutsutaan superkompensaatioksi. Jos kuormitus on oikeanlainen, adaptaatio johtaa suorituskyvyn nousuun palautumisen jälkeen. Yksittäisellä kuormituksella on tarkoitus rikkoa elimistön homeostaasia eli tasapainotilaa, jolloin ilmenee väsymistä sekä suorituskyky tilapäisesti laskee. Plyometrisen akuutin kuormituksen on kuitenkin havaittu parantavan suorituskykyä koska sen oletetaan virittävän hermostoa tulevaan kuormitukseen. Riippuen akuutin kuormituksen tavasta, kestosta ja intensiteetistä saadaan siis erilaiset kuormitusvasteet. Yleisesti positiiviset ilmiöt tulevat heti lyhyen suorituksen jälkeen. Pitkäkestoisena plyometrinen kuormitus aiheuttaa normaalia suorituskyvyn laskua, lihasvaurioita sekä tulehdusta elimistössä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin plyometrisen väsytytkuormituksen akuutteja fysiologisia ja biomekaanisia vasteita nuorilla ja ikääntyneillä sekä vertailtiin vasteita ikäryhmien välillä. Tutkimukseen osallistui 19 vapaaehtoista (9 nuorta ja 10 ikääntynyttä) naista. Fysiologisia vasteita kuten immunitettiin vaikuttavia markkereita sekä perusverenkuva tutkittiin verinäytteistä ennen kuormitusta, heti sekä 2 tuntia

väsytyskuormituksen jälkeen. Kyykky- ja pudotushypyistä tutkittiin voimantuottoa ennen ja jälkeen väsytyskuormituksen.

Kuormitus aiheutti suurimmalta osin melko samankaltaiset fysiologiset vasteet molemmilla ikäryhmillä. Valkosolut nousivat mutta palautuivat 2 tunnin kuluessa lähelle lepotasoa. Lisäksi IL-6 sekä kreatiinikinaasi pitoisuudet nousivat kuormituksesta ja olivat koholla vielä 2 tunnin jälkeen. Kortisoli laski kuormituksesta ja jatkoi laskuaan vielä 2 tuntia kuormituksen jälkeen. Kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut merkittäviä biomekaanisia muutoksia staattisen kyykkyhypyn tai pudotushypyn voimantuotossa väsytyskuormituksen johdosta. Näyttäisi siltä, ettei tämän kaltainen väsytyskuormitus olisi liian kovatehoista ikääntyneille eikä sillä olisi negatiivista vaikutusta immunitettiin kertasuorituksena. Tutkimuksen perusteella plyometristä kuormitusta voisi suositella harjoittelumuodoksi myös ikääntyneille. Kuormitus tulisi kuitenkin suhteuttaa aina henkilökohtaisten ominaisuuksien mukaan, siten ettei kokonaisuormitus pitkällä aikavälillä kasva liian suureksi.

Avainsanat: Plyometrinen kuormitus, kevennyshyppy, pudotushyppy, IL-6, leukosyytit, kortisoli, iäkkäät naiset.

ABSTRACT

Riikka Keskinen (2015). The acute physiological and biomechanical responses of plyometric exercise in young and elderly women. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Master's thesis in exercise physiology, 70 pages.

Aging increases the risk of major diseases, such as sarcopenia and osteoporosis as well as almost all other diseases. Especially the aging of the large age groups creates massive costs to the society in the health and social services sector. Thus, there is a need to find ways to prevent the physiological changes of aging and diseases and to improve the quality of life of elderly people. Significant improvement in the health of older people can be achieved with appropriate physical activity. Plyometric training is explosive strength training, which has been shown to increase the maximal muscle strength and power and to increase speed. These positive results are often shown immediately after the acute training session. On the other hand, long-lasting plyometric load has been shown to cause muscle damage and inflammation in the body and a reduction in performance.

The purpose of physical training is to develop performance by giving it a stimulus to by loading. This training effect is called supercompensation. If the load is correct, adaptation leads to an increase in performance after recovery. A single load is intended to break homeostasis of the body when the fatigue and performance temporarily decreases. However, plyometric acute stress has been found to improve performance because it is assumed to excitation of the nervous system the loads. Depending on the type, duration and intensity of the load, thus obtaining the various load responses. In general, the positive phenomena come immediately after a short run. Long-lasting plyometric load causes the normal decline in performance, muscle damage and inflammation in the body.

The purpose of this study was to examine the physiological and biomechanical responses of an acute plyometric training session. The study involved 19 volunteers (9 young and 10 elderly women). Physiological responses, such as immune markers, were

studied in blood samples before the acute plyometric training session, immediately after the session, and after 2 hours. As muscle strength variables, squat and drop jumps were performed before and after the acute training to study maximal production.

The acute plyometric training session induced similar physiological responses in both age groups. White blood cell levels increased but returned to near rest level after 2 hours. In addition, IL-6 and creatine kinase levels increased and were elevated after 2 hours. Cortisol levels decreased and continued to fall for 2 hours after the load. There were no significant changes in the squat or drop jump power generation due to fatigue loading in either group. It would seem that this kind of fatigue loading is not too hard for older people and does not have a negative effect on immune system. Based on the findings of this research, it would appear that acute plyometric load can be recommended also for the elderly. However, the load should always relate to personal characteristics so that the total long-term load does not grow too heavy.

Key words: Plyometric acute exercise, squat jump, drop jump, leucocytes, IL-6, cortisol, elderly women.

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	Adenosiinitrifosfaatti
DOMS	Viivästynyt lihaskipu (Delayed Onset of Muscle Soreness)
SSC	Lihaksen venymislyhenemisykli (Stretch-shortening cycle)
ACTH-RH	Kortikoliberiini (adrenokortikotroopista hormonia vapauttava hormoni)
CBG	Kortisolia sitova Globuliini (Cortisol binding globulin)
TNF	Tuumorinekroositekijä alfa (Tumor necrosis factor), proinflammatorinen sytokiini.
CRP	C-reaktiivinen proteiini

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	LIHASTOIMINNAN BIOMEKANIikka	11
2.1	Lihassupistus ja supistustavat	11
2.2	Lihaksen mekaaninen malli.....	12
2.3	Elastisuus.....	13
2.4	Venymis-lyhenemissykli	13
2.5	Venytyksirefleksii	13
3	IKÄÄNTYMINEN	16
3.1	Ikääntyminen ja terveys	16
3.2	Fysiologiset muutokset ikääntyessä	17
3.3	Ikääntymisen vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan	18
4	PLYOMETRIA JA SUORITUKSEN BIOMEKANIikka.....	21
4.1	Plyometrinen suoritus.....	21
4.2	Plyometrisen kuormituksen biomekaaniset vasteet	21
4.3	Plyometrisen kuormituksen vasteet fysiologisissa markkereissa.....	23
5	FYSIOLOGISET MARKKERIT KUORMITUKSESSA	26
5.1	Punasolut, verihiutaleet ja hemoglobiini.....	26
5.2	Leukosyytit.....	27
5.3	Kortisoli.....	28
5.3.1	Kortisolin vaikutukset elimistössä	28
5.3.2	Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät	30
5.3.3	Kortisolipitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä.....	31
5.4	IL-6.....	32
5.5	Kreatiiniikinaasi	34

5.6	Laktaatti.....	34
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	36
7	MENETELMÄT	37
7.1	Koehenkilöt.....	37
7.2	Tutkimusprotokolla	38
7.3	Verinäytteet	39
7.4	Voimat ja lähtönopeus	39
7.5	Väsytytkuormitus.....	43
7.6	Tilastoanalyysit	43
8	TULOKSET	45
8.1	Leukosyytit.....	45
8.2	Punasolut, hemoglobiini ja verihiutaleet.....	47
8.3	Glukoosi ja laktaatti	48
8.4	Kreatiinikinaasi	50
8.5	IL-6.....	50
8.6	Kortisoli.....	51
8.7	Voimantuotto hyppyissä	52
8.7.1	Voimat kyykkyhyppyissä	52
8.7.2	Voimat ja voimantuottonopeus pudotushypyssä	53
9	POHDINTA.....	55
9.1	Fysiologiset mittaukset.....	55
9.2	Biomekaaniset mittaukset	58
9.3	Väsytytkuormituksen riskit.....	59
10	YHTEENVETO	61
11	LÄHTEET	62

1 JOHDANTO

Ikääntymisen myötä ilmenee fysiologisia muutoksia sekä lähes kaikkien sairauksien riski kasvaa. Teollistuneissa länsimaissa ikääntyneiden määrä kasvaa, sillä suurten ikäluokkien sukupolvi vanhenee. Ikääntymiseen liittyvät fysiologiset muutokset ovat yhteiskunnalle suuri ongelma, koska siitä aiheutuu suuria kustannuksia sosiaali- ja terveystaloukselle (Kauranen 2014, 348). Merkittävimpiä sairauksia ovat mm. osteoporoosi ja sarkopenia. Erityisesti osteoporoosi eli luukato on merkittävä syy murtumisiin (Going & Lauder milk 2009). Lisäksi ikääntyneillä ilmenee kroonista lievää asteista tulehdusta elimistössä, jolla on keskeinen rooli eri kansansairauksissa (Alen & Rauramaa 2005). Liikunnalla on suuri merkitys eri sairauksien ehkäisyssä ja hoidossa (Doherty 2003; Alen & Rauramaa 2005; Going & Lauder milk 2009). Tämän lisäksi tavoitteena olisi tukea ikääntyneiden laadukasta elämän laatua sekä auttaa heitä selviytymään itsenäisinä mahdollisimman pitkään. Tässä tärkeimpänä tekijänä on iäkkään selviytyminen arjen fyysisistä haasteista. On siis yhteiskunnan ja yksilön hyvinvoinnin kannalta tärkeää etsiä keinoja iäkkäiden fyysisten muutoksien hidastamiseen ja elinolojen parantamiseen.

Ikääntymisen myötä tulevilla fysiologisilla muutoksilla on suuri vaikutus terveyteen. Maksimaalinen lihasvoima saavutetaan n. 20 - 30 vuoden iässä. Tämän jälkeen lihasmassa ja lihasvoima pienenevät iän noustessa sekä teho laskee (Doherty 2003.). Myös liikunnan väheneminen sekä liikunnan rajoittuneisuus lisää lihasvoiman vähenemistä ikääntyneillä (McArdle ym. 2007). Erityisesti nopeiden lihasolujen väheneminen aiheuttaa ongelmia arkisissa toiminnoissa, kuten portaiden nousussa sekä tuoilta noustessa. Tasapainon huonontumisen myötä kaatumisien riski kasvaa ja erityisesti siitä johtuvat luun murtumat lisääntyvät (Beachle & Earle 2008). Ongelmat alkavat helposti kasaantua ja saattavat aiheuttaa pitkäaikaisen laitoshoidon joutumisen.

Myös kääntymiseen liittyvä hermolihasjärjestelmän heikkeneminen aiheuttaa onnettomuusriskiä ja sitä kautta loukkaantumisia. Koska suurin osa päivittäin tehtävästä liikkumisesta on dynaamista, on tärkeä saada tietoa ikääntymiseen liittyvistä

dynaamisista lihaksen toiminnoista. (Kallio ym. 2010.). Voimaharjoittelun on osoitettu olevan hyvä keino ennaltaehkäistä lihaskatoa ja siitä johtuvia vammoja parantamalla hermolihasjärjestelmän toimintaa, tasapainoa ja sitä kautta vähentämällä kaatumisia. Useat tutkimukset osoittavat, että voimaharjoittelu sopii myös ikääntyneille. (Häkkinen ym. 2001; Seguin & Nelson 2003; Beneka ym. 2005). Fyysisesti aktiivisten lihasvoima heikkenee iän myötä vähemmän kuin passiivisten yksilöiden (Heikkinen 2005). Tehokkaalla harjoittelulla saadaan aikaan huomattavat fysiologiset, rakenteelliset ja suorituskyvylliset muutokset. Tähän kuitenkin vaikuttaa harjoittelun muodon tiheys, intensiteetti ja kesto. (Beneka ym. 2005; Maughan & Gleeson 2010; McArdle ym. 2007).

Plyometrinen kuormitus on reaktiivista nopeusvoimaharjoittelua ja käytettäessä sen harjoittelua johdonmukaisesti saadaan kasvatettua lihaksen tuottamaa voimaa ja tehoa (Beachle & Earle 2008; Chmielewski ym. 2006). Lisäksi harjoittelun myötä on havaittu muutoksia nopeuden (Chmielewski ym. 2006) paranemisessa sekä vaikutuksia luun paksuuteen (Going & Laudermilk 2009) liittyvien tekijöiden paranemisessa. Näyttäisi kuitenkin siltä, että positiiviset vaikutukset tulevat lyhyt kestoisessa kuormituksessa. Pitkässä plyometrisessä kuormituksessa havaitaan väsymistä ja suorituskyvyn laskua. Lisäksi se aiheuttaa lihasvaurioita ja tulehdusta. Akuutit muutokset siis vaihtelevat kuormituksen intensiteetin ja keston mukaan. (Kuitunen ym. 2003.).

2 LIHASTOIMINNAN BIOMEKANIikka

2.1 Lihassupistus ja supistustavat

Lihaksen supistuminen tarkoittaa lihaksen sisäistä tapahtumaa, joka ilmenee ulkoisesti mitattuna jännityksenä. Aktiopotentiaali ylittää motorisen päätelevyn ja lihassolukalvo depolarisoituu. Aktiopotentiaali leviää sisäänpäin poikittaisessa tubulus-systeemissä, jonka jälkeen aktiopotentiaali leviää myös pitkittäissäkkeihin aiheuttaen kalsiumin läpäisevyyden lisääntymisen ja lopulta kalsium-ionien vapautumisen sarkoplasmaan. Tämän jälkeen kalsium diffusoituu sarkoplasman läpi ja kiinnittyy troponiiniin. Sen paikka tropomyosiiniketjussa muuttuu, tehden mahdolliseksi myosiini-S1-pään kiinnittymisen aktiiniin. Kiinnittymisen jälkeen kyseinen pää muuttaa aktiivisesti rakennettaan siten, että kiinnittymiskulma ohueen filamenttiin nähden muuttuu: ohut filamentti liikuu paksun filamentin ohi. (McArdle ym. 2007; Enoka 2008.). Sillat kiinnittyvät ja irtoavat useaan kertaan lihassupistuksen aikana ja tätä kutsutaan liukumisteoriaksi (Rayment ym. 1993).

Luurankolihasella voidaan suorittaa kolme erilaista supistusta, isometrinen, jossa lihasjänne kompleksin pituus pysyy muuttumattomana, konsentrinen, jossa lihasjänne kompleksi lyhenee sekä eksentrinen, jossa se pitenee (Maughan & Gleeson 2010). Eksentrinen supistus voi tuottaa suurempia lihasvoimia kuin konsentrinen lihastyö, koska tässä saadaan passiivisten elastisten komponenttien tuottama voima avuksi. Tästä on seurauksena se, että tietyn suuruiseen lihasjännityksen tuottamiseen tarvitaan vähemmän aktiivisia motorisia yksiköitä ja energian kulutus tulee pienemmäksi. (Komi ym. 1978.).

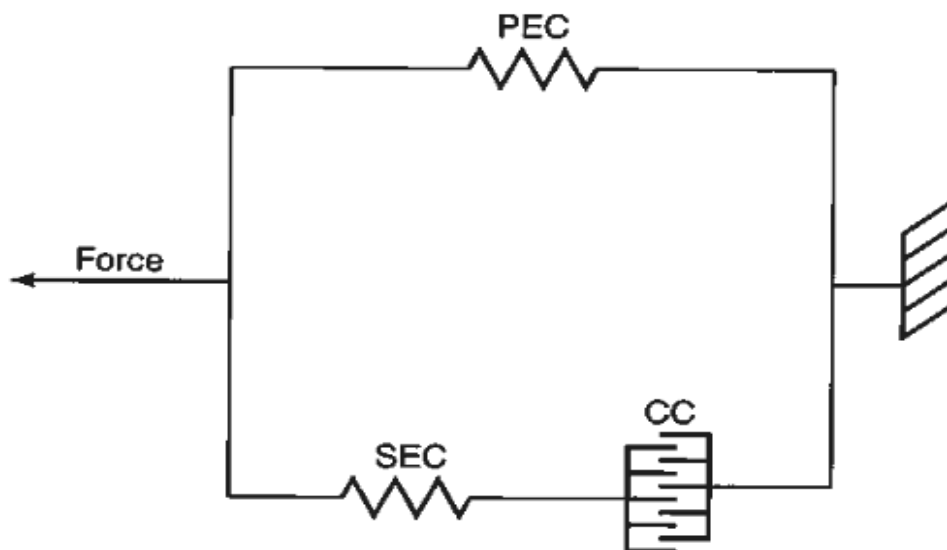
Eksentristen supistusten käyttäminen harjoittelussa aiheuttaa aluksi voimakkaita lihaskipuja, jotka esiintyvät pääasiassa kuormitetussa lihaksessa, lihaksen ja jänteen yhtymäkohdassa. Tällöin myös maksimaalinen lihasvoima pienenee, ja varsinainen voimaa lisäävä vaikutus tulee esille vasta, kun lihaskivut ovat hävinneet. Eksentrisessä

työssä voidaan kuormittaa tehokkaasti lihaksen elastista komponenttia, mutta liiallinen kuormitus voi vaurioittaa lihasta. (Komi ym. 1978.).

2.2 Lihaksen mekaaninen malli

Lihaksen mekaanisen mallin mukaan lihaksella on supistuva osa ja elastiset osat. Elastisiin osiin katsotaan kuuluvan elimistöntukirakenteet (jänteet ja sidekudoskerrokset) ja supistuvan komponentin aktiinin ja myosiinin välillä olevat välisillat. (Mero ym. 2004.).

Lihaksessa on elastinen komponentti peräkkäin supistuvan komponentin kanssa (Kuva 1). Lihasta oikealla tavalla kuormitettaessa varastoituu peräkkäiseen ja rinnakkaiseen supistuvaan komponenttiin potentiaalienergiaa (elastinen energia), joka voidaan käyttää hyväksi ylimääräisenä kineettisenä energiana. (Komi ym. 1978.).



KUVA 1. Lihaksen mekaaninen malli. Kun lihasta venytetään, sarjassa olevat elastiset komponentit (SEC jänne) varastoi elastista energiaa, mikä kasvattaa voiman tuottoa. Supistuvat komponentit (CC eli aktiini, myosiini ja välisillat) tuottavat voiman supistuksen aikana. Rinnan olevat elastiset komponentit (PEC = sidekudokset, sidekudoskalvo, sarkomeeri) tuottavat passiivisen voiman, kun passiivista lihasta venytetään. (Beachle & Earle 2008.).

2.3 Elastisuus

Staattisessa hyppyssä käytetään vain supistuvaa komponenttia ja esikevennetyssä hyppyssä myös elastisia osia. On todettu, että elastisten osien osuudeksi voimantuotossa noin 5 – 15 % ylöspäin suuntautuviissa hyppyissä (Kauranen 2014). Tätä erotusta hyppykorkeudessa nimitetään elastisuudeksi. Hyppykorkeuteen tosin vaikuttaa myös erilaiset lihasten käytöt erilaisessa hyppyssä ja venytysrefleksin antama lihasaktiivisuuden kasvu. Elastisuuteen vaikuttavat perinnölliset tekijät ja harjoittelutausta. Elastisuuden merkitys korostuu voimantuoton ja nopeuden lisääjänä sekä suorituksen hyötysuhteena sen minimaalisen hapenkulutuksen vuoksi. (Mero ym. 2004.).

