

**PERUSKOULUTUSKAUDEN VAIKUTUKSET
HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN
YLIKUORMITTUNEILLA JA EI-YLIKUORMITTUNEILLA
VARUSMIEHILLÄ**

Tapio Rautio

Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma

Syksy 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja:

Jarmo Piirainen

TIIVISTELMÄ

Tapio Rautio 2014. Peruskoulutuskauden vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan ylikuormittuneilla ja ei-ylikuormittuneilla varusmiehillä. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan Pro gradu-tutkielma, 87 s.

Armeijan alussa alokkaiden peruskoulutuskaudella pyritään kehittämään alokkaiden kuntoa kokonaisvaltaisesti. Harjoittelun oletetaan olevan yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua. Voimaharjoittelun luonne ja määrä on kuitenkin sellainen, että pääasiassa harjoittelu on kestävyysharjoittelua. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää peruskoulutuskauden aikaisen harjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Samalla selvitetään, ovatko vaikutukset hermolihasjärjestelmään erilaiset ylikuormittuneilla varusmiehillä ja toisaalta varusmiehillä, jotka eivät kärsi yllirasittumisen oireista.

Tutkimukseen osallistui 24 tervettä suomalaista miespuolista alokasta Kainuun Prikaatista. Iältään alokkaat olivat 18-21 vuotta. Koehenkilöt jaoteltiin kahteen ryhmään (ylikuormittuneet OR ja varusmiehet, jotka eivät kärsineet ylikuormittumisen oireista NOR) aikaisemman tutkimuksen tulosten avulla. Koehenkilöt osallistuivat normaaliin varusmiespalvelukseen mittausjakson ajan. Mittauksia tehtiin viikoilla 2, 4, 7 ja 9 (veriarvot ja antropometria) ja viikoilla 1, 5, 8 ja 10 (biomekaaniset muuttujat). Tutkimuksessa mitattiin kehonkoostumuksen arvoja, maksimivoimantuottoa, nopeaa voimantuottoa, sähköisiä refleksivasteita (H-refleksi, V-aalto, M-aalto ja passiivinen nykäys (twitch)) ja hormonaalisia suureita (testosteroni ja kortisoli) verikokeiden avulla.

Antropometrisien tulosten kehityksen perusteella koulutuksen vaikutukset näyttäisivät olevan hyvin tyypillisiä kestävyysharjoittelun aiheuttamia muutoksia. Molempien ryhmien paino laski tutkimuksen aikana (NOR 2.2% ja OR 6.6%), rasvattoman massan määrässä ei tapahtunut muutoksia ja rasvaprosentti pieneni samoin molemmilla ryhmillä (NOR 11.9% ja OR 12.3%). H-refleksin (H_{\max}/M_{\max} -suhteen) ja V-aallon tulosten muutokset tukevat

myös tätä olettamusta. H-refleksin mittaustulokset nousivat tutkimuksen alusta loppuun NOR-ryhmällä 27.8% ja OR ryhmällä 24.9%. Vastaavasti V-allon tuloksissa ei kehitystä tapahtunut. Pääasiassa ryhmien välillä ei havaittu suuria eroja tulosten muuttumisissa, lukuun ottamatta paria poikkeusta. NOR-ryhmä paransi merkittävästi (21.9%, $p < 0.05$) jalan ojennuksen tulosta, kun taas OR-ryhmässä vastaavanlaisia muutoksia ei havaittu. Toinen merkittävä ero ryhmien välillä havaittiin passiivisen nykäyksen nousuajan tuloksissa, joissa OR-ryhmällä nousuaika pidentyi huomattavasti (71.9%), kun nousua NOR-ryhmällä oli vain 13%.

Kuten alkuolettamusten perusteella epäiltiin ja mittaustulosten perusteella voitiin päätellä, peruskoulutuskauden harjoittelu oli pääsääntöisesti kestävyysharjoittelua. Aiemman tutkimuksen perusteella saadulle ryhmäjaolle NOR/OR ei tämän tutkimuksen avulla saatu juurikaan vahvistusta hermolihaskäytön mittausten avulla. Jatkotutkimuksissa mielenkiintoa herättää tulosten käsitteleminen yksilökohtaisesti, saataisiinko eroja näkymään tällä tavalla.

Avainsanat: hermolihaskäytön järjestelmä, ylikuormittuminen, H-refleksi, yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu

ABSTRACT

Tapio Rautio 2014. Effects of military basic training period to neuromuscular functions and adaptations of overreached and non-overreached conscripts. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä. Master's Thesis of Biomechanics, 87 pages.

The aim of the basic training period of the military service is to develop comprehensively the fitness of the recruits. Training is assumed to be combined strength and endurance training. Because of the amount and nature of the strength training, the total training is however mainly assumed to be endurance training. The purpose of this study was to determine the effects of the training to the neuromuscular system. Second aim was to study, if the neuromuscular adaptations were different in overreached (OR) and non-overreached (NOR) conscripts.

24 healthy male conscripts (18 to 21 years) of Kainuu Pricade participated in the study. The subjects were divided into two groups (OR and NOR) using the results of earlier study. The subjects participated in regular military service during the measurement period. Measurements were made at weeks 2, 4, 7 and 9 (blood values and anthropometrics) and at weeks 1, 5, 8 and 10 (the biomechanical variables). The measurements used in this study were the body composition values, maximum power production and rapid power production as well as electrically invoked responses (H-reflex, V-wave, M-wave, twitch) and blood tests (testosterone and cortisol).

The training in the basic training period is very typical endurance training according to the anthropometric measurement results, where weight went down in both of the groups (NOR 2.2% and OR 6.6%), fat free mass did not change and fat percent reduced in both groups (NOR 11.9% and OR 12.3%). The H-reflex and V-wave development also supports this assumption. Some development was observed upwards in H-reflex (NOR 27.8% and OR 24.9%) and no development in V-wave. Mainly there were no differences between the two groups. A couple of exceptions to this, however, were observed. NOR group clearly

improved (21.9 %, $p < 0.05$) in the maximum power production of leg extension, while there were no improvements in the OR group. Another significant difference between the groups was observed in the passive twitch rising time, where the OR group rising time prolonged significantly (71.9 %, $p < 0.01$), while in the NOR group the time prolonged only 13 % (not significant).

According to the basic assumption of this study, the basic military training seem to be mainly endurance training based on all of the measurement results of this study. The results of neuromuscular measurements used in this study gave very little confirmation to the group allocation made in the earlier study. In the future, it might be interesting to make same kind of analyses individually, to see, if any differences can be seen this way.

Keywords: neuromuscular system, overreaching, H-reflex, combined endurance and strength training

KÄYTETYT LYHENTEET

1RM	Yhden toistosuorituksen maksimitulos
ATP	Adensiinitrifosfaatti
EMG	Lihaksen sähköinen aktiivisuus (Elektromyografia)
H _{max}	Maksimaalinen H-refleksiaalto
IGFs	Insuliinin kaltainen kasvutekijä
LH	Lutenisoiva hormoni
NOR	Ryhmä, jolla ei ylikuormittumisoireita
M _{max}	Maksimaalinen M-aalto
MVC	Maksimaalinen tahdonalainen lihassupistus
OR	Ryhmä, jolla ylikuormittumisoireita
PCr	Fosfokreatiini
SHBG	Sukupuolihormoneja sitova globuliini
SSC	Stretch shortenin cycle, venymis-lyhenemissykli
T/C	Testosteroni/kortisoli-suhde
Twitch	Passiivinen lihasnykäys
V _{max}	Maksimaalinen V-aalto
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenottokyky

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	4
2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	7
2.1 Lihaksen rakenne ja toiminta	10
2.2 Spinaalinen kontrollointi.....	13
2.3 Sentraalinen kontrollointi.....	16
3 VOIMA – JA KESTÄVYYSHARJOITTELU	20
3.1 Voimaharjoittelun periaatteet.....	21
3.2 Voimaharjoittelun adaptaatio	23
3.3 Kestävyysharjoittelun periaate ja vasteet	28
3.4 Yhdistetyn voima– ja kestävyysharjoittelun periaate ja vasteet	34
3.5 Peruskoulutuskauden aikainen fyysinen kuormitus	36
4 YLIKUORMITTUMINEN	39
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	43
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	44
6.1 Testattavat	44
6.2 Peruskoulutuskauden aikainen harjoittelu	45
6.3 Mittausprotokolla	46
6.4 Mittaukset.....	46
6.4.1 Kehonkoostumus.....	46
6.4.2 Voimantuotto-ominaisuudet.....	46
6.4.3 H-refleksi, M-aalto, V-aalto ja passiivinen nykäys.....	47

6.4.4 Testosteroni ja kortisoli.....	48
6.4.5 Tilastanalyysit	48
7 TULOKSET	50
7.1.1 Kehonkoostumus.....	50
7.1.2 Voimantuotto-ominaisuudet.....	51
7.1.3 H-refleksi, M-aalto, V-aalto ja passiivinen nykäys.....	57
7.1.4 Testosteroni ja kortisoli.....	59
8 POHDINTA	62
9 LÄHTEET.....	70

1 JOHDANTO

Taistelutilanteissa sotilaalta vaaditaan kykyjä toimia vaativissa olosuhteissa kaikkina vuorokauden aikoina erilaisissa paikoissa ja tilanteissa pitkiäkin aikoja. Siksi varusmiesten koulutuksen alkuaikana pyritään saamaan heidän fyysinen kuntonsa sellaiselle tasolle, jotta he kykenevät suoriutumaan tehtävistään. Taistelumenestyksen vaatimuksiin kuuluu sekä fyysisiä, että henkisiä tekijöitä, esimerkiksi tehokkuus, kyvykkyys, rohkeus, paineensietokyky, taistelustressin hallinta, tilannetietoisuus, usko ja tinkimättömyys. Hyvä fyysinen kunto edellyttää sekä pitkäaikaista kestävyyttä että lihaskestävyyttä ja lihastasapainoa. Siksi peruskoulutuskauden fyysinen harjoittelu pyritään koostamaan mahdollisimman monipuoliseksi. Näistä lähtökohdista ajatellen voidaan olettaa harjoittelun olevan yhdistettyä kestävyys- ja lihaskuntoharjoittelua.

Peruskoulutuskausi kestää 8 viikkoa ja fyysinen harjoittelu suoritetaan sen aikana noudattaen Suomen puolustusvoimien laatimia fyysisen koulutuksen suuntaviivoja (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999). Kaikilla varusmiehillä on sama harjoitusohjelma koko 8 viikon peruskoulutuskauden ajan. Harjoittelun intensiteetti on suhteellisen alhainen koulutuksen ensimmäisellä viikolla ja intensiteettiä lisätään koulutuksen loppua kohti progressiivisesti. Hieman suurempi intensiteetin nosto tapahtuu viikon neljä jälkeen.

Sotilaallinen koulutus koostuu raskaista fyysisistä toiminnoista, kuten marsseista, taisteluharjoituksista ja muista fyysisistä harjoitteista. Lisäksi varusmiehillä on kannettavanaan raskaat taisteluvälineet (15-25kg) osassa marsseja ja taisteluharjoituksia. Koulutuksen aikana käydään myös leireillä, joissa harjoittelutoimintaa voi olla läpi yön. Fyysisen koulutuksen lisäksi varusmiehille annetaan myös teoreettista opetusta luokahuoneissa, opetetaan aseenkäsittelyä ja ammuntaa, sekä yleistä sotilaallista koulutusta, kuten sulkeisia.

Harjoittelun tarkoituksena on yleisesti ottaen parantaa jo olemassa olevia ominaisuuksia tai sitten oppia aivan uusia taitoja.

Voimaharjoittelun tarkoituksena on kehittää voimaominaisuuksia. Lihaksen voimantuotto-ominaisuudet voidaan jakaa karkeasti kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat kestävyysvoima, nopeusvoima ja maksimivoima. Kuten jo eri voimaharjoittelutavoista voi päätellä, on harjoittelun tavoitteena pitkällä aikavälillä aina voimantuoton lisääminen. Hyvin suunnitellun harjoittelun avulla lihasten voimantuotto ja aktivaatiokapasiteetti kasvaa. Harjoittelun alkuvaiheessa kehityksen selittää pääosin hermostolliset tekijät. Toinen keskeinen tekijä absoluuttisen maksimivoiman kasvulle on koko lihaksen poikkipinta-alan kasvu harjoittelun vaikutuksesta harjoittelun jatkuessa pitempiaikaisesti (useita viikkoja ja kuukausia) (Ikai & Fukunaga 1968, Nygaard ym. 1983). Etenkin nopeusvoimaharjoitteita tehtäessä lihaskasvua havaitaan pääasiassa nopeissa lihassoluissa (Häkkinen ym. 1985, Watt ym. 1982). Pitkäaikaisten vaikutusten ilmeneminen on hyvin pitkälle kiinni henkilön ominaisuuksista ja taustasta, sekä käytetystä harjoittelumenetelmästä (Keskinen ym. 2004 s. 131-132).

Kuten voimaharjoittelussakin, harjoitteluvaikutuksen aikaansaamiseksi tulee kestävyysurheilussakin elimistöä ylikuormittaa, jotta haluttuja ilmiöitä saadaan aikaiseksi. Tätä hallittua ylikuormittamista kutsutaan superkompensaatioksi (Tuominen ym. 1989 s. 128). Tällöin harjoittelun ajoitukset ja rasittavuuden kasvattaminen optimoidaan yksilöllisesti mahdollisimman tarkasti, jotta elimistön homeostaasi saadaan järkytettyä oikealla tavalla ja harjoitusärsykkeet ylikuormittavat henkilöä jatkuvan kehityksen vaatimalla tavalla (Tuominen ym. 1989 s. 128-132, McArdle ym. 2010 s. 452-453).

Yhdistettäessä voimaharjoittelu ja kestävyysharjoittelu, tavoitteena on luonnollisesti saavuttaa hyödyt ja ominaisuuksien kehittymiset kummastakin harjoittelumuodosta. Kestävyysharjoittelu parantaa suorituskykyä suorituksessa, joka tehdään matalalla kuormalla ja korkealla toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän lihasvoimaa ja anaerobista tehoa, kun taas voimaharjoittelu parantaa suorituskykyä suorituksessa, joka

tehdään korkealla kuormalla ja alhaisella toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän kestävyysominaisuuksia. (Dudley & Djamil 1985, Kreher & Schwartz 2012)

Urheilijat harjoittelevat parantaakseen suorituskykyään. Kuten aiemmissa kappaleissa on tullut esille, saadaan suorituskyky parantumaan lisäämällä harjoittelun kuormittavuutta. Lisääntynyttä kuormaa kestää vain siinä tapauksessa, että harjoitteiden välillä saadaan riittävästi lepoa ja palautumisaikaa ja huolehditaan riittävästä ravinnon saannista. Ylikuormittumisesta puhutaan tapauksissa, joissa jatkuva harjoittelukuormitus johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen vaatien päivien ja jopa viikkojen palautumisen (Kreher & Schwartz 2012). On hyvin vaikea määritellä raja kasaantuvan ja vielä hallittavissa olevan väsymisen ja ylikuormittumisen välille. Ylikuormittumiselle tyypillisiä oireita on esimerkiksi pysyvä autonomisen säätelyn häiriö ja siihen liittyvät hormonaaliset ja fysiologiset reaktiot (McArdle ym. 2010 s. 483-485).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää peruskoulutuskauden aikaisen harjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Samalla selvitetään, ovatko vaikutukset hermolihasjärjestelmään erilaiset OR-ryhmällä (ylikuormittumisoireita) kuin NOR-ryhmällä (ei ylikuormittumisoireita). Oletuksena on, että kaikilla alokkeilla kunto kasvaa ainakin peruskoulutuskauden alussa jonkin verran, kun harjoittelun määrä kasvaa ja harjoittelu on säännöllistä. Loppua kohden ylikuormittumisen merkkejä ilmenee mahdollisesti enemmän.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

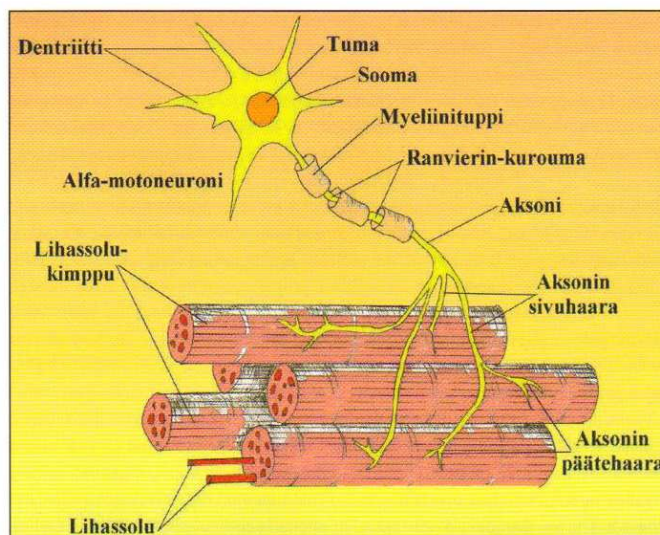
Hermosto koostuu itsenäisesti toimivasta autonomisesta hermostosta ja tahdonalaisesti hallittavissa olevasta somaattisesta hermostosta. Autonominen hermosto jakaantuu vielä sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon, jotka toimivat pitkälti vastavaikuttajina ja huolehtivat esimerkiksi monien sisäelinten hermottamisesta. Liikkumisen ja motoriikan kannalta tärkeämpi osa hermostosta on tahdonalainen somaattinen hermosto. Anatomisesti hermosto voidaan jakaa keskushermostoon, jonka muodostavat aivot ja selkäydin sekä ääreishermostoon, johon kuuluvat selkäydinhermot, aivohermot ja autonomisen hermoston periferiset osat. (Kauranen & Nurkka 2010 s.55)

Tahdonalaisissa liikkeissä lihaksen supistumiskäskey saa alkunsa aivoissa, josta käskey siirtyy hermoratoja pitkin sähköisesti selkäyttimeen. Selkäytimestä supistumiskäskey jatkaa matkaansa motorisia liikehermoja eli alfamotoneuroneja pitkin määränpäähänsä lihakseen, aiheuttaen supistuksen. Alfamotoneuronit ohjaavat kaikkia ihmisen luustolihasiston liikeitä. Alfamotoneuronien soomat sijaitsevat joko selkäytimen etupylväässä tai aivorungossa jonkin aivohermon tumakkeessa. Alfamotoneuronien aksonit ovat melko paksuja, myelisoituneita ja nopeasti johtavia (40 - 80 m/s). Kukin alfamotoneuronin aksonihaara hermottaa useita lihassyitä. Lihassyiden määrä vaihtelee karkeasti n. 5-2000 välillä. Neuronit ja sen hermottamat lihassyit muodostavat *motorisen yksikön*. (Nienstedt ym. 2008 s. 544 - 547, Enoka 2008 s. 249-250)

Karkeasti informaation kulkusuunnat voidaan jakaa siten, että keskushermostolle tietoa tuovat muista kehon aistielimistä aistihermot eli sensoriset hermot. Näitä informaatiota tuovia hermosoluja kutsutaan afferenteiksi hermosyiksi. Toisaalta taas tietoa pois päin keskushermostosta vieviä hermosyitä kutsutaan efferenteiksi hermosyiksi. Lisäksi informaatiota tuottavat esimerkiksi näkö ja sisäkorvan tasapainoelin, jotka osaltaan vaikuttavat vasteen kokonaisuuteen. Aistihermot saavat informaationsa erilaisilta, tietyille

ärsykkeille herkiltä, reseptoreilta (aistielimiltä). Nämä reseptorit tarjoavat keskushermostolle lihasten liikkeiden tarkoituksenmukaiseen toimintaan ja optimaalisen tehon säätämiseen jatkuvaa tietoa lihasten pituudesta, jännitystasosta ja nivelten asennosta. Reseptorit muuttavat erilaiset ärsykkeet, kuten venytyksen, paineen, kosketuksen, lämpötilan ja vibraation keskushermoston ymmärtämään muotoon. Samoin nämä reseptorit tarjoavat keskushermostolle palautejärjestelmän, jonka avulla motoristen yksiköiden toimintaa on mahdollista säädellä. Lihastoiminnan ohjauksen kannalta tärkeimpiä reseptoreita ovat lihassukkula, Golgin jänne-elin, nivelten proprio reseptorit, ihon mekanoreseptorit ja vapaat hermopäätteet. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 131-138, Nienstedt ym. 2008 s. 544-547, Enoka 2008 s. 249-250)

Hermolihasjärjestelmän pienintä toiminnallista voimaa säätelevää ja kontrolloivaa kokonaisuutta kutsutaan motoriseksi yksiköksi. Se koostuu yhdestä alfa-motoneuronista (dendriitit, sooma ja aksonit haaroineen) ja sen hermottamista 5 - 2000 lihassolusta (Burke 1967, Burke ym. 1973) Kuvassa 1. on kuvattu motorinen yksikkö osineen.



KUVA 1. Motorinen yksikkö ja sen keskeisimmät osat (Kauranen & Nurkka 2010 s. 130).

Motorisen yksikön anatomiset ja fysiologiset ominaisuudet riippuvat sen käyttötarkoituksesta. Yhden lihaksen motoristen yksiköiden määrä vaihtelee noin 100 ja 3000 välillä ja toisaalta yksi motoneuroni voi hermottaa noin 5 - 2000 lihassolua. Mitä tarkempaa hienomotorista liikettä lihas tekee, sitä pienempi on hermosolun hermottama lihassolujen lukumäärä. Toisena ääripäänä ovat karkeampaa motoriikkaa vaativat liikkeet, joissa voimantuotto voi olla hyvinkin suuri. Näissä tapauksissa yksi hermosolu voi hermottaa jopa 1900 - 2000 lihassolua. Tarkkoja lukuja on kuitenkin mahdotonta sanoa yksilöllisten erojen takia. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 130, Enoka 2008 s. 215)

Motorisen yksikön neuraalinen komponentti käsittää alfamotoneuronin dentriitit, sooman ja aksonin haaroineen ja sen ominaisuuksien kannalta oleellisinta on koko (sooman halkaisija, solun pinta-ala, dentriittien määrä ja aksonin halkaisija), koska se vaikuttaa solujen aktivoitumisjärjestykseen. Pienet motoriset yksiköt ärsyyntyvät ja syttyvät herkemmin, mutta ne kehittävät ja välittävät aktiopotentiaaleja hitaammalla tahdilla kuin isommat motoriset yksiköt (Henneman 1957). Motorisen yksikön lihaskomponentti koostuu yhden alfamotoneuronin hermottamista lihassoluista (n. 5 - 2000). Kun alfamotoneuroni aktivoituu, se lähettää aktiopotentiaalın aksonin ja sen päätehaarojen kautta kaikille näille lihassoluille ja ne supistuvat ”kaikki tai ei mitään”-periaatteen mukaisesti täydellä teholla. Yksittäisen lihassolun syttymisaika ja -taajuus riippuu täysin siitä, millaisen alfamotoneuronin hermottama se on. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 130-131, Enoka 2008 s. 215-220)

Motoristen yksiköiden supistumisaika vaihtelee 20 – 140 ms:n välillä ja niinpä yksiköt jaotellaankin nopeisiin ja hitaisiin niiden supistumis- ja relaksoitumisaikojen perusteella (Barany 1967). Tyyppi I:n motoriset yksiköt supistuvat hitaasti ja tuottavat vähän voimaa, mutta niillä on hyvät kestävyysominaisuudet. Tyyppi IIa:n yksiköt supistuvat nopeasti, tuottavat kohtalaisesti voimaa ja niillä on myös kohtalaiset kestävyysominaisuudet. Tyyppi IIb:n solut supistuvat nopeasti ja ne tuottavat paljon voimaa, mutta niiden kestävyysominaisuudet ovat hyvin heikot (Brooke & Kaiser 1974). Koko lihaksen

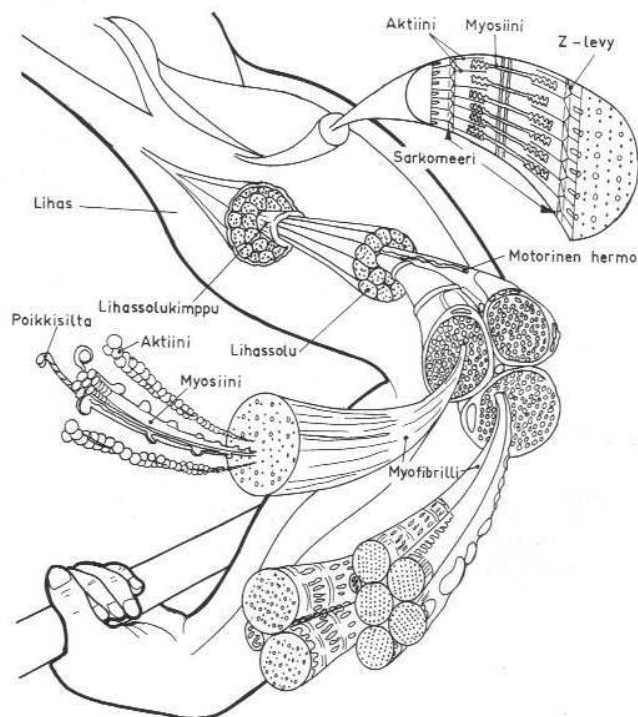
ominaisuuksien oletetaan heijastavan lihaksen motoristen yksiköiden jakautumista ja suhdetta lihaksessa. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 131, Enoka 2008 s. 222)