2.4 Venymis-lyhenemissykli

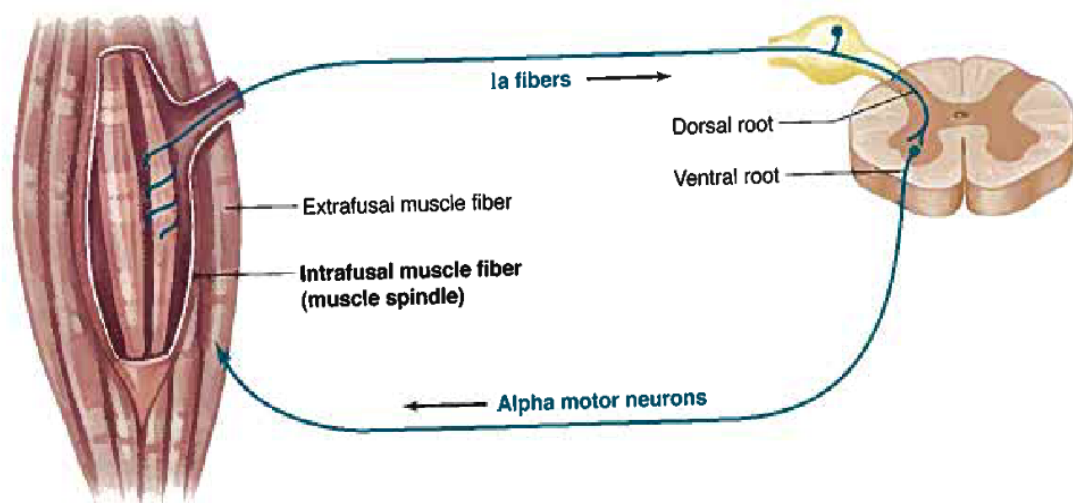
Kun lihasta venytetään ulkoisen voiman vaikutuksesta eli tapahtuu eksentrisen supistus, voidaan tämä elastinen energia luovuttaa lisäenergiana konsentriseen supistukseen, jos supistus tehdään nopeasti, lyhyellä viiveellä. Tätä tapahtumaan kutsutaan venymis-lyhenemissykliksi (SSC = stretch shortening cycle) (Beachle & Earle 2008). Tässä voimantuotto on suurempi, kuin että se olisi tehty ilman esijännitystä ja venytystä (Komi ym. 1978). Venymis-lyhenemissykli yhdistää mekaanisen ja neurofysiologisen mekanismin ja on perustana plyometrisessä harjoittelussa sekä päivittäisessä liikkumisessa (Beachle & Earle 2008).

2.5 Venytysrefleksi

Keskushermosto tarvitsee tietoa lihaksen pituudesta ja jännitystasosta sekä nivelten ansioista, jotta se osaa ohjata lihakset toimimaan tarkoituksen mukaisesti. Lihaksen tilasta kertoo lihasreseptori eli lihaskäämi (lihassukkula, lihasspindel). (Kauranen & Nurkka 2010.). Jo ennen hyppyä tai juoksusuoritusta on havaittavissa työtä tekevässä lihaksessa esiaktiivisuutta, mikä lisää lihaksen jäykkyyttä. Lisäksi suorituksen jälkeen

on havaittu voimakas EMG- aktiivisuuden nousu ja se katsotaan johtuvan lihassukkulan tuottamasta venytysrefleksistä törmäyksessä. (Mero ym. 2004).

Luustolihasessa on tavallisesti kymmenittäin lihaskämejä. Kukin lihaskäme on muodostunut muutamasta erikoistuneesta ohuesta lihassyystä. Syiden keskikohtaa ympäröivät kierteiset hermopäätteet. Nämä lähettävät runsaasti impulsseja, jos lihasta ja sen mukana lihaskämeä venytetään. (Nienstedt ym. 2008.). Lihasta venytettäessä nopeasti, lihassukkula lähettää runsaasti impulsseja Ia afferenttia-neuronia pitkin selkäytimen etupylvääseen, mikä aktivoi myös voimakkaasti alfa-motoneuroneja, jolloin lihaksen jännitys nousee (Kuva 2). Tätä aktivaatiota käytetään hyväksi refleksitestauksessa patella- jänteestä ja erilaisissa ponnistuslajeissa suorittamalla pieni ja nopea polvenkoukistus ennen varsinaista ponnistusta. (Kauranen & Nurkka 2010.).



KUVA 2. Venytysrefleksi. Lihassukkulasta lähtee viesti 1A afferenttia pitkin selkäytimelle ja sieltä supistuskäsky alfa- motoneuronia pitkin lihakselle (Beachle & Earle 2008).

Venytysrefleksivaste sisältää vähintään kaksi komponenttia latenssin keston mukaan: (M1) lyhyen latenssin refleksivaste, (M2) keskipitkä latenssin refleksi. Lisäksi joskus havaitaan (M3) pitkän latenssin refleksi. M1 latenssi on noin 30 - 50 ms ja M2 latenssi

siinä 50 - 60 ms vaiheilla riippuen lihaksesta. (Avela & Komi 1998; Enoka 2008). Venytyksrefleksin kaltaista yhteyttä voidaan simuloida H-refleksillä eli Hoffmanin refleksillä. Siinä sähköisesti stimuloidaan lihaksen Ia-afferenttia ja tämä aiheuttaa aktiopotentialin leviämisen etenemisen lihaksesta keskushermostoon ja sieltä takaisin lihaksen alfa-motoneuronin pitkin. Refleksivastetta voidaan mitata EMG:llä ja sitä käytetään kun halutaan ohittaa lihasspindelien vaikutus sekä arvioida aktiopotentialin johtumisen tehokkuutta synapsin yli Ia-afferentista alfa-motoneuronille. (Enoka 2008.).

3 IKÄÄNTYMINEN

3.1 Ikääntyminen ja terveys

Sarkopenia termi on otettu yleisesti kuvamaan ikääntymiseen liittyviä muutoksia jotka liittyvät lihaksen surkastumiseen sekä heikkouteen. Lihasten heikkous on merkittävä syy liikkumisen rajoittumiseen sekä vaikeuttaa yksin pärjäämistä arjessa (Doherty 2003). Sarkopeniassa lihassolujen lukumäärä vähenee, lihaksen tiheys ja poikkipinta-ala pienenee sekä rasvan osuus lihaksessa kasvaa. Lisäksi lihasvoima vähenee ja nopeat lihassolut kuolevat tai muuttuvat hitaiksi (Rantanen 2005). Sitä edistää muuttuneet keskus- ja ääreishermoston hermotukset, muuttunut hormonaalinen tila sekä hidastunut aineenvaihdunta, heikentynyt immunitetti (lieväasteinen tulehdustila) sekä yleisesti ikääntyneillä huonompi ravitsemus sekä proteiinisynteesi. (Mazzeo 2000; Short & Nair 2001). Erityisesti liikkumattomuus on yksi suuri tekijä sarkopenian edistymisessä. (Doherty 2003.).

Osteoporoosi on myös merkittävä kansanterveydellinen ongelma. Osteoporoosi on luuston sairaus jossa on ominaista heikentynyt luun lujuus joka johtaa suurentuneeseen murtumien riskiin (Going & Lauder milk 2009). Osteoporoosi johtaa yleensä pitkäaikaiseen sairastuvuuteen tai kuolleisuuteen. Tutkimukset osoittavat että noin puolet vaihdevuodet ohittavista sekä neljäsosa valkoihoisista yli 60 vuotiaista miehistä kokevat osteoporoottisia murtumia (Nayak ym. 2010). Murtumia esiintyy yleisimmin lonkan, selkärangan ja kyynärvarren luissa. Vakavimpia ja kivuliaampia ovat lonkkamurtumat. Lonkan ja selän nikamien murtumat vaativat aina sairaalahoitoa ja voivat johtaa vammautumiseen sekä kuolleisuuteen. (Going & Lauder milk 2009.) Näin ollen osteoporoosi aiheuttaakin yhteiskunnalle merkittäviä kustannuksia (Nayak ym. 2010).

Luunmassa kasvaa ensimmäisen 30 elinvuoden aikana ja tämän jälkeen se alkaa naisilla laskea ja usein johtaakin osteoporoosiin vaihdevuosien jälkeen. Luunmassan kasvuun nuoruusiässä vaikuttaa suuresti fyysinen aktiivisuus ja myös myöhemmällä iällä

liikunnalla on mahdollista vähentää luunmassan vähenemistä ja sitä kautta ehkäistä osteoporoosin kehittymistä. (Ernst 1998.). Parasta luuliikuntaa on dynaaminen, mekaanisesti kuormittava liikunta. Voimaharjoittelu on tästä hyvä esimerkki ja koska se samalla lisää lihasvoimaa sekä kehon rasvatonta massaa. Lisäksi hyvä ravitsemus yksin ja yhdessä harjoittelun kanssa voi auttaa vähentämään luukatoa tai lisäämään luunmassaa. (Going & Lauder milk 2009.). Osteoporoosi voi olla oireetonta ja jäädä siksi diagnosoimatta. Se voidaan diagnosoida kaksiennergisellä röntgenabsorptiometrialla eli luuntiheysmittarilla. (Nayak ym. 2010).

3.2 Fysiologiset muutokset ikääntyessä

Normaalin ikääntymisen myötä aiheutuu muutoksia kaikissa elinjärjestelmissä. Sydämen sekä keuhkojen toiminta heikkenee, verenpaine kohoaa sekä verisuonet kalkkeutuu. Lisäksi ruuansulatusjärjestelmän rakenne ja toiminta heikkenee. (Boss 1981.). Ikääntyessä tapahtuu myös huomattavia muutoksia hormonituotannossa. Erityisesti lihasten suorituskykyyn vaikuttaa sukupuolihormonien, kasvuhormonin ja DHEA tuotannon väheneminen (Copeland ym. 2004; Rantanen 2005). Kestävyystyyppisellä liikunnalla tai voimaharjoittelulla voidaan myös vaikuttaa niihin. Taulukossa 1. on esitelty hormonit ja niihin liittyvät iän sekä harjoittelun tuomat muutokset.

TAULUKKO 1. Ikääntymisen myötä vähenevät hormonit, sekä kestävyystyyppisen että voimaharjoittelun akuutit ja harjoittelun vaikutukset hormonipitoisuuksiin (Copeland ym. 2004). Mukailtu taulukosta Copeland ym. (2004).

Hormoni	Ikääntyminen	Kestävyysliikunta		Voimaharjoittelu	
		Akuutti	Harjoittelu	Akuutti	Harjoittelu
Kasvuhormoni	↓	↑	↑ ↔	↑	↔
IGF-I	↓	↔	↔	↔	↔
Testosteroni	↓	↔	?	↑ ↔	↔
Estradioli	↓	↑	?	↑ ↔	?
DHEA(S)	↓	↑	?	↑	↔

Erityisesti naisilla on vaihdevuosien myötä muuttuneen hormonituotannon vuoksi suurempi riski menettää lihasmassaa ja voimaa mikä johtaa toimintakyvyn heikkenemiseen. Lisäksi ikääntyessä naiset harjoittavat usein miehiä vähemmän liikuntaa. Liikunta voisi kuitenkin olla turvallisempi ja halvempi keino lisätä anabolisten hormonien pitoisuuksia kuin hormonikorvaushoito. (Copeland ym. 2004.). Korvaushoitona annettu estrogeeni voi myös estää IL-1:n ja IL-6:n eritystä ja ikääntyessä näiden pitoisuuden vähentymisellä voi olla epäsuora katabolinen vaikutus lihakseen (Doherty 2003).

Ikääntymiseen liittyy immuunijärjestelmän muutokset kuten matala-asteinen krooninen tulehdus. Sen on osoitettu kohottavan tulehdusreaktiota vahvistavien sytokiinien, kuten IL-1 ja IL-6 pitoisuuksia ja laskevan tulehdusreaktioita hillitseviä sytokiinejä, kuten IL-4, IL-10 TNF-alfa. Ikääntyneillä korkeammat IL-6 pitoisuudet liittyvät alhaisempaan lihasmassaan ja voimaan sekä pienempään puristusvoimaan. (Limprasertkul ym. 2013). Ikääntymisen myötä kasvaa myös tyypin 2 diabeteksen esiintyvyys sekä heikentynyt glukoositoleranssi eli glukoosin sieto. Ikääntyneillä heikentyneeseen insuliini resistenssiin (insuliinin vaikutus soluihin huonontunut) liittyvät myös kohonnut painoindeksi sekä vähentynyt liikunta. Lisäksi insuliinia tuottavien haiman beetasolujen herkkyys vähenee. Liikunnalla on insuliinin herkkyyttä parantava vaikutus. (Bloem & Chang 2007.). Kehon koostumus muuttuu ikääntyessään. Kehon rasvan määrä alkaa kasvaa 18 ikävuoden jälkeen ja kasvaa sinne 50 – 60 vuotiaaksi asti, kunnes kehon kokonaispaino alkaa vähetä rasvan määrästä riippumatta. Ei tiedetä, onko rasvan kertyminen normaali biologinen ilmiö vai johtuuko se vain elämäntapamuutoksista. (McArdle ym. 2007.). Lisäksi luunmassa vähenee erityisesti vaihdevuosien vuoksi naisilla ja se voi vähetä jopa noin 40 % 20 - 60 ikävuoteen välillä (Doherty 2003).

3.3 Ikääntymisen vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan

Voima, nopeusvoima ja lihasmassa vähenevät. Ikääntyminen aiheuttaa lihaskudoksessa anatomisia ja fysiologisia muutoksia. Maksimaalinen lihasmassa ja voima saavutetaan 20 - 24 vuoden iässä. Sitten se pysyy 6-8 vuotta suunnilleen vakiona ja alkaa vähentyä

noin 30 ikävuoden jälkeen, ensin hieman ja sitten nopeammin, kun ikää tulee lisää (Kauranen 2014; McArdle ym. 2007.). Lihaskoivu vähenee nopeammin ala- kuin yläraajojen lihaksista (Frontera 1991). Nopea voimantuotto vähenee enemmän kuin maksimaalinen voimantuotto ja tämä voi olla tärkeä, erityisesti tasapainoon vaikuttava tekijä (Piirainen ym. 2013). Eksentrisen voimantuotto ikääntyessä pienenee vähemmän kuin isometrinen tai konsentrisen voimantuotto. Tämä voi johtua elastisten komponenttien suuremmasta passiivisesta vastuksesta (Kallio ym. 2010.).

H-refleksi ja venytysrefleksi heikkenevät. Ikääntymisen on havaittu vaikuttavan H-refleksiin, venytysrefleksi vasteeseen, refleksi komponenttien amplitudiin sekä refleksin latenssiin (Obata ym. 2009; Kallio ym. 2010; Kido ym. 2004). Obata ym. (2009) tutkivat etureisilihaksen ja leveän kantalihaksen venytysrefleksin toimintaa nuorilla ja ikääntyneillä levossa sekä kevyillä supistuksilla. Erona oli että nuorilla oli refleksivasteen saaminen todennäköisempää kuin ikääntyneillä. Lisäksi ikääntyneillä oli suurempi pitkän latenssin vaste etusäärilihaksessa, mikä voi osoittaa, että ikääntymisen vaikutukset ovat sekä selkärangan, että aivokuoren tasolla. Ikääntyneillä oli myös suurempi lyhyt ja keskipitkä latenssi leveän kantalihaksen refleksivasteissa. Muutokset H-refleksin ärtyvyydessä vaikuttavat osittain myös perifeeriseen inhibitioon ja se voi olla tärkeä tekijä motorisen yksikön aktivaatiossa. Näyttäisi siltä, että ikääntyessä motoristen yksiköiden aktivointi tapahtuu pienemmällä syttymistajuudella kun se tehdään alemmalla H/M suhteella. Tosin aktivointi vaihtelee supistustavasta riippuen (Kallio ym. 2010.).

Chung ym. (2005) vertailivat akillesjänteen käyttäytymistä nuorilla ja ikääntyneillä. Erilaisia ikääntymiseen liittyviä muutoksia havaittiin akillesjänteen refleksijärjestelmän ominaisuuksissa, kuten vähentynyt jännerefleksin voima, hitaampi supistusnopeus ja puoli-relaksaatio aika, pidempi elektromekaaninen viive ja yleinen refleksi viive.

Motoristen yksiköiden, lihassolujakauman sekä supistusnopeuden muutokset. Ikääntyessä nopeat lihassolut surkastuvat tai muuttuvat hitaiksi lihassoluiksi, lisäksi supistusnopeus hidastuu, mikä ilmenee hitaampana voimatuottonopeutena. Nopeiden lihassolujen surkastuminen johtuu asteittaisesta motoneuronien menetyksestä

selkäytimessä. (Coggan ym. 1992; Macaluso & De Vito 2004). Hitaiden lihassolujen määrän vuoksi ikääntyvillä ilmenee enemmän väsymistä dynaamisessa liikkeessä, mutta vähemmän väsymistä isometrisissä lihastyössä (Christie ym. 2011). Lisäksi motoristen yksiköiden määrä vähenee, pääasiassa nopeiden, jolloin hitaiden suhteellinen osuus kasvaa (Thompson 1994). Lisäksi motoristen yksiköiden syttymistiheys hidastuu (Connelly ym. 1999). On myös havaittu että ikääntyneillä on pienempi lihaksen aktivaatio ja tahdonalainen maksimaalinen supistus (Piirainen ym. 2010).

Hidastuneet vastaliikkeet, vähentynyt liikelaajuus, heikentynyt koordinaatio.

Ikääntyneillä ilmenee neuraalisia muutoksia kuten pienempää aktivaatiota agonisti lihaksessa ja suurempaa koaktivaatiota antagonistilihaksessa (Macaluso & De Vito 2004). Neuraalinen koordinaatio heikkenee ja degeneratiivinen denervaatio nopeutuu ja vähentää lihaksen toimintakykyä. Myös yksittäisiä lihassyitä ruokkivien kapillaarien määrä vähenee (Macaluso & De Vito 2004; Heikkinen 2005).

Toimintakyky ja tasapaino. Toimintakyvyn heikkeneminen arjessa näkyy kävelyn hidastumisena, kestävyuden ja lihasvoiman heikkenemisenä. Lisäksi se aiheuttaa heikentyneen hienomotoriikan (Thompson 1994) sekä jänteiden jäykkyys vähenee (Macaluso & De Vito 2004). Ikääntymisen myötä tasapaino heikkenee, dynaaminen tasapaino vielä enemmän kuin staattinen (Piirainen ym. 2010).

4 PLYOMETRIA JA SUORITUKSEN BIOMEKANIikka

4.1 Plyometrinen suoritus

Plyometrinen harjoittelu on reaktiivista nopeusvoimaharjoittelua ja alkujaan se on otettu urheilijoilla käyttöön Venäjällä. Suoritus pitää sisällään eksentrisen ja konsentrisen supistuksen sekä venymis-lyhenemissyklin (Chmielewski ym. 2006). Plyometrisiä harjoitteita on paljon erilaisia ja niitä ovat esimerkiksi erilaiset kyykkyhyppelyt, pudotuskyvyt ja vauhdittomat ja vauhdilliset hyppyt, tasa- ja vuoroloikat vertikaalisesti ja horisontaalisesti, aitahyppelyt ja pudotushyppyt. Lisäksi kehon yläraajoilla tehtäviä harjoituksia ovat kuntopallon heitot ja kiinniöt ja useat erilaiset punnerrukset sekä keskikehoon vaikuttavat istumaan nousut kuntopallolla tehden. (Beachle & Earle 2008.). Hyvä esimerkki plyometrisestä kuormituksesta on pudotushyppy, missä heti kun kosketetaan maahan, pyritään hyppäämään mahdollisimman nopeasti ylös, jolloin kontaktiaika tulisi olla noin 200 - 300 ms (Mirzaei ym. 2014). Näin tuotetaan suurempi kuormitus lihaksille kuin, että tehtäisiin staattinen kyykkyhyppy (McArdle ym. 2007). Eksentrisen lihaskuormitus voi aiheuttaa myös helposti loukkaantumisia, koska suorituksen aikana alaraajoihin kohdistuu 3-4 kertaan kehon painon suuruiset iskuvoimat (Arazi ym. 2012).

4.2 Plyometrisen kuormituksen biomekaaniset vasteet

Plyometristä harjoittelua on tutkittu paljon ja näissä tutkimuksissa on huomattu lihaksen elastiset ominaisuudet ja sen harjoiteltavuus, mikä on mahdollistanut räjähtävän voiman harjoittamisen (Chmielewski ym. 2006). Plyometristä kuormitusta käytetään myös paljon ennen suoritusta ja onkin havaittu, että plyometrisen hyppykuormituksen akuutti vaikutus on suorituskyvyn tai hyppykorkeuden paraneminen 2 – 5 %, jos mitattu hyppy tehdään 1 - 5 minuutin sisällä plyometrisestä kuormituksesta (Daniel & Eamonn 2014; Hubner ym. 2007). Samaa suorituskyvyn paranemista on havaittu myös lyhemmällä palautusajalla (30s) (Masamoto ym. 2003; Rahman & Islamic 2008). Suorituskyvyn paranemisen takana on PAP ilmiö (Post Activation Potentiation) eli aktivaation

voimistuminen. (Robbins 2005; Till & Cooke 2009). Se tarkoittaa, että lihaksen tuottama voima kasvaa kun sillä on tehty aikaisemmin supistus (Lorenz 2011). Plyometrinen suoritus voi parantaa energian varastointia pienentämällä sarjassa olevien elastisten komponenttien jäykkyyttä. Mutta se voi myös lisätä lihasjännitystä siirron ja elastisen energian kasvusta johtuen sarjassa olevan passiivisen komponenttiin ja täten johtaa lihasjännekompleksin tehokkuuteen ja siten korkeampaan suorituskykyyn (Foure ym. 2011.).

Lisäksi plyometrisen kuormituksen aiheuttamaan suorituskyvyn paranemiseen saattaa johtua keskushermoston ”virittäytymisestä” ja se puolestaan mahdollistaa suuremman räjähtävän ponnistusvoiman myöhemmässä harjoituksessa. Se voi lisätä liikehermosolujen ärtyvyyttä ja refleksin voimistumista, joka voi luoda optimaalisen harjoitusolosuhteen. (Masamoto ym. 2003.). On myös havaittu korkeampia lihaksen aktiivisuustasoja (EMG) kun on vertailtu plyometrista suoritusta perinteiseen kyykkyhyppyyn (Wang ym. 2001). Lisäksi on mahdollista, että väsymys voi pakottaa lisää motorisia yksiköjä työhön (Masamoto ym. 2003).

Plyometrinen kuormitus voi aiheuttaa myös suorituskyvyn pienenemistä. Tämä havaittiin, vaikka kuormitusta ei suoritettu väsymiseen asti. Drinkwatern ym. (2009) tutkimuksessa suorituskyky laski, mutta tällöin ei havaittu aktivaation laskua heti kuormituksen jälkeen. Väsyminen näkyi vääntömomentin laskuna, joka osoittaa supistusnopeuden hidastuneen. Tästä voitiin päätellä, että väsyminen ilmeni perifeerisenä, muttei keskushermostollisena väsymisenä. Perifeerinen väsymys tarkoittaa hermo-lihasliitosta alemmalla tasolla ilmenevää väsymistä ja se aiheutuu kuona-aineiden kasautumisesta, energian vähyydestä tai välittäjäaineiden katoamisesta (Enoka 2008). On kuitenkin tutkimuksia, missä on havaittu myös hermostollista väsymystä, mikä on ilmennyt nivelten jäykkyyden vähenemisenä. Tämä oletetaan johtuvan sekä keskushermoston että ääreishermoston väsymisestä (Kuitunen ym. 2002).

Väsymistä kuten hyppykorkeuden ja nopeuden laskua on havaittu myös muissakin tutkimuksissa, mutta sen on todettu palautuneen jo 10 minuutin palautumisen jälkeen. Lisäksi suorituskyvyn on katsottu olleen parhaimmillaan 20 minuuttia kuormituksen

jälkeen (Horita ym. 2002.). Myös maksimaalinen isometrinen voima laski heti suorituksen jälkeen, mutta palasi 2 tunnin jälkeen lepotasolle. EMG laski myös mutta nousi hieman lepotasoa korkeammalle 2 tunnin jälkeen (Dusset ym. 2006.).

Avela ym. (2006) vertaili sprintterien ja korkeushyppääjien lyhyen latenssin komponenttia (M1) pudotushypyn aikana nuorilla miehillä. Lisäksi mitattiin M-aalto ja H-refleksi. M-aalto pysyi melko muuttumattomana hyppääjillä kun taas sprinttereillä se laski viimeisillä hyppypareilla. Sprintteri porukalla havaittiin H-refleksin ärtyvyyden laskua, mikä saattaa johtua toisenlaisesta harjoitustaustasta kuin korkeushyppääjillä. Voidaan olettaa, että hyppyjä sisältävä harjoittelu voi johtaa rakenteellisiin muutoksiin ja siten estää liikunnan aiheuttamia refleksimuutoksia.

On myös havaittu tilanteita, missä plyometrisellä kuormituksella ei ollut vaikutusta suorituskykyyn. Tuloksissa oli kuitenkin suuria vaihteluvälejä joten se voi puoltaa sitä, että yksilöiden välillä on eroja. (Robbins 2005; Esformes ym. 2010; Till & Cooke 2009). Yleisesti voidaan olettaa, että suorituskyvyn nousu eli PAP ilmiö ilmenee suurella osaa urheilijoita. Lisäksi näyttäisi siltä, että sekä pitkäkestoisessa kuormituksessa, että uupumukseen saakka tehdyssä kuormituksessa suorituskyky laskee. Kuormituksen jälkeiset vaikutukset näyttäisivät siis riippuvan suorituksen kestosta sekä intensiteetistä. (Kuitunen ym. 2003). Harjoitusta ohjelmoitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että kuormituksen tulee olla yksilöllisesti optimaalinen, jotta se parantaa suorituskykyä. Liian kovatehoinen tai toisaalta liian matala tehoinen kuormitus ei paranna tuloksia. Myös palautumisajan pituudella on vaikutusta. (Tobin & Delahunt 2014).

4.3 Plyometrisen kuormituksen vasteet fysiologisissa markkereissa

Plyometrinen kuormitus kasvattaa huomattavasti hapenkulutusta, sykettä ja laktaattia (Tofas ym. 2008; Arazi ym. 2012; Chatzinikolaou ym. 2010; Brown ym. 2010) sekä systolista ja diastolista verenpainetta (Arazi ym. 2012). Lisäksi kuormituksen on havaittu aiheuttavan välittömästi tai viiveellä vasteita immunitetin markkereissa kuten leukosyyttien, CRP:n, IL-6 ja kreatiinikinaasin kasvussa (Dusset ym. 2006;

Chatzinikolaou ym. 2010). Markkereiden palautuminen on voinut vaihtelevasti 2 – 48 tuntia, riippuen kuormituksesta. CRP:n ja kreatiinikinaasin on havaittu olevan korkeimmillaan samanaikaisesti lihasturvotuksen kanssa (Dusset ym. 2006). Kovan plyometrisen kuormituksen onkin todettu aiheuttavan metabolista väsymistä ja lihasvaurioita, jotka ilmenevät 2 päivää kuormituksen jälkeen. (Horita ym. 1999; Kuitunen ym. 2002; Tofas ym. 2008). Akuutit lihasvaurioiden vaikutukset näkyvät ensisijaisesti tyypin 2 soluissa. (Macaluso ym. 2012). Kuormitus voi aiheuttaa myös kollageenin purkua, mikä näkyy hydroksiproliinin ja hydroksilyysiini kasvuna. (Tofas ym. 2008).

Plyometrisessä suorituksessa rekrytoidaan tyypin 2 lihassoluja joten veren laktaattinousee. On myös osoitettu, että liikunnan rasittavuudella on myönteinen vaikutus kortisolin pitoisuuksiin veressä, joten se aiheuttaa suurempia kortisolin ja laktaatin nousuja (Arazi ym. 2012). Kortisoli pitoisuuden on myös havaittu nousevan heti harjoituksen jälkeen ja se on pysynyt koholla 96 tuntia. Huippuarvo oli 48 tunnin kohdalla. Vapaan testosteronin pitoisuus nousi 48 - 72 tunnin välillä, jolloin testosteroni ja kortisoli suhde pieneni 24 tuntia harjoituksen jälkeen ja jäi alle lähtöarvojen 96 tunnin palautuksen aikana. (Chatzinikolaou ym. 2010). Kortisoli arvojen nousuun vaikuttaa kuormitus ja mahdolliset palautumisajat. Jürimäe ym. (2011) tutkimuksessa kortisoli nousi hyppyjen jälkeen jos oli vain 1 min palautus niiden välillä ja laski pitemmillä palautus ajoilla (3, 5 min).

Rogers ja kumppanit (2011) tutkivat luun aineenvaihduntaan liittyvien markkereiden akuutteja vasteita plyometrisen- ja painoharjoittelun jälkeen. Tutkimuksessa havaittiin, että luuta hajottavien entsyymien määrä väheni harjoitusten jälkeen. Tutkimuksessa havaittiin hetkellistä vähenemistä luunhajoamismerkkiaineissa, TRAP 5b, kahden tunnin plyometrisen- tai painoharjoituksen jälkeen, mitä ei havaittu kontrolliryhmällä. TRAP 5b -entsyymien määrä lisääntyy veressä, kun luu alkaa hajota. Lisäksi kontrolliryhmällä laski BAP (Alkalinen fosfataasi, luuspesifinen), mutta harjoitteluryhmällä ei, joten pääteltiin, että harjoittelu aamulla esti normaalin vuorokaudenaikaan liittyvän laskun BAP:ssa. Lisäksi on havaittu luun kasvuun liittyvien markkereiden P1NP ja CTx pitoisuuksien kasvua. (Rantalainen ym. 2009) sekä fosforin ja kalsiumin hetkellistä

kohoamista joka tosin palasi lepoarvoon suorituksen jälkeen (Lin ym. 2011). Seerumin kalsiumilla on tärkeä rooli bufferoinnissa liikunnan aiheuttamassa asidoosissa.

5 FYSIOLOGISET MARKKERIT KUORMITUKSESSA

Fyysinen kuormitus aiheuttaa elimistössä lukuisia kuormitusvasteita mm. veressä, neste- ja elektrolyyttitasapainossa sekä useimpien hormonien pitoisuuksissa. Akuutti, voimakas lihasharjoitus nostaa stressihormonien pitoisuuksien määrä veressä, kuten adrenaliinin, noradrenaliinin, kasvuhormonin, testosteronin, estrogeenin ja kortisolin, kun taas insuliinin pitoisuus laskee hieman (Pedersen & Hoffman-Goetz 2000). Hormonien muutokset johtuvat ensisijaisesti hormonien lisääntyneestä tuotannosta eikä esimerkiksi niiden hidastuneesta eliminaatiosta. (Sovijärvi ym. 1994). Yhden kovan tai pitkäkestoisen fyysisen suorituksen jälkeen on havaittu vasteita, jotka ovat huomattavan samankaltaisia monessa suhteessa kuin infektion, sepsiksen tai trauman jälkeen tulevat muutokset (Maughan & Gleeson 2010). Liikuntasuorituksen jälkeen ilmenee vaihtelevia tekijöitä immuniteetin laskuun 3 – 24 tuntia kuormituksen jälkeen, riippuen intensiteetistä ja kestosta. Yleisimmin nämä muutokset ilmenevät kun suoritus kestää yli 1.5 tuntia tai intensiteetti on 55 – 75 % maksimaalisesta hapenotosta (VO_2max) sekä suoritus tehdään ilman suorituksen aikaista ravinnon saantia (Gleeson 2004). Yleisesti käytettyjä biokemiallisia kuormittumisen mittareina ovat mm. veren laktaatti, kortisoli, sytokiini IL-6, leukosyytit ja kreatiinikinaasi. Lisäksi perusverenkuva eli pieni verenkuva antaa yleiskuvan verisoluista ja hemoglobiinista. Perusverenkuvasssa tutkitaan punasolujen (ja niiden hemoglobiinia) ja valkosolujen pitoisuuksia plasmassa.

5.1 Punasolut, verihiutaleet ja hemoglobiini

Punasoluja eli erytrosyyttejä on noin neljännes kaikista soluistamme. Noin kolmasosa punasolujen kokonaismassasta on verenpuna eli hemoglobiinia. Veren hemoglobiini pitoisuus on miehillä 130 - 165g/l ja naisilla 115 - 155 g/l. Punasolut kuljettavat keuhkoista happea kudoksiin ja kudoksista hiilidioksidia keuhkoihin. Suurin osa hapesta ja osaksi hiilidioksidista sitoutuvat hemoglobiiniin (Nienstedt 2008.). Punasolujen ja hemoglobiiniarvoihin vaikuttaa asento, työ ja hikoilu. Lihastyössä nestettä siirtyy verenkierrosta ensin verisuonten ulkopuolella oleviin kudoksiin ja haihtuu lopuksi hikenä elimistöstä kokonaan pois. Tällöin veren hemoglobiinipitoisuus nousee, koska

samaa verisuoniston hemoglobiinimäärää kohti on nyt vähemmän nestettä. (Karvonen 1990.). Verihiutaleet eli trombosyytit syntyvät luuytimen jättisolusta ja ovat kiekkomaisia tumattomia soluja. Trombosyytit osallistuvat verenvuodon tyrehtyttämiseen. Niiden määrä veressä vaihtelee suuresti (Nienstedt 2008.). Verihiutaleiden määrää plasmassa kasvaa maksimaalisen aerobisen liikunnan (Feng 1999) sekä voimaharjoittelun aikana (Ahmadizad & El-Sayed 2003).

5.2 Leukosyytit

Veren valkosolut eli leukosyytit käyttävät verta kulkureittinä, jonka mukana ne pääsevät muodostumispaikastaan alueille, joille elimistöön tunkeutuneet bakteerit, virukset, sienet tai loiset ovat aiheuttaneet infektion. Infektioalueelle hakeutuu nopeasti suuria määriä valkosoluja, jotta elimistöön tunkeutuneet taudinaiheuttajat pystyttäisiin torjumaan tehokkaasti. Leukosyytteihin kuuluvat granulosyytit, lymfosyytit ja monosyytit. Eri valkosolutyypeillä on omat erikoistehtävänsä elimistön puolustusjärjestelmässä, mutta ne kaikki ovat välittömiä täysmääräisen immuunivasteen aikaansaamiseksi. Granulosyytit jaetaan edelleen neutrofiilisiin, eosinofiilisiin ja basofiilisiin. Neutrofiilit on bakteereita tappavia valkosoluja ja niitä kerääntyy runsaasti tulehduspaikalle. Eosinofiilit ja basofiilit säätelevät osaltaan immunitetti- ja tulehdusreaktioita. Lymfosyyttejä on n. 20 – 45 % aikuisen ihmisen veren valkosoluista ja niillä on huomattava osuus immunitettireaktioissa. Toiminnallisesti lymfosyytit kuuluvat B-imusoluihin, T-imusoluihin tai luonnollisiin tappajasoluihin. T- ja B- soluissa on vielä alalajeja. Monosyyttejä on 2 – 10 % valkosoluista ja ne fagosytoivat eli nielevät sisäänsä vierasta materiaalia kuten bakteereita. (Nienstedt ym. 2008.).

Valkosolujen määrään veressä vaikuttaa ikä, jonka myötä määrä vähenee (Nienstedt ym. 2008). Yleisesti liikunta ja syöminen taas aiheuttavat leukosytoosia, eli lisäävät valkosolujen määrää (Sovijärvi ym. 1994). Kovatehoinen liikuntasuoritus aiheuttaa useita eriasteisia traumoja lihas-, side- ja luukudokseen. Nämä traumat ovat tilapäisiä ja johtavat akuuttiin tulehdusreaktioon, joka laukaisee mm. neutrofiilien ja makrofagien lisääntymisen. Niiden tehtävänä on puhdistaa ja korjata näitä vioittuneita kudoksia

(Catanho da Silva & Macedo 2011.). Kuormitus vaikuttaa eri valkosoluihin eri tavalla (Taulukko 2). Valkosolujen kokonaispitoisuus kasvaa kuormituksessa 20 - 25 prosenttia (Sovijärvi ym. 1994). Granulosyyteistä neutrofiilien pitoisuuden nousevat liikunnan aikana ja sen jälkeen. Piikki on 60 minuutin suorituksen jälkeen ja se voi kestää jopa 5 päivää. Neutrofiilien erityis verenkiertoon aktivoi kortisolin sekä IL-6 erityistä (Catanho da Silva & Macedo 2011.). Lisäksi eosinofiilien pitoisuus suurenee aluksi, sitten se pienenee ja uupumukseen johtavassa suorituksessa se voi jälleen suureta (Sovijärvi ym. 1994). Lymfosyyteillä on myös suuri rooli kudoksien korjauksissa liikunnan jälkeen ja pitoisuudet nousevat liikunnan aikana ja välittömästi sen jälkeen, erityisesti tappaja solut (Pedersen & Hoffman-Goetz 2000; Catanho da Silva & Macedo 2011). Tämän jälkeen tapahtuu lasku, joka voi kestää useita tunteja. Erittäin kovan harjoituksen jälkeen immuunijärjestelmän toiminta on heikentynyt aina 3 - 72 tunnin ajan. Tätä kutsutaan avoimen ikkunan tilaksi ja tuona aikana on suurempi riski sairastua ylähengitystien sairauksiin. (Catanho da Silva & Macedo 2011.). Pitempiaikaisessa kuormituksessa valkosolujen määrä voi myös laskea. Mashiko ym. (2004) havaitsi tutkimuksessaan, että 20 päivän kova harjoitteluleiri vähensi leukosyyttien määrää rugby pelaajilla.

TAULUKKO 2. Kovan harjoituksen vaikutukset immuunijärjestelmään. Mukailtu taulukosta Pedersen & Hoffman-Goetz 2000.

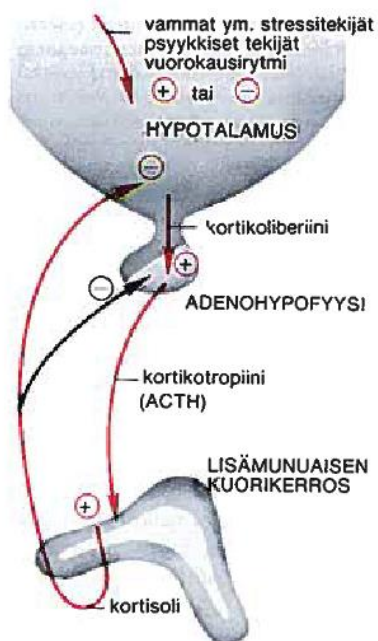
	Liikunnan aikana	Liikunnan jälkeen
Neutrofiilit	↑	↑↑
Monosyytit	↑	↑
Lymfosyytit	↑	↑
Plasman IL-6	↑↑	↑

5.3 Kortisoli

5.3.1 Kortisolin vaikutukset elimistössä

Kortisoli kuuluu glukokortikoideihin, joita on useita. Ne vaikuttavat glukoosiaineenvaihduntaan ja kortisoli on näistä tärkein. Se kiertää veressä sitoutuneena

omaan kuljettajavalkuaisaineeseensa, globuliiniin (CBG). Kortisolia erittyy aina stressitilanteissa eli se on hyvä stressimarkkeri. Näitä tilanteita voivat olla ulkoiset tekijät kuten kova fyysinen rasitus, kylmyys tai fyysinen vamma, tai vastaavasti sisäiset tekijät kuten shokki kipu tai ahdistus. Stressitilanteissa keskushermosto stimuloi hypotalamusta ja se alkaa tuottaa kortikotropiinin vapauttajahormonia eli kortikoliberiini eli ACTH-RH:a. Tämä taas lisää adrenokortikotrooppisen hormonin erittymistä aivolisäkkeen etulohkosta. Tämä lisää glukokortikoidien kuten kortisolin eritystä (Kuva 3). (Sand ym. 2012).