2.1 Lihaksen rakenne ja toiminta

Lihaskudoksella on supistumiskykyistä kudosta, joka muuttaa ravinnosta saadun kemiallisen energian voimaksi. Ihmisen painosta on lähes puolet (40 - 50 %) lihaskudosta. Ihmisellä on noin 650 lihasta, joista noin 450 on tahdonalaisen hermotuksen alaisena. Lihaskudos jaetaan poikkijuovaiseen- sileään- ja sydänlihaskudokseen, joista tässä yhteydessä keskitytään pääasiassa luurankolihasen poikkijuovaiseen lihaskudokseen. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 111-112, Silverthorn ym. 2010 s. 407-408)

Lihaskudoksella on tiettyjä sille luontaisia ominaisuuksia. Ensimmäinen näistä on sen sähköinen aktiivisuus ja kyky johtaa aktiopotentiaalia (Buchthal ym. 1954). Tämä ominaisuus on pääosin samanlainen kuin hermosoluilla, joitain eroavaisuuksia kuitenkin löytyy: esim. lepopotentiaali on lihassolukalvolla suurempi (-80 - -90 mV), aktiopotentiaalinen kesto on pidempi, impulssin johtumisnopeus on hitaampi, eikä impulssi etene saltatorisesti. Toinen lihaksen ominaisuus on sen supistumiskyky ja kolmas sen venymiskyky eli kyky venyä tiettyyn pituuteen vaurioitumatta, mikä antaa sille sen elastiset ominaisuudet ja kyvyn palautua takaisin alkuperäiseen pituuteen ja muotoon supistuksen jälkeen (Bosco ym. 1981, Viitasalo & Bosco 1982). Neljäs ominaisuus osalla lihaksia on lihaskudoksen tahdonalaisuus (n. 67 % ihmisen lihaksista). Tämän ominaisuuden avulla ihminen pystyy tahdonalaisesti ja tietoisesti kontrolloimaan omia liikkeitään ja valitsemaan jokaiseen tilanteeseen tarkoituksenmukaisen ja mahdollisimman oikean liikevasteen. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 116-117)

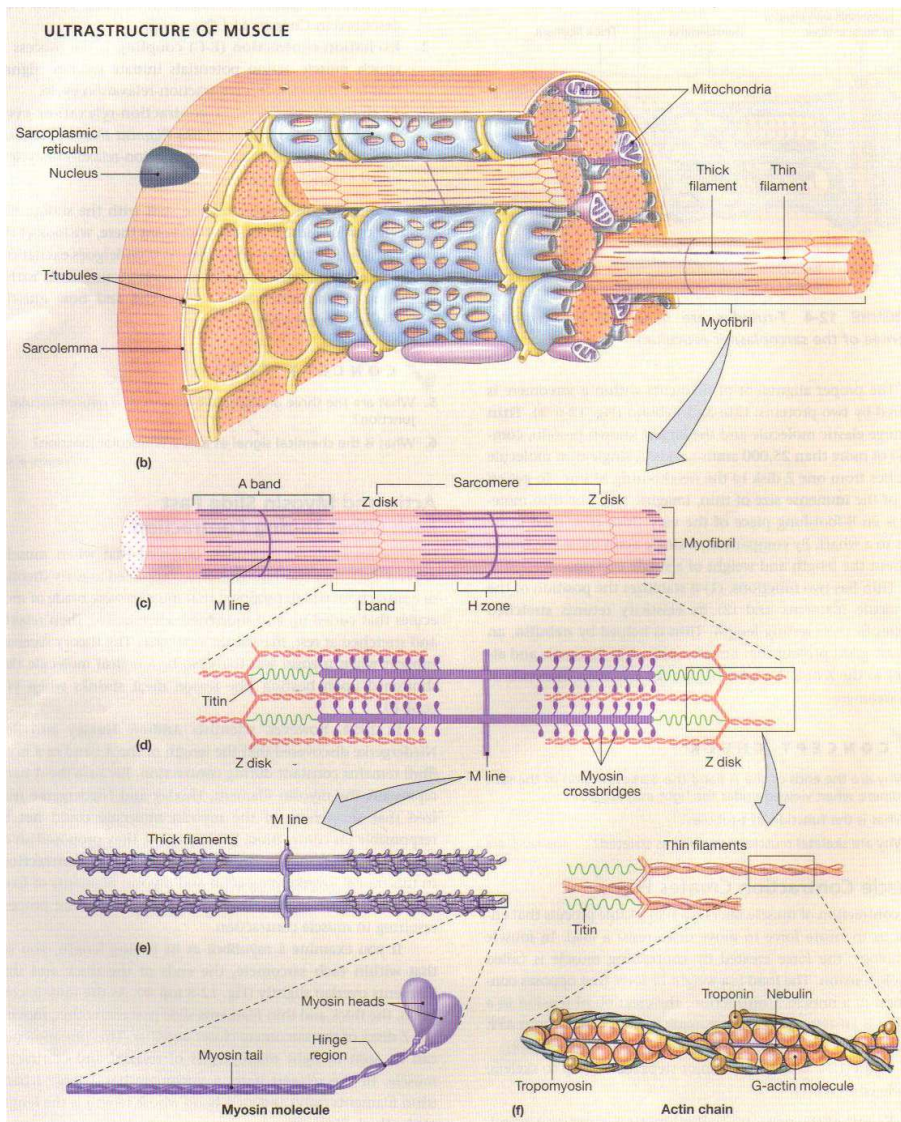
Lihakset rakentuvat lihassykimpuista, jotka muodostuvat lihassyistä. Tämä lihaskudoksen perusyksikkö, lihassy, rakentuu lihassäikeistä ja tämä vielä lihasfilamenteista. Tämän lisäksi lihaskudoksen ympärillä ja välissä on erilaisia sidekudoksesta rakentuneita kalvostorakenteita (Huijing 2003). Kuvassa 2. on esitetty lihaksen rakenteita. Nämä eri kokonaisuuksien ympärillä olevat kalvostorakenteet muodostavat lihaskudoksesta rakentuvan supistuvan komponentin rinnalle ns. elastisen komponentin, joka antaa lihakselle sen venyvyysominaisuudet (Häkkinen 1990 s. 18).



KUVA 2. Luurankolihasrakenteen karkealla tasolla (Häkkinen 1990 s. 18).

Yhdellä lihassolulla voi olla satoja tumia, jotka ovat sijoittuneet erityisesti motorisen päätelevyn ympärille lihassolun pinnalle välittömästi lihassolukalvon alle. Lihassolu sisältää kaksi putkijärjestelmää, poikittaisen T-putkijärjestelmän ja verkkomaisen solulimakalvoston, jotka ovat kiinteässä yhteydessä toisiinsa. Aktiopotentiaali pääsee johtumaan T-putkijärjestelmää pitkin sekä pituus että poikittaissuunnassa. Solulimakalvosto

ympäri T-putkijärjestelmän ja sen tärkeimpänä tehtävänä on toimia Ca^{2+} -ionien varastona, vapauttaen ne solulimaan aktiopotentiaalin seurauksena ja keräten ne takaisin lihassupistuksen päätyttyä (Enoka 2008 s. 206-207). Rakenne hahmottuu tarkemmin Kuvasta 3.



KUVA 3. Tarkempi luurankolihasen rakenne (Silverthorn ym. 2010 s.411).

Kuten aiemmin jo mainittiin, rakentuu lihaskudoksen perusyksikkö lihassyö monista pienemmistä yksiköistä (lihassäikeet, sarkomeerit, filamentit). Filamentit rakentuvat 84 % kahdesta proteiinista, aktiinista ja myosiinista. Kuvasta 3. nähdään, että lihasfilamenteista ohuemmat aktiinifilamentit sijoittuvat sarkomeerin päihin ollen kiinni Z-levyissä (Schroeter ym. 1996). Aktiinifilamenttiin liittyy kiinteästi kaksi muuta proteiinia, tropomyosiini ja troponiini. Paksumpi sarkomeerin keskelle sijoittuva lihasfilamentti muodostuu myosiinimolekyyleistä (Sjöström ym. 1982). Kun aktiopotentiaali kulkeutuu solun sisäosiin, aiheuttaa se kemiallisen reaktion (kalsiumin vapautuessa), jossa pienet kemialliset poikkisillat vetävät aktiini- ja myosiinifilamenteja toistensa lomaan lyhentäen sarkomeeria. Näin ollen peräkkäisten sarkomeerien yhtäaikaisen supistumisen seurauksena koko lihassolu lyhenee. Poikkisillan muodostaminen filamenttien välille ja filamenttien liikuttaminen toistensa lomaan vaatii energiaa ja sitä saadaan ravinnosta valmistetusta adenosiinitrifosfaatti (ATP) molekyylistä (Kauranen & Nurkka 2010 s.127).

2.2 Spinaalinen kontrollointi

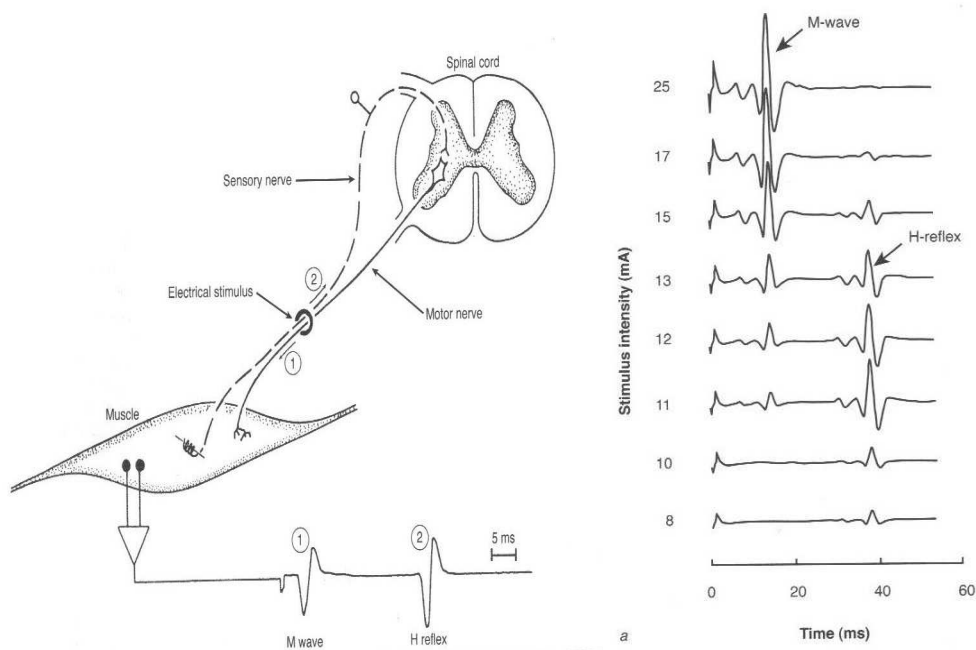
Lihastoiminnan spinaalisella kontrolloinnilla tarkoitetaan lihasten supistusten ohjausta siten, että toiminta ei vaadi aivoilta tulevaa käskytystä (Silverthorn ym. 2010 s. 447). Silloin lihasten ohjaus perustuu selkäydinason refleksiin, jolloin aiemmin mainittuihin reseptoreihin kohdistuva ärsyke saa aikaan lihaksen aktivoitumisen ilman tajunnan vaikutusta (Enoka 2008 s. 249-250, Kauranen & Nurkka 2010 s. 101). Reseptorista lähteneen impulssin tietä kutsutaan refleksiakaareksi (Kauranen & Nurkka 2010 s. 101). Mikäli impulssi kulkee refleksiakaareissa vain yhden synapsin välityksellä lihakseen vievään motoriseen hermoon, on kyseessä monosynaptinen refleksi (Silverthorn ym. 2010 s. 448, Kauranen & Nurkka 2010 s. 101). Vastaavasti, mikäli refleksiakaari sisältää kaksi tai kolme synapsia, kutsutaan sitä oliosynaptiseksi refleksiakaareksi ja mikäli synapseja on mukana enemmän kuin kolme, on kyseessä polysynaptinen refleksiakaari (Silverthorn ym. 2010 s. 448, Kauranen & Nurkka 2010 s. 101).

Monosynaptisessa refleksikaarella sensorinen afferentti tuojahermo muodostaa hermoliitoksen selkäytimessä laskevan efferentin alfamotoneuronin kanssa. Tällaiset liitokset ovat aina eksitoivia eli alfamotoneuronin toimintaa kiihottavia ja lisääviä. Kyseinen refleksi saadaan tyypillisimmillään aikaan refleksivasaran iskulla patellajänteeseen (venytysrefleksi) tai stimuloimalla ääreishermaa sähköllä (Hoffmann refleksi, H-refleksi) (Enoka 2008 s. 257, Kauranen & Nurkka 2010 s. 103-104).

Aktiopotentiali ja sen eteneminen saavat lihaksessa aikaan lihasnykäyksen. Aktiopotentialin voimistuessa myös lihasnykäys kasvaa kasvattaen samalla lihaksen voimantuottoa. H-refleksi (ja siihen liittyvät M-aalto ja V-aalto) ovat keinotekoisesti ulkoisella sähköstimuluksella aikaansaatuja vasteita (Upton ym. 1971, Burke ym. 1989). Käytettäessä sähköistä stimulusta voidaan kiertää ja ohittaa mm. lihasspindelien ja muidenkin lihaksen sensoristen reseptorien vaikutus ja toiminta. Siksi H-refleksiä on käytetty mittaamaan alfamotoneuronialtaan ärsyyntyvyyden tilaa (Hallett ym. 1994). Alkuperäisen havainnon jälkeen on huomattu, että vasteeseen vaikuttavat muutkin asiat. Esimerkiksi afferenttien aksonien tuottama palaute voi muuttua hyperpolarisaation vaikutuksesta la päätteiden presynaptisesta inhibitiosta synaptoituessa motoneuroneihin. Tämä ilmiö pienentää H-refleksin suuruutta (Lin ym. 2002).

H-refleksimittauksissa tutkitaan hyvin monissa tapauksissa pintaelektrodeilla lihasaktiivisuutta ärsyttämällä pohjelihaksia hermottavaa nervus tibialista (hermojen helpon paikan takia) sähköimpulsseilla, jotka aiheuttavat hermossa depolarisaation. Aikaansaatu aktiopotentiali menee afferenttia hermoa pitkin selkäyttimeen, jossa se synopsoi alfamotoneuronin kanssa, joka puolestaan kuljettaa impulssin takaisin pohjelihakseen ja saa aikaan lihaksen aktivoitumisen. Soleus lihaksen pinnalta voidaan mitata EMG-vaste (tyypillisesti n. 30 - 35 ms viiveellä stimuluksesta). Kuvassa 4. on vasemmalla puolella havainnollistettu tyypillinen H-refleksin mittausjärjestely. Havaittu vaste riippuu täysin ärsykkeen voimakkuudesta. Mikäli ärsytyksen voimakkuutta kasvatetaan edelleen, alkaa impulssi kulkea sekä sensorisella, että motorisella puolella hermossa. Tällöin nähdään EMG-mittauksissa toinenkin aalto (M-aalto), joka aiheuttaa lihaksen supistumisen suoraan

(Pohjelihaksen tapauksessa n. 8 ms kuluttua stimuluksesta). H-refleksi saapuu tässäkin tapauksessa n. 30 - 35 ms myöhemmin kuljettuaan koko refleksikaaren läpi ja palattuaan pohjelihakseen. Kun ärsytystä lisätään edelleen, alkaa M-vaste kasvaa ja vastaavasti H-refleksi pienentyä. Loppujen lopuksi virtaa lisättäessä tietyn rajan yli häviää H-refleksi kokonaan näkyvistä, kun eri suuntiin kulkevat signaalit kumoavat toisensa. Kuvassa 4. oikealla puolella on esitetty kyseiset vasteet. (Kauranen & Nurkka 2010 s. 103-104, Enoka 2008 s. 257-259)



KUVA 4. Tyypillinen H-refleksin ja M-aallon mittausjärjestely (vasemmalla) ja mittauksesta saatava vaste (oikealla) (Enoka 2008 s.258 - 259).

Maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen (MVC) aikana annettuun supramaksimaaliseen sähköiseen stimulukseen saadaan vasteena V-aalto. Lihaskäytöön saa aikaan väärään suuntaan kulkevan M-aallon törmäyksen ja kumoaa sen ja vasteessa näkyy siis tällä kertaa V-aalto. Tätä käytetään kuvastamaan alfa-motoneuronien

neuraalisen ohjauksen tasoa MVC:n aikana (Upton ym. 1971). V-aaltoa käytetään aina suhteutettuna samanaikaiseen M-aallon maksimiin (V/M_{\max}).

Myös passiivista lihasnykäystä (twitch) on käytetty tutkittaessa lihaksen supistusominaisuuksia ja erilaisten harjoitteluiden ja rasituksien aikaansaamien vasteiden tutkimiseen, esimerkiksi lihasväsymyksen tutkimiseen (Gandevia ym. 1996, Strojnik & Komi 1998). Passiivinen lihasnykäys on sähköstimulaation avulla lihakseen tai hermoon annettu supramaksimaalinen ärsyke, kun lihas on täysin rentona ilman tahdonalaista aktivaatiota (Strojnik & Komi 1998). Passiivisen lihasnykäyksen avulla voidaan saada tietoa esimerkiksi hermolihaskäytöstä, sarkoleeman herkkydestä ja lihaksen supistusominaisuuksista (Racinais ym. 2013).

2.3 Sentraalinen kontrollointi

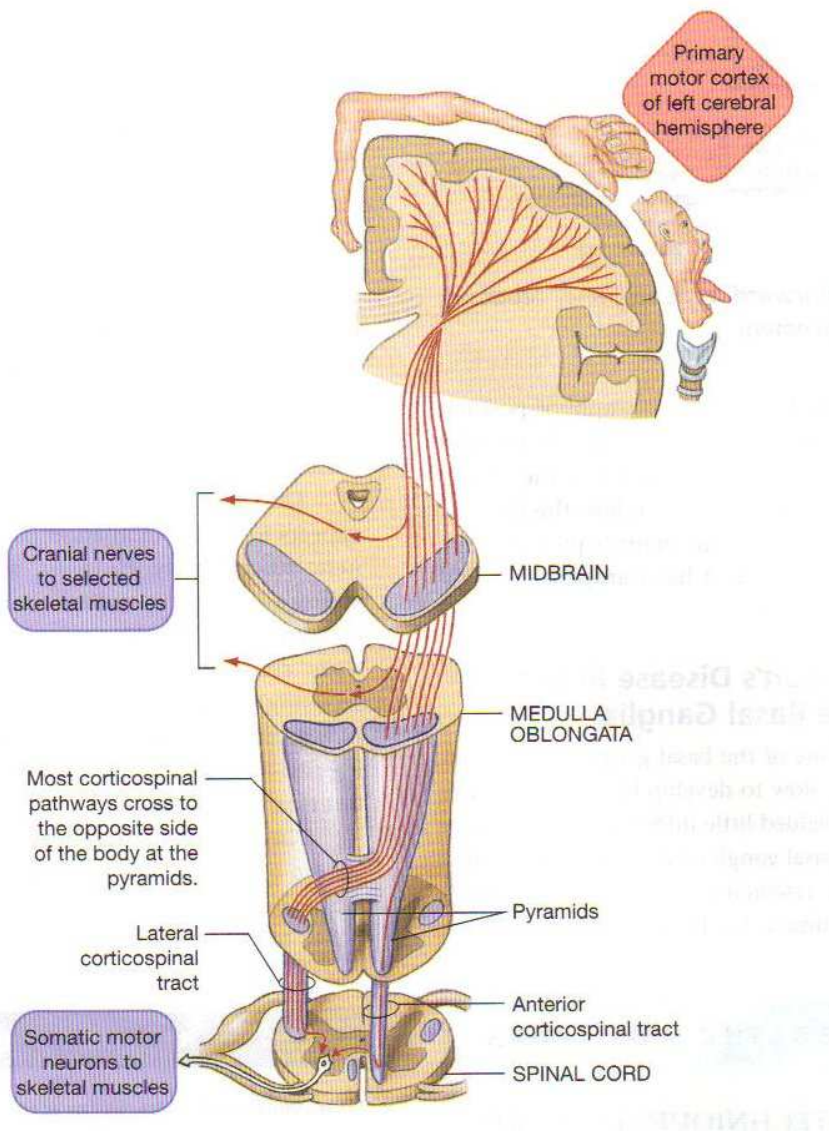
Tahdonalainen lihasten liikuttaminen on kaikkein monimutkaisinta liikettä. Se vaatii tietojen yhdistämistä aivokuorella ja se voidaan aloittaa ilman minkäänlaista ulkoista stimulaatiota pelkästään päättämällä tehdä niin. Opittuja tahdonalaisia liikkeitä on mahdollista harjoitella ja tulla niissä paremmiksi jopa niin, että niistä tulee ainakin osittain tahdosta riippumattomia, refleksinomaisia. (Silverthorn ym. 2010 s. 458)

Liikkeiden kontrollointi tapahtuu kolmella tasolla. Vuorovaikutus näiden tasojen välillä on hyvin laajaa, eikä mitään liikkeitä voi aikaansaada pelkästään yhden tason vaikutuksesta (Graziano 2006, Scott 2008). Ensimmäinen taso on selkäydin, joka integroi spinaaliset refleksit ja sisältää valmiiden liikkeiden malligeneraattorit. Toisella tasolla on aivorunko ja pikkuaivot, jotka kontrolloivat asentoja ja käsien ja silmien liikkeitä. Kolmannella tasolla on aivokuori ja tyvitumakkeet, jotka ovat vastuussa tahdonalaisista liikkeistä. Talamus välittää ja modifioi selkäytimeltä, tyvitumakkeilta ja pikkuaivoilta tulevaa informaatiota aivokuorelle (Enoka 2008 s. 288). Kuvassa 5. on lueteltu tiivistettynä liikkeiden neuraalinen kontrollointi.

Neural Control of Movement			
LOCATION	ROLE	RECEIVES INPUT FROM:	SENDS INTEGRATIVE OUTPUT TO:
Spinal cord	Spinal reflexes; locomotor pattern generators	Sensory receptors	Brain stem, cerebellum, thalamus/cerebral cortex
Brain stem	Posture, hand and eye movements	Cerebellum, visual and vestibular sensory receptors	Spinal cord
Motor areas of cerebral cortex	Planning and coordinating complex movement	Thalamus	Brain stem, spinal cord (corticospinal tract), cerebellum, basal ganglia
Cerebellum	Monitors output signals from motor areas and adjusts movements	Spinal cord (sensory), cerebral cortex (commands)	Brain stem, cerebral cortex (Note: All output is inhibitory.)
Thalamus	Contains relay nuclei that modulate and pass messages to cerebral cortex	Basal ganglia, cerebellum, spinal cord	Cerebral cortex
Basal nuclei	Motor planning	Cerebral cortex	Cerebral cortex, brain stem

KUVA 5. Liikkeiden neuraalinen kontrollointi (Silverthorn ym. 2010 s. 459).

Liikkeitä ohjaavat käskyt kulkevat periferiaan eri ratoja pitkin. Isoaivojen otsalohkon takareunassa olevaa aluetta kutsutaan primaarisesti motoriseksi kuorialueeksi eli motoriseksi korteksiksi. Tarkkoihin liikkeisiin osallistuvat kehonosat (kasvot, kieli, käsien pienet lihakset) ovat täällä yliedustettuina (Nienstedt ym. 2008 s. 553). Kortikospinaaliradan aksonit alkavat isoaivokuoresta ja jatkuvat ilman välisynapseja selkäyttimeen tai aivorunkoon. Täällä ne muodostavat synapseja alfa-motoneuronien ja välineuronien kanssa. Kortikospinaalirataan liittyy kortikobulbaarirata, jonka aksonit päättyvät jo aivorungossa aivohermojen tumakkeisiin. Se siis ohjaa aivohermojen toimintaa ja sitä kautta lähinnä pään seudun liikkeitä, mutta muuten vastaa toiminnaltaan kortikospinaalirataa. Suurin osa kortikospinaaliradan hermosyistä risteytyy vasemmalta oikealle ja päinvastoin viimeistään ydinjatkeessa. Loput risteytyvät selkäytimessä. Esimerkiksi stimulaatio aivojen vasemmassa puoliskossa aiheuttaa liikkeen oikeassa raajassa, kuten Kuvasta 6. nähdään. (Nienstedt ym. 2008 s. 553, Silverthorn ym. 2010 s. 460-461)



KUVA 6. Kortikospinaalinen hermoratarata (Silverthorn ym. 2010 s. 461).

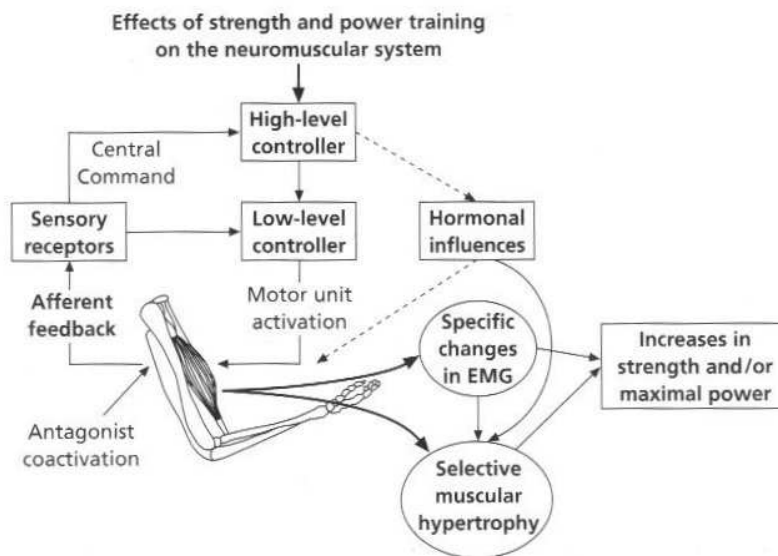
Edellä mainittujen motoristen hermoratojen lisäksi on olemassa myös extrapyramidirata. Basaaligangliot eli tyvitumakkeet toimivat keskuksena, jossa tapahtuu isoaivojen motoriikan ja talamukseen saapuvan tietojen integrointi. Tätä kautta koordinoidaan lihasryhmien toimintaa, säädellään kehon asentoa ja tahdosta vähemmän riippuvien myötäliikkeiden toimintaa. Extrapyramidiradalta ei ole suoraa yhteyttä selkäytimen kautta alfamotoneuroneihin, koska radat kulkevat kortikospinaalijärjestelmän ulkopuolella. Radat

kulkevatkin aivorungon retikulaarisen järjestelmän yhteyksien kautta. Tämän radan ominaisuuksiin ja toimintaan on päästy viime aikoina tarkemmin sisälle Parkinsonin taudin tutkimuksien kautta. (Silverthorn ym. 2010 s. 461-463)

Isoaivoista lähtee suuri joukko muitakin motorisia ratoja. Tärkeitä lähtö- ja väliasemia ovat mm. eräät talamuksen osat, isoaivojen tyvitumakkeet (basaaligangliot), tasapainohermotumakkeet, aivoverkosto, sekä keskiaivojen punatumake ja mustatumake. Retikulo-spinaaliradat lähtevät aivorungon alueelta. Näistä mediaalirata inhiboi myostaattista ojentajaheijastetta ja aktivoi koukistajaheijastetta. Lateraalirata toimii päinvastoin. Vestibulo-spinaaliset radat lähtevät aivorungon vestibulaaritumakkeista synapsoiden alempiin motoneuroneihin selkäytimessä. Näiden ratojen kautta säädelään asennon ja tasapainon säilyttämiseksi tärkeitä lihasliikkeitä alfa- ja gammamotoneuronien kautta. Rubrospinaalirata lähtee keskiaivoista kulkien lateraalisen kortikospinaaliradan etupuolella läpi selkäytimen. Se välittää pikkuaivojen ja aivojuovion käskyjä alempiin motoneuroneihin. Tektospinaalirata koordinoi silmälihasten ja niskalihasten aktivaatiota. (Enoka 2008 s. 288)

3 VOIMA – JA KESTÄVYYSHARJOITTELU

Harjoittelun tarkoituksena on yleisesti ottaen parantaa jo olemassa olevia ominaisuuksia tai sitten oppia aivan uusia taitoja. Kuten aiemmin on tullut esille, hermolihaskäyttöjärjestelmä voidaan nähdä kolmen eri osa-alueen kokonaisuutena, jotka yhdessä ja kukin myös erikseen vaikuttavat tuki- ja liikuntaelimestön toimintaan. Kuvassa 7. on esitetty kyseisiä osa-alueita ja riippuvuuksia, sekä harjoittelun aikaansaamia vaikutuksia. Käskyt lähtevät ylimmältä tasolta, etenevät ja tarkentuvat matkalla. Vastaavasti periferiasta saadaan palautteena tietoja, joiden mukaan toimintoja voi säätää tarpeen mukaan. Harjoittelulla saadaan aikaan kehitystä kaikilla hermolihaskäyttöjärjestelmien tasoilla, myös itse lihaksessa (Kraemer & Häkkinen 2002).



KUVA 7. Harjoittelun osa-alueita ja riippuvuuksia (Kraemer & Häkkinen 2002 s. 20)

Voimaharjoittelun tarkoituksena on kehittää voimaominaisuuksia. Lihaksen voimantuotto-ominaisuudet voidaan jakaa karkeasti kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat kestävyysvoima, nopeusvoima ja maksimivoima. Voimaharjoittelun myötä sekä lihasten voimantuotto että

lihassolujen maksimaalinen aktivaatiokapasiteetti kasvavat (Sale ym. 1983). Harjoittelun alkuvaiheessa voimantuoton kasvusta suurin osa selittyy hermostollisten tekijöiden kehitymisellä, samoin tapahtuu harjoitusohjelmaa vaihtaessakin (Moritani & deVries 1979). Toinen merkittävä tekijä lihaksen voimantuottoon on lihaksen poikkipinta-ala. Pitkäaikaisen harjoittelun (useiden viikkojen ja kuukausien) myötä myös lihasten hypertrofiset tekijät selittävät voimantuoton kasvua (Moritani & deVries 1979). Käytetty voimaharjoitusmenetelmä ja henkilön harjoitettavuudesta vaikuttavat paljon, missä vaiheessa ja missä suhteessa hermostollista ja hypertrofista adaptaatiota tapahtuu. Myös hormonaaliset tekijät vaikuttavat voimaominaisuuksien kehittymiseen (Keskinen ym. 2004 s. 131, Kraemer & Häkkinen 2002 s. 20 - 21).

Fyysisenä perusominaisuutena kestävyuden voidaan määrittellä olevan elimistön kyky vastustaa väsymystä fyysisen kuormituksen aikana. Toinen tapa ilmaista asia on määrittellä kestävyys kapasiteetiksi ylläpitää annettua nopeutta tai voimaa niin pitkään kuin mahdollista (Jones & Carter 2000). Tätä määrittelytapaa käytetään yleensä kestävyystestien yhteydessä. Kestävyteen erityisesti vaikuttavia tekijöitä ovat hapenkuljetuselimistön kunto (hengitys- ja verenkiertoelimistö), lihasten aineenvaihdunta ja hermoston toiminta. Kestävyysharjoittelu parantaa ja vahvistaa hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa sekä lihasten aerobista aineenvaihduntaa. (Keskinen ym. 2004 s. 51)

3.1 Voimaharjoittelun periaatteet

Kestävyysvoima on lihaksen tai lihasryhmän kykyä tehdä työtä, tuottaa toistuvia lihassupistuksia tietyssä ajassa tietyllä kuormituksella, joka tuottaa lihasväsymystä, tai kykyä ylläpitää tiettyä voimatasoa mahdollisimman kauan tai jonkin tietyn ajan (Keskinen ym. 2004 s. 169, Häkkinen ym. 1985). Kestävyysvoimaharjoittelussa oleellisin muistettava asia on toistojen suuri määrä - kuormien ollessa pieniä (0 - 30 % 1RM:stä) tämä on mahdollista. Kestävyysvoimaa voi harjoitella joko aerobisesti, jolloin harjoitteiden suoritustempo on rauhallinen, tai sitten anaerobisesti, jolloin suoritustempo pidetään korkeana ja elimistöön kertyy maitohappoa. Tällöin palautumiseen menee enemmän aikaa.

Isometrisissä harjoitteissa tiettyä lihasjännitystä ylläpidetään tietty aika, tai niin pitkään, kunnes lihasväsymys estää suorituksen jatkumisen (Häkkinen 1990 s. 221-223). Kestävyysvoiman testaamisessa tyypillisiä testejä ovat dynaamiset toistotestit (suoritetaan testiliikettä niin monta kertaa kuin jaksetaan ja toistojen lukumäärä lasketaan) ja staattiset testit (ylläpidetään lihasjännitys tutkittavassa asennossa niin pitkään kuin mahdollista, aika lasketaan). Kestävyysvoima on perustana melkeinpä kaikessa urheilussa, joten sen harjoittamista ei saisi unohtaa lajikohtaisten harjoitteiden lisänä. (Keskinen ym. 2004 s. 169-179)

Nopeusvoimalla tarkoitetaan hermolihasjärjestelmän kykyä tuottaa suurin mahdollinen voima lyhimässä mahdollisessa ajassa, tai suurimmalla mahdollisella nopeudella. Nopeusvoima voidaan jakaa vielä kolmeen osaan: lähtövoima (suurin voima tuotetaan hyvin nopeasti liikkeen tai lihastyön aluksi, esim. ensimmäiset 30 ms), räjähtävä voima (kyky jatkaa jo aloitettua lihastyötä niin nopeasti, kuin mahdollista) ja isoinertiaalinen voima (voimaa tuotetaan reaktiivisesti luonnollisen liikkeen aikana, esim. SSC, stretch shortening cycle) (Keskinen ym. 2004 s. 149-151). Nopeusvoimaharjoittelussa toistojen määrät ovat luokkaa 1-10 ja käytettävät kuormat n. 30 % - 70 % 1RM:stä. Tärkeintä on tehdä toistot niin nopeasti kuin mahdollista ja pitää riittävän pitkä tauko sarjojen välillä, jotta palautuminen olisi riittävää (Häkkinen 1990 s. 213-221). Tyypillisiä testejä nopeusvoiman testaamiseen ovat erilaiset hyppytestit (staattinen hyppy, kevennyshyppy, pudotushyppy, hyppy lisäkuormalla, yms.) ja heittotestit (valoporttilaitteistoilla). Nopeusvoiman harjoittelun vaikutuksista hyötyvät parhaimmillaan sprinttilajien harrastajat, mutta siitä on hyötyä myös suurimpaan osaan palloilulajeista, joissa pitää tehdä nopeita spurteja sekä liikesuuntien ja nopeuksien vaihdoksia (Keskinen ym. 2004 s. 151-163).

Maksimivoimalla tarkoitetaan suurinta yksilöllistä voimatasoa, jonka lihas tai lihasryhmä tuottaa tahdonalaisessa kertosuorituksessa ilman, että voimantuottoon kulunut aika olisi rajoittava tekijä. Aikaa maksimaalisen voimatason saavuttamiseen voi kulua n. 0,5 - 2,5 sekuntia riippuen lihastyötavasta, mitattavasta lihasryhmästä, testattavan harjoitustaustasta, sukupuolesta, iästä ja muistakin fysiologisista tekijöistä (Keskinen ym. 2004 s. 138).

Maksimivoimaharjoittelussa toistojen määrät sarjoissa pidetään hyvin pieninä, suuruusluokkaa 1 - 3 ja kuormat mahdollisimman suurina (n. 70 % - 100 % 1RM:stä). Sarjojen välillä tulee pitää riittävät tauot, jotta lihakset ehtivät palautua täysin. Toistoihin käytettävällä ajalla ei ole rajoituksia (Häkkinen 1990 s. 201-204). Tyypillisimmät maksimaaliset voiman testit ovat isometrisiä, jolloin voimantuottoa voidaan mitata erilaisten voimadynamometrien avulla tarkasti tietyn lihaksen tai lihasryhmän tiedetyllä lihaskulmalla (esim. polven ja olkavarren ojennukset ja koukistukset, nilkan ojennus, puristusvoima). Maksimivoiman harjoittelun hyödyt tulevat parhaiten esille juuri voimailulajeissa, joissa suoritusnopeudella ei ole merkitystä, mutta kyllä maksimivoiman harjoittelulla saadaan aikaan kehitystä myös muihinkin voimaominaisuuksiin ja sitä kautta hyötyä kaikkiin lajeihin (Keskinen ym. 2004 s. 140-149). Eräs maksimivoimaharjoittelun alalaji on hypertrofinen harjoittelu. Siinä tavoitteena on maksimaalinen lihaskasvu. Tällöin harjoittelussa sarjoissa olevat toistomäärät ovat luokkaa 6-12 ja sarjojen välissä olevat tauot pyritään pitämään lyhyinä, n. minuutin mittaisina (Ahtiainen ym. 2005, Keskinen ym. 2004 s. 140-149).

3.2 Voimaharjoittelun adaptaatio

Kuten jo eri voimaharjoittelutavoista voi päätellä, on harjoittelun tavoitteena pitkällä aikavälillä aina voimantuoton lisääminen. Hyvin suunnitellun harjoittelun avulla lihasten voimantuotto ja aktivaatiokapasiteetti kasvaa. Harjoittelun alkuvaiheessa kehityksen selittää pääosin hermostolliset tekijät. Nopeusvoimatyypinen harjoittelu sekä tahdonalaista, että todennäköisesti myös reflektorista säätöjärjestelmää siten, että hermolihaskäytännön motoristen yksiköiden rekrytointi varsinkin nopeaan ja lyhytaikaiseen kertasuoritukseen lisääntyy (Aagaard ym. 2002a). Samoin vaikuttavana tekijänä voi olla liikettä aikaansaavien lihasten (agonistien) ja niiden vastavaikuttajalihas (antagonistien) aktivaatioiden ja keskinäisen ajoitusten määrän ja laadun parantuminen, eli hermostollinen koordinaatio paranee (Aagaard ym. 2002a). Toinen keskeinen tekijä absoluuttisen maksimivoiman kasvulle on koko lihaksen poikkipinta-alan kasvu harjoittelun vaikutuksesta harjoittelun jatkuessa pitempiaikaisesti (useita viikkoja ja kuukausia) (Ikai & Fukunaga 1968, Nygaard

ym. 1983). Etenkin nopeusvoimaharjoitteita tehtäessä lihaskasvua havaitaan pääasiassa nopeissa lihassoluissa (Häkkinen ym. 1985, Watt ym. 1982). Kuten edellä jo tuli ilmi, on pitkäaikaisten vaikutusten ilmeneminen hyvin pitkälle kiinni henkilön ominaisuuksista ja taustasta, sekä käytetystä harjoittelumenetelmästä (Keskinen ym. 2004 s. 131-132).

Voimatestaustuksissa tulee ottaa huomioon myös itse testien välitön vaikutus. Se ilmenee käytännössä siten, että testissä olevan henkilön hermostollinen kapasiteetti kuormitettujen lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen aktivointiin laskee harjoituksen väsymysvaikutuksen takia jo noin 5-10 maksimaalisen suorituksen jälkeen (Kuva 8.). Tämän voi havaita kuormitettavien lihasten maksimivoiman ja maksimaalisen EMG:n vähenemisenä. Kyseessä on ns. hermostollinen väsyminen. Mikäli testejä ja rasittamista jatketaan edelleen, tulee ennen pitkää vaikuttavaksi tekijäksi myös energiavaatimusten siirtyminen yhä enemmän välittömistä energialähteistä anaerobiseen suuntaan, jolloin lihaksiin alkaa kertyä maitohappoa (lihaksen happamoituminen) ja seurauksena on lihastason väsymistä (Keskinen ym. 2004 s. 130-131). Voiman testaus voi myös lisätä hormonien eritystä verenkiertoon ylläpitämään veren sokeritasapainoa ja varmistamaan työskentelevien lihasten energian saannin. Eniten hormoneja eritetään kuormituksen tehon ja keston ollessa suurta, työskennellessä suurilla lihasryhmillä ja suoritusten välisten palautusten ollessa lyhyitä (Häkkinen 1990 s. 45-51).



KUVA 8. Itse testien vaikutuksia voimatasoihin voimatestausten aikana (Keskinen ym. 2004 s.131).

Monissa tutkimuksissa on haluttu nimenomaan saada selville voimaharjoittelun ja myös väsymyksen aikaansaamat välittömät akuutit vasteet (Ahtiainen ym. 2005, Häkkinen ym. 1985, Kraemer ym. 1995b). Jo aiemmin mainittujen erilaisten väsymisien ja lihasten maksimimaalisen EMG:n vähenemisen lisäksi paljon tutkittuja ilmiöitä ovat hormonaaliset muutokset harjoittelun vaikutuksesta (Kraemer & Ratamess 2005). Elimistön endogeenisillä (elimistön itsensä tuottamilla) hormoneilla on tärkeä merkitys mm. proteiiniaineenvaihdunnan säätelyssä. Elimistö pyrkii koko ajan ylläpitämään homeostaasin (tasapainotilan), johon vaikuttavat toisaalta anaboliset eli rakentavat hormonit (esim. testosteroni, kasvuhormoni, insuliini) ja toisaalta kataboliset eli kuluttavat hormonit (esim. glukokortikoidit, kuten kortisoli ja kilpirauhashormoni). (Häkkinen 1990 s. 52)

Kraemerin ja kumppaneiden koostamassa review-artikkelissa (Kraemer & Ratamess 2005) on käsitelty kattavasti voimaharjoittelun hormonaalisia vasteita. Anabolisten hormonien (esim. testosteroni ja kasvuhormoni) määrä kasvaa n. 15 - 30 minuutin kuluttua riittävän intensiivisen ja rasittavan voimaharjoituksen jälkeen. Harjoittelun on havaittu nostavan akuutisti kokonaistestosteronin määrää miehillä (Hickson ym. 1994, Häkkinen & Pakarinen

1995, Kraemer ym. 1998b). Nousu on ollut suurempaa voimaharjoitelleilla, kuin kestävyysharjoitelleilla (Tremblay ym. 2004). Samoin testosteronin määrän kasvuun on havaittu vaikuttavan kyseisen henkilön lihasmassan määrä (Hansen ym. 2001, Volek ym. 1997), harjoituksen intensiteetti ja määrä (Raastad ym. 2000) ja ravitseminen (Kraemer ym. 1998b). Testosteronin kasvun on huomattu olevan riippumaton koehenkilön absoluuttisesta voimasta (Kraemer ym. 1998a). On epäilty olevan myös testosteronin ja insuliinin yhteisvaikutuksia, mutta siihen asiaan vaaditaan lisää tutkimusta (Kraemer & Ratamess 2005). Lutenisoiva hormoni (LH) on pääasiallinen testosteronin erityksen säätäjä. Sen konsentraatio veressä kasvaa voimaharjoituksen intensiteetin ja määrän kasvaessa (Busso ym. 1992, Häkkinen ym. 1987). SHBG:n (sukupuolihormoneja sitova globuliini) määrän vaihtelu voi vaikuttaa testosteronin sitoutumiskykyyn ja vapaan testosteronin määrään solukalvolla (Kahn ym. 2002).

Kasvuhormonien super-perheestä tutkituin on isoformi 22kD molekyyli, joka koostuu 191 aminohaposta (Fry & Kraemer 1997). Harjoittelu ja etenkin voimaharjoittelu nostaa kasvuhormonien määrää n. puolen tunnin kuluttua harjoittelusta (Kraemer ym. 1993). Kasvuhormonin määrän lisääntymiseen vaikuttaa suuresti tehdyn harjoituksen laatu. Mitä enemmän harjoitus aiheuttaa laktaattitason nousua, sitä enemmän kasvuhormonin määräkin kasvaa (Kraemer ym. 1990, Kraemer ym. 1991, Gotshalk ym. 1997, Hoffman ym. 2003).

Glutokortikoideja (tunnetuin ja tutkituin kortisoli) aletaan myös erittää harjoituksen aiheuttaman stressin vaikutuksesta jo harjoituksen aikana (Kraemer ym. 1993, Kraemer ym. 1999). Kortisolin kataboliset vaikutukset kohdistuvat eniten Tyypin II:n lihassäikeisiin. Vaikka harjoittelun eri suoritustavalla on saatu ristiriitaisia korrelaatioita kortisolin erityksen määrään, on nähtävissä kuitenkin, että mitä enemmän harjoitus aiheuttaa laktaatin ja kasvuhormonin määrän kasvua, se myös vastaavasti kasvattaa kortisolin erityksen määrää (Kraemer ym. 1989). Joidenkin tutkimusten mukaan hiilihydraattipitoisen juoman nauttiminen harjoituksen yhteydessä rajoittaisi kortisolin eritystä (Tarpennin ym. 2001, Kraemer ym. 1998b).

Testosteronin ja kortisolin välisen suhteen (T/C) on esitetty kertovan luurankolihasan anabolisen/katabolisen tilan voimaharjoituksessa (Häkkinen 1989). Kun voimaharjoittelijat ovat harjoitelleet lähelle ylirasitustilaa, heillä on havaittu T/C suhteen laskua (Häkkinen ym. 1987). Vastakkaisia tuloksia saaneita tutkimuksiakin kuitenkin on olemassa, joten tämän suhdeluvun oikeellisuus jää tulevien tutkimusten varmistamiseksi.

Insuliinin tapainen kasvutekijä (IGF) on rakenteellisesti insuliinin kaltainen ja sillä on samanlaisia tehtäviä, kuin kasvuhormonilla. IGF lisää proteiinisynteesiä voimaharjoittelun seuraksena ja siten mahdollistaa lihasten hypertrofiaa (lihaskasvua) (Giustina & Veldhuis 1998). Tutkimuksissa on havaittu ristiriitaisia IGF:n määrän kasvuja. Osalla tutkimuksista IGF määrät eivät kasva harjoituksen aikana, tai heti sen jälkeen (Chandler ym. 1994, Kraemer ym. 1995a, Kraemer ym. 1998b) ja osassa kasvavat (Kraemer ym. 1990, Kraemer ym. 1991, Rubin ym. 2005). Tutkimukset näiltä osin jatkuvat. Insuliinilla on havaittu olevan merkittävä vaikutus lihasten proteiiniaineenvaihduntaan, kun riittävä määrä aminohappoja on saatavilla varsinkin vähentämällä kataboliaa (Biolo ym. 1997, Wolfe 2000). Insuliinin määrään voi vaikuttaa nauttimalla hiilihydraattipitoista (ja/tai myös proteiinipitoista) juomaa ennen harjoitusta ja sen aikana, mutta ennen kaikkea harjoituksen jälkeen.

Voimaharjoittelun vaikutuksia hermolihäsjärjestelmään voidaan tutkia myös niin kuin kappaleessa 2.2. tulikin esille, analysoimalla hermolihäsjärjestelmän sähköisiä vasteita, kuten H-refleksi, M-aalto ja V-aalto sekä näiden normalisoituja suhteita. Voimaharjoittelun on havaittu nostavan esimerkiksi MVC:n aikaisen normalisoidun H-refleksivasteen (H_{max}/M_{max}) amplitudia (Aagaard ym. 2002b). Tämä johtui tutkijoiden mukaan alfamotoneuronien herkkyyden kasvusta, mutta pohdinnassaan he toivat esille myös mahdollisuuden alentuneeseen presynaptiseen inhibitioon I_a -afferenteissa. Samaisessa Aagaard ym. (2002b) tutkimuksessa havaittiin myös V-aallon amplitudin kasvaneen harjoittelujakson vaikutuksesta. Vastaavia tuloksia on raportoitu myös muissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu voimaharjoittelun vaikutuksia sähköisiin vasteisiin (Sale ym. 1983, Vila-Cha ym. 2012). Ekblomilla (2010) oli tutkimuksessaan 9 voimaharjoittelevaa koehenkilöä ja 11 liikkumatonta koehenkilöä kahdessa ryhmässä.

Voimaharjoittelevat tekivät viiden viikon aikana 15 harjoitusta, jotka kohdistuivat nilkan ojentamiseen käytettäviin lihaksiin. Kaikille suoritettiin ennen harjoittelua ja harjoittelun jälkeen H-refleksin (H_{\max}/M_{\max}) ja V-aallon (V_{\max}/M_{\max}) mittaukset sekä lihaksen ollessa passiivinen, että MVC:n (konsentrisen ja eksentrisen supistus) aikana. Tulokset voimaharjoitteluryhmälle osoittivat selkeästi, ettei H-refleksissä tapahtunut muutoksia kummassakaan tapauksessa, kun taas maksimivoiman tuotto (+19.3%) ja V-aallon (V_{\max}/M_{\max}) voimakkuus (+77%) kasvoivat selkeästi. Tutkimuksessa tulosten perusteella esitetään, että MVC:n parantuminen johtuisi osittain eksentrisen harjoittelun aikaansaamasta vapaaehtoisesta aktivoinnista. Koska passiivinen ja MVC:n aikainen H-refleksin (H_{\max}/M_{\max}) säilyi muuttumattomana, aktivaation parantumisen syynä ei todennäköisesti ole presynaptisen inhibition vähentyminen. Kasvanut V-aallon (V_{\max}/M_{\max}) suhde molemmilla mittaustavoilla puolestaan viittaisi parantuneeseen supraspinaalisten keskusten ohjaukseen ja/tai modulaatio muissa afferenteissa, kuin Ia afferenteissa on saanut aikaan huomattavan kasvun vapaaehtoisessa aktivaatiossa (Ekblom 2010). Vila-Cha ym. (2012) havaitsivat myös tutkimuksessaan täsmälleen samanlaisen vaikutuksen H-refleksille ja V-aallolle voimaharjoitelleelle ryhmälle. Heidän lyhyessä (kolme viikkoa) tutkimuksessaan voimaharjoitelleiden ryhmässä ei tapahtunut muutoksia H-refleksissä, mutta V-aallon kasvu oli merkittävää (55.1%). Toinen ryhmä harjoitteli kestävyystyyppisesti ja tämän ryhmän tulokset olivat huomattavan erilaiset. H-refleksin suuruus kasvoi merkittävästi (30.8%), kun taas V-aallon suuruus ei muuttunut mitenkään (Vila-Cha ym. 2012).