KUVA 3. Kortisolin sekä sen vapauttajahormonien erityks. (Nienstedt ym. 2008).

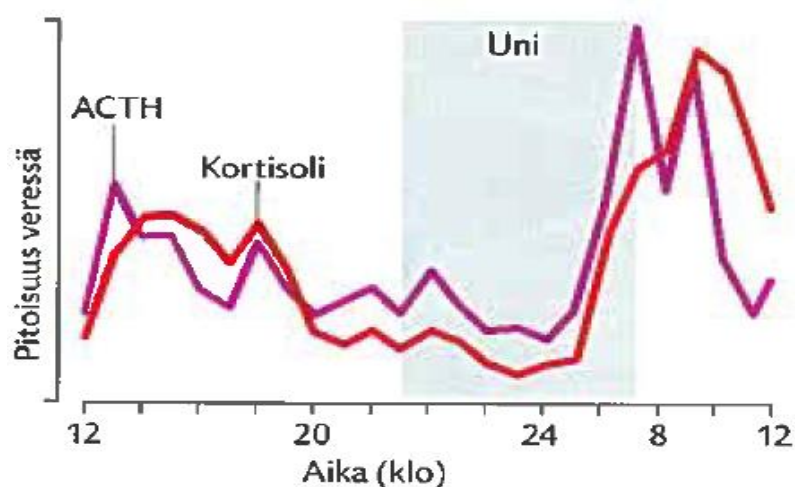
Kortisolin fysiologiset vaikutukset elimistössä vaikuttaa energia-aineenvaihduntaan kiihdyttämällä proteiinien kataboliaa. Lisäksi glukoneogeneesi ja glykogenolyysi kiihtyy, eli kortisoli nostaa veren glukoosi pitoisuuksia. Sillä on myös vaikutus elektrolyytti- ja vesiaineenvaihduntaan sitomalla natriumia elimistöön ja samalla elimistön nestevolyymi pyrkii suurenemaan. Kortisolilla on negatiiviset vaikutukset kalsiumin-aineenvaihduntaan, koska kortisoli pitoisuuksien noustessa kalsiumin imeytyminen suolistosta vähenee ja erityks virtsaan lisääntyy, jolloin luun uudistuminen

hidastuu. Kortisoli vaikuttaa immuunivasteeseen vähentämällä tulehdusreaktiota kaikkien osatekijöiden välityksellä ja vaimentaa sekä B- että T-solujen toimintaa. Se suurentaa valkosolujen ja trombosyyttien määrää sekä pienentää eosinofiilien määrää veressä. Lisäksi se vaikuttaa verenkiertoon herkistämällä arteriolit katekoamiinin vaikutukselle. (Lamberg ym. 1992.).

Lisäksi kortisoli lisää liikunnan aikana hengityksen kiihtymistä estääkseen lihasvaurion pahenemista. Se lisää lihasproteiinin hajotusta sekä glutamiinin kuljetusta veressä liikunnan aikana, mikä taas tällöin vähentää lymfosyyttien määrän kasvua (Catanho da Silva & Macedo 2011).

5.3.2 Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät

Estrogeenit lisäävät kortisolin kuljettajaproteiinin CBG:n synteesiä ja näihin kantajaproteiineihin sidottujen hormonien kokonaiskonsentraatiota verenkierrossa niin huomattavasti, että voi syntyä diagnostista sekaannusta kokonaishormonipitoisuuksia määritettäessä. Tämä pitää huomioida jos mitataan naisia, jotka ovat raskaana tai naisia, jotka käyttävät ehkäisytabletteja. (Vilpo ym. 2003). Lisäksi tulosten tulkintaan vaikuttavat vuorokausivaihtelu (Kuva 4). Kortisolin viitearvot vuorokauden ajan mukaan seerumin kortisolille ovat klo 8.00: 150 - 650 nmol/l klo 14.00: 110 - 430 nmol/l (Vilpo ym. 2003).



KUVA 4. Kortisolin vuorokausi erityys. (Sand ym. 2012).

5.3.3 Kortisolipitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä

Kun kuormitustaso on yli 70 % VO_2 max:sta, on havaittavissa kortisolin runsas lisääntyminen. Glukokortikoidien vaikutus lihakseen korostuu kuormituksen aikana insuliinin ja androgeenien tuotannon ja vaikutuksen vähentyessä. Akuutissa ylikuormitustilanteessa urheilijoilla ilmenee hyperkortisolismia eli kortisolin pitoisuudet ovat koholla. (Heinonen 2005). Liikunnan aiheuttamat kortisolin pitoisuuksien nousut riippuvat vuorokauden ajasta. Aamulla kortisolit nousee enemmän kuin illalla suoritettussa liikunnassa (Kanaley ym. 2001).

Vaikuttaa siltä, että kortisoli pitoisuudet kasvavat voimaharjoittelunaikana, voimakkaimmin silloin kun palautusajat on lyhyet ja kokonaisvolyymi on korkea. Katabolisen roolin vaikutuksen vuoksi kortisolista ollaan kiinnostuneita sen koko kehon kudosaaurion markkerina. Tällöin kasvun suuruus pitäisi olla yli 800nmol/l, että se indikoisi ylikuormitusta. Kortisoli- testosteroni suhdetta on myös käytetty määrittämään anabolista- katabolista tilaa kehossa. Hormoneilla on kuitenkin monta roolia kehossa, joten ennusteiden ja muutosten seuranta ei ole yksiselitteistä. Voimaharjoittelussa suurin ero on havaittu akuutin ja kroonisen vasteen välillä. Akuutti vaikutus merkitsee aineenvaihdunnallista stressiä, ja krooninen näkökohta voi ensisijaisesti liittyä kudosten

homeostaasiin, mikä johtuu proteiinien aineenvaihdunnasta. Kuitenkin kortisolin rooli ylikuormitukseen, harjoittelun jälkeen tai vammaan voi olla kriittinen jos samalla havaitaan lihaksen surkastumista tai voiman kapasiteetin vähenemistä. Kuitenkin kortisolin rooli tukahduttajana T-solun immuunijärjestelmään on suora vaikutus lihaksen palautumiseen ja uudelleen korjaamiseen. Akuutin kortisolin nousu voi liittyä lihaksen mikrovaurioiden korjaukseen, mutta pitkä aikainen kortisolipitoisuuksien koholla oleminen voi olla merkki lihaskataboliasta. (Beachle & Earle 2008.).

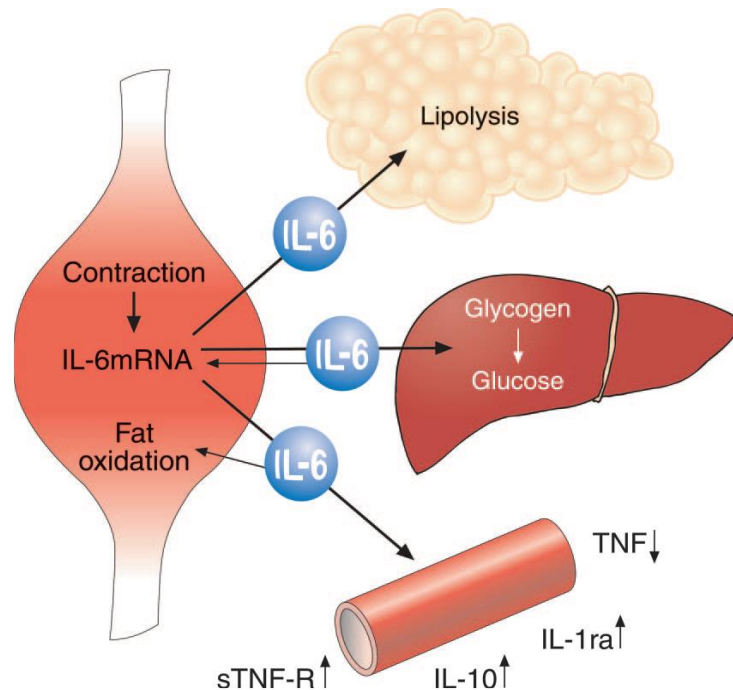
Lisäksi kortisolin pitoisuuksiin vaikuttaa stressi esim. pelko, joka nostaa pitoisuuksia (Välimäki ym. 2009). Kofeiini nostaa itsenäisesti kortisolin pitoisuuksia etenkin muun stressin yhteydessä (urheilu tai henkinen stressi) nostaa sitä vielä lisää. Lisäksi naisilla kortisolin pitoisuuksia nostaa myös liikunnan jälkeinen ravitsemus (Lovallo ym. 2006).

5.4 IL-6

IL-6 eli interleukiini 6 kuulu isompaan ryhmään mitä kutsutaan sytokiineiksi. Sytokiinit ovat proteiini- tai glukoproteiinirakenteisia signaalimolekyylejä, jotka pieninä paikallisina pitoisuuksina säätelevät tulehdusta, verenmuodostusta sekä immuunivastetta, erityisesti vaikuttamalla tulehdussolujen toimintaan. Ne muodostuvat pääasiassa tulehdussolujen tuottamana. Osa sytokiineista vahvistaa ja osa taas käynnistää paranemisprosesseja, jolloin se rauhoittaa tulehdusta (Moilanen 2002; Nienstedt ym. 2008.). Tulehdusreaktion tarkoitus on pyrkiä poistamaan elimistöstä vaurion aiheuttaneen tekijän. Tulehdusreaktion levitessä ja voimistuessa myös veren sytokiinipitoisuus suurenee. Tämä saa hypotalamuksen tehostamaan kortikoliberiinin (ACTH-RH) eritystä, mikä tehostaa kortikotropiinin (ACTH) eritystä ja kortisolin muodostusta. Kun veren kortisolipitoisuus suurenee, paikallinen sytokiinin tuotanto vähenee. Näin tulehdusreaktio ei pääse kiihtymään liikaa eikä leviämään terveisiin kudoksiin tulehdusalueen ulkopuolelle (Sand ym. 2012.).

Säännöllinen liikunta suojaa taudeilta, jotka liittyvät krooniseen matala-asteiseen tulehdukseen sekä se auttaa laskemaan IL-6 pitoisuuksia. (Petersen & Pedersen 2005; Nicklas ym. 2008). Tämä pitkän aikavälin liikunnan vaikutus tulehdusta vähentävästä

vasteesta aiheutuu liikunnan aiheuttamasta lihaksen johtamasta IL-6 vasteesta. IL-6 stimuloi tulehdusta vähentävien sytokiinien, IL-1 ja IL-10 kiertoa ja vähentää tulehduksen välittäjäaineen TNF tuotantoa. IL-6 stimuloi lipolyysiä ja rasvan hapetusta. Tulehdusta vähentävä vaikutus voi tarjota suojan TNF aiheuttamaan insuliiniresistenssiin (Kuva 5). (Petersen & Pedersen 2005.).



KUVA 5. Supistettu lihasfiiberi tuottaa ja vapauttaa IL-6:sta, mikä aiheuttaa useita aineenvaihdunnallisia efektejä. IL-6 lisää lipolyysiä, rasvan hapetusta ja se on "sekaantunut" glukoosin homeostaasiin harjoituksen aikana. Lisäksi IL-6 on voimakas anti-inflatorinen vaikutus ja se voi estää TNF- vaikutuksia insuliininresistanssiin. sTNF-R, liukeneva TNF reseptori. (Petersen & Pedersen 2005).

Kovan liikunnan aikana IL-6 nousu on merkittävä (Petersen & Pedersen 2005; Pedersen & Hoffman-Goetz 2000). IL-6 pitoisuudet veressä nousevat akuutisti liikunnan johdosta, erityisesti korkean intensiteetin liikunnassa tai pitkäkestoisessa suorituksessa. Konsentrisessa suorituksessa IL-6 nousu on suurempaa mutta tilapäistä, kun taas

eksentrisessä suorituksessa IL-6 pitoisuuksien huippu tulee palautumisen aikana. (Reihmane & Dela 2014.) Eksentrisessä suorituksessa IL-6 pitoisuuksien nousu korreloi kreatiinikinaasin pitoisuuksien kanssa. Tästä syystä voidaan olettaa, että IL-6 pitoisuuksilla ja lihasvaurioilla on yhteys (Pedersen & Hoffman-Goetz 2000; Catanho da Silva & Macedo 2011). IL-6 nostaa kortisolin eritystä ja aktivoi maksan glykogenolyysiä (Catanho da Silva & Macedo 2011; Reihmane & Dela 2014.)

Ikääntyneillä on korkeammat IL-6 pitoisuudet ja sen pitoisuus kasvaa dramaattisesti 70 vuotiailla ja vanhemmilla (Nicklas ym. 2008). Iäkkäillä tulehduksen merkitystä sarkopeniassa on tutkittu, koska heillä immuunivaste on heikompi kuin nuorilla. On todettu, että IL - 6 voi subkliinisillä tasoilla lisätä sarkopeniariskiä. Tämä voi johtua siitä, että sytokiinit vaikuttavat hormonituotantoon pienentämällä insuliinin kaltaisen kasvuhormonin eritystä. (Rantanen 2005.).

5.5 Kreatiinikinaasi

Kreatiinikinaasi on soluliman proteiini, joka edistää fosfokreatiini – kreatiinireaktiota. Sen määrittämistä käytetään fyysisen kuormituksen mittarina, koska sillä voidaan arvioida lihasvaurion kokoa. Pääasiassa sitä käytetään sydäninfarkti-diagnostiikassa, mutta myös lihassairauksissa ja suurissa lihasvaurioissa. (Heinonen 2005). Kreatiinikinaasin määrä voi nousta useaksi päiväksi kovan harjoittelun jälkeen, riippuen kuikan suurista lihasvaurioista on suorituksesta tullut. (Tofas ym. 2008; Chatzinikolaou ym. 2010; Horita ym. 2002; Kuitunen ym. 2003). Kreatiinikinaasin pitoisuudet veressä kuvaa myös testattavan lihasmäärää, esim. voimailulajien harjoittajilla sen määrä veressä on suurempi kuin tavallisesti sekä yleisesti miehillä on suuremmat pitoisuudet kuin naisilla (Heinonen 2005).

5.6 Laktaatti

Laktaatti on pienimolekyylinen yhdiste, joka kulkeutuu solukalvonläpi laktaatinkuljettajaproteiinin välityksellä. Lihaksista vapautuvalla ja verenkiertoon

siirtyvällä laktaatilla on keskeinen rooli rasisfysiologiassa. Luustolihakset ja sydän voivat käyttää sitä energianlähteenä, joten se on tehokas ja helposti liikuteltava energianlähde, joka säästää glukoosia. Laktaatin aineenvaihduntaa säätelevät lihaksien ja maksan lisäksi myös iho ja ohutsuoli. (Heinonen 2005). Laktaattia muodostuu glykolyysissä. Glykolyysillä tarkoitetaan 10 kemiallisen reaktion sarjaa, jossa glukoosi tai glykogeeni muutetaan palorypälehapoksi ja edelleen maitohapoksi (Mero ym. 2004). Aineenvaihdunnassa maitohappo menettää pian vety ionin (H plus) ja muuttuu näin laktaatiksi. ATP:tä laktaatiksi muodostettaessa nopean glykolyysin maksimiteho on noin 100 KJ/min, ja se saadaan tuotettua noin minuutin kestävässä suorituksessa. (Heinonen 2005).

Normaalisti lihaksessa ja veressä laktaatti pitoisuus on matala. Normaali pitoisuus veressä on 0,5 - 2,2 mmol/l levossa ja saman verran "märässä" lihaksessa. Korkeinta mahdollista laktaatin määrää ei tiedetä. Täydellisessä väsymyksessä veren laktaattipitoisuus on ollut 20 - 25mmol/l. On raportoitu, että nopeissa lihassoluissa maksimaalinen laktaatin tuotanto on $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ja hitaissa $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Nopeiden lihassolujen suurempi laktaatin tuoton määrä voi johtua glykolyyttisten entsyymien suuremmasta aktiivisuudesta kuin hitaissa soluissa. Veren laktaatin määrä heijastaa laktaatin tuotantoa ja yksilön irtiottokykyä. (Beachle & Earle 2008, 26 – 27.). Lisäksi on osoitettu, että suurempi lihasmassa harjoituksen aikana voi aiheuttaa suurempia laktaatin tuotantoa (Arazi ym. 2012).

Laktaattia voidaan poistaa hapettamalla lihassoluissa, missä se on muodostunut tai se voidaan kuljettaa vereen muiden lihasten hapetettavaksi. Lisäksi se voidaan kuljettaa veren mukana maksaan, missä se muutetaan glukoosiksi. Tätä prosessia kutsutaan Corin sykliksi. Laktaatin poistumisnopeuteen voidaan vaikuttaa harjoittelemalla matalalla intensiteetillä. Urheilijoilla on parempi laktaatin poistokyky kuin harjoittelemattomilla. Veren laktaattipitoisuuden huippu on 5 min maksimaalisen harjoituksen päättymisen jälkeen. Laktaatin kertyminen on suurempaa kovassa harjoittelussa kuten voima- tai sprintti- harjoittelu, kuin taas matalatehoisessa pitkäkestoisessa harjoittelussa. (Beachle & Earle 2008, 27.).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Ikääntyminen itsessään lisää kaikkien sairauksien riskiä sekä muut epäedulliset fysiologiset muutokset lisääntyvät. Yksi merkittävistä tekijöistä on matala-asteinen tulehdus, joka lisää entisestään riskiä sairauksille sekä aiheuttaa yleistä heikkoutta ja aktiiviteetin vähenemistä. Lisäksi ikääntymisen myötä tuki- ja liikuntaelimestön kunto heikkenee sarkopenian sekä osteoporoosin johdosta. Siksi olisikin tärkeä löytää tehokkaita ja turvallisia kuormitusmuotoja iäkkäille. Kovatehoinen harjoitus aiheuttaa elimistössä trauman kaltaisia fysiologisia oireita, tulehdusta ja mikrovaurioita lihaksissa. Palautuminen kovatehoisesta kuormituksesta voi kestää kauan ja lisätä immunitetin heikkenemistä. Tämän työn tarkoituksena onkin tutkia akuutin plyometrisen kuormituksen vaikutusta voimantuottoon ja biokemiallisiin vasteisiin eri-ikäisillä naisilla. Erityisesti oli tärkeää vertailla akuutin kuormituksen fysiologisia muutoksia eri ikäryhmien välillä ja selvittää reagoiko ikääntyneet siihen nuoria herkemmin eli onko plyometrinen kuormitus liian kovatehoista ikääntyneille.

Oletuksena oli, että 1) plyometrinen kuormitus aiheuttaa väsymystä, jolloin voimantuotto-ominaisuudet laskevat ja 2) kuormitus aiheuttaa lihasvaurioita, joka näkyy biokemiallisissa vasteissa.

Tutkimuskysymykset:

- i) Miten kuormitus vaikuttaa eri-ikäisiin naisten voimantuottoon ja biokemiallisiin vasteisiin?
- ii) Onko biokemiallisten- tai väsymysadaptaatioiden välillä eroa eri ikäryhmien välillä?
- iii) Onko tämän kaltainen kuormitus liian kovatehoista ikääntyneille?

7 MENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 9 nuorta (ikä 18 – 30, n = 9) ja 10 iäkästä (60 - 70, n = 10) vapaaehtoista naista, jotka olivat liikkuneet enintään kaksi kertaa viikossa hikoillen ja hengästyen, sekä olivat perusterveitä. Taulukossa 3. on esitelty tutkittavien perustiedot. Ennen tutkimuksen alkua ikääntyneet kävivät lääkärintarkastuksessa, jossa mitattiin sydänkäyrä (EKG), verenpaine ja lääkärin toimesta arvioitiin tuki- ja liikuntaelinten toimintakunto sekä soveltuvuus tutkimukseen. Sydänkäyrässä esiintyvät poikkeamat, liian korkea verenpaine (systolinen >165), tuki- ja liikuntaelinten vammat ja/tai sairaudet olivat poissulkukriteerinä. Tutkittavat perehdytettiin mittausprotokollaan 1 - 2 viikkoa ennen tutkimuksen alkua ja samalla he pääsivät myös tutustumaan mittalaitteisiin. Tutkittavat perehdytettiin tutkimusprotokollaan ennen suostumuslomakkeen allekirjoittamista, jolloin he olivat selvillä omista oikeuksistaan sekä tutkimusprojektin riskeistä. Testattavien henkilötiedot eivät tule esille missään vaiheessa tutkimuksen aikana, vaan jokainen testattava yksilöitiin numerokoodeilla.