3.3 Kestävyysharjoittelun periaate ja vasteet

Tärkeitä tekijöitä kestävyysasuoritusten suorituskyvyssä ovat maksimaalinen hapenotto-kyky, pitkäaikainen aerobinen kestävyys, suorituksen taloudellisuus ja hermolihasjärjestelmän suorituskyky. Lyhytkestoisimmissa (alle 5 min.) suorituksissa vaikuttavana tekijänä on myös anaerobinen suorituskyky. Suomessa luokitellaan kestävyysurheilun tehoa käyttämällä hyväksi henkilön energia-aineenvaihdunnan muutoksiin perustuvia kestävyysominaisuuksia. Kestävyuden osa-alueille on annettu omat luonteenomaiset nimitykset käytetyn tehon mukaan eli peruskestävyys, vauhtikestävyys,

maksimikestävyys ja nopeuskestävyys. Perus- ja vauhtikestävyysalueiden välisistä rajoista käytetään nimityksiä aerobinen ja anaerobinen kynnys. Kuvassa 9. on esitetty kyseiset kynnykset ja harjoittelun osa-alueet. (Keskinen ym. 2004 s. 51)



KUVA 9. Kestävyysharjoittelun osa-alueet ja kynnykset (Keskinen ym. 2004 s 51).

Pitkäaikaista aerobista kestävyyttä voidaan kuvata määrittämällä aerobinen ja anaerobinen kynnys. Näiden määrittäminen perustuu muutoksiin lihaksen energia-aineenvaihdunnassa tapahtuviin muutoksiin suorituksen tehon kasvaessa (Keskinen ym. 2004 s. 52). Aineenvaihdunnan muutoksia voidaan seurata mittaamalla verestä laktaattipitoisuutta sekä mittaamalla uloshengitysilman tilavuutta ja sen happi- ja hiilidioksidipitoisuutta. Ns. laktaattikynnys määritellään tavallisimmin kohtaan, jossa suoritustehon lisäys ensimmäisen kerran aiheuttaa veren laktaattitason nousun perustasosta (Carter ym. 1999, Farrell ym. 1993, Jones & Doust 1998). Samoihin aikoihin tapahtuva ventilaation epälineaarinen nousu on toinen merkitsevä ilmiö suorituksen tehon noustessa (Carter ym. 1999, Jones & Doust 1998, Farrell ym. 1993, Tanaka ym. 1983, Henritze ym. 1985). Nämä ilmiöt sattuvat usein suunnilleen samaan kohtaan, mutta niiden syy-seuraus-suhde ei ole yksiselitteinen. Suomalaisessa kestävyysurheilutestauksessa käytetty aerobinen kynnys on laktaattikynnyksen ja ensimmäisen ventilaatiokynnyksen yhdistelmä (Keskinen ym. 2004 s. 52). Kun suoritustehoa lisätään edelleen, veren laktaattipitoisuudessa tapahtuu toinen, edellistä jyrkempi poikkeama lineaarisuudesta. Samanaikaisesti ventilaatio lisääntyy

nopeammin kuin hapenkulutus. Tätä taitekohtaa sanotaan respiratoriseksi kompensatiokynnykseksi, Suomessa nimityksenä on anaerobinen kynnyks. Anaerobinen kynnyks määritellään suurimmaksi työtehoksi ja energiankulutuksen tasoksi, jolla veren laktaattipitoisuus ei kasva koko suorituksen ajan. (Keskinen ym. 2004 s. 52)

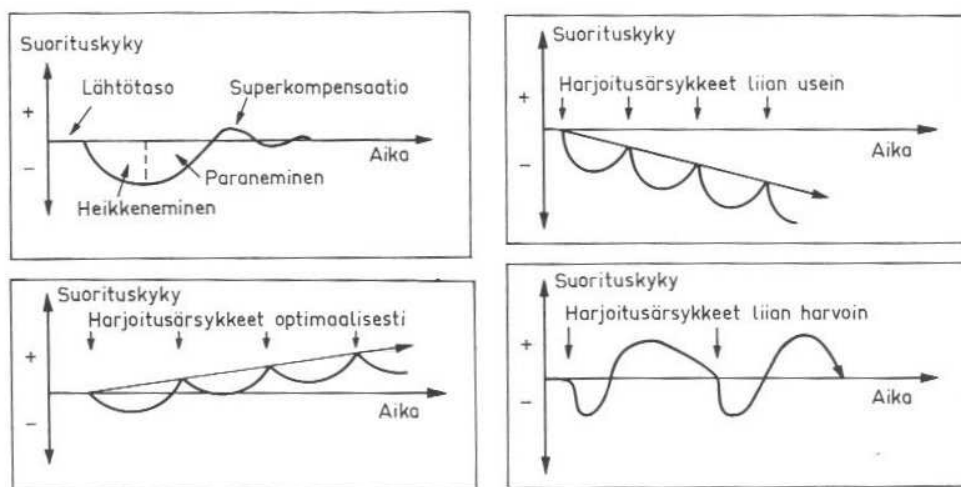
Maksimikestävyyden suoritustehoalue on anaerobisen kynnyksen jälkeinen alue aina maksimaaliseen aerobiseen suoritustehoon asti. Maksimaaliseen aerobiseen suoritustehoon vaikuttavat maksimaalinen hapenottoikyky (VO_{2max}), hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyys ja suorituksen taloudellisuus (Keskinen ym. 2004 s.52). VO_{2max} määritellään maksimaaliseksi hapenkulutukseksi aikayksikköä kohti suorituksessa, jossa isot lihasryhmät tekevät työtä ja suoritusta jatketaan progressiivisesti nousevassa kuormituksessa uupumukseen asti (Saltin & Strange 1992). Tätä on tutkittu jo kauan ja sen on oletettu olevan kytköksissä henkilön menestymiseen kestävyysurheilussa (Saltin & Åstrand 1967, Costill ym. 1973). Maksimaaliseen hapenottoikyvyn mittaustuloksiin vaikuttavat aikaisemman harjoittelun ohella myös muut tekijät, kuten henkilön ikä, sukupuoli, työtä tekevien lihasten määrä, testin kuormitusmalli ja kesto sekä edeltänyt harjoittelutausta. Erityisesti maksimikestävyys harjoittelu kehittää VO_{2max} :ia. Harjoittelu vaikuttaa myös lajispesifisesti siten, että lajiharjoittelu kehittää hapenottoikykyä nimenomaan niissä lihaksissa ja niissä lihastyötavoissa, joilla harjoittelukin tehdään (Spina 1999).

Kestävyyteen liittyy olennaisena tekijänä myös suoritettun liikunnan taloudellisuus. Taloudellisuudella tarkoitetaan hapen kulutusta tiettyä vakiokuormaa kohden, kun mitattua hapenkulutusta verrataan työn vaatimaan teoreettiseen hapenkulutukseen. Taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi henkilön ikä, segmenttien massan jakautuminen, askelpituus, biomekaaniset muuttujat, syke, VO_{2max} , ventilaatio, lämpötila, mieliala, harjoitustila ja väsymys (Bailey & Pate 1991). Joissain mittauksissa on havaittu, että VO_{2max} ei kerro suoraan henkilön suoritustasosta, vaan taloudellisuudella voi kompensoida hyvin alhaistakin VO_{2max} arvoa (Londeree 1986, Morgan ym. 1995). Esimerkiksi pitkänmatkan juoksijoilla on havaittu kyseistä ilmiötä (Pate ym. 1992, Morgan & Daniels 1994).

Tutkimuksissa on havaittu, että vain harvoin suorituksen taloudellisuus paranee huomattavasti erittäin pitkien harjoitusjaksojen aikana (Jones 1998, Pate ym. 1992, Patton & Vogel 1977, Svedenhag & Sjodin 1985). Tehokkaampaa harjoitusta taloudellisuuteen olisikin saavutettavissa lyhyemmillä harjoitusjaksoilla (Billat ym. 1999, Franch ym. 1998) ja harjoittelulla korkeammalla intensiteetillä sekä tehden esimerkiksi intervalliharjoitteita (Franch ym. 1998).

Nopeuskestävyys on kestävyuden lajeista vaativin ja siinä työteho ylittää maksimaalisen aerobisen tehon. Yleensä nopeuskestävyyttä tarvitaan lajeissa, joissa itse suorituksen pituus on luokkaa 10 - 90 sekuntia. Energiantuotto nopeuskestävyydessä saadaan aikaan anaerobisella aineenvaihdunnalla. Nopeuskestävyyteen eli maksimaaliseen anaerobiseen kestävyyteen vaikuttavat anaerobinen kapasiteetti, anaerobinen teho, anaerobinen taloudellisuus ja hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyys (Keskinen ym. 2004 s.57). Näistä anaerobinen kapasiteetti on maksimaalinen adenosiinitrifosfaatin (ATP) määrä, joka voidaan tuottaa anaerobisen energia-aineenvaihdunnan avulla lyhytkestoisessa maksimaalisessa suorituksessa. Anaerobisen kapasiteetin mittaamiseen ei ole olemassa suoraa menetelmää, joten käytössä on kolme tapaa, joilla sitä pyritään arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Ne ovat happivelka, maksimaalinen veren laktaattipitoisuus ja happivaje. (Keskinen ym. 2004 s. 57-58)

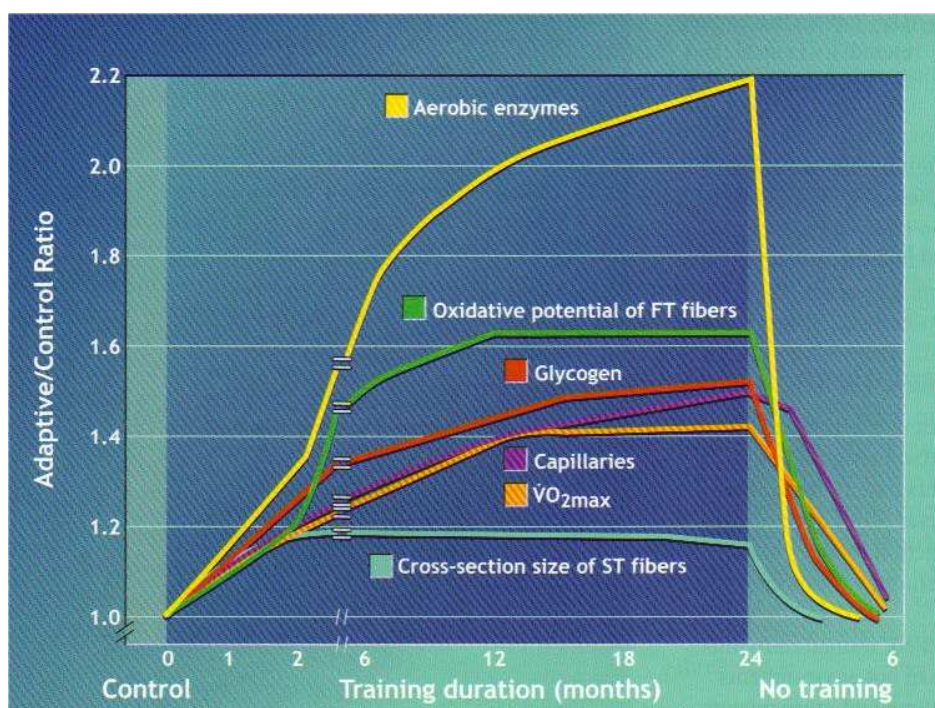
Kuten voimaharjoittelussakin harjoitteluvaikutuksen aikaansaamiseksi tulee kestävyysurheilussakin elimistöä ylikuormittaa, jotta haluttuja ilmiöitä saadaan aikaiseksi. Tätä hallittua ylikuormittamista kutsutaan superkompensaatioksi (Kuva 10.) (Tuominen ym. 1989 s. 128). Tällöin harjoittelun ajoitukset ja rasittavuuden kasvattaminen optimoidaan yksilöllisesti mahdollisimman tarkasti, jotta elimistön homeostaasi saadaan järkytettyä oikealla tavalla, ja harjoitusärsykkeet ylikuormittavat henkilöä jatkuvan kehityksen vaatimalla tavalla (Tuominen ym. 1989 s. 128-132, McArdle ym. 2010 s. 452-453).



KUVA 10. Superkompensaation periaate. Kuvista vasemmalla alhaalla harjoitusärsykkeet on osattu antaa optimaaliseen aikaan (Tuominen ym. 1989 s. 128).

Kestävyysharjoittelulla on paljon muitakin myönteisiä vaikutuksia ihmisen metaboliaan ja fysiologiaan kuin aiemmissa kappaleissa on tullut ilmi. Näitä ovat esimerkiksi muutokset sydän- ja verenkiertoelimistön rakenteessa ja toiminnassa, sekä vaikutukset lihaksistoon ja myös hengityselimistöön. Näistä verenkiertoon vaikuttavista tekijöistä voi poimia merkittävimpinä esim. sydämen koon ja pumppauskapasiteetin kasvamisen (erityisesti vasen kammio, minuuttitilavuus sekä iskutilavuus kasvaa, laskimoiden ja valtimoiden välinen happipitoisuus kasvaa), punasolujen määrä kasvaa, plasmavolyymi kasvaa ja sitä kautta veren kokonaismäärä kasvaa, samoin mitokondrioiden lukumäärä ja niiden tilavuus soluissa kasvaa ja myös glykokeenin, ATP:n ja PCr:n määrä (lepotilassa) soluissa kasvaa (McArdle ym. 2010 s. 447-468). Lihassäikeiden muutoksista on hieman ristiriitaista tutkimustietoa, mutta näyttäisi siltä, että kestävyysharjoittelu saisi aikaan hitaampien solujen lisääntymistä ja nopeampien vähenemistä/hidastumista (Tanaka & Swensen 1998, Taylor & Bachman 1999). Normalisoidun H-refleksivasteen (H_{\max}/M_{\max}) on havaittu olevan suurempi kestävyysharjoittelua suorittavilla urheilijoilla verrattuna voimaharjoittelua tekeviin. Tämän oletetaan johtuvan siitä, että H-refleksin suuruuteen vaikuttaa enemmän hitaasti motoriset yksiköt, kuin nopeat (Maffioletti ym. 2001). Ilmiötä tukee myös Vila-Cha ym. (2012) tutkimus, jonka lyhyen (kolme viikkoa) kestäneen tutkimuksen aikana kestävyysharjoittelua

tehneen ryhmän H-refleksin (H_{\max}/M_{\max}) arvo kasvoi 30.8% verrattuna mittaustuloksiin ennen harjoittelujaksoa. Myös lihasten kapilaaritiheys kasvaa ja oksidatiivisten entsyymien aktiivisuus lisääntyy. Harjoittelulla ei ole vaikutusta keuhkojen kokonaiskapasiteettiin, mutta hengitystiheyden kasvun vaikutuksesta ventilaatio kasvaa ja harjoittelun takia myös hengityslihaksisto vahvistuu ja sitä kautta hengityspainetta on mahdollista ylläpitää paremmin (McArdle ym. 2010 s. 447-468). Kuvassa 11. näitä ilmiöitä on esitetty ajan funktiona.



KUVA 11. Kestävyysharjoittelun vaikutuksia (McArdle ym. 2010 s. 470).

Muita kestävyysurheilun vaikutuksia lähinnä hyvinvointiin ja terveyteen ovat esimerkiksi muutokset kehon koostumuksessa (painon putoaminen, rasvamäärän vähentyminen), parantunut kehon lämmönsäätely, parantunut suorituskyky (esim. $VO_{2\max}$ kasvanut) ja psyykkisen hyvinvoinnin paraneminen (McArdle ym. 2010 s. 469). Kestävyysurheilulla on myös huomattavia terveydellisiä vaikutuksia monien sairauksien ja tautien ennaltaehkäisyyn

ja oireiden vähentämiseen ja jopa parantumisiin, mutta ne ilmiöt eivät kuulu tarkemmin tämän tutkimuksen aihepiiriin.

3.4 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun periaate ja vasteet

Yhdistettäessä voimaharjoittelu ja kestävyysharjoittelu, tavoitteena on luonnollisesti saavuttaa edellä esitetyt hyödyt ja ominaisuuksien kehittymiset kummastakin harjoittelumuodosta. Kestävyysharjoittelu parantaa suorituskykyä suorituksessa, joka tehdään matalalla kuormalla ja korkealla toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän lihasvoimaa ja anaerobista tehoa, kun taas voimaharjoittelu parantaa suorituskykyä suorituksessa, joka tehdään korkealla kuormalla ja alhaisella toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän kestävyysominaisuuksia. (Dudley & Djamil 1985, Kreher & Schwartz 2012)

Huippu-urheilun kehittyessä ja vaatimustason noustessa tämä eri harjoittelutapojen yhdistäminen on tullut entistäkin tärkeämmäksi tutkimuskohteeksi ja niinpä aivan viimeaikoina kyseiseen aiheeseen liittyviä artikkeleita on alkanut ilmestyä enenevässä määrin (Faude ym. 2013, Ferrete ym. 2013, Ignjatovic ym. 2011, Grieco ym. 2012, Mikkola ym. 2012, Sedano ym. 2013). Tutkimusten vertailu on hieman haastavaa, koska tutkimusmenetelmät voivat olla hyvinkin erilaiset riippuen tutkimusten tavoitteista, eri urheilulajeista ja erilaisista näkökulmista. Harjoittelun vaikutukset riippuvat hyvinkin paljon tavasta, miten nämä kaksi harjoittelumuotoa on yhdistetty. Urheilijan kannalta perinteinen ja edelleenkin yleisin tapa yhdistää voima- ja kestävyysharjoittelu on harjoittelun jaksottaminen. Harjoittelu- ja kilpailukauden aikana on eri jaksoja, jolloin painotetaan erilaisilla voimaharjoittelua ja kestävyysharjoittelua riippuen harjoitettavan lajin vaatimuksista ja urheilijan henkilökohtaisista, kehitystä vaativista ominaisuuksista (Tuominen ym. 1989 s. 163-164).

Voimaharjoittelun on havaittu jo aikaisemmissakin tutkimuksissa parantavan kestävyysurheilijan suorituskykyä (Hickson ym. 1980). Tutkimuksen mukaan yleisesti mittarina pidetty VO_{2max} ei olekaan niin absoluuttisen tarkkaa informaatiota antava arvo kestävyysurheilijan suorituskyvylle. Heidän 10 viikkoa kestäneen tutkimuksen aikana maksimaalinen hapenottoa ei parantunut merkittävässä määrin harjoiteltaessa lisäksi voimaharjoitteita, mutta kestävyysuoritusajat (testiä jatkettiin, kunnes urheilija lopetti väsymyksen takia) paranivat merkittävästi (pyöräilyssä jopa 47 % ja juoksussa 12 %), samoin kuin urheilijoiden voima-arvot. Kestävyystulosten paranemista selitettiin parantuneella jalkojen voimilla ja teholla. Uudemmatkin tutkimukset tukevat näitä löytöjä ja tuloksia (Ronnestad & Mujika 2013, Sedano ym. 2013). Tulosten paranemista on yleisemminkin havaittu kestävyysurheilijoilla voimaharjoitusten ja vauhtiharjoitusten (esim. intervallien) ansiosta. Yhtenä suurena vaikuttavana tekijänä on pidetty taloudellisuuden parantumista (Taipale ym. 2013, Tuominen ym. 1989 s. 161-163, McArdle ym. 2010 s. 479-483). Alkjaer ym. (2013) havaitsivat tutkimuksessaan kansallisen tason juoksijoille ja hyppääjille tekemässään tutkimuksessa pudotushyppyjen olevan tehokas lisä harjoitteluun. Pudotushyppyharjoittelua tehtiin neljän viikon ajan ja merkittäviä parannuksia saatiin aikaan maksimaaliseen hyppykorkeuteen ja hyppykorkeuden ja kontaktiajan suhteeseen. H-refleksissä ei havaittu muutoksia, mutta V-aalto kasvoi merkittävästi. Myöskään lihaksen voimaominaisuuksissa ei havaittu muutoksia. Pudotushyppyillä aikaansaatuja parantuneita tuloksia selitetään huipputaso urheilijoidenkin lisääntyneellä neuraalisella aktivaatiolla, jonka erilainen harjoittelu on saanut aikaan (Alkjaer ym. 2013).

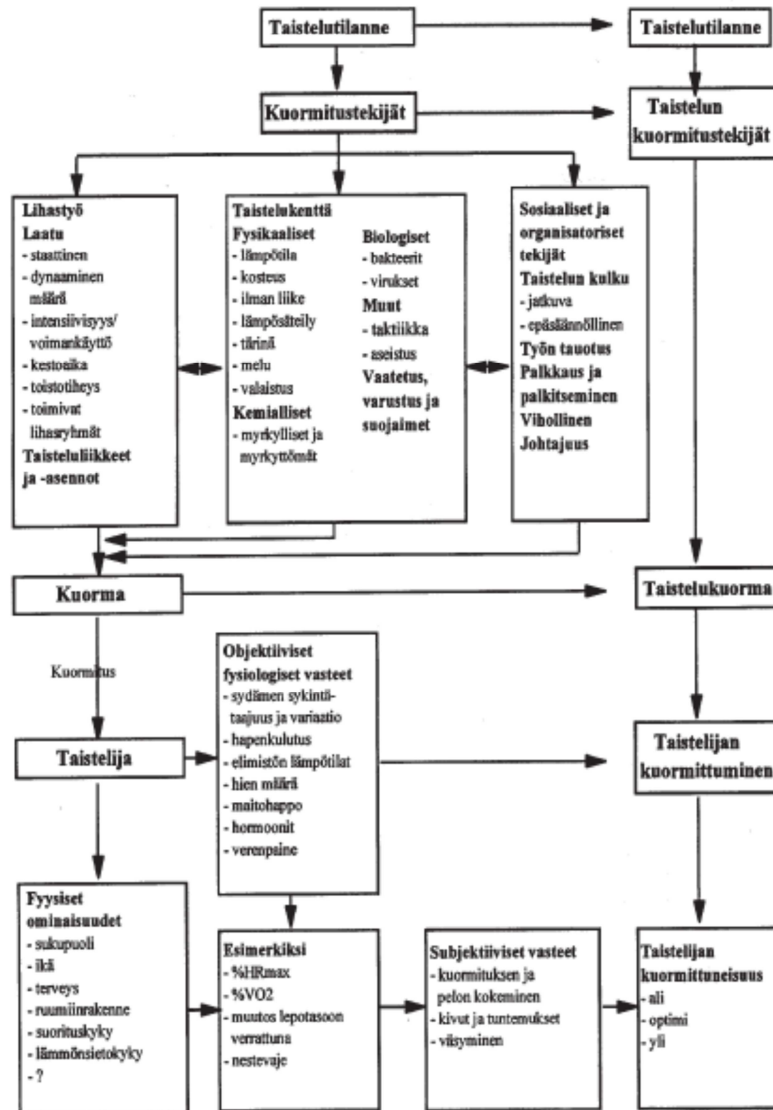
Kestävyysharjoittelun vaikutuksia voimaharjoitteluun on tutk(McArdle ym. 2010 s. 485, Tuominen ym. 1989 s. 72)(McArdle ym. 2010 s. 485, Tuominen ym. 1989 s. 72)(McArdle ym. 2010 s. 485, Tuominen ym. 1989 s. 72)ittu huomattavasti vähemmän. Taustalla tässä voi hyvinkin olla jo entuudestaan vallalla oleva tieto kestävyysharjoittelun haitoista voimaharjoittelulle (Dudley & Djamil 1985, Häkkinen 1990 s. 40-41). Viimeaikaisimmissa tutkimuksissa kestävyysharjoittelun vaikutuksia on tutkittu lähinnä seuraamalla voima-arvojen ja -vasteiden muutoksia, kun toisella ryhmällä on ollut voimaharjoitteiden lisänä myös kestävyysharjoitteita (Bell ym.

2000, Mikkola ym. 2012). Näissä tutkimuksissa on havaittu voimaominaisuuksien paranemista yleensä molemmissa harjoitteluryhmissä, mutta vaikutukset ovat olleet pienempiä, tai ne ovat heikentyneet jonkin ajan kuluttua verrattuna pelkästään voimaa harjoitelleisiin verrattuna. Erityisesti kestävyysharjoittelun on havaittu heikentävän nopeaa voimantuottoa (Mikkola ym. 2012, Hickson ym. 1980).

3.5 Peruskoulutuskauden aikainen fyysinen kuormitus

Taistelutilanteissa sotilaalta vaaditaan kykyjä toimia vaativissa olosuhteissa kaikkina vuorokauden aikoina erilaisissa paikoissa ja tilanteissa pitkiäkin aikoja. Siksi varusmiesten koulutuksen alkuaikana (peruskoulutuskausi 8 viikkoa) pyritään saamaan heidän fyysinen kuntonsa sellaiselle tasolle, jotta he kykenevät suoriutumaan tehtävistään. Taistelumenestyksen vaatimukseen kuuluu sekä fyysisiä, että henkisiä tekijöitä, esimerkiksi tehokkuus, kyvykkyys, rohkeus, paineensietokyky, taistelustressin hallinta, tilannetietoisuus, usko ja tinkimättömyys. Hyvä fyysinen kunto edellyttää sekä pitkäaikaista kestävyyttä, että lihaskestävyyttä ja lihastasapainoa. (Kuva 12.). Siksi peruskoulutuskauden fyysinen harjoittelu on monipuolista ja voidaan olettaa olevan yhdistettyä kestävyys- ja lihaskuntoharjoittelua. (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999)

TAISTELIJAN FYYSSINEN KUORMITTUMINEN



KUVA 12. Taistelijan fyysinen kuormittuminen (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999).

Peruskoulutuskaudella (viikot 1-8 varusmiespalvelusta) varusmiesten fyysisen koulutuksen pääpaino on perus- ja lihaskestävyyden kehittämisessä. Tämän lisäksi painotetaan monipuolisten liikunnallisten perustaitojen oppimista, palautumista edistävien taitojen

opettelu, sekä monipuolista kestävyysharjoittelua (myös varusmiesten taitoihin perustuvaa, kuten marssit, taisteluharjoitukset, sulkeiset, ym.). Fyysinen kuormittaminen aloitetaan maltillisesti ja kuormitusta kasvatetaan progressiivisesti viikosta toiseen harjoittelumäärien ollessa alkuun n. 8 tuntia ja raskaimmalla viikolla n. 20 tuntia. Samalla pidetään huoli, että vaativien päivien ja viikkojen jälkeen on myös aikaa palautumiseen ja koko ajan huolehditaan riittävästä ja ravitsemuksellisesti tasapainoisesta ruokailusta. (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999)

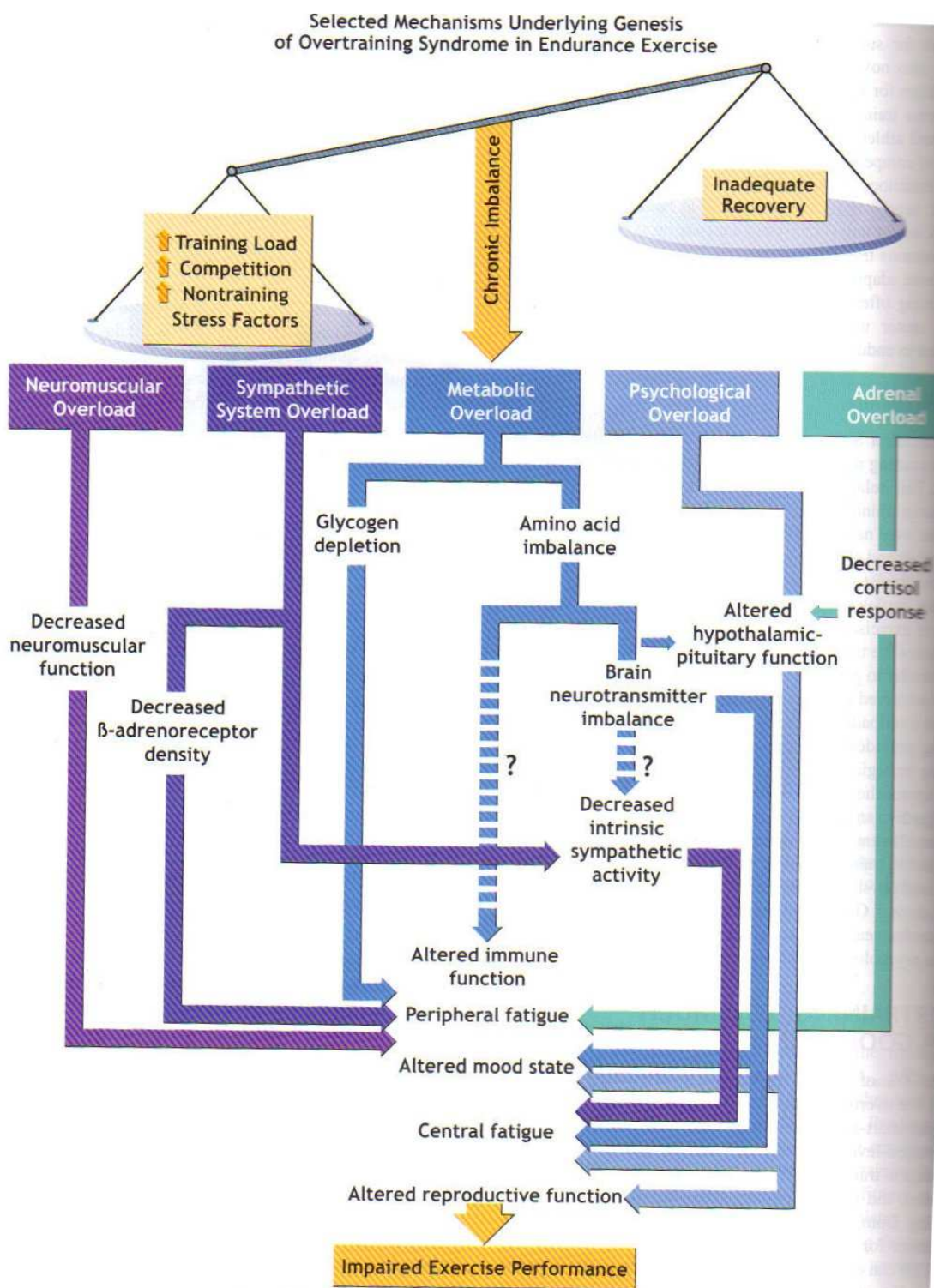
Armeija-ajan vaikutuksista varusmiesten kuntoon on tehty monia tutkimuksia painottuen eri vaikutusten osa-alueisiin. Suuri osa tutkimuksista on kohdistunut varusmiesten kestävyYTEEN ja sen paranemiseen, koska on nähty, että suurimmaksi osaksi armeijan fyysiset vaatimukset kohdistuvat kuitenkin kestävyysominaisuuksiin. (Santtila ym. 2006, Grant ym. 2013). Myös varusmiesten yllirasittumista on tutkittu (Booth ym. 2006, Chicharro ym. 1998, Tanskanen ym. 2011b) sekä kehon koostumuksen muutoksia peruskoulutuksen aikana (Piirainen ym. 2008). Eräs tutkimus on myös vertaillut lisätyn kestävyysharjoittelun ja toisaalta voimaharjoittelun vaikutuksia varusmiehiin (Cederberg ym. 2011). Viimeisten viidentoista vuoden aikana varusmiespalvelun keskeyttäneiden määrä on lisääntynyt huomattavasti. Eniten keskeyttämissä tapahtui 1990-luvun lopulla, jolloin varusmiespalvelukseen tehtiin uudistuksia, joiden takia palvelusajat lyhenivät, mutta toisaalta koulutuksen fyysinen rasittavuus kasvoi tiivistetyn ohjelman takia. Asiaan on ollut osaltaan vaikuttamassa myös nuorten miesten fyysisen kunnon heikkeneminen samalla aikavälillä (Santtila ym. 2006). Tähän keskeyttämiseen ja nuorten miesten fyysiseen ja henkiseen jaksamiseen liittyen on menossa Mopo-hanke, jossa mitataan varusmiespalvelukseen astuvat nuoret miehet ja osalle heistä tarjotaan mahdollisuutta oman kuntonsa seuraamiseen nykyaikaisin menetelmin ja laittein (Opetus- ja kulttuuriministeriö 2014).

4 YLIKUORMITTUMINEN

Urheilijat harjoittelevat parantaakseen suorituskykyään. Kuten aiemmissa kappaleissa on tullut esille, saadaan suorituskyky parantumaan lisäämällä harjoittelun kuormittavuutta. Lisääntyneitä kuormaa kestää vain siinä tapauksessa, että harjoitteiden välillä saadaan riittävästi lepoa ja palautumisaikaa ja huolehditaan riittävästä ravinnon saannista. Ylikuormittumisesta puhutaan tapauksissa, joissa jatkuva harjoittelukuormitus johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen vaatien päivien ja jopa viikkojen palautumisen. (Kreher & Schwartz 2012). On hyvin vaikea määritellä raja kasaantuvan ja vielä hallittavissa olevan väsymisen ja ylikuormittumisen välille. Ylikuormittumiselle tyypillisiä oireita on esimerkiksi pysyvä autonomisen säätelyn häiriö ja siihen liittyvät hormonaaliset ja fysiologiset reaktiot. (Tuominen ym. 1989 s. 71-74, McArdle ym. 2010 s. 483-485).

Perinteisesti ylikuormittuminen on jaoteltu sympatikotoniseksi ja parasympatikotoniseksi. Molemmissa tapauksissa oireet alkavat kehittyä pikkuhiljaa pahentuen koko ajan. Nykyään tämä jaottelu ei ole enää yleisessä käytössä, vaan keskitytään kokonaisvaltaiseen asian ymmärtämiseen. Ylikuormittumisen näkyviä tunnusmerkkejä ovat esimerkiksi selittämätön ja jatkuva heikko suorituskyky sekä korkea väsymystaso, pidentyneet palautumisajat harjoitusten sisällä ja harjoittelun jälkeen, vilkastunut aineenvaihdunta (esim. lisääntynyt hikoilu), mielialan muutokset (yleinen väsymyksen tunne, välinpitämättömyys, masennus, ärtyneisyys, kilpailukyvyttömyys), vähentynyt stressinsietokyky, jatkuva lihasarkuus ja jäykkyys, heikentynyt koordinaatiokyky, kohonnut lepopulssi, kasvanut herkkyys ylähengitysteiden infektioille, vatsa- ja suolistohäiriöt, unettomuus, ruokahaluttomuus, painonlasku ja liikakuormituksesta johtuvat vammat (McArdle ym. 2010 s. 485, Tuominen ym. 1989 s. 72). Ylikuormittumistilasta palautuminen tapahtuu tilan vakavuudesta riippuen muutamasta päivästä muutamiin viikkoihin ja pahimmissa tapauksissa useiden kuukausien jopa yli vuoden kuluessa. Kyseisenä aikana harjoittelu on hyvin minimaalista ja pääpainon ollessa levolla. Harjoitteluintensiteettiä voi nostaa todella maltillisesti oireiden ja tunteiden mukaan (Kreher & Schwartz 2012).

Nykyään vallitsevan äärimmilleen viritetyn huippu-urheilun takia myös ylikuormittuminen on jatkuvan tutkimisen kohteena. Syy- ja seuraussuhteita koetetaan löytää entistä tehokkaammin ja yksinkertaisimmilla mittareilla. Kokonaisuus on kuitenkin hyvin monimutkainen ja siten absoluuttisia ja ehdottoman luotettavasti toimivia tapoja havaita ylikuormittuminen on hyvin vaikea kehittää. Kreher ym. (2012) ovat tutkimuksessaan tutustuneet eri lähtökohdista asiaan paneutuviin tutkimuksiin ja vertailleet näiden lähtökohtien toimivuutta ylikuormittumisen tulkinnassa. Näitä erilaisista tutkittavista oireista tai vaikuttavista aineosista on kehitetty erilaisia hypoteeseja, joilla ylikuormittumista on selitetty. Hypoteesien aiheina olivat: Glykokeenin väheneminen (Snyder ym. 1995), keskushermoston väsyminen (Armstrong & VanHeest 2002, Budgett 1998, Lehmann ym. 1993, Morgan ym. 1987), Glutamiinin väheneminen (Walsh ym. 1998, Hiscock & Pedersen 2002, Smith 2000, Halson & Jeukendrup 2004), oksidatiivinen stressi (Tanskanen ym. 2010, Margonis ym. 2007, Hohl ym. 2009), autonomisen hermoston stressi (Halson & Jeukendrup 2004, Lehmann ym. 1993, Smith 2000), hypotalamuksen säätelyn häiriö (Angeli ym. 2004, Halson & Jeukendrup 2004, Lehmann ym. 1993, Smith 2000, Urhausen & Kindermann 2002) ja tulehduksesta johtuva sytokiinin erityis (Smith 2000, Lakier Smith 2003, Robson 2003). Millään näistä hypoteeseista ei voida selittää kaikkia ylikuormittumisen oireita, mutta tietoisuus eri menetelmistä ja niiden yhteiskäyttö parantavat diagnoosien tekemistä. Kuvassa 13. on havainnollistettu edellä esiteltyjä hypoteeseja ja ylikuormittumisen syntymekanismeja. (Kreher & Schwartz 2012)



KUVA 13. Ylikuormittumisen syntymekanismija (McArdle ym. 2010 s.484).

Tanskanen ym. (2011a) ovat tutkineet varusmiesten ylikuormittumisoireita 8 viikkoa kestäväen peruskoulutuskauden aikana. Heillä oli käytössä viisi kriteeriä ylikuormittumiselle, joista varusmiesten tuli täyttää ainakin kolme tullakseen määritellyksi ylikuormittuneeksi. Varusmiehiä testattiin peruskoulutuskauden aluksi, keskellä ja lopuksi. Ensimmäinen kriteereistä oli maksimaalisen VO₂max testin heikentyminen yli 5% (tai testin välttäminen sairauden takia). Toisessa kriteerissä tehtiin submaksimaalinen 45 minuutin marssi ja marssin aikana kyseltiin varusmiehiltä 15 minuutin välein räsitusilaa skaalalla 6-20 (RPE), missä arvo 20 oli maksimaalinen väsymys. Mikäli räsitusilman arvioiden keskihajonnan arvo ylitti ensimmäisen mittauksen arvon yli 1.0:lla, toteutui tämän kriteerin ehto. Kolmas kriteeri oli ylikuormittumisen somaattisten oireiden arvon nousu viikolta 4 viikolle 7 yli 15% , tai tai nousu viikolta 7 viikolle 8. Neljäs kriteeri oli kysely, jossa kysyttiin ”*oletko ruumiillisesti tai henkisesti ylikuormittunut ?*” Vastauksissa huomioitiin viikkojen 7 ja 8 kyselyt. Viides kriteeri oli sairauspoissaolojen määrä, jonka ollessa yli 10% päivittäisestä palvelusta täytti ehdon. 33% tutkimukseen osallistuneista määriteltiin ylikuormittuneiksi 8 viikon peruskoulutuskauden jälkeen. Ylikuormittuneilla havaittiin vähentymistä veren testosteroni/kortisoli-suhteessa ja heidän laktaattiarvonsa suhteessa rasittuneisuuskyselyn vastaukseen havaittiin olevan matalammalla tasolla, kuin varusmiehillä, jotka eivät kärsineet ylikuormittumisoireista. Ylikuormittuneilla oli SBGH arvot korkeammalla tasolla jo ennen peruskoulutusjaksoa ja arvot pysyivät korkeammalla tasolla myös tutkimuksen loppuun asti. Testosteroniarvojen muutoksissa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Tutkimuksessa havaittiin fyysisen suorituskyvyn paranemista ensimmäisen neljän viikon aikana, mutta näyttäisi olevan, että rasitus kasvaa liian kovaksi seuraavien neljän viikon aikana. Tutkimuksessa ei perehdytty hermolihasjärjestelmän ilmiöihin peruskoulutuskauden aikana ja millaisia vaikutuksia kestävyysharjoitteluun painottuvalla harjoittelulla olisi hermolihasjärjestelmään.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Armeijan alussa alokkaiden peruskoulutuskaudella pyritään kehittämään alokkaiden kuntoa kokonaisvaltaisesti. Kunto-ohjelmassa on tasaisesti kasvavalla raskuudella sekä kestävyysharjoittelua että voimaharjoittelua. Siten koko harjoittelun voidaan olettaa olevan yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua. Voimaharjoittelun luonne ja määrä on kuitenkin sellainen, että pääasiassa harjoittelu on kestävyysharjoittelua. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää peruskoulutuskauden aikaisen harjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmän toimintaan. Samalla selvitetään, ovatko vaikutukset hermolihasjärjestelmään erilaiset OR-ryhmällä (ylikuormittumisoireita) ja NOR-ryhmällä (ei ylikuormittumisoireita). Samaan aikaan samoille varusmiehille tehdyn toisen tutkimuksen avulla saatu ryhmäjako antoi tämän tutkimuksen tulostarkasteluun pohjan ryhmien väliseen vertailuun. Tämän tutkimuksen toisena tavoitteena on myös selvittää, voisiko samanlaista ryhmäjakoa saada selvitettyä hermolihasjärjestelmän suureiden avulla. Tässä tutkimuksessa eroja ryhmien välillä pyritään selvittämään maksimivoimantuoton, nopean voimantuoton, H-refleksin, V-aallon ja passiivisen nykäyksen avulla.

Oletuksena on, että kaikilla alokkailla kunto kasvaa ainakin peruskoulutuskauden alussa jonkin verran, kun harjoittelun määrä kasvaa ja harjoittelu on säännöllistä. Loppua kohden ylikuormittumisen merkkejä tulee mahdollisesti esille enemmän. Kaiken kaikkiaan harjoittelun oletetaan olevan pääsääntöisesti kestävyysharjoittelua, joten kovin suuria muutoksia hermolihasjärjestelmän osalta ei oleteta saavutettavan. Etenkin nopean voimantuoton arvoissa oletetaan näkyvän tämä painotus kestävyysharjoitteluun.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Testattavat

Tutkimukseen osallistui 24 tervettä suomalaista miespuolista alokasta Kainuun Prikaatista. Iältään alokkaat olivat 18-21 vuotta. Koehenkilöt jaoteltiin kahteen ryhmään (OR-ryhmä (ylikuormittumisoireita) ja NOR-ryhmä /ei ylikuormittumisoireita)) samaan aikaan tehdyn toisen tutkimuksen tulosten perusteella (Tanskanen ym. 2011a). Tieto ryhmäjaosta oli käytettävissä vasta tulosten analysointivaiheessa, joten itse mittaukset suoritettiin kaikille alokkaille samalla tavalla ryhmästä riippumatta. Taulukosta 1. näkyy ryhmäjako ja koehenkilöiden perustiedot ensimmäisellä mittausviikolla.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden ryhmäjako ja koehenkilöiden perustiedot.

Ryhmä	Pituus (m)	Paino (kg)	Rasvaprosentti	Rasvaton massa (kg)
NOR (n=16)	1.78±0.08	83.0±21.4	20.2±9.9	64.4±8.2
OR (n=8)	1.76±0.12	79.2±19.0	20.5±6.7	62.5±13.1

Kaikki koehenkilöt saivat tietoa tutkimuksesta ja olivat täysin tietoisia tutkimussuunnitelmasta ja sen mahdollisesti sisältämistä riskeistä. Kaikki tutkimukseen osallistuneet allekirjoittivat kirjallisen suostumuslomakkeen. Tutkittavat saivat myös tiedon, että he voivat myös keskeyttää tutkimuksensa milloin vain niin halutessaan. Tutkimusprotokolla hyväksyttiin Suomen Puolustusvoimilla sekä Jyväskylän yliopiston ja Kainuun maakuntayhtymän eettisillä toimikunnilla.

6.2 Peruskoulutuskauden aikainen harjoittelu

Peruskoulutuskausi kestää 8 viikkoa ja fyysinen harjoittelu suoritetaan sen aikana noudattaen Suomen puolustusvoimien laatimia fyysisen koulutuksen suuntaviivoja (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999). Kaikilla varusmiehillä on sama harjoitusohjelma koko 8 viikon peruskoulutuskauden ajan. Harjoittelun intensiteetti on suhteellisen alhainen koulutuksen ensimmäisellä viikolla ja intensiteettiä lisätään koulutuksen loppua kohti progressiivisesti. Hieman suurempi intensiteetin nosto tapahtuu viikon neljä jälkeen.

Sotilaallinen koulutus koostuu raskaista fyysisistä toiminnoista, kuten marsseista, taisteluharjoituksista ja muista fyysisistä harjoitteista. Lisäksi varusmiehillä on kannettavanaan raskaat taisteluvälineet (15-25kg) osassa marsseja ja taisteluharjoituksia. Koulutuksen aikana käydään myös leireillä, joissa harjoittelutoimintaa voi olla läpi yön. Fyysisen koulutuksen lisäksi varusmiehille annetaan myös teoreettista opetusta luokahuoneissa, opetetaan aseenkäsittelyä ja ammuntaa, sekä yleistä sotilaallista koulutusta, kuten sulkeisia.

Ohjattujen harjoitusten lisäksi varusmiehet marssivat neljä kertaa päivässä ruokailemaan, joka voi lisätä päivittäisen kävelyn määrää jopa 5-7 km. Päivittäiset ulkoiluun liittyvät harjoittelut ja paikkojen väliset siirtymiset tehdään myöskin marssien, mikä lisää huomattavasti kestävyystyyppisen harjoittelun määrää koko peruskoulutuskauden ajan. Tanskanen ym. (2011a) selvittivät tutkimuksessaan, että peruskoulutuskauden alussa päivittäisen fyysisen harjoittelun määrä oli 2 tuntia ja 21 minuuttia lisääntyen viikoille 4-7 noin 3-4 tuntiin. Tutkimuksen ajalle sattui myös neljä pidempää (2-8 tuntia) marssiharjoitusta, joissa varusmiehillä oli mukana raskas taisteluvälineistö. Tämän tutkimuksen mittaukset on tehty Tanskanen ym. (2011a) tutkimuksen kanssa samaan aikaan ja samoihin varusmiehiin kohdistuen, joten koulutuksen vaativuudenkin voi olettaa olevan samantasoinen.

6.3 Mittausprotokolla

Koehenkilöt osallistuivat normaaliin varusmiespalvelukseen mittausjakson ajan. Mittauksia tehtiin viikoilla 2, 4, 7 ja 9 (veriarvot ja antropometria) ja viikoilla 1, 5, 8 ja 10 (biomekaaniset muuttujat). Peruskoulutuskausi kesti alokkailla 8 viikkoa ja niinpä viimeiset mittaukset (viikkojen 9 ja 10 mittaukset) tehtiin varusmiesten varsinaisen koulutuksen aikana. Mittaukset pyrittiin tekemään aina samaan aikaan vuorokaudesta ja samanlaisen edeltävän kuormituksen jälkeen.

6.4 Mittaukset

6.4.1 Kehonkoostumus

Kehonkoostumusmittauksissa mitattiin koehenkilöiden pituus ja paino, sekä bioimpedanssimittauksen (InBody 720, Biospace Co. Ltd, Etelä-Korea) avulla saatiin koehenkilöiden rasvaprosentti, rasvaton massa ja painoindeksi. Näistä painoindeksiä ei käytetty hyväksi tässä tutkimuksessa.

6.4.2 Voimantuotto-ominaisuudet

MVC ja nopean voimantuoton huippuarvo (0-500 ms, 0-100 ms) mitattiin maksimaalisen isometrisen jalkojen ojennuksen aikana. Mittaukset tehtiin tarkoitukseen valmistetussa jalanojennus voimapenkissä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Koehenkilöt istuivat penkissä siten, että heillä oli kaikissa mittauksissa lantion kulma 110 astetta, polvikulma 107 astetta ja nilkan kulma 90 astetta. Tehtyään ensin 15 submaksimaalista lämmittelysuoritusta koehenkilöt suorittivat kolme maksimaalista ojennusta kestoaltaan 2-3 sekuntia yhden minuutin välein. Voimantuotto mitattiin tässä tapauksessa molemmista jaloista voimalevyjen avulla. Mitatut signaalit vahvistettiin ja kuljetettiin AD-muuntimen (ME4ISO, MegaElectronics Ltd., Suomi) ja mittauslaitteiston (ME6000, Mega Electronics Ltd.,

Suomi) läpi MegaWin ohjelmistolle (Mega Electronics Ltd., Suomi) myöhempää analysointia varten. Kunkin koehenkilön paras suoritus valittiin maksimaalisen voiman ja nopean voimantuoton analyysiin.

Samanlaisella lämmittelyllä ja mittausprotokollalla sekä tulostenkeräyslaitteistolla mitattiin myös polven ojennusta polvenojennuspenkissä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Mittauksissa tallennettiin paras tulos sekä yhden toiston maksimivoimasta, että nopea voimantuotto. Polvikulma oli n. 107 astetta ja reidet ja nilkat oli kiinnitetty penkkiin. Tässä mittauksessa suoritus mitattiin vain oikeasta jalasta.

Hauksen mittauksessa mittausprotokolla oli sama kuin jalkojen maksimivoiman mittauksissa. Olkavarsi oli linjassa keskivartalon kanssa ja kyynärnivel oli 90 asteen kulmassa. Mittaukset suoritettiin oikeasta kädestä. Samoin pystytenkissä suoritettiin mittaukset edellä kuvatun mittausprotokollan mukaisesti. Näissä mittauksissa tutkittava henkilö oli seisomassa, olkavarsi linjassa hartiatason kanssa, kyynärnivel oli 90 asteen kulmassa.

6.4.3 H-refleksi, M-aalto, V-aalto ja passiivinen nykäys

H-refleksi mitattiin koehenkilön seistessä soleus lihaksesta. Mittaus suoritettiin käyttämällä kiinteää elektrodiä, jonka anodi oli asetettu patellaan ja katodi tibial hermon päälle. Kiinteän elektrodin oikea paikka etsittiin liikuteltavalla stimulointielektrodilla samalla analysoiden EMG aaltojen muotoa eri stimulointi-intensiteeteillä siten, että vain ”peak-to-peak” amplitudin muutoksia seurattiin. Intensiteettiä nostettiin, kunnes M-aalto ei enää kasvanut, jonka jälkeen maksimaalinen M-aalto varmistettiin supramaksimaalisella intensiteetillä ($M_{\max}+25-50\%$) stimuloiden. Supramaksimaalinen stimulointi (0,2 ms noin 0,2 Hertsin taajuudella) annettiin stimulaattorilla (DS7A, Digimeter Ltd, Welwyn Garden City, Iso-Britannia) ja EMG mittaustulokset mitattiin soleus lihaksesta. Maksimaalinen M-aalto (M_{\max}), maksimaalinen H-refleksi (H_{\max}) ja H_{\max}/M_{\max} -suhde analysoitiin keskiarvostetuista mittaustuloksista.