TAULUKKO 3. Tutkittavien perustiedot.

	Naiset nuoret (N=9)		Naiset iäkkäät (N=10)	
	KA	SD	KA	SD
Ikä (v)	23	± 3	63	± 3
Pituus (cm)	163	± 6	161	± 3
Paino (kg)	64,5	± 10,7	68,7	± 9,5
BMI (kg/m ²)	24,2	± 3,9	26,4	± 3,2

7.2 Tutkimusprotokolla

Testipäivänä protokolla oli seuraava: Tutkittava tuli testeihin levänneenä. Hän istui noin 10 minuuttia ennen verikoetta. Verikokeen jälkeen häneltä mitattiin kehonkoostumus Inbody – laitteella. Ennen hyppytestejä jokainen testattava lämmitteli kuntopyörällä 7 minuuttia. Testattava teki kelkkaergometrissa staattiset kyykkyhyppyt (3 hyväksytyä suoritusta) ja pudotushyppyt optimikorkeudesta (6 hyväksytyä suoritusta). Optimikorkeutena oli pudotuskorkeus, josta testattava hyppäsi korkeimmalle hyväksyttävästi. Tässä kriteerinä oli 120 asteen polvikulma, jolloin myös kontaktiaika pysyi mahdollisimman pienenä. Tämän jälkeen hänellä alkoi maksimissaan 4 minuutin väsytytkuormitus. Kuormituksena oli hyppiä ensimmäinen 2 minuuttia 70 % korkeudelle omasta maksimi korkeudesta. Seuraavat 2 minuuttia hypittiin 90 % maksimi korkeudesta. Testattava sai lopettaa heti kun hän ei enää jaksanut hyppiä, vaikka kuormitusta ei ollut tullut 4 minuuttia täyteen. Heti kuormituksen loputtua testattavalta otettiin verinäytteet. Tämän jälkeen hän teki uudestaan kyykky- ja pudotushyppyt sekä muut tutkimukseen liittyvät mittaukset. Mittauksien jälkeen testattava sai välipalaksi mehun ja välipalakeksin, jotta verensokeri ei laskisi liian matalalle. Viimeinen verinäyte otettiin 2 tuntia kuormituksen jälkeen. Tämän ajan testattava odotteli rauhassa siihen tarkoitettussa tilassa. Tutkimusprotokolla käy ilmi taulukosta 4.

TAULUKKO 4. Tutkimusprotokolla.

Lepo	Testattavat istuivat 10 min.
Verikoe	
Inbody	
Hyyt + muut mittaukset	Kyykkyhyppy ja pudotushyppy + muut mittaukset
Kuormitus	Kuormitus max 4 min.
Verikoe	
Hyyt + muut mittaukset	Kyykkyhyppy ja pudotushyppy + muut mittaukset
Välipala	Mehu ja välipalakeksi
2h lepoa	
Verikoe	

7.3 Verinäytteet

Lepoverinäyte otettiin ennen testiä (Pre), kun testihenkilö oli istunut 10 minuuttia. Seuraava näyte otettiin heti kuormituksen jälkeen (Post) ja viimeinen 2 tuntia (Post 2h) kuormituksesta. Verinäytteistä analysoitiin perusverenkuva B-PVK. Siinä laskimoverestä otetaan 1ml laskimoverta Vacuette® K2 EDTA- vakuumiputkeen. Näyte analysoitiin Sysmex Ka-ZIN verenkuva analysaattorilla. (Sysmex Co. Kope, Japani). Laktaatti B-LAKT ja verensokeri B-GLUK analysointiin ottamalla kapillaariverta, 20 µl 1ml:aan hemolysointiliuosta BIOSEN C-line-Analysaattorilla EKF-diagnostic. (Magdeburg, Saksa). Seerumin kreatiinikinaasi S-CK ja kortisoli S-COR, S-IL-6 analysoitiin ottamalla 7 ml laskimoverta Vacuette® seerumivakuumiputkeen. Näyte sentrifigointiin hyytymisen jälkeen 10 min 3500 Rpm IEG Centra CL2 setrifuugilla. S-CK, Laite : Konelab 20 XTi, Thermo Fisher Scientotic, Finland CK-reagenssi, Thermo Fisher. S-COR ja S-IL6, Laite Immulite 1000, Siemens, USA: Reasenssit Immulite, Siemens.

7.4 Voimat ja lähtönopeus

Kyykkyhyppyt ja pudotushyppyt tehtiin Jyväskylän yliopiston valmistamassa kelkkaergometrissä (Kuva 6). Kaltevuuskulma ergometrissä oli 23 astetta. Hyppääjille määritettiin polvikulmat goniometrillä, jolloin kyykkyhyppy tehtäisiin 90 asteen ja pudotushyppy 120 asteen polvikulmassa. Ergometrin reunaan asetettiin merkit, jolloin kelkan reunan ollessa merkkien pystyttiin kontrolloimaan hyväksytyt suoritukset. Testaajat seurasivat hyppyjä myös tietokoneen näytöltä, Spiken (CED Ltd., Cambridge, England) ohjelman kautta. Hyppyt pyrittiin suorittamaan muutaman hypyn sarjoissa, joiden välillä pidettiin 20 sekunnin palautusaika. Onnistuneita kyykkyhyppyjä haluttiin 3 sekä pudotushyppyjä 6 kappaletta.

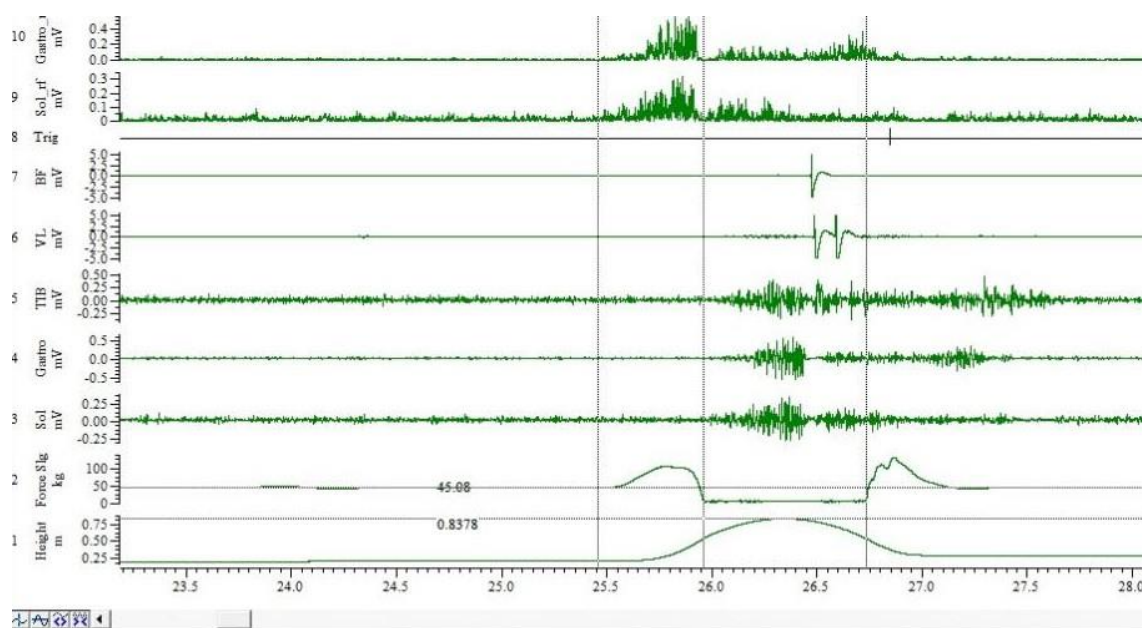


KUVA 6. Kelkkaergometri

Ergometrillä ponnistusalustassa oli voimalevyt, millä seurattiin tuotettua voimaa sekä hyppykorkeutta. Voimalevyiltä dataa kerättiin 1000 Hz taajuudella ja tallennettiin. Tulosten analysoinnissa käytettiin Spike 2 ohjelmaa (CED Ltd., Cambridge, England). AD-muuntimena toimi CED Power 1401 (CED Ltd., Cambridge, Englanti). Esivahvistimena toimi For Amps v.1.2. 33 (Jyväskylän yliopisto, Suomi).

Kyykkyhyppyjen analysointi

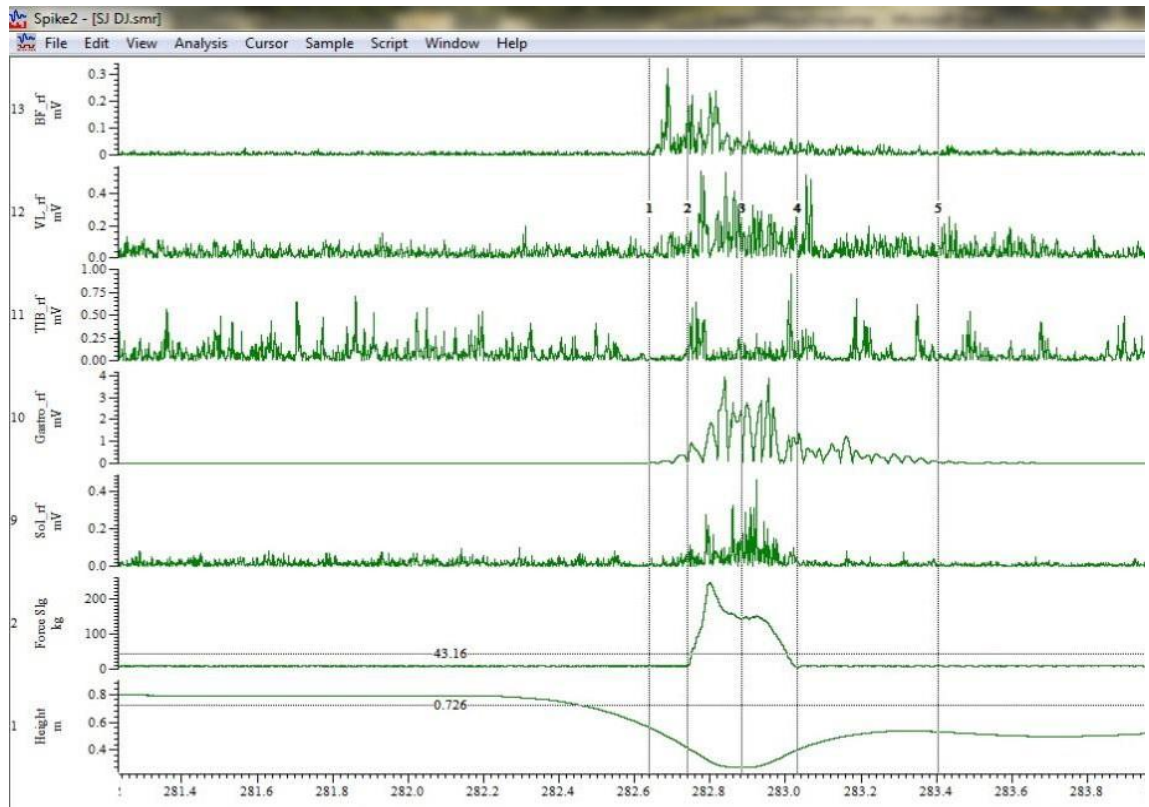
Kyykkyhyppyjen raakadata analysoitiin valitsemalla kolmesta hypystä korkein. Siinä määritettiin hypystä konsentrisen voima, lentoaika sekä tulo voimalevyille. Kursoreiden avulla määritettiin maksimi lentoaika 2-3 ja korkeus. Mitatuille kyykkyhyppyjen muuttujille laskettiin ryhmien keskiarvot. Piikkivoima laskettiin Canavan ja Vescovi (2004) käyttämällä laskukaavalla. Kuvassa 7 kursorit 1 - 2 kuvaavat konsentrista voimantuottoa eli hyppyä ja kursorit 2 - 3 lentoaikaa.



KUVA 7. Kyykkyhypyn raakadatan analysointi spikellä. Kuvassa yhden henkilön hyppy.

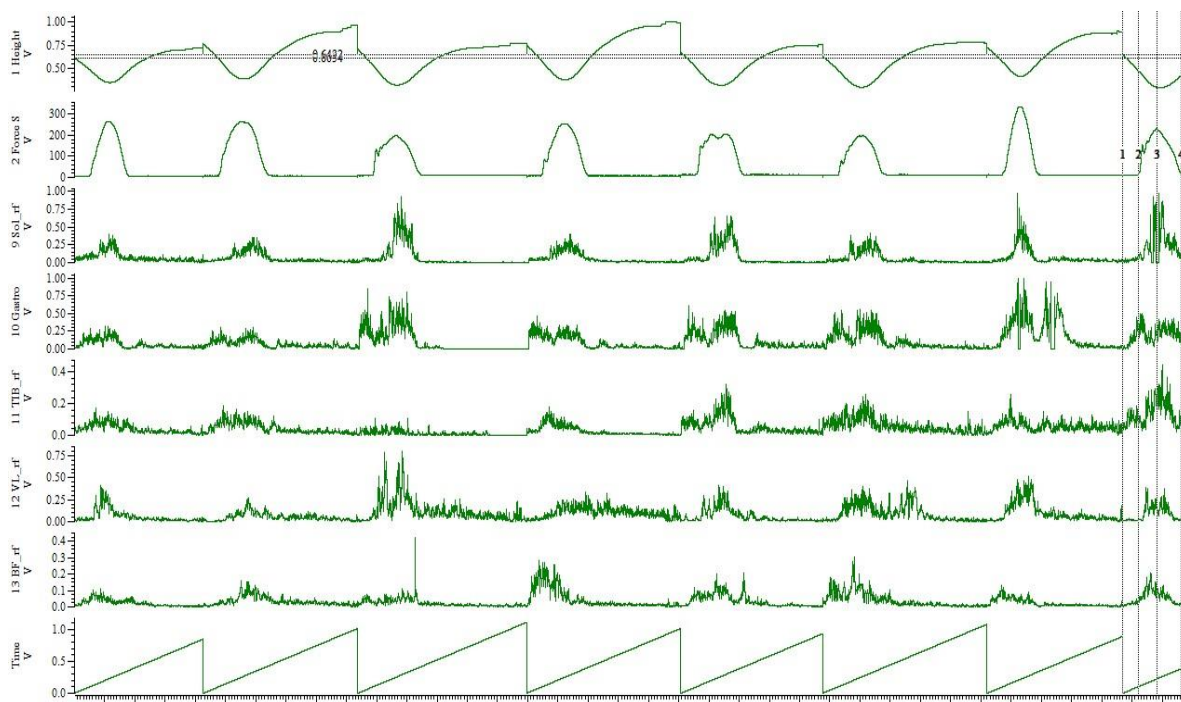
Pudotushyppyjen analysointi

Hypystä määritettiin maksimi lentoaika ja korkeus, keskiarvoinen voima (eksentrisen ja konsentrisen). Kuvassa 8 kursorit 2 - 3 kuvaa hypyn eksentristä voimaa ja kursorit 3 - 4 kuvaa laudalta ponnistusta eli konsentristä voimaa. Kursoreiden 4 - 5 avulla määritettiin maksimihyppykorkeus.



KUVA 8. Pudotushypyn raakadatan analysointi spikellä. Kuvassa yhden henkilön hyppy.

Jokaiselta henkilöltä analysoitiin 6 hyppyä ja niistä laskettiin keskiarvo. Näistä tuloksista muodostettiin excelissä txt. tiedosto ja se avattiin uudelleen spikessä (Kuva 9). Näistä tuloksista voitiin muodostaa ryhmille keskiarvot.



KUVA 9. Keskiarvoistettu pudotushyppyjen analysointi. Keskiarvoistetuista tuloksista määritettiin keskiarvoinen eksentrisen voima (kursorit 2 - 3) ja konsentrisen voima (kursorit 3 - 4).

7.5 Väsytkuormitus

Väsytkuormituksessa testattava hyppi kelkkaergometrissa ensimmäiset 2 minuuttia 70 % korkeuteen ja sen jälkeen vielä seuraavat 2 minuuttia 90 % korkeuteen pudotushypyn maksimi korkeudesta. Testattavaa kannustettiin koko ajan voimakkaasti. Häntä ohjeistettiin hyppäämään halutussa polvikulmassa sekä hyppäämään tavoite korkeudelle. Testattava sai lopettaa hyppimisen jos hän itse halusi tai jos tavoitekorkeutta ei saavutettu ohjeistuksista ja kannustuksista huolimatta.

7.6 Tilastoanalyysit

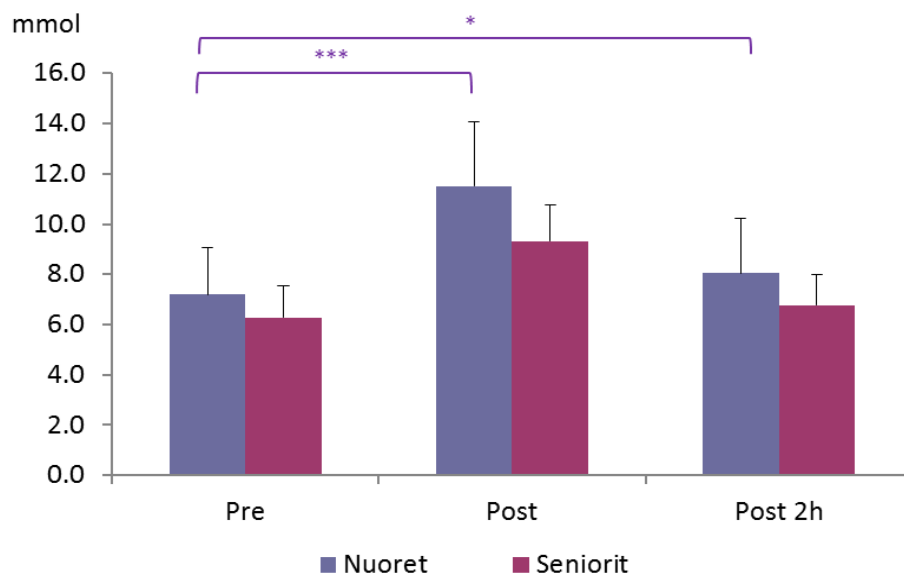
Tilastoanalyysit tehtiin PAWS statistics 21 (SPSS inc., Chigago, IL) ohjelmalla. Muuttujista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat ($K-A \pm SD$). Muuttujien jakautumisen normaalisuuden tarkistaminen suoritettiin Saphiro-Wilkinsonin testillä ja muuttujien eroja tarkasteltiin General Linear Model (GLM) monisuuntaisella vertailuanalyysillä.

Merkitsevyystasoina pidettiin* $p < 0,05$ tilastollisesti melkein merkittävä, ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkittävä, *** $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkittävä.