V-aalto mitattiin samalla tavalla kuin H-refleksi, maksimaalisen isometrisen nilkan ojennuksen aikana. Koehenkilö oli MVC:n aikana istumassa voimapenkissä lantiokulman ollessa 110 astetta, polvien ollessa suorassa (polvikulma 180 astetta) ja nilkan 90 asteen kulmassa. Suoraa polvikulmaa käytettiin, jotta koehenkilö käyttäisi liikuttamiseen pääasiassa soleus lihasta. Supramaksimaalinen stimulus annettiin tibial hermoon yhden sekunnin kuluttua voimantuottamisen alkamisesta. Maksimaalinen M-aalto, V-aalto ja V/M_{\max} -suhde laskettiin keskiarvostetuista tuloksista.

V-aallon mittauksen jälkeen koehenkilöiltä mitattiin passiivinen lihasnykäys (single twitch). Mittaus suoritettiin triceps surae lihaksesta koehenkilön istuessa voimapenkissä (polvikulma 180 astetta ja lantiokulma 110 astetta). Jotta lihasaktiivisuus olisi mahdollisimman pieni, koehenkilöä ohjeistettiin pitämään jalkaa levyn päällä mahdollisimman rentona. Tibial hermoon annettiin yksi supramaksimaalinen stimulus ja mittaus toistettiin hetken kuluttua. Suorituksista valittiin analysoitavaksi tulos, jossa voiman huippuarvo oli suurin.

6.4.4 Testosteroni ja kortisoli

Verinäytteet otettiin kyynärtaipeen laskimosta. Näytteet otettiin jokaisella kerralla samaan kellonaikaan kultakin koehenkilöltä, jotta välttyttiin vuorokaudenajan aiheuttamilta vaihteluilta tuloksissa. Näytteet otettiin aamulla 2 tuntia kevyen aamiaisen jälkeen. Näytteistä analysoitiin tätä tutkimusta varten seerumin testosteroni ja kortisolipitoisuudet. Näytteet analysoitiin Immulite 1000 laitteistolla (Diagnostics Products Corporation, Los Angeles, CA, USA).

6.4.5 Tilastoanalyysit

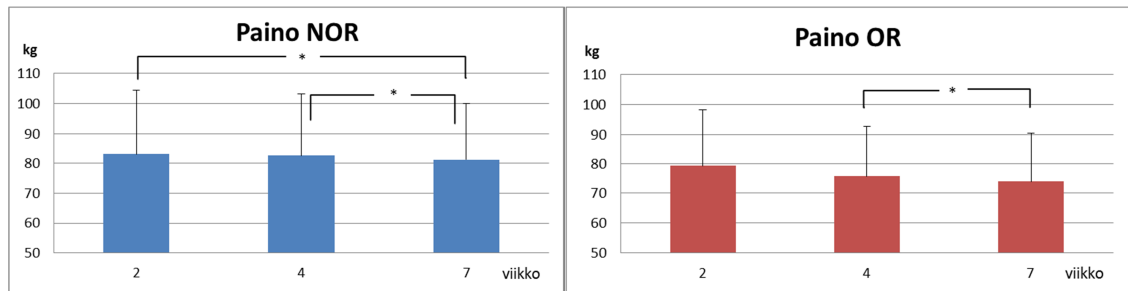
Mitatuista tuloksista laskettiin ryhmien sisällä keskiarvot ja keskihajonnat (keskiarvo \pm SD). Tilastollisissa analysoinneissa käytettiin SPSS tilastoanalysointiohjelmistoa (SPSS Inc., Chicago, IL, USA, versio 20). Mauchly's Test of Sphericity testiä käytettiin tarkastelemaan

tulosten normaalijakaumaa. Mikäli tulokset eivät noudattaneet normaalijakaumaa, käytettiin hyväksi Greenhouse-Geisser korjausta. Muuttujien eroja tarkasteltiin General Linear Model (GLM) monisuuntaisella vertailuanalyysillä. Tulokset ovat tilastollisesti merkitseviä, jos $p < 0.05$.

7 TULOKSET

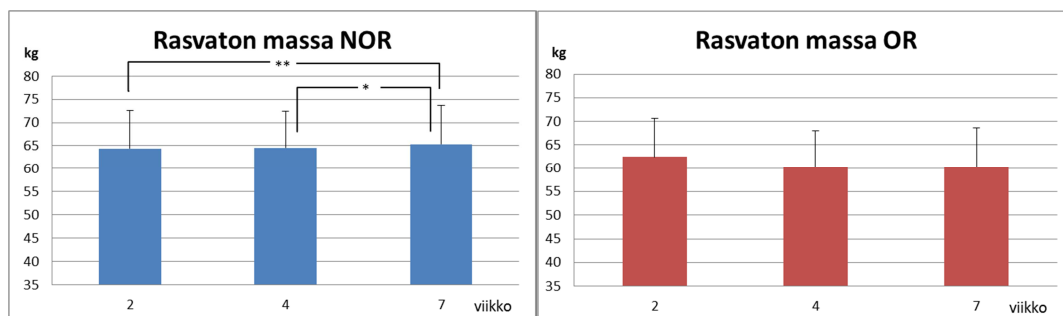
7.1.1 Kehonkoostumus

Kehokoostumusmuuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä. Painon kohdalla kummassakin ryhmässä havaittiin ryhmän sisällä tilastollisesti merkittäviä muutoksia ($p < 0.05$). Ylirasittuneiden ryhmässä paino oli pudonnut suhteellisesti enemmän viikolle 7 mentäessä. Molempien ryhmien mittaustulokset löytyvät kuvasta 14.



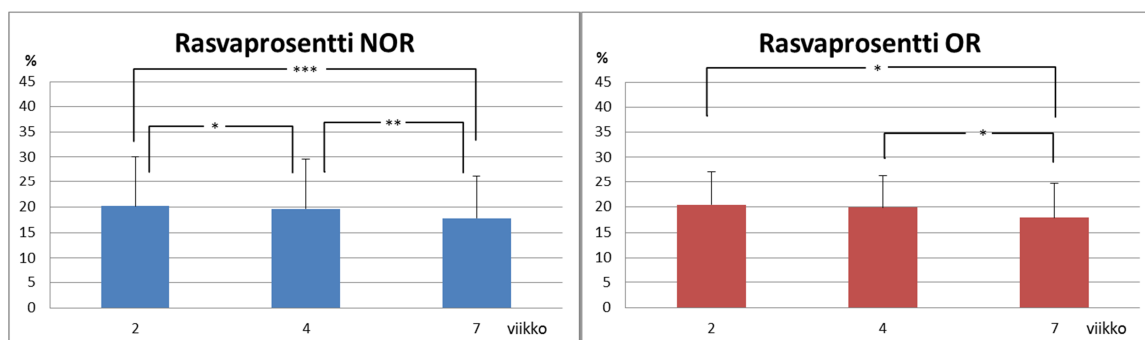
KUVA 14. Painon mittaustulokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$.

Rasvattomassa massassa tilastollista merkittävyyttä havaittiin vain NOR-ryhmässä (Kuva 15). Rasvattoman massan kasvua oli viikolta 2 viikolle 4 mennessä 0.3% ($p < 0.05$) ja viikolle 7 mennessä 1.5% ($p < 0.01$). OR-ryhmässä havaittiin laskua viikolta 2 viikolle 4 edetessä (-3.6%), mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkittävää.



KUVA 15. Rasvattoman massan kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$

Rasvaprosentti pieneni merkittävästi kummallakin ryhmällä, molempien ryhmien kehitys löytyy Kuvasta 16. NOR-ryhmällä rasvaprosentin pudotus oli tilastollisesti erittäin merkittävää ($p < 0.001$).



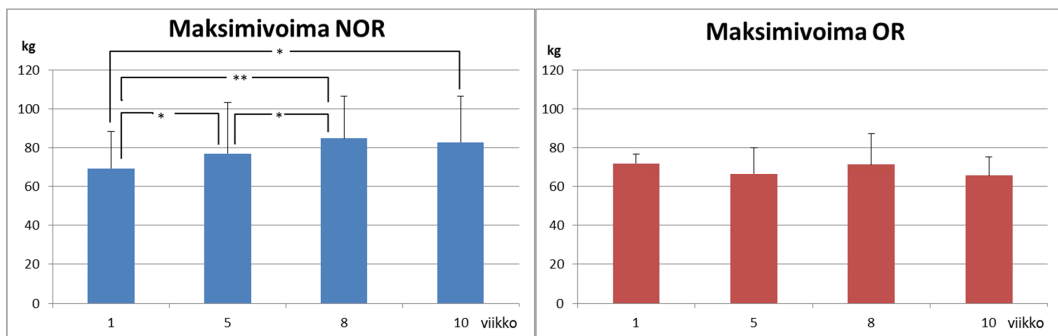
KUVA 16. Rasvaprosentin kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$

7.1.2 Voimantuotto-ominaisuudet

Voimantuotto-ominaisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien kesken. Ylikuormittuneiden ryhmän sisällä havaittiin tilastollisesti merkittäviä muutoksia käsien maksimivoimatasoissa, kun taas jalkojen voimatasoissa vastaavaa ei havaittu. NOR-ryhmän

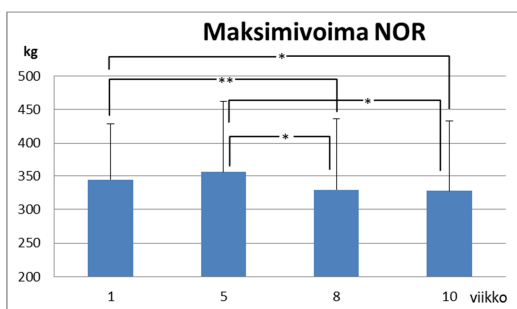
sisäisessä tutkimuksessa havaittiin maksimivoimatasojen merkittäviä muutoksia sekä jalkojen, että käsien voimissa.

Kuvassa 17. jalan ojennuksen kehitykset molempien ryhmien osalta. NOR-ryhmässä havaittiin tilastollisesti merkittävää kasvua voimassa alkutilanteeseen verrattuna. Viikolle 5 mennessä kehitys oli 10.9% ($p < 0.05$) ja viikolle 8 mennessä 21.9% ($p < 0.01$).



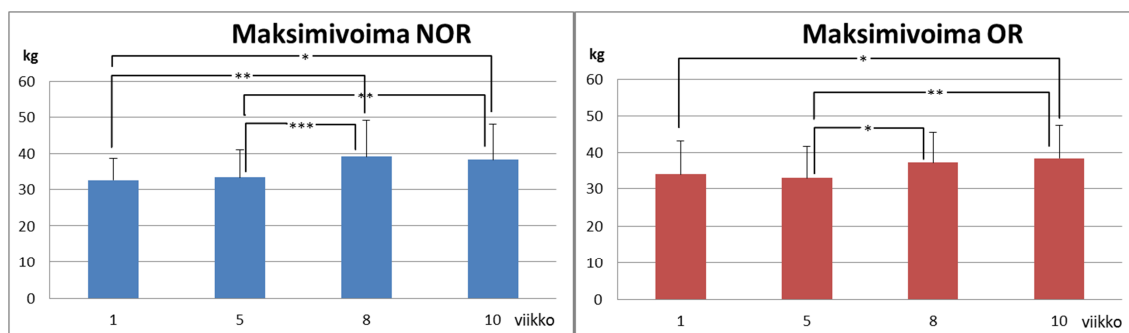
KUVA 17. Jalan ojennuksen tulokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevää muutosta havaittiin vain NOR-ryhmälle * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$.

Jalkaprässissä tilastollisesti merkittävää muutosta havaittiin vain NOR ryhmässä, kuvassa 18. näkyy muutokset mittaustuloksissa, jotka osoittavat voiman heikkenemistä alkutilanteeseen verrattuna.



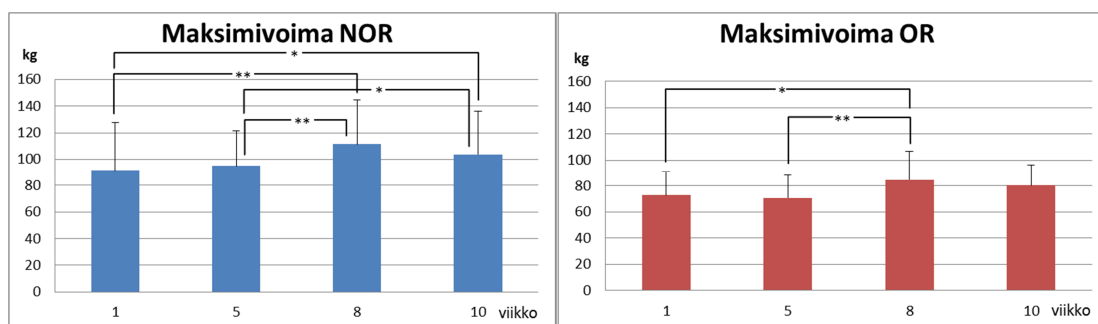
KUVA 18. Jalkaprässin tuloksen kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$.

Hauiskäännössä kumpikin ryhmä kykeni kehittämään voimantuottoa tilastollisesti merkittävällä tavalla, joka näkyy kuvasta 19.



KUVA 19. Hauiskäännön tulosten muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$

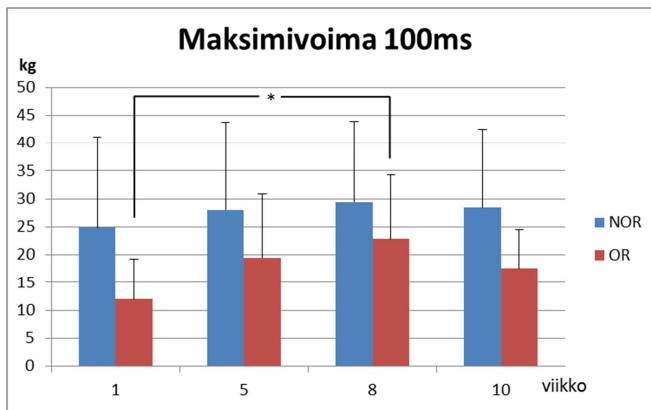
Vastaavanlainen voimatason kehitys havaittiin pystypunnerruksen tuloksissa (Kuva 20).



KUVA 20. Pystypunnerruksen tulosten muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$.

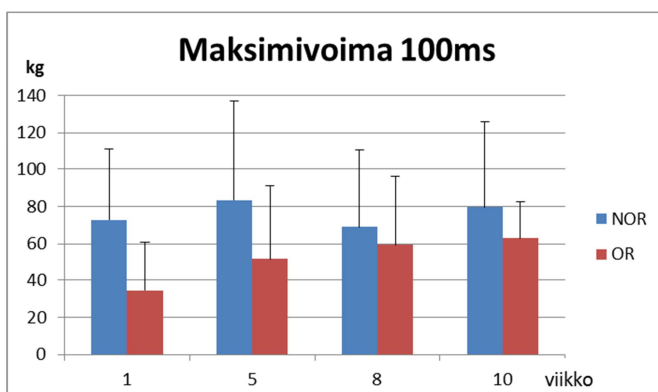
Myöskään nopeassa voimantuotossa ei havaittu merkittäviä eroja ryhmien välillä. Kuvassa 21. Jalan ojennus 100ms (voimantuotto ensimmäisen 100 ms aikana), jossa molempien ryhmien tulokset. OR-ryhmässä on havaittavissa tilastollisesti merkittävää kehitystä viikolta 1 viikolle 8 mennessä (90.5%) ja vastaavanlainen, joskin maltillisempi ja ei tilastollisesti

merkittävä kehitystrendi on havaittavissa myös NOR-ryhmälle (kehitys viikolle 8 mennessä 18.3%)



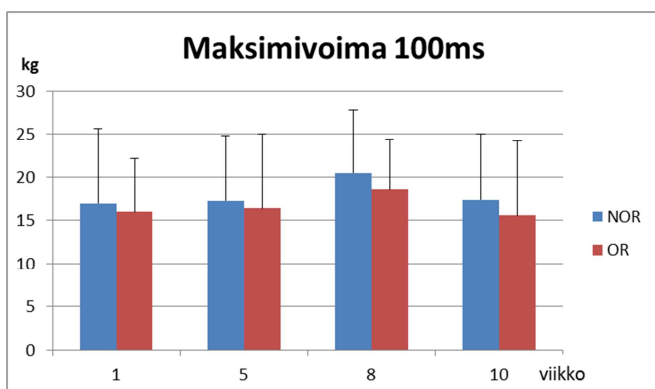
KUVA 21. Jalan ojennuksen nopean voimantuoton mittaustulokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin vain OR-ryhmällä * $p < 0.05$.

Kuvassa 22. Maksimivoima 100ms (voimantuotto ensimmäisen 100 ms aikana), jossa molempien ryhmien tulokset. OR-ryhmässä on näkyvissä selkeä kehitystrendi, mutta tilastollisesti merkittävää muutosta ei tapahdu (muutokset alkumittauksista viimeiseen mittaukseen 82.7%).



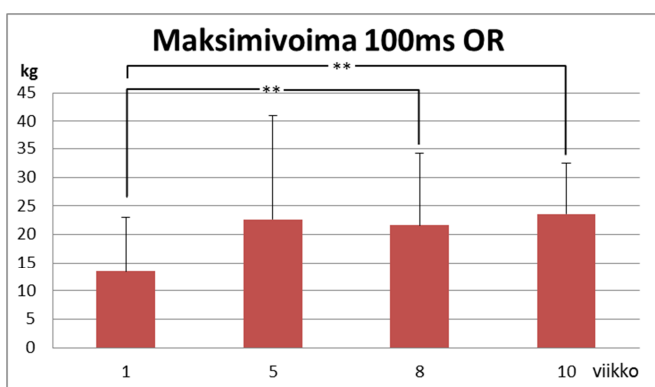
KUVA 22. Jalkaprässin nopean voimantuoton tulosten kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tuloksissa ei ole havaittavissa tilastollisesti merkittäviä muutoksia.

Kuvassa 23 vastaavat tulokset hauiskäännön osalta ensimmäisen 100 ms ajalta molempien ryhmien osalta. Ei tilastollisesti merkittäviä muutoksia havaittavissa.



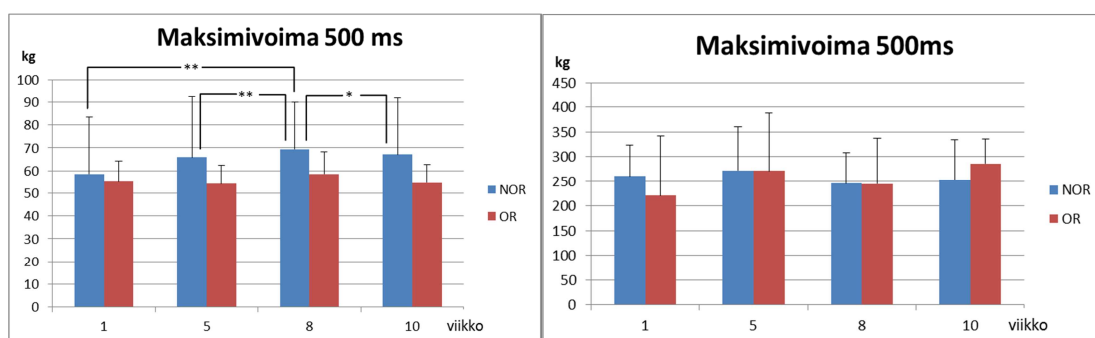
KUVA 23. Hauiskäännön nopean voimantuoton kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tuloksissa ei ole havaittavissa tilastollisesti merkittäviä muutoksia.

Pystypunnerruksessa ensimmäisen 100 ms aikana vain OR-ryhmälle oli havaittavissa tilastollisesti merkittävää parannusta tuloksiin. Kehittyminen alkutilanteesta viikolle 10 oli 76.23% ($p < 0.01$). Tulokset nähtävissä kuvassa 24.



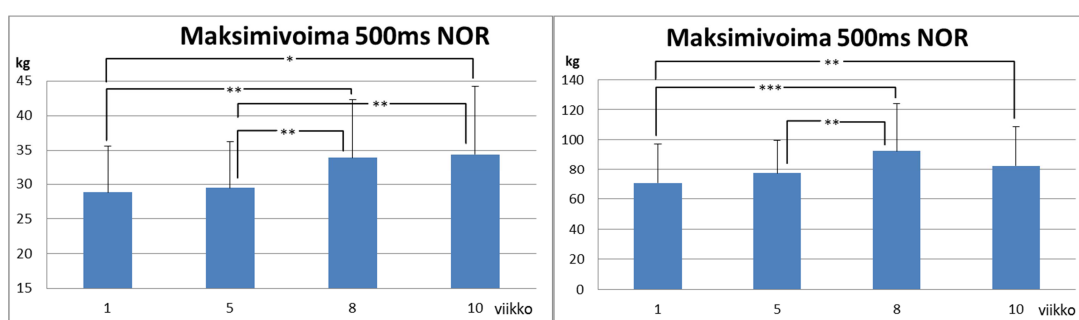
KUVA 24. Pystypunnerruksen nopean voimantuoton kehittyminen tutkimuksen aikana OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos ** $p < 0.01$.

NOR-ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkittävää kehitystä jalan ojennuksessa ensimmäisen 500 ms aikana. Jalkaprässissä vastaavaa kehitystä ei havaittu. Kuvassa 25. ovat kyseiset tulokset nähtävissä.



KUVA 25. Jalan ojennuksen ja jalkaprässin nopean voimantuoton tulosten muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$.

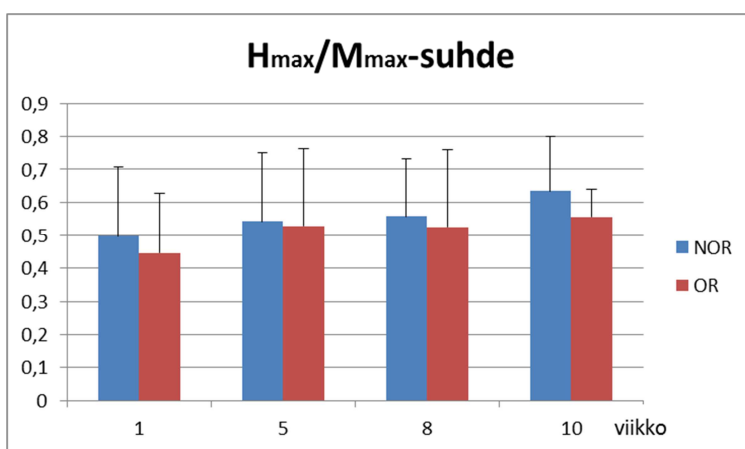
Käsien voimatasoissa ensimmäisen 500 ms aikana tapahtui tilastollisesti merkittäviä muutoksia tuloksissa vain NOR-ryhmässä. Hauiskääntö parantui 19.3% ($p < 0.01$) viikolta 1 viikolle 10 ja pystypunnerruksen tulos 31.2% ($p < 0.001$) viikolta 1 viikolle 8 (Kuva 26). OR-ryhmässä ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia.



KUVA 26. Käsien voimien (hauis ja ojentajat) nopean voimantuoton tulosten kehittyminen tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$.

7.1.3 H-refleksi, M-aalto, V-aalto ja passiivinen nykäys

H-refleksissä ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkittävää eroa. M_{\max} -aaltoon suhteutetuissa H-refleksin mittaustuloksissa ei tilastollisia merkitseviä eroja ollut ryhmien välillä, eikä ryhmien sisällä. Molemmilla ryhmillä oli samanlainen, hieman kasvava trendi havaittavissa. Kuvassa 27 kummankin ryhmän tulokset.

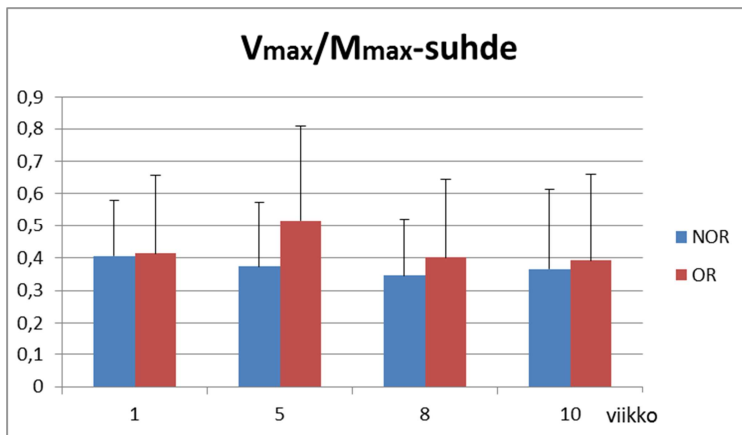


KUVA 27. H-refleksin M_{\max} -aaltoon suhteutetut muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Kummassakaan ryhmässä ei tapahtunut tilastollisesti merkittäviä muutoksia.

Pelkässä H_{\max} mittauksen arvossa NOR-ryhmässä kasvu oli tilastollisesti merkittävää (suurimmillaan viikolta 1 viikolle 10 kasvua oli 35.5%, $p < 0.01$) ja OR-ryhmässä oli samansuuntainen trendi havaittavissa (muutos suurimmillaan viikolta 1 viikolle 8 41.5%). M_{\max} -aallon mittauksissa ryhmillä oli tilastollisesti merkitsevällä tavalla erilaisia muutoksia tuloksissa, vaikka ryhmien sisällä tilastollisesti merkittäviä muutoksia ei ollutkaan.