8 TULOKSET

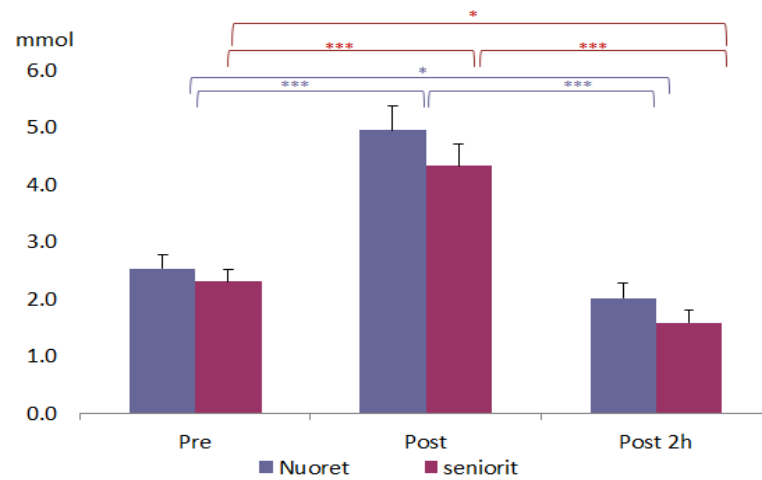
8.1 Leukosyytit

Valkosolut eli leukosyytit nousivat väsytytkuormituksen johdosta nuorilla tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) ja olivat edelleen koholla kahden tunnin jälkeen (Pre vs. Post 2h ($p < 0.05$)) (Kuva 10).



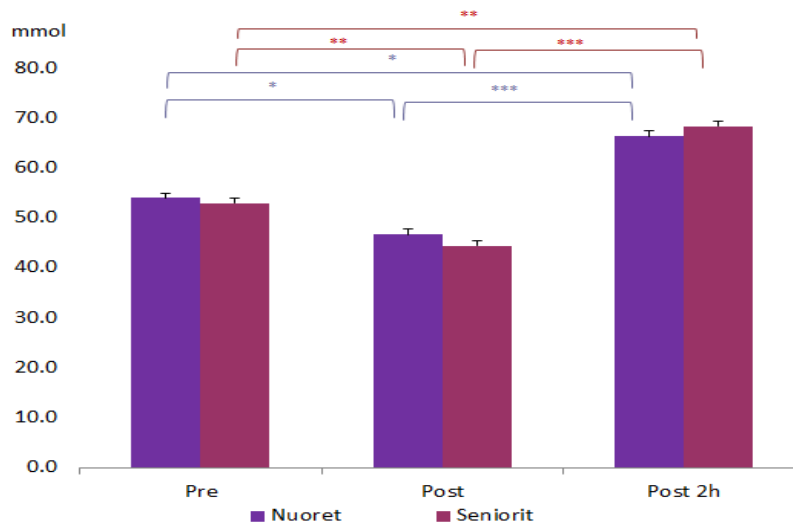
KUVA 10. Valkosolut ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Väsytytkuormituksen jälkeen lymfosyyttien määrä odotetusti nousi molemmilla ryhmillä, ($p < 0.001$) ja laski 2 h jälkeen ($p < 0.001$) jopa alle lepotason ($p < 0.05$). (Kuva 11).



KUVA 11. Lymfosyytit ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

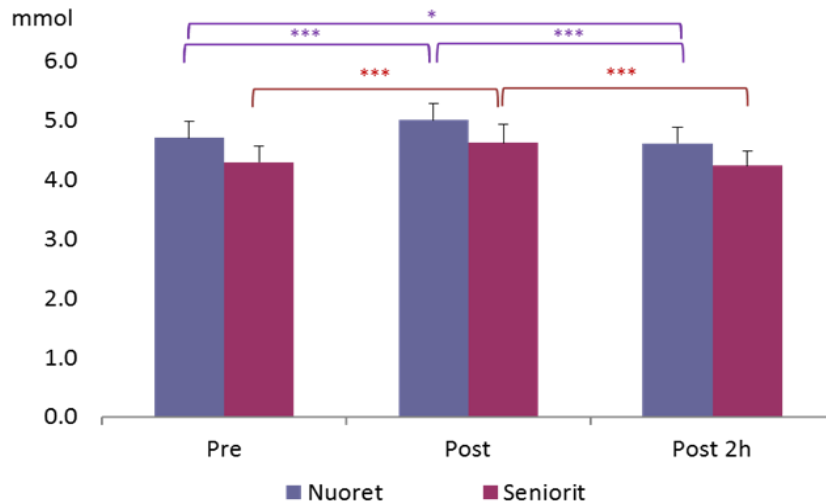
Neutrofiilit laskivat tilastollisesti merkitsevästi väsytytkuormituksen johdosta sekä nuorilla, ($p < 0.05$) että ikääntyneillä ($p < 0.01$). 2 h jälkeen neutrofiilit nousivat molemmilla ryhmillä ($p < 0.001$) jopa yli lepotason nuorilla ($p < 0.05$) ikääntyneillä ($p < 0.01$). (Kuva 12).



KUVA 12. Neutrofiilit ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

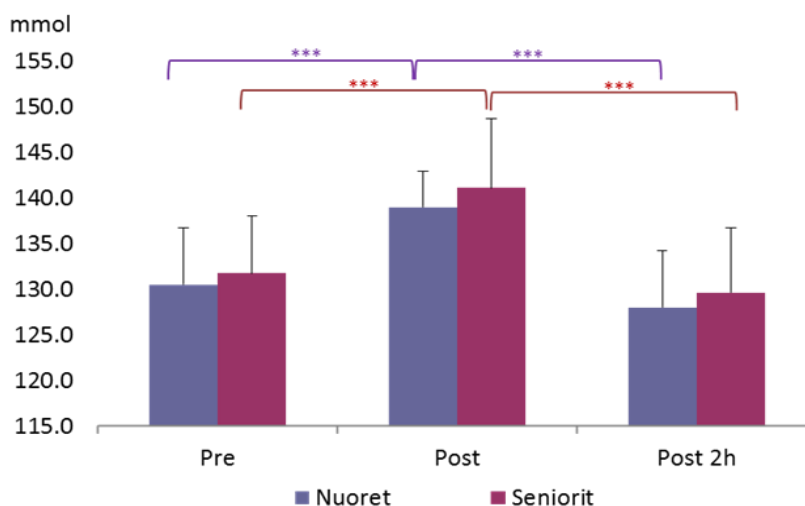
8.2 Punasolut, hemoglobiini ja verihiutalet

Väsytyskuormituksen jälkeen punasolujen määrä nousi tilastollisesti merkitsevästi molemmilla ryhmillä, ($p < 0.001$) ja laski 2 h jälkeen ($p < 0.001$), nuorilla jopa alle lepotason ($p < 0.05$). (Kuva 13).



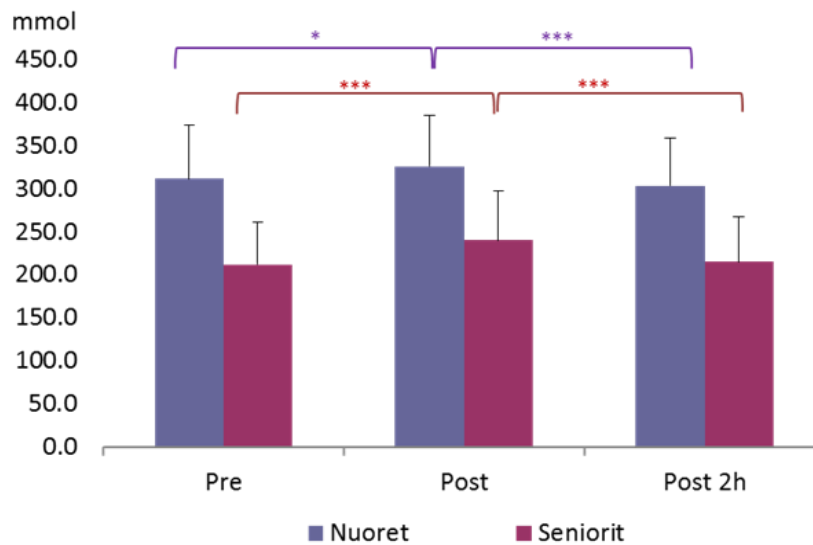
KUVA 13. Punasolut ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytyskuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Väsytyskuormituksen jälkeen hemoglobiinin määrä nousi tilastollisesti merkitsevästi molemmilla ryhmillä, ($p < 0.001$) ja palautui lepotasolle 2 h jälkeen ($p < 0.001$). (Kuva 14).



KUVA 14. Hemoglobiini ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. *** $p < 0.001$.

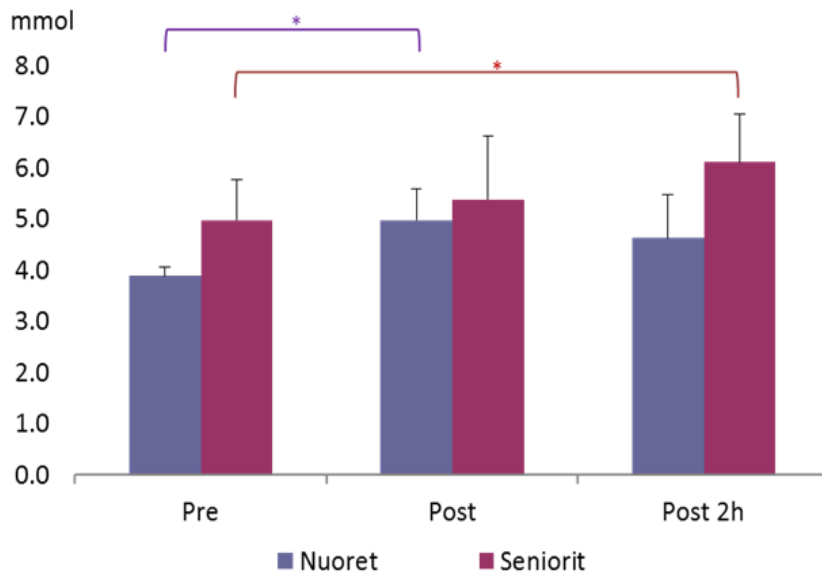
Verihiutaleet nousivat tilastollisesti merkitsevästi väsytytkuormituksen johdosta sekä nuorilla ($p < 0.05$) että ikääntyneillä ($p < 0.001$) ja laskivat 2 tuntia väsytytkuormituksen jälkeen molemmilla ryhmillä ($p < 0.001$). (Kuva 15).



KUVA 15. Verihiutaleet ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

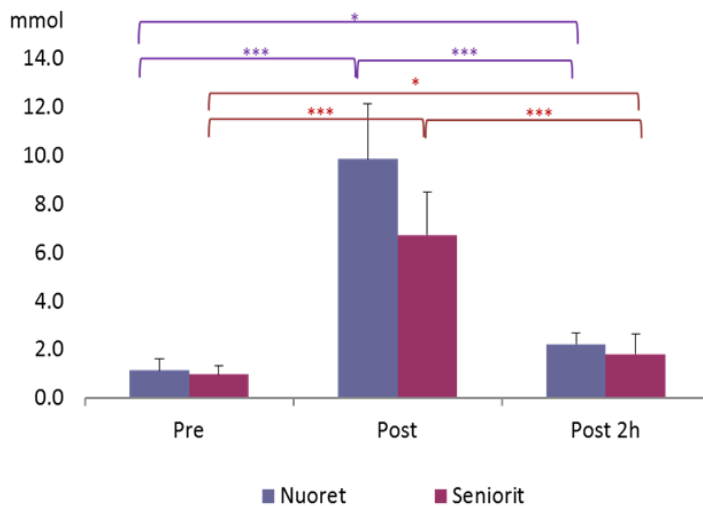
8.3 Glukoosi ja laktaatti

Veren glukoosipitoisuus nousi tilastollisesti merkitsevästi väsytytkuormituksen johdosta nuorilla ($p < 0.05$). Ikääntyneillä glukoosipitoisuus nousi tilastollisesti merkitsevästi vasta 2 h kuormituksen jälkeen ($p < 0.05$). (Kuva 16).



KUVA 16. Glukoosi ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$.

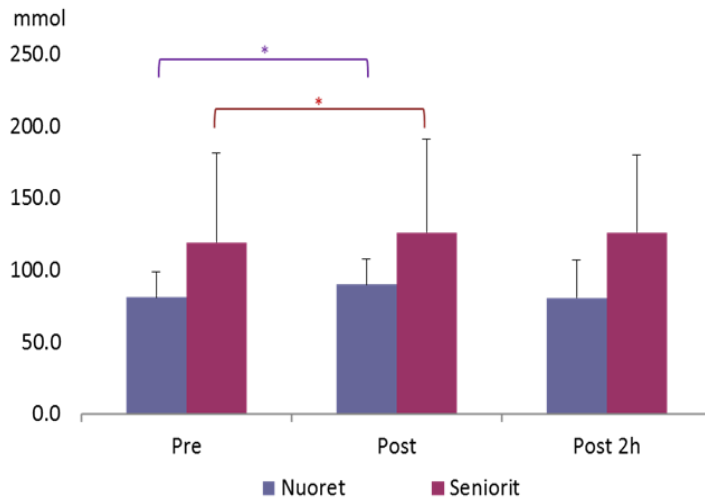
Väsytytkuormituksen johdosta laktaatti odotetusti nousi tilastollisesti merkitsevästi molemmilla ryhmillä, ($p < 0.001$) ja laski 2 h kuormituksen jälkeen ($p < 0.001$), mutta oli kuitenkin vielä lepotasoa korkeammalla ($p < 0.01$). (Kuva 17).



KUVA 17. Laktaatti ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

8.4 Kreatiinikinaasi

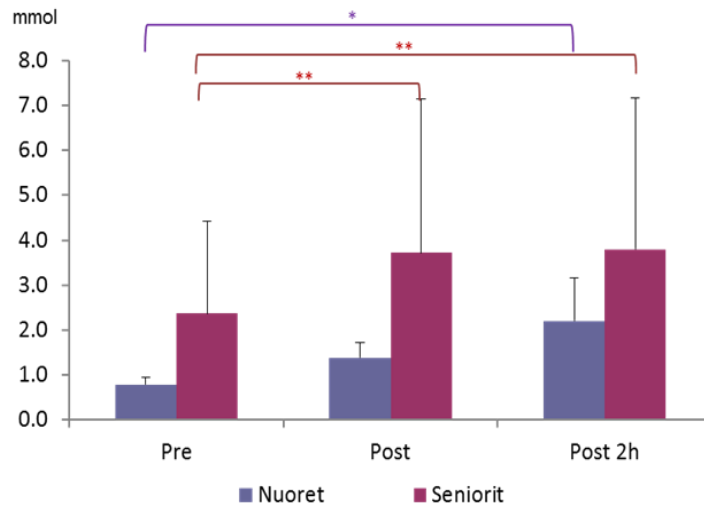
Väsytyskuormituksen johdosta kreatiinikinaasin määrä nousi tilastollisesti merkittävästi molemmilla ryhmillä, ($p < 0.05$). (Kuva 18).



KUVA 18. Kreatiinikinaasi ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytyskuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$.

8.5 IL-6

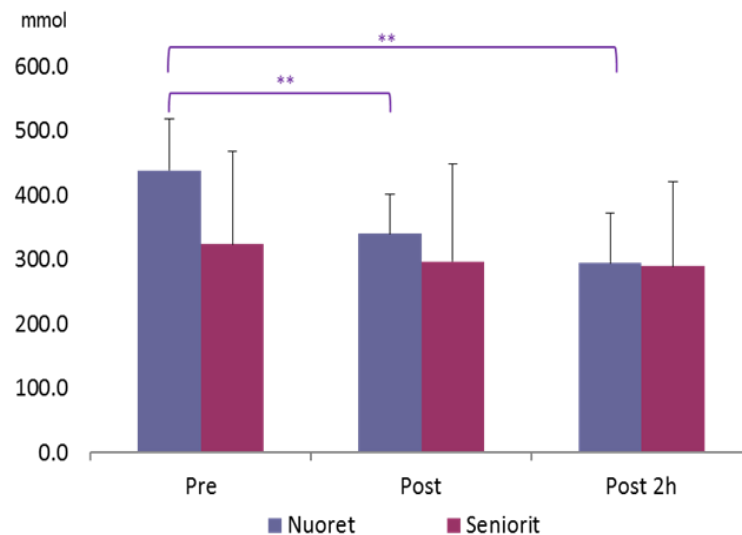
IL-6 nousi tilastollisesti merkitsevästi väsytyskuormituksen johdosta vain iäkkäillä ($p < 0.05$), mutta oli koholla 2 h kuormituksen jälkeen sekä nuorilla ($p < 0.001$) että ikääntyneillä ($p < 0.05$). (Kuva 19).



KUVA 19. IL-6 ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

8.6 Kortisoli

Kortisoli laski tilastollisesti merkitsevästi väsytytkuormituksen johdosta vain nuorilla ($p < 0.01$) ja laski jopa 2 h kuormituksen jälkeen ($p < 0.01$). (Kuva 20).



KUVA 20. Kortisoli ennen (Pre) ja jälkeen (Post) sekä 2 tuntia (Post 2h) väsytytkuormituksen jälkeen. ** $p < 0.01$.

Taulukossa 5. on esitelty kaikkien mitattujen biomarkkereiden muutokset nuorilla ja ikääntyneillä väsytytkuormituksen ja 2 tuntia sen jälkeen.

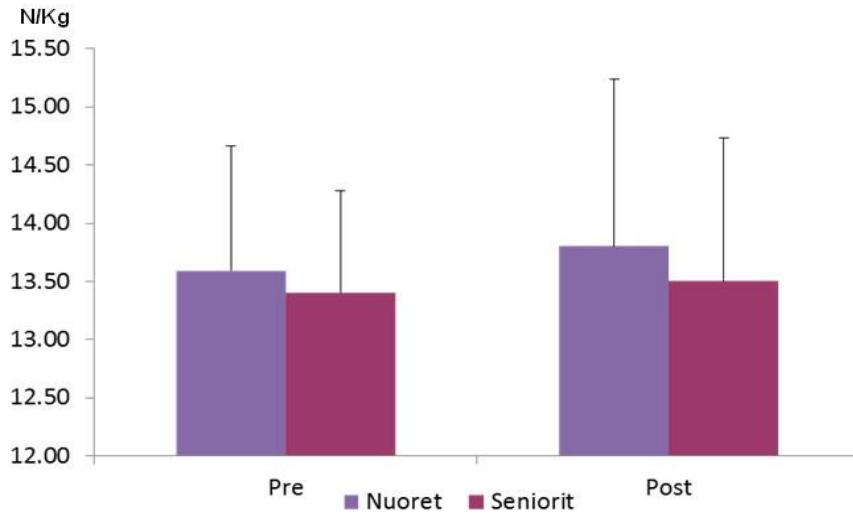
TAULUKKO 5. Yhteenveto biomarkkereiden tilastollisesti merkittävistä muutoksista väsytytkuormituksen ja 2 tuntia sen jälkeen. ↑ = Arvo on noussut edellisestä mittauksesta, ↓ = Arvo on laskenut. Merkitsevyytasot * (p<0.05), ** (p<0.01), *** (p<0.001).

	Nuoret		Ikääntyneet	
	Kuormitus	2 h jälkeen	Kuormitus	2 h jälkeen
Leukosyytit	↑ ***	↑ *		
Lymfosyytit	↑ ***	↓ ***	↑ ***	↓ ***
Neutrofiilit	↓ *	↑ ***	↓ **	↑ ***
Punasolut	↑ ***	↓ ***	↑ ***	↓ ***
Hemoglobiini	↑ ***	↓ ***	↑ ***	↓ ***
Verihiutaleet	↑ *	↓ ***	↑ ***	↓ ***
Kreatiinikinaasi	↑ *		↑ *	
IL-6			↑ *	
Kortisoli	↓ **			
Glukoosi	↑ *			
Laktaatti	↑ ***	↓ ***	↑ ***	↓ ***

8.7 Voimantuotto hyppyissä

8.7.1 Voimat kyykkyhyppyissä

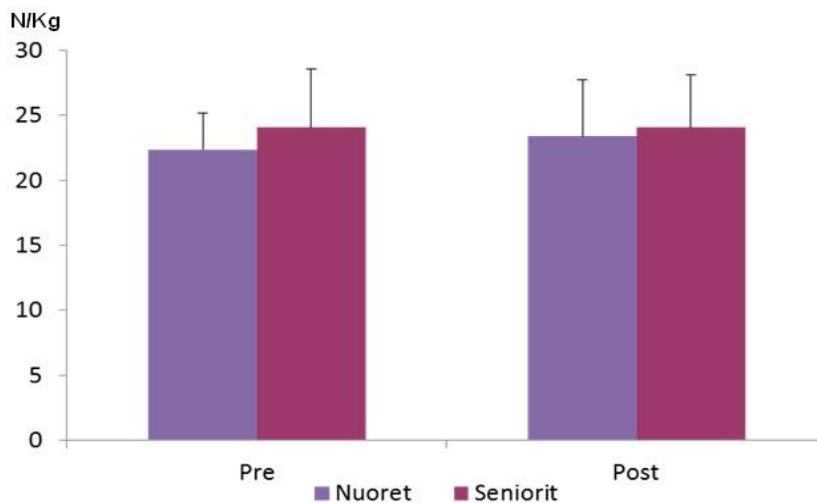
Staattisessa kyykkyhyppäyksessä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja voimantuotossa ennen ja jälkeen väsytytkuormituksen (Kuva 21).



KUVA 21. Staattisen kyykkyhyppyn voimantuotto nuorilla ja ikääntyneillä ennen (Pre) ja jälkeen (Post) väsytyksuormituksen. Voimat on suhteutettu kehon painoon.

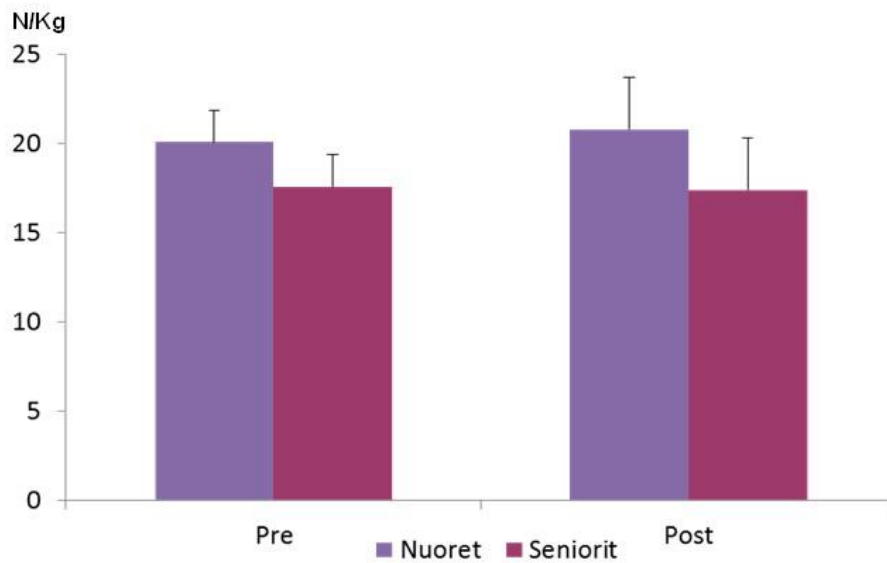
8.7.2 Voimat ja voimantuottonopeus pudotushypyssä

Pudotushypyssä eksentrisessä voimantuotossa ennen ja jälkeen väsytyksuormituksen ei ollut merkitseviä eroja kummallakaan ryhmällä (Kuva 22).



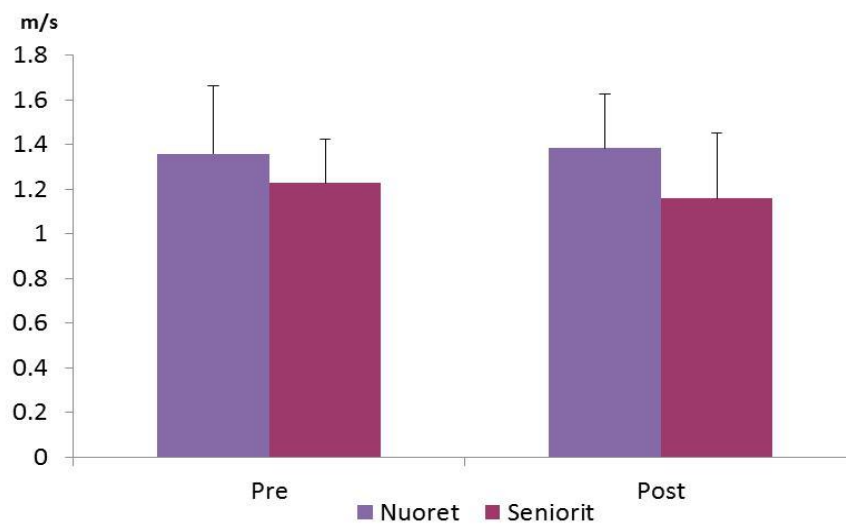
KUVA 22. Pudotushypyn eksentrisen voimantuotto nuorilla ja ikääntyneillä ennen (Pre) ja jälkeen (Post) väsytyksuormituksen. Voimat on suhteutettu kehon painoon.

Pudotushypyn konsentrisessä voimantuotossa ennen ja jälkeen väsytyksuormituksen ei ollut merkitseviä eroja kummallakaan ryhmällä (Kuva 23).



KUVA 23. Pudotushypyn konsentrisen voimantuotto nuorilla ja ikääntyneillä ennen (Pre) ja jälkeen (Post) väsytySKUORMITUKSEN. Voimat on suhteutettu kehon painoon.

Myöskään voimantuottonopeudessa pudotushypyssä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (Kuva 24).



KUVA 24. Pudotushypyn voimantuottonopeus nuorilla ja ikääntyneillä ennen (Pre) ja jälkeen (Post) väsytySKUORMITUKSEN.

9 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli seurata plyometrisen väsytytkuormituksen akuutteja fysiologisia ja biomekaanisia vaikutuksia ja vertailla niitä nuorien ja ikääntyneiden naisten kesken. Lisäksi haluttiin tietää, onko tämän tyyppien kuormitus liian kovaa ikääntyneille. Päätuloksena oli, ettei väsytytkuormitus aiheuttanut mittavia muutoksia immunitetin laskua kuvaavissa biomarkkereissa. Myöskään ei saatu merkittäviä biomekaanisia muutoksia voimatuotossa tai nopeudessa. Biomekaaniset väsymysadaptaatiot olivat melko samankaltaiset ikäryhmien välillä, mutta fysiologisissa markkereissa oli eroja muutamien näytteiden välillä. IL-6 sekä kreatiinikinaasin perustasot erosivat ryhmien välillä. Lisäksi plasman glukoosipitoisuus käyttäytyi mittausten välillä eri lailla.

9.1 Fysiologiset mittaukset

Molemmilla ryhmillä leukosyytit nousivat odotetusti kuormituksessa. Lyhyessä suorituksessa lymfosyyttien määrä veressä nousee, kuten tässäkin tilanteessa kävi. Neutrofiilisten granulosityttien määrä veressä laskee heti kuormituksen jälkeen, mutta ne nousivat 2 tunnin aikana väsytytkuormituksen jälkeen. Yleisesti kuormittava liikunta ja äkillinen tulehdus nostavat neutrofiilisten granulosityttien määrää veressä (Sovijärvi ym. 1994; Catanho da Silva & Macedo 2011). Iäkkäiden lymfosyyttien perustaso oli matalampi, koska leukosyyttien kokonaismäärä vähenee iän myötä (Nienstedt ym. 2008).

IL-6 nousi ja pysyi koholla vielä 2 tuntia väsytytkuormituksen jälkeen. Aikaisemmissa tutkimuksissa IL-6 oli pysynyt koholla 24 tuntia. (Chatzinikolaou ym. 2010). Vastaavasti Dousetin ym. (2006) tutkimuksessa IL-6 kasvoi heti ja alkoi palautua, kunnes oli lähellä lepotasoa jo kahden tunnin jälkeen. Tulehdusreaktion levitessä ja voimistuessa myös veren sytokiinipitoisuus suurenee, mikä siis ilmenee myös IL-6 pitoisuuden nousuna. Ikääntyneillä on yleisesti korkeammat IL-6 pitoisuudet kuin nuorilla (Nicklas ym. 2008; Limprasertkul ym. 2013), mikä kuvaa elimistön

tulehdustilaa. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin erot ikääntyneiden ja nuorten välillä. Konsentrisessa suorituksessa IL-6 nousu on suurempaa mutta tilapäistä, kun taas eksentrisessä suorituksessa IL-6 pitoisuuksien huippu tulee palautumisen aikana. (Reihmane & Dela 2014.) IL-6 tasojen nousuun akuutin liikunnan aikana ja jälkeen näyttäisi vaikuttavan myös yleinen terveystaso ja yksilön aikaisempi aktiivisuustaso sekä liikunnan intensiteetti ja kesto. (Lin ym. 2013).

Kreatiinikinaasi pysyi melko samana ja plyometrisellä väsytytkuormituksella ei näyttänyt olevan siihen vaikutusta. Muissa tutkimuksissa on havaittu plyometrisen kuormituksen jälkeen nousua heti tai viiveellä 2 vuorokautta (Tofas ym. 2008; Chatzinikolaou ym. 2010) kuormituksen jälkeen ja ne ovat olleet koholla vielä 4 vuorokautta (Horita ym. 2002) tai jopa 7 vuorokautta myöhemmin (Kuitunen ym. 2003). Joten tässäkin tapauksessa kreatiinikinaasi on voinut nousta myös myöhemmin kun on mahdollisesti ollut lihasarkuutta ja lihasturvotusta, kuten on ollut Doussetin ja kumppaneiden tekemässä tutkimuksessa. Siinä kreatiinikinaasi nousi uudestaan kahden vuorokauden jälkeen. Tällöin oli myös lihasturvotus suurimmillaan (Dousset ym., 2006). Voidaan siis olettaa että, tämäkin plyometrisen väsytytkuormitus aiheutti jonkin verran mikroaurioita ja lihasarkuutta alaraajojen lihaksistossa. Tätä oletusta tukee valkosolujen sekä IL-6 nousu suorituksen aikana (Pedersen & Hoffman-Goetz 2000; Catanho da Silva & Macedo 2011). Tässä tutkimuksessa ikääntyneillä kreatiinikinaasin pitoisuudet olivat korkeampia kuin nuorilla. Iäkkäämmät ovat alttiimpia liikunnan aiheuttamille lihasvaurioille kuin nuoret (Ryan 2000). Tästä on kuitenkin paljon myös poikkeavia tutkimuksia (Baird ym. 2012). Tutkimuksissa suuremmat lihasvauriot on todettu lihastoiminnan heikkenemisellä ja lihasturvotuksena (Ryan 2000). Tässä tutkimuksessa tasojen nousu ja lasku oli kuitenkin ryhmien välillä samankaltaiset, joten voidaan olettaa että kuormitus aiheutti samankaltaiset vasteet.

Kortisoli laski molemmilla ryhmillä heti suorituksen jälkeen ja jatkoi laskemistaan vielä kahden tunnin palautumisen jälkeen. Nuorilla oli alussa suuremmat arvot ja tähän vaikuttaa ikääntyvien mahdollisesti käyttämät estrogeenit, mitkä vaikuttavat kortisolin pitoisuuksiin veressä (Vilpo ym. 2003). Aikaisemmassa tutkimuksessa kortisoli nousi hyppyjen jälkeen jos oli vain 1 minuutin palautus niiden välillä ja laski pitemmillä

palautus ajoilla. (Chatzinikolaou ym. 2010; Jürimäe ym. 2011). Pitoisuudet ovat saattaneet nousta myöhemmin, koska IL-6 on noussut ja sillä on kortisolia nostava vaikutus. Lisäksi kortisoli voi yleisesti nousta viiveellä, jolloin sitä ei tässä tutkimuksessa olisi havaittu. Muussa tapauksessa voisi olettaa, että plyometrinen väsytytkuormitus ei ollut tarpeeksi kuormittava, sillä yleisesti aamulla kortisolit nousee enemmän kuin illalla suoritettussa liikunnassa (Kanaley ym. 2001).

Verihiutaleiden määrä kasvoi kuormituksen vaikutuksesta mutta pitoisuudet laski 2 tunnin kuluessa. Verihiutaleiden määrän kasvu johtuneen tuoreiden verihiutaleiden vapautumisesta pernasta, luuytimeistä ja keuhkojen verisuonistosta ääreisverenkiertoon. Myös kuormituksen aiheuttama hemokonsentraatio eli plasmatilavuuden pienentyminen saattaa aiheuttaa veren verihiutaleiden määrän kohoamista. (El-Sayed ym. 2005).

Nuorilla glukoosi nousi väsytytkuormituksen johdosta enemmän kuin iäkkäillä. Liikunnan aikana glukoosipitoisuudet veressä nousevat ja tällöin myös alaniini-glukoosi-syklin avulla tasapainotetaan veren glukoosipitoisuutta. Lihaksen vapaan aminohappoaltaan alaniini pitoisuus nousee liikunnan aikana. Alaniini kuljetetaan maksaan, jossa siitä muodostetaan glukoosia. Iäkkäillä taas vastaavasti glukoosi oli jatkanut nousemistaan kaksi tuntia väsytytkuormituksen jälkeen otettuun mittaukseen. Molemmat ryhmät saivat saman välipalan, mutta iäkkäiden osalta se on voinut vielä nostaa glukoosipitoisuuksia. Yleisesti ikääntyminen aiheuttaa insuliiniresistenssiä eli insuliinin teho on heikentynyt. Tällöin glukoosi jää verenkiertoon eikä pääse soluihin, joten se näkyy suurentuneena arvona mittauksessa. Lisäksi iäkkäiden suuremmat IL-6 pitoisuudet ovat voineet vaikuttaa glukoosin nousuun, koska luustolihasen erittämä IL-6 voi lisätä maksan glukoosintuotantoa (Reihmane & Dela 2014.).

Yhteenvedona biomarkkereiden muutoksista voidaan sanoa että, IL-6 oli ainut markkeri, joka nousi ja oli koholla vielä 2 tuntia väsytytkuormituksen jälkeen. Tämä on kuitenkin voinut vaikuttaa osaltaan myös muihin markkereihin kuten kortisolin nousuun myöhemmin. Näitä muutoksia ei kuitenkaan havaittu, koska mittaukset tehtiin vain samana päivänä. Voisi kuitenkin olettaa että tämä väsytytkuormitus ei aiheuttanut suurta immuunivasteen heikkenemistä iäkkäilläkään naisilla, joilla yleisesti on jo ennestään

heikompi immuniteetti. Varmuutta tähän asiaan olisi saatu tekemällä verimittaukset uudestaan esimerkiksi 2 ja/tai 4 päivän päästä väsytytkuormituksesta, niin kuin oli tehty aikaisemmissa väsytytkuormitustutkimuksissa (Horita 2002; Kuitunen ym. 2003; Dousset ym. 2006).

Vaikka akuutti liikunta tuottaa lyhyen aikavälin tulehdusreaktion, sekä poikki- ja pitkittäinen tutkimukset ovat osoittaneet, että liikunnalla on tulehdusta vähentäviä vaikutuksia ja siksi erittäin on hyödyllistä ikääntyville. Liikuntaa harrastavilla ikääntyneillä ovat matalammat pitoisuudet tulehdusmarkkereissa. (Lin ym. 2011).

9.2 Biomekaaniset mittaukset

Oletuksena oli että voimantuotto ja hyppykorkeus olisivat huonontuneet akuutin plyometrisen väsytytkuormituksen seurauksena. Nuorilla voimantuotto molemmissa hyppyissä sekä nopeus pudotushypyssä nousi hieman kuormituksen jälkeen, mutta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Iäkkäillä voiman tuotoissa ei ollut juuri muutosta vaan voimantuotto nousi tai laski vain hieman kuitenkin ilman merkitsevää muutosta. Horita ym. (2002) käytti vastaavaa plyometristä väsytytkuormitusta miehille jossa ei ollut aikarajoitusta. Siinä havaittiin merkittävää laskua kyykkyhypyn nopeudessa sekä korkeudessa heti, sekä korkeudessa 20 minuutin sekä vielä 4 päivää väsytytkuormituksen jälkeen. Lisäksi havaittiin laskua pudotushypyn korkeudessa 2 päivän päästä. Myös pudotushypyn nopeudessa havaittiin merkittävää laskua 20 min, 2 ja 4 päivää väsytytkuormituksen jälkeen. Lisäksi Kuitusen ym. (2003) tutkimuksessa, missä väsytytkuormitus vastaavalla laitteella kesti keskimäärin 29 min ja 885 hyppyä sisältäen maksimaalisia ja submaksimaalisia hyppyjä, aiheutti väsymystä ja suorituskyvyn laskua. Tässäkin tutkimuksessa oli suuria vaihteluita hyppysuorituksissa yksilöiden välillä, kuten oli Kuitusen ym. tutkimuksessa.

Tässä hyppyaika ja korkeus määräytyivät tutkittavan ominaisuuksien mukaan. Tutkittavilla oli eri korkeudet mihin hänen tuli väsytyksen aikana hypätä. Jos näissä korkeuksien määrityksissä hyppy ei ollut oikein onnistunut saattoi väsytykskorkeuden jäädä liian matalalle, jolloin myös väsytyks oli liian kevyt. Lisäksi tutkittavilla oli

erilaiset taustat ja toiselle tämä 4 minuutin väsytyks saattoi olla helpompi kuin toiselle. 4 minuutin suoritus on jo kestävyysuoritus ja iän myötä myös tämä ominaisuus heikkenee, vaikkakaan ei samoin kuin voimantuotto- ja nopeusominaisuudet. Lisäksi pitkäaikainen liikunta-aktiivisuus tausta oli tutkittavilla mahdollisesti erilainen. Nämä tekijät saattoivat vaikuttaa voimantuoton tuloksissa näkyvään suureen vaihteluväliin. Jos kuormitusaikaa olisi pidennetty tai tehoa hieman lisätty, olisiko saatu plyometrisen väsytyksuormituksen negatiiviset vasteet paremmin näkyviin? Jos kuormitus olisi tehty hyppäämällä heti korkeampaan korkeuteen ja sitä tehty 4 minuuttia tai niin kauan kuin tutkittava olisi jaksanut. Toisaalta jos hyppyjärjestystä olisi muutettu siten että ensin olisi hypätty 2 minuuttia 90 % maksimikorkeudesta ja sitten sen jälkeen 70 % maksimikorkeuteen niin ehkä hyppyaikaa olisi saatu kaikilla pidemmäksi ja siten enemmän väsytyksä aikaiseksi. Horita:n ym. (2002) tutkimuksessa miehillä aika oli kuitenkin vaan keskimäärin 3 minuuttia ja heillä ilmeni väsymysmuutokset staattisessa kyykkyhyppyssä heti väsytyksuormituksen jälkeen. Dynaamisen hypyn lasku tapahtui vasta 2-4 päivää kuormituksen jälkeen. Tässä tutkimuksessa viivästyneitä väsytyksmuutoksia ei tutkittu.

Hyppy suoritus oli haastava saada halutunlaiseksi plyometriseksi väsytyksuormitukseksi. Iäkkäillä voimantuottoa ei saatu niin räjähtäväksi kuin oli tarkoitus. Lisäksi polvikulmaksi pyrittiin optimoimaan 120 astetta ja hyväksyty hyppy oli +- 2 cm, jotta saatiin testihenkilöiden väliset erot minimoitua. Hyppyjä seurattiin tietokoneen ruudulta, joten ne saatiin jotenkin suodatettua mittauskelpoisiksi.