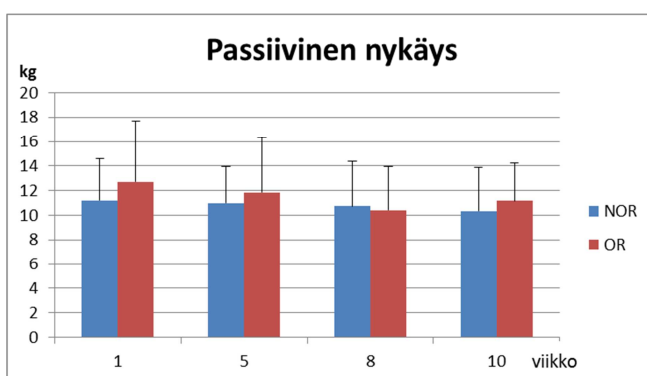
V_{\max} -aallossa (suhteutettuna samanaikaisesti mitattuun M_{\max} -arvoon) ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia ryhmien välillä, eikä myöskään tilastollisesti merkitseviä muutoksia ryhmien sisällä. Kuvassa 28. on havainnollistettu mitattuja tuloksia.

Vastaavasti pelkän V_{\max} -aallon ja samanaikaisesti mitatun M_{\max} -aallon tuloksissa ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkittäviä muutoksia.



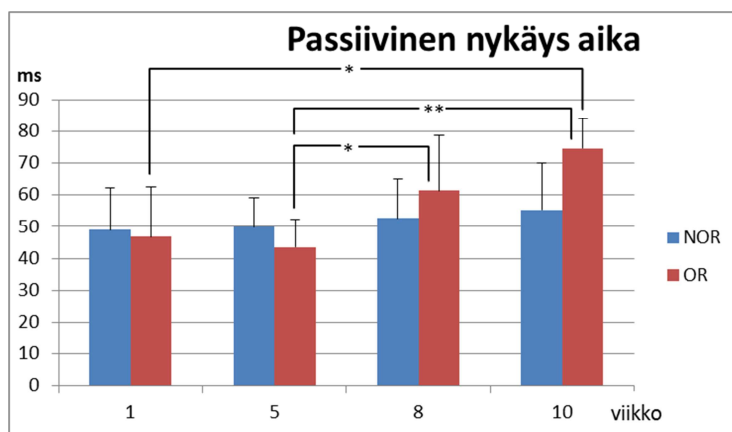
KUVA 28. V_{\max} -aallon M_{\max} -aaltoon suhteutetut mittaustulosten muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Kummassakaan ryhmässä ei tapahtunut tilastollisesti merkittävää kehitystä.

Passiivisessa nykäyksessä ei havaittu ryhmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroavaisuuksia kehityksessä ja sama tulos oli havaittavissa myös ryhmien sisäisiä tuloksia tarkasteltaessa (Kuva 29).



KUVA 29. Passiivisen nykäyksen mittaustulosten muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Kummassakaan ryhmässä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

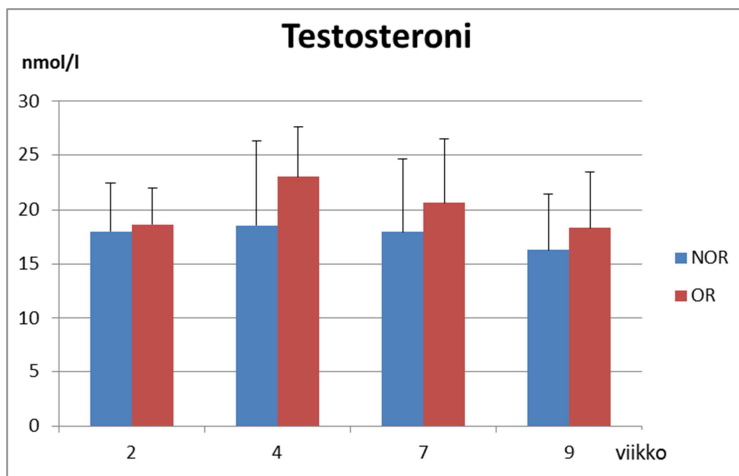
Passiivisen nykäyksen nousuajassa taas oli tilastollisesti merkitsevä eroavaisuus ryhmien välillä. OR-ryhmällä oli selkeästi suurempi nousuajan kasvu ensimmäisestä mittauksesta viimeiseen (OR-ryhmällä kasvua 59.8%, kun NOR-ryhmällä kasvu oli 13.0%). Myös OR-ryhmän sisäisessä tarkastelussa havaittiin tilastollisesti merkitsevää kasvua nousuajassa (viikolta 5 viikolle 10 kasvu oli suurimmillaan 71.9%, $p < 0.01$). Kuvassa 30 mittausten tulokset.



KUVA 30. Passiivisen nykäyksen nousuajassa havaitut muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos * $p < 0.05$ ja ** $p < 0.01$.

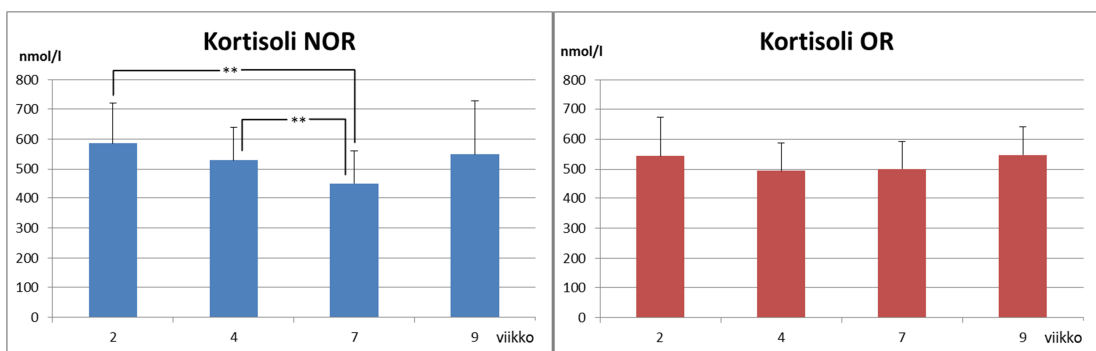
7.1.4 Testosteroni ja kortisoli

Testosteronitasot eivät muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi eri tavalla ryhmien kesken. Kuvassa 31 esitetään havaitut muutokset. Vaikka OR-ryhmällä testosteronitasossa havaitaan nousua alkutilanteeseen verrattuna enimmillään 23% viikon 4 mittauksessa, ei muutos ole tilastollisesti merkittävä ($p > 0.05$).



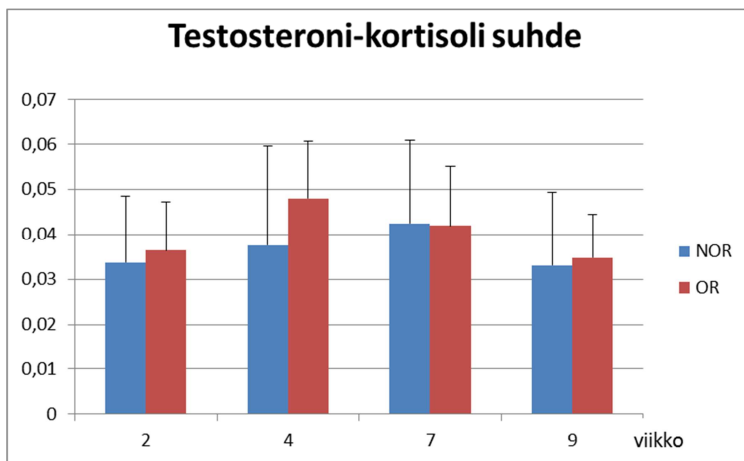
KUVA 31. Testosteronimäärien muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Muutokset eivät olleet tilastollisesti merkittäviä.

Kortisolitasoissa ei ollut ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Kehitystrendi oli molemmissa ryhmissä kuitenkin samansuuntainen. NOR-ryhmän sisällä havaittiin pitoisuuden tilastollisesti merkittävää laskua alkutilanteesta viikoille 4 ja 7 ($p < 0.01$) (Kuva 32).



KUVA 32. Kortisolin pitoisuuden muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin vain NOR-ryhmässä ** $p < 0.01$.

Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää erilaista kehitystä testosteroni-kortisolisuhteessa. Kuvassa 33. on esitetty kummankin ryhmän kehitys. Ryhmien sisällä ei havaittu myöskään tilastollisesti merkitsevää muutosta.



KUVA 33. Testosteroni-kortisoli suhteen muutokset tutkimuksen aikana NOR-ryhmällä ja OR-ryhmällä. Kummassakaan ryhmässä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

8 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena tarkastella varusmiesten peruskoulutuskauden liikunnan vaikutuksia etenkin hermolihasjärjestelmään ja samalla havainnoida, onko mahdolliset vaikutukset erilaisia ylikuormittuneille varusmiehille ja niille varusmiehille, joilla ylikuormittumisen oireita ei havaittu. Antropometrisien tulosten perusteella koulutuksen vaikutukset näyttäisivät olevan hyvin tyypillisiä kestävyysharjoittelun aiheuttamia muutoksia (McArdle ym. 2010 s. 447-468). H-refleksin (H_{\max}/M_{\max} -suhteen) ja V-aallon mittaustulosten muutokset tukevat myös tätä olettamusta. Pääasiassa ryhmien välillä ei havaittu suuria eroja mittaustulosten muutoksissa. Pari poikkeusta tähän kuitenkin havaittiin. NOR-ryhmä paransi selkeästi (21.9%) jalan ojennuksen tulosta, kun taas OR-ryhmässä vastaavanlaista muutosta tuloksissa ei havaittu. Toinen merkittävä ero ryhmien välillä havaittiin passiivisen nykäyksen nousuajan tuloksissa tutkimuksen aikana, jossa OR-ryhmällä nousuaika pidentyi huomattavasti (71.9%), kun nousua NOR-ryhmällä oli vain 13.0%.

Antropometrisissa mittauksissa ei havaittu ryhmien välillä tilastollisesti merkittäviä eroja kehityksessä. Kummassakin ryhmässä muutoksia kuitenkin havaittiin ja osa niistä oli tilastollisestikin merkittäviä. Varusmiesten paino laski molemmissa ryhmissä koulutuksen alusta loppua kohti. Lasku oli heti alkuun (viikolta 2 viikolle 4) selkeää ja molemmissa ryhmissä lasku jatkui viimeiseen mittaukseen asti. Lasku johtui lisääntyneestä säännöllisestä liikunnasta, joka oli pääsääntöisesti kestävyystyyppistä harjoittelua, jonka on todettukin vaikuttavan painoon alentavasti, mikäli ruokavalio ei tutkimuksen aikana muutu (McArdle ym. 2010 s. 469). OR-ryhmällä painon laskeminen oli selkeästi voimakkaampaa, vaikka tilastollisesti ero ei ollutkaan merkittävä. Oletuksena voisi olla, että OR-ryhmällä rasitus tuntui kovemmalta suhteessa NOR-ryhmään.

NOR-ryhmällä rasvaton massa kasvoi maltillisesti peruskoulutuskauden loppua kohti, kun taas OR-ryhmällä havaittiin heti toiseen mittaukseen tultaessa (viikolle 4) selkeä

väheneminen rasvattoman massan määrässä. Tämä rasvattoman massan väheneminen selittää OR-ryhmän selvästi suuremman painonpudotuksenkin. Ylikuormittumisen yhtenä havaittuna ilmiönä on havaittu painon vähenemistä (McArdle ym. 2010 s. 483). Tässä tapauksessa suuri osa painon vähenemisestä on tullut muualta, kuin kehon rasvoista.

Kehon rasvaprosentin mittauksissa havaittiin molemmissa ryhmissä laskua koulutuksen loppua kohti mentäessä. Selkein lasku havaittiin kummankin ryhmän tuloksissa viikolta 4 viikolle 7 mentäessä. Tässä vaiheessa tapahtunut rasvaprosentin pieneneminen johtunee koulutuksen rasittavuuden kasvusta (Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999). Samoin rasittavuuden kasvu voi osaltaan selittää OR-ryhmän painon laskuun liittyvien rasvattoman massan laskun hidastumisen ja rasvaprosentin samanaikaisen nopeamman pienenemisen viikkojen 4 ja 7 välillä. Molempien ryhmien rasvattoman massan ja rasvaprosentin kehityksestä voisi päätellä, että voimaharjoittelu on ollut liian vähäistä. Tätä tukee myös Broeder ym. (1997) tutkimus, jossa vertailtiin kehon rasvattoman massan ja rasvaprosentin muutoksia kestävyys- ja voimaharjoitteluryhmien kesken.

Voimantuotto-ominaisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien kesken missään mittauksissa. Jalkojen mittauksissa saatiin hieman ristiriitaisia tuloksia. Jalan ojennuksissa oli havaittavissa voimatasojen kasvua koko koulutuksen ajan, mutta jalkaprässissä koettiin selkeä notkahdus voimatasoissa kummallakin ryhmällä viikon 8 mittauksissa. Jalan ojennuksessa NOR-ryhmä pystyi parantamaan tuloksiaan peruskoulutuskauden loppuun saakka, parannuksen ollessa viikolle 8 tultaessa 21,9%. OR-ryhmässä mitään tilastollisesti merkittävää kehitystä ei havaittu.

Jalkaprässissä merkittävin muutos havaittiin NOR-ryhmässä, jossa voimataso heikkeni tilastollisesti merkittävästi etenkin viikon 8 mittauksissa ollen 7.5% matalammalla tasolla, kuin edellisessä mittauksessa. Myös OR-ryhmälle havaittiin vastaavanlainen lasku, mutta koehenkilöiden lukumäärästä johtuen muutos ei ollut tilastollisesti merkittävä (voimatason lasku oli jopa suurempi viikolta 5 viikolle 8 tultaessa 14.8%). Tuloksissa on näkyvissä koulutuksen rasittavuustason nousu viikosta 4 eteenpäin. Voisi olettaa, että raskas

marssiharjoittelu näkyy nimenomaan enemmän jalkaprässin tyyppisessä mittauksessa, kuin jalan ojennuksen mittauksessa. Toisena olettamuksena voisi olla, että vaikuttavana tekijänä on tosiaan kestävyystyyppisen harjoittelun määrän lisääntyminen, jonka vaikutukset näkyvät etenkin harjoittelun pitkittyessä voimaharjoittelun vaikutusten minimoitumisena. Bell ym. (2000) havaitsivat tutkimuksessaan samanlaista suuntausta, kuin tässä tutkimuksessa kävi. Pelkkää kestävyysharjoittelua suorittanut ryhmä paransi jalkaprässin tulostaan alkutilanteesta viikolle 6 mennessä selkeästi, kun taas viikolle 12 mennessä kehitys lähestulkoon pysähtyi. Yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua tehneelle ryhmälle samanlaista tulosten heikkenemistä ei tapahtunut. Myös jalan ojennusvoimaa tutkittiin. Siinäkin yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä sai aikaan suurempia parannuksia tuloksiinsa, mutta kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä onnistui kuitenkin jatkamaan kehitystään samalla tavalla aina viikolle 12 asti. Bell ym. (2000) tutkimuksen tulosten ja tämän tutkimuksen tulosten perusteella voisi tulla siihen johtopäätökseen, että varusmiehille, jotka eivät ylikuormittumisoireista kärsineet, peruskoulutuskauden koulutus on vastannut paremmin yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun määritelmää ja siitä saatavia vasteita. Jalan ojennuksen mittauksissa voimatasoa mitataan lähes pelkästään reiden etuosan lihaksesta (vastus lateralis), kun taas prässissä työtä tekemässä on lähes koko vartalon alaosa vyötäröstä alaspäin. Ylikuormittuneiden tapauksessa jalkojen voimataso ei siis ole parantunut, mutta eroa tasoittaa prässissä käytettävät muutkin lihakset.

Voimantuotto-ominaisuuksissa hauiksen voimatasot kasvoivat molemmissa ryhmissä koko ajan koulutuksen edetessä. Paras kasvupyrähdys havaittiin kummassakin ryhmässä viikon 8 mittauksessa. Tähän voisi olla syynä koulutuksen rasittavuuden kasvu viikosta 4 lähtien. Kun rasittavuus kohdistui väsyttävällä tavalla vain jalkoihin (marssiminen pääasiallisena liikkumisena ja rasittavana tekijänä), ovat käsien voimatasot voineet kasvaa tässäkin vaiheessa. Käsiin kohdistunut rasitus on ollut oletettavasti vähemmän kestävyystyyppistä ja hieman enemmän suuntautunut voimaharjoittelun suuntaan. Pystypunnerruksen mittaustuloksissa havaittiin täsmälleen samanlainen tulosten muuttuminen tutkimuksen aikana kummassakin ryhmässä. Ilmiön taustalla vaikuttaa viimeaikaisissa tutkimuksissa

hyväksi havaittu voimaharjoittelun yhdistäminen kestävyysharjoitteluun (Ignjatovic ym. 2011).

Nopeassa voimantuotossa (voimataso ensimmäisen 100 ms voimantuoton aloittamisesta) molemmilla ryhmillä oli nähtävissä samanlainen positiivinen tulosparannus jalanojennuksessa peruskoulutuskauden loppua kohti. OR-ryhmässä kehitys oli tilastollisestikin merkitsevää (enimmillään jopa 90.5% kasvu viikolta 1 viikolle 8), kun NOR-ryhmässä tulosparannusta oli vastaavalla aikajanalla vain 18.3%. Samoin jalkaprässissä OR-ryhmä kehitti voimatasojaan tasaisesti peruskoulutuskauden loppuun saakka, kun taas NOR-ryhmässä vastaavaa kehitystä ei havaittu. Suurin kehitys OR-ryhmällä tapahtui viikolta 1 viikolle 10 mentäessä eli kehitys jatkui myös peruskoulutuskauden jälkeenkin. Voiman kasvu oli tällä aikavälillä 82.7%. Syynä positiiviseen tulosparannukseen voidaan ajatella säännöllisen harjoittelun lisääntymistä. Vaikka harjoittelu olikin pääasiassa kestävyysharjoittelua, oli mukana kuitenkin jonkin verran voimaharjoitteluakin. Kestävyysharjoittelun on havaittu joissakin tutkimuksissa heikentävän nopeaa voimantuottoa (Häkkinen ym. 2003), mutta tässä tapauksessa harjoittelumäärän lisääntyminen on ilmeisesti kumonnut tämän vaikutuksen mittaustuloksiin.

Samoin kuin maksimaalisissa käsien voimantuottomittauksissa, myös nopean voimantuoton (voimataso ensimmäisen 100 ms voimantuoton aloittamisesta) tulokset paranivat kummallakin ryhmällä koko peruskoulutuskauden ajan. Viikon 8 jälkeen molemmissa mittauksissa (hauis ja pystypunnerrus) oli nähtävissä kummankin ryhmän osalta pienehkö notkahdus, mutta voimatasot jäivät kuitenkin huomattavasti korkeammalle, kuin ne olivat alkutilanteessa. OR-ryhmällä tulosparannus pystypunnerruksessa oli tilastollisesti merkitsevää voimatasojen ollessa parhaimmillaan 76.2% korkeammalla, kuin alkutilanteessa. NOR ryhmässä ei havaittu tilastollista merkitsevyyttä voimatasojen parantumisessa, mutta silti parannusta alkutilanteeseen verrattuna kertyi parhaimmillaan pystypunnerruksessa viikon 8 mittauksessa 30.0%.

Tarkasteltaessa nopean voimantuoton kehittymistä ensimmäisen 500 ms aikana, olivat tulokset hyvinkin samansuuntaisia kuin ensimmäisen 100 ms tapauksissakin. Käsien voimatasojen tulosparannukset kääntyivät nyt kuitenkin siten, että OR-ryhmällä tulosparannus oli huomattavasti maltillisempaa, kun taas NOR ryhmän tulosparannukset olivat tilastollisesti merkitseviä sekä hauksen, että pystypunnerruksen mittauksissa. Tulosparannusprosentit olivat näissä mittauksissa alkutilanteesta viikolle 8 mennessä 19.3% (hauis) ja 31.2% (pystypunnerrus). Esimerkiksi OR-ryhmän pystypunnerruksen tulos oli toki parantunut viikolle 8 mennessä 23.4%, mutta kun tulosta vertaa edellisen kohdan (voimataso ensimmäisen 100 ms voimantuoton aloittamisesta) arvoon 76.2, on selkeä ero havaittavissa. Kaikissa nopean voimantuoton mittauksissa havaittu tulosparannus on jonkin verran yllättävää, koska harjoittelun on oletettu olevan pääasiassa kestävyysharjoittelua. Tuloksista voisi kuitenkin päätellä, että mukana on ollut sen verran voimaharjoitteluaakin, että vaikutukset nopeaan voimantuottoon eivät ole olleet negatiivisia, vaan kehitystä selittääkin enemmän yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aiheuttamat positiiviset ilmiöt voiman kehitykseen (Mikkola ym. 2012).

H-refleksin mittauksessa H_{\max} arvot kehittyivät kummallakin ryhmällä samansuuntaisesti, eli kasvua tapahtui tutkimuksen loppua kohti mentäessä. Erityisesti NOR-ryhmässä kasvu oli tilastollisesti merkitsevää ja suurimmillaan H_{\max} taso oli 35.5% korkeammalla tasolla, kuin ensimmäisessä mittauksessa. Myös OR-ryhmässä kasvua oli havaittavissa, vaikkei se tilastollisesti merkittävää ollutkaan. Suurimmillaan kasvu oli viikon 8 mittauksessa (41.5%), mutta viikon 10 mittaukseen taso oli hieman laskenut. Samanlainen kehitys oli havaittavissa M_{\max} mittausten tuloksissa. Kehitystä tapahtui molemmissa ryhmissä viikolle 8 asti, jolloin kehitys pysähtyi NOR-ryhmässä ja kääntyi laskuun OR-ryhmässä. H_{\max}/M_{\max} suhde kasvoi samalla lailla kummallakin ryhmällä ensimmäisestä mittauksesta viimeiseen asti (NOR-ryhmällä kasvua 27.8% ja OR-ryhmällä 24.9%). Tämä maltillinen kasvu on tyypillistä, kun harjoitetaan kestävyysharjoittelua ja sen oletetaan johtuvan siitä, että H-refleksin suuruuteen vaikuttaa enemmän hitaat motoriset yksiköt kuin nopeat (Maffiuletti ym. 2001).

V-aallon mittauksissa ei ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkittävää eroa, eikä ryhmien sisälläkään ollut havaittavissa merkittäviä muutoksia. Ainoastaan NOR-ryhmällä saattoi huomata hieman laskevan trendin ensimmäisestä mittauksesta aina viikolle 8 saakka (14.8%), mutta viikon 10 mittauksessa lasku oli jo taittunut hienoiseen nousuun. Tällaisesta kehityksestä voi päätellä, että koulutus on edelleen painottunut huomattavasti kestävyysharjoitteluun ja voimaharjoittelu on jäänyt riittämättömälle tasolle. Aikaisemmissa tutkimuksissa voimaharjoittelun on havaittu kasvattavan V-aallon vasteita, kun taas kestävyysharjoittelu sitä ei merkittävällä tasolla saa aikaan (Aagaard ym. 2002b, Sale ym. 1983). Vila-Cha ym. (2012) havaitsivat V-aallon kasvun jo lyhyenkin (3 viikkoa) harjoittelujakson jälkeen. Jos kestävyyttä haluttaisiin kehittää paremmin kokonaisuutena, olisi voimaharjoittelusta hyötyä etenkin liikkumisen ja toiminnan taloudellisuuden kehittäjänä (Taipale ym. 2013).

Passiivisen nykäyksen mittauksissa ryhmille ei saatu tilastollisesti merkittävää eroa voimatulosten kehitykseen ja ryhmien sisälläkin oli minkäänäköistä trendiä vaikea löytää. Paasuke ym. (1999) havaitsivat tutkimuksessaan, että harjoitelleilla (kestävyysharjoitteluryhmä ja voimaharjoitteluryhmä) kasvaa passiivisen nykäyksen voimavaste verrattuna verrokkiryhmään, jossa harjoittelua ei tehty. Tästä voisi päätellä, että harjoittelu peruskoulutuskaudella ei olekaan ollut fyysisesti kovin kuormittavaa. Kun tarkastellaan passiivisen nykäyksen nousuaikaa, onkin ryhmien välillä havaittavissa selkeä tilastollinen ero. OR-ryhmällä havaittiin tilastollisestikin merkittävää nousuajan pitenemistä koulutuksen loppua kohti. Kuitenkin paras aika saavutettiin viikon 5 mittauksissa ja näistä tuloksista aika piteni viikon 10 mittauksiin jopa 71.9%. NOR-ryhmällä havaittiin hieman nouseva trendi aikojen kehitymisessä, mutta suurin muutos oli kuitenkin vai 13.0%. Tämä selkeä kasvu OR-ryhmän nousuajassa viittaisi siihen, että koulutus on ollut liian kuormittavaa (Gandevia ym. 1996). Eräs mahdollinen syy nykäyksen ajan pidentymiseen voisi olla mittausjärjestelyiden takia ylikuormittumisen tyypillisen oireen, helpon ja tavallista nopeamman väsymisen ilmentyminen. Passiivinen nykäys mitattiin viimeisenä mittauksena ja mikäli koehenkilö olisi ylikuormittunut, olisi hän mitä todennäköisimmin myös väsyneempi mittaustilanteessa. Monissa tutkimuksissa on havaittu, että passiivista

nykäystä (voima ja nousuaika) voidaan käyttää hyväksi tutkimuksissa, joissa selvitetään väsymyksen vaikutuksia lihaksen toimintaan. Väsytyksen on havaittu aiheuttavan sekä nykäyksen voiman alenemista, että nousuajan hidastumista (Millet ym. 2011). Place ym. (2007) havaitsivat tutkimuksessaan, että nykäyksen voima palautuu väsytyksen (2 min. MVC) jälkeen huomattavasti nopeammin, kuin nykäyksen nousuaika. Tämä voisi hyvinkin selittää ylikuormittuneilla havaitun nykäyksen nousuajan pidentymisen. Toisaalta passiivisen nykäyksen tutkimuksessa on havaittu olevan paljon toisiinsa liittyviä ja kytköksissä olevia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa mitattuihin suureisiin (Rassier & Macintosh 2000) ja siksi saatuja tuloksia tuleekin tarkastella aina kriittisesti ja pyrkiä mahdollisimman tarkasti selvittämään kaikki vaikuttavat tekijät.