9.3 Väsytyksuormituksen riskit

Kokonaistutkimuksesta jäi yksi ikääntynyt ihminen pois alaraajan loukkaantumisen vuoksi pois. Epäselväksi kuitenkin jäi, tuliko raajan vamma tutkimuksen harjoittelusta vai oliko se aikaisemmin tullut vamma, mikä vain nyt ilmaantui tämän kokonaistutkimuksen aikana. Tämä loukkaantuminen ei ilmennyt ensimmäisen kuormituksen jälkeen, joten se ei oleellisesti vaikuttanut tähän yksittäiseen tutkimuksen osaan. Tämän perusteella tulee kuitenkin huomioida kuormituksen riskit plyometrisissä suorituksessa. Plyometrisen kuormitus vaatii 3 kertaisen voimantuoton kuormitukseen

nähdän, joten se aiheuttaa myös suuren kuormituksen tuki- ja liikuntaelimestölle. Yksittäisen väsytytkuormituksen perusteella riskejä ei kuitenkaan näyttäisi olevan, jos on varmistettu huolellinen lämmittely eikä aikaisempia rajoittavia tekijöitä kuormitukselle ole.

10 YHTEENVETO

Kuormitus ei aiheuttanut suurta väsymystä tutkittavissa sekä väsytsadaptaatiot eivät näyttäisi poikkeavan eri ikäryhmien välillä muiden paitsi glukoosin osalta. Lisäksi perustasot IL-6 sekä kreatiinifosfaatissa ilmenivät tässä tutkimuksessa. Glukoosin erilaiset vasteet oletettavasti johtuvat ikääntymisen aiheuttamasta insuliiniresistenssistä, ikääntymisen vaikutuksesta glukoosi toleranssiin tai koholla ollut IL-6 on myös osaltaan vaikuttanut siihen. Fysiologisten ja biomekaanisten vasteiden perusteella näyttäisi siltä, ettei tämän kaltainen akuutti plyometrinen väsytskuormitus aiheuttaisi liian suuria vaikutuksia immunitettiin ja sitä mahdollisesti voitaisiin suositella myös iäkkäiden tehtäväksi jatkossakin.

11 LÄHTEET

- Ahmadizad S. & El-Sayed M. S. 2003. The Effects of Graded Resistance Exercise on Platelet Aggregation and Activation. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Jun;35(6):1026-32
- Alen M. & Rauramaa R. 2005. Liikunnan vaikutukset elinjärjestelmittain. Kirjassa: Vuori, I., Taimela, S., Kujala, U. 2005. Liikuntalääketiede. 3 uudistettu painos. Duedecim, Suomi.
- Arazi H., Asadi A., Nasehi M. & Delpasand A. 2012. Cardiovascular and blood lactate responses to acute plyometric exercise in female volleyball and handball players. *Sport Sci Health*, 8.
- Avela J & Komi P. V. 1998. Interaction between muscle stiffness and stretch reflex sensitivity after long-term stretch-shortening cycle exercise. *Muscle Nerve.* 1998 Sep;21(9):1224-7.
- Avela J., Finni J. & Komi P. V. 2006. Excitability of the soleus reflex arc during intensive stretch–shortening cycle exercise in two power-trained athlete groups. *Eur J Appl Physiol* 97: 486–493.
- Beachle T. & Earle R. 2008. *Essentials Of Strength Training And Conditioning.* National Strength And Conditioning Association. Human Kintetics, USA.
- Baird M. F., Graham S. M., Baker J. S. & Bickerstaff G. F. 2012. Creatine-Kinase- and Exercise-Related Muscle Damage Implications for Muscle Performance and Recovery. *Journal of Nutrition and Metabolism* Volume 2012 (2012), Article ID 960363, 13 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/960363>
- Beneka A., Malliou, P., Fatouros I., Jamurtas A., Gioftsidou, A., Godolias G. & Taxildaris K. 2005. Resistance training effects on muscular strength of elderly are related to intensity and gender. *Journal of Science and Medicine in Sport* vol. 8, no. 3.
- Bloem C. J. and Chang A. M. 2007. Short-Term Exercise Improves β -Cell Function and Insulin Resistance in Older People with Impaired Glucose Tolerance. *J Clin*

- Endocrinol Metab. 2008 Feb; 93(2): 387–392. Published online 2007 Nov 13. doi: 10.1210/jc.2007-1734
- Boss G.R.,1981. Related Physiological Changes and Their Clinical Significance. West J Med. 1981 Dec; 135(6): 434–440.
- Brown G.A., Ray M.W., Abbey B.M., Shaw B.S. & Shaw I. 2010. Oxygen consumption, heart rate, and blood lactate responses to an acute bout of plyometric depth jumps in college-aged men and women. Journal of Strength and Conditioning Research, 2010. National Strength and Conditioning Association. 24(9)/2475–2482.
- Chatzinikolaou A., Fatouros I. G., Gourgoulis V., Avloniti A., Jamurtas A. Z., Nikolaidis M. G., Douroudos I., Michailidis Y., Beneka A., Malliou P., Tofas T., Georgiadis I. & Mandalidis D. 2010. Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. J Strength Cond Res. 2010 May; 24(5):1389-98. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d1d318.
- Catanho da Silva, F. O. & Macedo, D. V. 2011. Physical exercise, inflammatory process and adaptive condition: an overview. Braz. J. Kinanthropometry and Human Performance. Vol.13, No.4, pp.320–328, ISSN 1415-8426.
- Chung S. G., Van Rey, E.M, Bai Z., Rogers M.W., Roth E. J. & Zhang L. 2005. Aging-Related Neuromuscular Changes Characterized by Tendon Reflex System Properties. Arch Phys Med Rehabil. 2005 Feb;86(2):318-27.
- Chmielewski T. L., Myer G. D., Kauffman D. & Tillman S. M. 2006. Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application. J Orthop Sports Phys Ther. 2006 May;36(5):308-19.
- Christie A., Snook E. M., Kent-Braun J. A. 2011. Systematic Review and Meta-Analysis of Skeletal Muscle Fatigue in Old Age. Med Sci Sports Exerc. 2011 Apr;43(4):568-77. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181f9b1c4.
- Coggan A. R., Spina R. J., King D. S. , Rogers M. A., Brown M., Nemeth P. M. & Holloszy J. O. 1992. Histochemical and enzymatic comparison of the gastrocnemius muscle of young and elderly men and women. J Gerontol. 1992 May;47(3):B71-6.

- Connelly D. M., Rice C. L., Roos M. R., Vandervoort A. A. 1999. Motor unit firing rates and contractile properties in tibialis anterior of young and old men. *J Appl Physiol* (1985). 1999 Aug;87(2):843-52.
- Copeland J. L., Chu S. Y. & Tremblay M. S. 2004. Aging, Physical Activity, and Hormones in Women. A Review. *J Aging Phys Act.* 2004 Jan;12(1):101-16.
- Doherty T. J. 2003. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* (1985). 2003 Oct;95(4):1717-27.
- Dousset E., Avela J., Ishikawa M., Kallio J., Kuitunen S., Kyröläinen H., Linnamo V. Ja Komi P. 2006. Bimodal Recovery Pattern in Human Skeletal Muscle Induced by Exhaustive Stretch-Shortening Cycle Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Mar;39(3):453-60.
- Drinkwater E. J., Lane T. & Cannon J. 2009. Effect of an acute bout of plyometric exercise on neuromuscular fatigue and recovery in recreational athletes. *J Strength Cond Res.* 2009 Jul;23(4):1181-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e31819b79aa.
- Enoka R. M. 2008. *Neuromechanics of human movement. Neljäs painos.* Human Kinetics, USA.
- Esformes, J. I., Cameron N. & Bampouras T. 2010. Postactivation potentiation following different modes of exercise. *J Strength Cond Res.* 2010 Jul;24(7):1911-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181dc47f8.
- Edzard E., 1998. Exercise for Female Osteoporosis A Systematic Review of Randomised Clinical Trials. *Sports Medicine* Jun1998, Vol. 25 Issue 6, p359-10p.
- Feng D., Murillo J., Jadhav P., McKenna C., Gebara O. C., Lipinska I., Muller J. M. & Tofler G. H., 1999. Upright posture and maximal exercise increase platelet aggregability and prostacyclin production in healthy male subjects. *Br J Sports Med* 1999;33:401–404.
- Foure A., Nordez A., McNair P. & Cornu C., 2011. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle–tendon complex. *Eur J Appl Physiol*,111.

Frontera W. R., Hughes V. A., Lutz K. J., Evans W. J., 1991. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women.

J Appl Physiol (1985). 1991 Aug;71(2):644-50.

Gleeson M., 2004. Immune function and exercise. A School of Sport and Exercise Sciences , Loughborough University , Leicestershire, England Published online: 19 Aug 2006.

Going S. & Lauder milk M., 2009. Osteoporosis and Strength Training. American Journal of Lifestyle Medicine 3.4 (Jul 2009): 310-319

Heikkinen, E. Keski-ikäisten ja iäkkäiden liikunta. Kirjassa: Vuori, I., Taimela, S., Kujala, U. 2005. Liikuntalääketiede. 3 uudistettu painos. Duodecim, Suomi.

Heinonen O. J., 2005. Liikunnan vaikutus kliiniskemiallisiin suureisiin. Kirjassa: Vuori I., Taimela S., & Kujala U., 2005. Liikuntalääketiede. 3 uudistettu painos. Duodecim.

Horita T. Komi P. V. Nicol C. Kyroläinen H. 1999. Effect of exhausting stretch-shortening cycle exercise on the time course of mechanical behaviour in the drop jump: possible role of muscle damage. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1999 Jan;79(2):160-7.

Horita T., Komi P.V., Hämmäläinen I. & Avela J. 2002 Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. Eur J Appl Physiol. 2003 Feb;88(6):527-34. Epub 2002 Nov 27.

Häkkinen K, Kraemer W.J., Newton R.U, Alen M. 2001.Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. Acta Physiol Scand. 2001 Jan;171(1):51-62.

Jürimäe T., Utsal L., Mäestu J., Purge P. & Jürimäe J. 2011. Hormone response to jumping tests in adolescent sprinters. Kinesiology 433(2011) 2:137-144.

Kanaley J. A., Weltman J. Y., Pieper K. S., Weltman A., & Hartman M. L. 2001. Cortisol and Growth Hormone Responses to Exercise at Different Times of

- Day. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 0021-972X/01/\$03.00/0 Vol. 86, No. 6.
- Kallio J., Avela J., Moritani T., Kanervo M., Selänne H., Komi P. & Linnamo V. 2010. Effects of ageing on motor unit activation patterns and reflex sensitivity in dynamic movements. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010 Aug;20(4):590-8. doi: 10.1016/j.jelekin.2009.12.005. Epub 2010 Feb 8.
- Karvonen J. 1990. *Lääketieteenkäyttö urheiluvalmennuksessa*. Kuopion yliopisto. toinen uudistettu painos.
- Kauranen K. 2014. *Lihak rakenne, toiminta ja voimaharjoittelu*. Liikuntatieteellinen seura, Tampere. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro. 171.
- Kauranen K. & Nurkka N. 2010. *Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille*. Liikuntatieteellinen seura.
- Kido A., Tanaka N. & Richard B. Stein R. B. 2004. Spinal excitation and inhibition decrease as humans age. *Can J Physiol Pharmacol*. 2004 Apr;82(4):238-48.
- Komi P., Silen L. & Jungman T. 1978. *Voima valmennus*. Suomen valtakunnan urheiluliitto.
- Kuitunen S., Avela J., Kyröläinen H, Nicol C. & Komi P. V. 2002. Acute and prolonged reduction in joint stiffness in humans after exhausting stretch-shortening cycle exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2002 Nov;88(1-2):107-16. Epub 2002 Aug 14.
- Kuitunen S., Avela J., Kyröläinen H, Komi P. V. 2003. Voluntary activation and mechanical performance of human triceps surae muscle after exhaustive stretch-shortening cycle jumping exercise. *Eur J Appl Physiol* (2004) 91: 538–544 DOI 10.1007/s00421-003-1004-2.
- Lamberg B. A., Koivisto V. & Pelkonen R. 1992. *Kliininen Endokrinologia*. 4 uudistettu painos. Duodecim.
- Limprasertkul A., You T., Fisher N. M., Awad A. B. & Pendergast D. R. 2013. Exercise-induced plasma cytokines between older and younger adults : original research article. *International SportMed Journal*, Vol.14 No.1, March 2013, pp.16-28.

- Lin C. F., Huang T.H., Tu K. C., Lin L. L., Tu Y. H. & Yang R. S. 2011. Acute effects of plyometric jumping and intermittent running on serum bone markers in young males. *Eur J Appl Physiol*, 112.
- Lorenz D. 2005. Postactivation potentiation: an introduction postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Int J Sports Phys Ther*. 2011 Sep; 6(3): 234–240.
- Lovallo W. R., Farag N.H., Vincent A. S., Thomas T. L., and Wilson M. F. 2006. Cortisol responses to mental stress, exercise, and meals following caffeine intake in men and women. *Pharmacol Biochem Behav*. 2006 Mar;83(3):441-7. Epub 2006 May 2.
- Macaluso F., Isaacs A. & Myburgh K. 2012. Preferential type ii muscle fiber damage from plyometric exercise. *J Athl Train*. 2012 Jul-Aug;47(4):414-20. Doi: 10.4085/1062-6050-47.4.13.
- Macaluso A. & Giuseppe D. V. 2004. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J Appl Physiol* (2004) 91: 450–472 DOI 10.1007/s00421-003-0991-3
- Mashiko T., Umeda T., Nakaji S. & Sugawara K. 2004. Effects of exercise on the physical condition of college rugby players during summer training camp. *Br J Sports Med*. 2004 Apr; 38(2): 186–190.
- Maughan R. & Gleeson M. 2010. *The Biochemical basis of sports performance*. Second edition. Oxford University Press, New York.
- Masamoto N., Larson R., Gates T. & Faigenbaum A. 2003. Acute Effects of Plyometric Exercise on Maximum Squat Performance in Male Athletes. *J Strength Cond Res*. 2003 Feb;17(1):68-71.
- McArdle W. D., Katch F. I & Katch V. L. 2007. *Exercise Physiology. Energy, nutrition & human performance*. Kuudes painos. Lippincott Williams & Wilkins, USA.
- Mero A., Nummela A., Keskinen K. & Häkkinen K. 2004. *Urheiluvallmennus*. VK-kustannus Oy. Miller M.G., Herniman J.J., Ricard M.D, Cheatham C.C. & Michael T.J., 2006. The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *J Sports Sci Med*. 2006 Sep; 5(3): 459–465.

- Mazzeo R. S. 2000. Aging, immune function, and exercise: hormonal regulation. *Int J Sports Med.* 2000 May;21 Suppl 1:S10-3.
- Mirzaei B., Norasteh A. A., Saez de Villarreal E., & Asadi A. 2014. Effects of six weeks of depth jump vs. Countermovement jump training on sand on muscle soreness and performance. *Kinesiology* 46(2014) 1:97-108
- Moilanen E. Tulehduksen välittäjäaineet. Leirisalo- Repo M., Hämäläinen M. & Moilanen E. 2002. *Reumataudit, Duodecim*, Sivut 81, 86.
- Nayak S., Roberts M. S., Chang C. C., Greenspan S. L. 2010. Health beliefs about osteoporosis and osteoporosis screening in olderwomen and men. *Health Educ J.* 2010 Sep; 69(3): 267–276.
- Nienstedt W., Hänninen O., Arstila A. & Björkqvist S. E. 2008. *Ihmisen fysiologia ja anatomia.* WSOY, 15 - 17 painos.
- Nicklas B., Hsu F. C., Brinkley T. J., Church T., Goodpaster B. H., Kritchevsky S. B. & Pahor M. 2008. Exercise training and plasma C-reactive protein and interleukin-6 in elderly people. *J Am Geriatr Soc.* 2008 Nov;56(11):2045-52. doi: 10.1111/j.1532-5415.2008.01994.x.
- Obata H., Kawashima N., Akai M., Nakazawa K. & Ohtsuki T. 2009. Age-related changes of the stretch reflex excitability in human ankle muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20 (2010) 55–60.
- Ozen S. V. 2012. Reproductive hormones and cortisol responses to plyometric training in males. *Biol. Sport* 2012;29:193-197.
- Pedersen B. K. & Hoffman-Goetz L. 2000. Exercise and the Immune System: Regulation, Integration, and Adaptation. *Physiol Rev.* 2000 Jul;80(3):1055-81.
- Petersen A. M. W. & Pedersen B. K. 2005. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2005 Apr;98(4):1154-62.
- Piirainen J. M., Avela J., Sippola N. & Linnamo V. 2010. Age dependency of neuromuscular function and dynamic balance control. *European Journal of Sport Science* Volume 10, Issue 1.

- Piirainen J. M., Linnamo V., Cronin N. J. & Avela J. 2013. Age-related neuromuscular function and dynamic balance control during slow and fast balance perturbations. *J Neurophysiol.* 2013 Dec;110(11):2557-62.
- Rahman R. & Islamic A. 2008. The influence of varied rest intervals after plyometric exercise on maximum squat performance. *Fitness Society of India. I.J. Fitness* (2008) 4, Issue 1, pp. 45-50.
- Rantalainen T. Heinonen A., Linnamo V., Komi P.V., Takala T. E. S. & Kainulainen H. 2009. Short-term bone biochemical response to a single bout of high-impact exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* (2009) 8, 553 – 559.
- Rantanen T. Sarkopenia. Kirjassa: Vuori I., Taimela S., Kujala U. 2005. *Liikuntalääketiede 3. uudistettu painos. Duedecim, Suomi.*
- Ryan A. S. 2000. Insulin resistance with aging: effects of diet and exercise. *Sports Med.* 2000 Nov;30(5):327-46.
- Rayment I., Holden H. M., Whittaker M., Yohn C. B., Lorenz M., Holmes K. C. & Milligan R. A. 1993. Structure of the actin-myosin complex and its implications for muscle contraction. *Science.* 1993 Jul 2;261(5117):58-65.
- Reihmane D. & Dela F. 2014. Interleukin-6: possible biological roles during exercise. *Eur J Sport Sci.* 2014; 14(3):242-50. doi: 10.1080/17461391.2013.776640. Epub 2013 Mar 11.
- Rogers R. S., Dawson A. W., Wang Z., Thyfault J. P. & Hinton P. S. 2011. Acute response of plasma markers of bone turnover to a single bout of resistance training or plyometrics. *J Appl Physiol*, 111.
- Sand O., Sjaastad Ø.V., Haug E, Bjälle J.G., 2012. *Ihminen: fysiologia ja anatomia. Sanoma Pro Oy 8 - 9 uudistettupainos.*
- Seguin R. & Nelson M. E. 2003. The benefits of strength training for older adults. *Am J Prev Med.* 2003 Oct;25(3 Suppl 2):141-9.
- Short K. R. & Nair K. S. 2001. Muscle protein metabolism and the sarcopenia of aging. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2001 Dec;11 Suppl:S119-27.

- Sovijärvi A., Uusitalo A., Länsimies E. & Vuori I., 1994. *Kliininen fysiologia*. Kustannus Oy, Duodecim, 1. painos.
- Thompson L. V. 1994. Effects of Age and Training on Skeletal Muscle Physiology and Performance. *Phys Ther.* 1994 Jan;74(1):71-81.
- Till K. & Cooke C. 2009. The Effects of Postactivation Potentiation on Sprint and Jump Performance of Male Academy Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2009 Oct;23(7):1960-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b8666e.
- Tofas T., Jamurtas A. Z., Fatouros I., Nikolaidis M. G., Koutedakis Y., Sinouris E. A., Papageorgakopoulou N. & Theocharis D. A. 2008. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *J Strength Cond Res.* 2008 Mar;22(2):490-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816605a0.
- Tobin D. P. & Delahunt E. 2014. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *J Strength Cond Res.* 2014 Feb;28(2):367-72. doi: 10.1519/JSC.0b013e318299a214.
- Vilpo J. & Niemelä O. 2003. *Laboratoriolääketiede, kliininen kemia ja hematologia*. Kandidaattikustannus Oy.
- Välimäki M., Sane T. & Dunkel L. 2009. *Endokrinologia*, Duodecim.
- Wang H. H., Liu T. C., Chen C. S. & Shiang T. Y. 2001. Comparison of the EMG activity between passive repeated plyometric half squat and traditional isotonic haft squat. *Biomechanics Symposia 2001 / University of San Francisco*.