Testosteronitasot eivät muuttuneet tutkimuksen aikana tilastollisesti merkittävästi erilailta ryhmien välillä. Tuloksista on kuitenkin havaittavissa, että OR-ryhmällä testosteronitasot olivat jokaisella mittauskerralla jonkin verran korkeammalla, kuin NOR-ryhmällä. Samoin tasot nousivat alkumittauksesta viikolle 4 OR-ryhmällä 23%, mutta nousu ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkittävää. NOR-ryhmällä testosteronitasoissa ei havaittu muutoksia tutkimuksen aikana. Näistä tuloksista voisi tehdä sellaisen päätelmän, että OR-ryhmälle koulutus on ollut jonkin verran enemmän voimaharjoittelun tyyppisesti rasittavaa, koska useissa tutkimuksissa on havaittu, että voimaharjoittelu nostaa testosteronitasoja ja vaikutus on suurempi voimaharjoittelua tehneillä kuin kestävyysharjoittelua tehneillä (Häkkinen & Pakarinen 1995, Tremblay ym. 2004).

Kortisolitasot muuttuivat kummallakin ryhmällä samansuuntaisesti ja tilastollisesti merkittävää eroa ei siis havaittukaan. Tasoissa oli nähtävissä laskua ensimmäisistä mittauksista mentäessä viikon 7 mittauksiin. Etenkin NOR-ryhmällä lasku oli tilastollisesti merkittävää ollen viikon 7 mittauksissa 22.6% alemmalla tasolla. OR-ryhmällä lasku oli vaatimattomampaa, ollen suurimmillaan 8.1%. Viikon 9 mittauksissa nähdään alokkaiden siirtyminen normaaliin varusmiespalvelukseen molempien ryhmien kortisolitasojen nousuna. Tasot nousivat hyvin lähelle alkutilannetta, josta voisi ehkä päätellä uuden tilanteen aiheuttavan stressiä. Kortisolitasojen on havaittu nousevan erittäin stressaavissa

armeijan harjoitusjaksoissa (Nindl ym. 2007), mutta itse asiassa rasittavissa kestävyysharjoittelujaksoissa on havaittu sen laskua ylikuormittumistilanteissa (Snyder ym. 1995).

Testosteronin ja kortisolin suhde kasvoi molempien ryhmien osalta ensimmäisestä mittauksesta viikon 7 mittaukseen saakka. Samoin kuin kortisolin tapauksessa selkeä muutos havaittiin viikon 9 mittauksessa, jossa suhde oli huomattavasti alemmalla tasolla kuin edellisessä mittauksessa. Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkittävää eroa suhteen muuttumisessa tutkimuksen aikana. Nähtävissä oli kuitenkin, että ko. suhde oli selkeästi korkeammalla tasolla OR-ryhmällä viikon 4 mittauksessa ja kaikissakin mittauksissa vähintään samalla tasolla tai jopa hieman korkeammalla. Tätä testosteroni/kortisoli-suhdetta on käyttänyt ylikuormittumisen määrittelyssä apuna armeijassa tehdyssä tutkimuksessa Chicharro ym. (1998). Heidän tutkimuksessaan suhteen lasku osoitti ylikuormittumista. Tässä tutkimuksessa kyseinen suhde tosiaan nousi ensin viikon 4 mittaukseen, kunnes se alkoi laskea OR-ryhmällä. NOR-ryhmällä pieni lasku havaittiin vasta viikolla 9 tehdyissä mittauksessa. Näissä mittauksissakaan tulokset eivät kuitenkaan laskeneet alle alkumittauksen arvoja. Tämän suhteen avulla olisi mahdoton päätellä kummankaan ryhmän mahdollista ylikuormittumista. Tilanne saattaisi olla toinen, mikäli koehenkilöitä tarkasteltaisiin yksilöinä, jolloin erot arvoissa tulisivat mahdollisesti paremmin esille. Tällainen arviointi ei kuulu kuitenkaan tämän tutkimuksen piiriin, vaikka se olisikin kiinnostava kohde jatkotutkimuksille.

Kuten alkuolettamusten perusteella epäiltiin, oli peruskoulutuskauden harjoittelu kaikilla tässä tutkimuksessa käytetyillä mittareilla pääsääntöisesti kestävyysharjoittelua. Aiemman tutkimuksen perusteella saadulle ryhmäjaolle, jossa toiseen ryhmään tulivat henkilöt, jotka määriteltiin ylikuormittuneiksi ja toiseen varusmiehet, jotka eivät ylikuormittumisoireista kärsineet, ei tämän tutkimuksen avulla saatu juurikaan vahvistusta hermolihaskärsityyden mittausten avulla. Jatkotutkimuksissa mielenkiintoa herättää tulosten käsitteleminen yksilökohtaisesti, saataisiinko eroja näkymään tällä tavalla.

9 LÄHTEET

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002a. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 93 (4), 1318-1326.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. 2002b. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 92 (6), 2309-2318.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Hakkinen, K. 2005. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* 19 (3), 572-582.
- Alkjaer, T., Meyland, J., Raffalt, P. C., Lundbye-Jensen, J. & Simonsen, E. B. 2013. Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. *Physiological Reports* 1 (5), e00099.
- Angeli, A., Minetto, M., Dovoio, A. & Paccotti, P. 2004. The overtraining syndrome in athletes: a stress-related disorder. *Journal of Endocrinological Investigation* 27 (6), 603-612.
- Armstrong, L. E. & VanHeest, J. L. 2002. The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 32 (3), 185-209.
- Bailey, S. P. & Pate, R. R. 1991. Feasibility of improving running economy. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 12 (4), 228-236.
- Barany, M. 1967. ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *The Journal of General Physiology* 50 (6), Suppl:197-218.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R. & Quinney, H. A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology* 81 (5), 418-427.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G. & Koralsztein, J. P. 1999. Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (1), 156-163.

- Biolo, G., Tipton, K. D., Klein, S. & Wolfe, R. R. 1997. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *The American Journal of Physiology* 273 (1 Pt 1), E122-9.
- Booth, C. K., Probert, B., Forbes-Ewan, C. & Coad, R. A. 2006. Australian army recruits in training display symptoms of overtraining. *Military Medicine* 171 (11), 1059-1064.
- Bosco, C., Komi, P. V. & Ito, A. 1981. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica* 111 (2), 135-140.
- Broeder, C. E., Burrhus, K. A., Svanevik, L. S., Volpe, J. & Wilmore, J. H. 1997. Assessing body composition before and after resistance or endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29 (5), 705-712.
- Brooke, M. H. & Kaiser, K. K. 1974. Trophic functions of the neuron. II. Denervation and regulation of muscle. The use and abuse of muscle histochemistry. *Annals of the New York Academy of Sciences* 228 (0), 121-144.
- Buchthal, F., Guld, C. & Rosenfalck, P. 1954. Action potential parameters in normal human muscle and their dependence on physical variables. *Acta Physiologica Scandinavica* 32 (2-3), 200-218.
- Budgett, R. 1998. Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *British Journal of Sports Medicine* 32 (2), 107-110.
- Burke, D., Adams, R. W. & Skuse, N. F. 1989. The effects of voluntary contraction on the H reflex of human limb muscles. *Brain : a Journal of Neurology* 112 (Pt 2) (Pt 2), 417-433.
- Burke, R. E. 1967. Motor unit types of cat triceps surae muscle. *The Journal of Physiology* 193 (1), 141-160.
- Burke, R. E., Levine, D. N., Tsairis, P. & Zajac, F. E.,3rd 1973. Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *The Journal of Physiology* 234 (3), 723-748.
- Busso, T., Hakkinen, K., Pakarinen, A., Kauhanen, H., Komi, P. V. & Lacour, J. R. 1992. Hormonal adaptations and modelled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64 (4), 381-386.
- Carter, H., Jones, A. M. & Doust, J. H. 1999. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *Journal of Sports Sciences* 17 (12), 957-967.

- Cederberg, H., Mikkola, I., Jokelainen, J., Laakso, M., Harkonen, P., Ikaheimo, T., Laakso, M. & Keinanen-Kiukaanniemi, S. 2011. Exercise during military training improves cardiovascular risk factors in young men. *Atherosclerosis* 216 (2), 489-495.
- Chandler, R. M., Byrne, H. K., Patterson, J. G. & Ivy, J. L. 1994. Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 76 (2), 839-845.
- Chicharro, J. L., Lopez-Mojares, L. M., Lucia, A., Perez, M., Alvarez, J., Labanda, P., Calvo, F. & Vaquero, A. F. 1998. Overtraining parameters in special military units. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 69 (6), 562-568.
- Costill, D. L., Thomason, H. & Roberts, E. 1973. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports* 5 (4), 248-252.
- Dudley, G. A. & Djamil, R. 1985. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 59 (5), 1446-1451.
- Ekblom, M. M. 2010. Improvements in dynamic plantar flexor strength after resistance training are associated with increased voluntary activation and V-to-M ratio. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 109 (1), 19-26.
- Enoka, R. M. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. (4. painos) Champaign: Human Kinetics.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E. & Costill, D. L. 1993. Plasma lactate accumulation and distance running performance. 1979. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (10), 1091-7; discussion 1089-90.
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L. & Donath, L. 2013. Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences* 31 (13), 1460-1467.
- Ferrete, C., Requena, B., Suarez-Arrones, L. & Saez de Villarreal, E. 2013. Effect of Strength and High-Intensity Training on Jumping, Sprinting and Intermittent Endurance Performance in Prepubertal Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* .
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S. & Pedersen, P. K. 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (8), 1250-1256.
- Fry, A. C. & Kraemer, W. J. 1997. Resistance exercise overtraining and overreaching. Neuroendocrine responses. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 23 (2), 106-129.

- Gandevia, S. C., Allen, G. M., Butler, J. E. & Taylor, J. L. 1996. Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. *The Journal of Physiology* 490 (Pt 2) (Pt 2), 529-536.
- Giustina, A. & Veldhuis, J. D. 1998. Pathophysiology of the neuroregulation of growth hormone secretion in experimental animals and the human. *Endocrine Reviews* 19 (6), 717-797.
- Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., Hakkinen, K. & Kraemer, W. J. 1997. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee* 22 (3), 244-255.
- Grant, C. C., Mongwe, L., Janse van Rensburg, D. C., Fletcher, L., Wood, P. S., Terblanche, E., du Toit, P. & Grant, T. C. 2013. The difference between exercise induced autonomic and fitness changes measured after 12 weeks and 20 weeks of medium to high intensity military training. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* .
- Graziano, M. 2006. The organization of behavioral repertoire in motor cortex. *Annual Review of Neuroscience* 29, 105-134.
- Grieco, C. R., Cortes, N., Greska, E. K., Lucci, S. & Onate, J. A. 2012. Effects of a combined resistance-plyometric training program on muscular strength, running economy, and $\text{Vo}_{2\text{peak}}$ in division I female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* 26 (9), 2570-2576.
- Häkkinen, K. 1990. *Voimaharjoittelun perusteet*. Jyväskylä 1990: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Häkkinen, K. 1989. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 29 (1), 9-26.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Hakkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89 (1), 42-52.
- Häkkinen, K., Komi, P. V. & Alen, M. 1985. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica* 125 (4), 587-600.

- Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1995. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *International Journal of Sports Medicine* 16 (8), 507-513.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P. V. 1987. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *International Journal of Sports Medicine* 8 Suppl 1, 61-65.
- Hallett, M., Berardelli, A., Delwaide, P., Freund, H. J., Kimura, J., Lucking, C., Rothwell, J. C., Shahani, B. T. & Yanagisawa, N. 1994. Central EMG and tests of motor control. Report of an IFCN committee. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 90 (6), 404-432.
- Halson, S. L. & Jeukendrup, A. E. 2004. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 34 (14), 967-981.
- Hansen, S., Kvorning, T., Kjaer, M. & Sjogaard, G. 2001. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 11 (6), 347-354.
- Henneman, E. 1957. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science (New York, N.Y.)* 126 (3287), 1345-1347.
- Henritze, J., Weltman, A., Schurrer, R. L. & Barlow, K. 1985. Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 54 (1), 84-88.
- Hickson, R. C., Hidaka, K., Foster, C., Falduto, M. T. & Chatterton, R. T., Jr 1994. Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 76 (2), 663-670.
- Hickson, R. C., Rosenkoetter, M. A. & Brown, M. M. 1980. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12 (5), 336-339.
- Hiscock, N. & Pedersen, B. K. 2002. Exercise-induced immunodepression- plasma glutamine is not the link. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 93 (3), 813-822.
- Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., Kime, R. & Chance, B. 2003. Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35 (11), 1929-1934.

- Hohl, R., Ferrareso, R. L., De Oliveira, R. B., Lucco, R., Brenzikofer, R. & De Macedo, D. V. 2009. Development and characterization of an overtraining animal model. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (5), 1155-1163.
- Huijing, P. A. 2003. Muscular force transmission necessitates a multilevel integrative approach to the analysis of function of skeletal muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 31 (4), 167-175.
- Ignjatovic, A., Radovanovic, D., Stankovic, R., Markovic, Z. & Kocic, J. 2011. Influence of resistance training on cardiorespiratory endurance and muscle power and strength in young athletes. *Acta Physiologica Hungarica* 98 (3), 305-312.
- Ikai, M. & Fukunaga, T. 1968. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie* 26 (1), 26-32.
- Jones, A. M. 1998. A five year physiological case study of an Olympic runner. *British Journal of Sports Medicine* 32 (1), 39-43.
- Jones, A. M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 29 (6), 373-386.
- Jones, A. M. & Doust, J. H. 1998. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (8), 1304-1313.
- Kahn, S. M., Hryb, D. J., Nakhla, A. M., Romas, N. A. & Rosner, W. 2002. Sex hormone-binding globulin is synthesized in target cells. *The Journal of Endocrinology* 175 (1), 113-120.
- Kauranen, K. & Nurkka, N. 2010. *Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille*. Tampere: Liikuntatieteellinen seura.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. *Kuntotestauksen Kasikirja*. Tampere: Liikuntatieteellinen Seura ry.
- Kraemer, W. J., Aguilera, B. A., Terada, M., Newton, R. U., Lynch, J. M., Rosendaal, G., McBride, J. M., Gordon, S. E. & Hakkinen, K. 1995a. Responses of IGF-I to endogenous increases in growth hormone after heavy-resistance exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 79 (4), 1310-1315.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Callister, R., Shealy, M., Dudley, G. A., Maresh, C. M., Marchitelli, L., Cruthirds, C., Murray, T. & Falkel, J. E. 1989. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21 (2), 146-153.

- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., Mello, R., Frykman, P. N., Koziris, L. P. & Triplett, N. T. 1993. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 75 (2), 594-604.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Maresh, C. M., Ratamess, N. A., Gordon, S. E., Goetz, K. L., Harman, E. A., Frykman, P. N., Volek, J. S., Mazzetti, S. A., Fry, A. C., Marchitelli, L. J. & Patton, J. F. 1999. Acute hormonal responses to a single bout of heavy resistance exercise in trained power lifters and untrained men. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee* 24 (6), 524-537.
- Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Marchitelli, L. J., Mello, R., Dziados, J. E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A. C. 1991. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2), 228-235.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D. & Fleck, S. J. 1990. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 69 (4), 1442-1450.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., Newton, R. U., Triplett, N. T. & Dziados, J. E. 1995b. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 78 (3), 976-989.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. 2005. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 35 (4), 339-361.
- Kraemer, W. J., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Fry, A. C., Gordon, S. E., Nindl, B. C., Gothshalk, L. A., Volek, J. S., Marx, J. O., Newton, R. U. & Hakkinen, K. 1998a. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 78 (1), 69-76.
- Kraemer, W. J., Volek, J. S., Bush, J. A., Putukian, M. & Sebastianelli, W. J. 1998b. Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 85 (4), 1544-1555.
- Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2002. *Strength training for sport*. Oxford : Blackwell Science ; \$Malden, MA,. Handbook of sports medicine and science. edited by William J. Kraemer, Keijo Häkkinen.; "An IOC Medical Commission publication"--Cover.; Includes bibliographical references and index.

- Kreher, J. B. & Schwartz, J. B. 2012. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports health* 4 (2), 128-138.
- Lakier Smith, L. 2003. Overtraining, excessive exercise, and altered immunity: is this a T helper-1 versus T helper-2 lymphocyte response? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 33 (5), 347-364.
- Lehmann, M., Foster, C. & Keul, J. 1993. Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (7), 854-862.
- Lin, C. S., Chan, J. H., Pierrot-Deseilligny, E. & Burke, D. 2002. Excitability of human muscle afferents studied using threshold tracking of the H reflex. *The Journal of Physiology* 545 (Pt 2), 661-669.
- Londeree, B. R. 1986. The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 3 (3), 201-213.
- Maffiuletti, N. A., Martin, A., Babault, N., Pensini, M., Lucas, B. & Schieppati, M. 2001. Electrical and mechanical H(max)-to-M(max) ratio in power- and endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 90 (1), 3-9.
- Margonis, K., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Douroudos, I., Chatzinikolaou, A., Mitrakou, A., Mastorakos, G., Papassotiriou, I., Taxildaris, K. & Kouretas, D. 2007. Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis. *Free Radical Biology & Medicine* 43 (6), 901-910.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2010. *Excercise Physiology. (7. painos)* Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business. Nutrition, Energy and Human Performance.
- Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M. & Hakkinen, K. 2012. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *International Journal of Sports Medicine* 33 (9), 702-710.
- Millet, G. Y., Martin, V., Martin, A. & Verges, S. 2011. Electrical stimulation for testing neuromuscular function: from sport to pathology. *European Journal of Applied Physiology* 111 (10), 2489-2500.
- Morgan, D. W., Bransford, D. R., Costill, D. L., Daniels, J. T., Howley, E. T. & Krahenbuhl, G. S. 1995. Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (3), 404-409.

- Morgan, D. W. & Daniels, J. T. 1994. Relationship between VO₂max and the aerobic demand of running in elite distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 15 (7), 426-429.
- Morgan, W. P., Brown, D. R., Raglin, J. S., O'Connor, P. J. & Ellickson, K. A. 1987. Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine* 21 (3), 107-114.
- Moritani, T. & deVries, H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58 (3), 115-130.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkquist, S. 2008. Ihmisen fysiologia ja anatomia. (15.17. painos) Helsinki: Werner Söderström Oy.
- Nindl, B. C., Barnes, B. R., Alemany, J. A., Frykman, P. N., Shippee, R. L. & Friedl, K. E. 2007. Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (8), 1380-1387.
- Nygaard, E., Houston, M., Suzuki, Y., Jorgensen, K. & Saltin, B. 1983. Morphology of the brachial biceps muscle and elbow flexion in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 117 (2), 287-292.
- Opetus- ja kulttuuriministeriö 2014. MOPO-hanke. Saatavilla osoitteessa: <http://www.tuunaamopo.fi/sivu/fi/>.
- Paasuke, M., Ereline, J. & Gapeyeva, H. 1999. Twitch contractile properties of plantar flexor muscles in power and endurance trained athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 80 (5), 448-451.
- Pate, R. R., Macera, C. A., Bailey, S. P., Bartoli, W. P. & Powell, K. E. 1992. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24 (10), 1128-1133.
- Patton, J. F. & Vogel, J. A. 1977. Cross-sectional and longitudinal evaluations of an endurance training program. *Medicine and Science in Sports* 9 (2), 100-103.
- Piirainen, J. M., Salmi, J. A., Avela, J. & Linnamo, V. 2008. Effect of body composition on the neuromuscular function of Finnish conscripts during an 8-week basic training period. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* 22 (6), 1916-1925.
- Place, N., Maffiuletti, N. A., Martin, A. & Lepers, R. 2007. Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. *Muscle & Nerve* 35 (4), 486-495.

- Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus 1999. Fyysisen harjoittamisen perusteet. Vaasa.
- Raastad, T., Bjoro, T. & Hallen, J. 2000. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology* 82 (1-2), 121-128.
- Racinais, S., Maffiuletti, N. A. & Girard, O. 2013. M-wave, H- and V-reflex recruitment curves during maximal voluntary contraction. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society* 30 (4), 415-421.
- Rassier, D. E. & Macintosh, B. R. 2000. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research = Revista Brasileira de Pesquisas Medicas e Biologicas / Sociedade Brasileira de Biofisica ...[et al.]* 33 (5), 499-508.
- Robson, P. 2003. Elucidating the unexplained underperformance syndrome in endurance athletes : the interleukin-6 hypothesis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 33 (10), 771-781.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2013. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* .
- Rubin, M. R., Kraemer, W. J., Maresh, C. M., Volek, J. S., Ratamess, N. A., Vanheest, J. L., Silvestre, R., French, D. N., Sharman, M. J., Judelson, D. A., Gomez, A. L., Vescovi, J. D. & Hymer, W. C. 2005. High-affinity growth hormone binding protein and acute heavy resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37 (3), 395-403.
- Sale, D. G., MacDougall, J. D., Upton, A. R. & McComas, A. J. 1983. Effect of strength training upon motoneuron excitability in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1), 57-62.
- Saltin, B. & Åstrand, P. O. 1967. Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology* 23 (3), 353-358.
- Saltin, B. & Strange, S. 1992. Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24 (1), 30-37.
- Santtila, M., Kyrolainen, H., Vasankari, T., Tiainen, S., Palvalin, K., Hakkinen, A. & Hakkinen, K. 2006. Physical fitness profiles in young Finnish men during the years 1975-2004. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38 (11), 1990-1994.

- Schroeter, J. P., Bretaudiere, J. P., Sass, R. L. & Goldstein, M. A. 1996. Three-dimensional structure of the Z band in a normal mammalian skeletal muscle. *The Journal of Cell Biology* 133 (3), 571-583.
- Scott, S. H. 2008. Inconvenient truths about neural processing in primary motor cortex. *The Journal of Physiology* 586 (5), 1217-1224.
- Sedano, S., Marin, P. J., Cuadrado, G. & Redondo, J. C. 2013. Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* 27 (9), 2433-2443.
- Silverthorn, D. U., Johnson, B. R., Ober, W. C., Garrison, C. W. & Silverthorn, A. C. 2010. *Human Physiology*. (5. painos) Glenview: Pearson Education inc.
- Sjöström, M., Angquist, K. A., Bylund, A. C., Friden, J., Gustavsson, L. & Schersten, T. 1982. Morphometric analyses of human muscle fiber types. *Muscle & Nerve* 5 (7), 538-553.
- Smith, L. L. 2000. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (2), 317-331.
- Snyder, A. C., Kuipers, H., Cheng, B., Servais, R. & Franssen, E. 1995. Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (7), 1063-1070.
- Spina, R. J. 1999. Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 27, 317-332.
- Strojnik, V. & Komi, P. V. 1998. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 84 (1), 344-350.
- Svedenhag, J. & Sjodin, B. 1985. Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien des Sciences Appliquees au Sport* 10 (3), 127-133.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Salo, T., Hokka, L., Vesterinen, V., Kraemer, W. J., Nummela, A. & Hakkinen, K. 2013. Mixed maximal and explosive strength training in recreational endurance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* .
- Tanaka, H. & Swensen, T. 1998. Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 25 (3), 191-200.

- Tanaka, K., Matsuura, Y., Kumagai, S., Matsuzaka, A., Hirakoba, K. & Asano, K. 1983. Relationships of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 52 (1), 51-56.
- Tanskanen, M., Atalay, M. & Uusitalo, A. 2010. Altered oxidative stress in overtrained athletes. *Journal of Sports Sciences* 28 (3), 309-317.
- Tanskanen, M. M., Kyrolainen, H., Uusitalo, A. L., Huovinen, J., Nissila, J., Kinnunen, H., Atalay, M. & Hakkinen, K. 2011a. Serum sex hormone-binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 25 (3), 787-797.
- Tanskanen, M. M., Uusitalo, A. L., Kinnunen, H., Hakkinen, K., Kyrolainen, H. & Atalay, M. 2011b. Association of military training with oxidative stress and overreaching. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43 (8), 1552-1560.
- Tarpenning, K. M., Wiswell, R. A., Hawkins, S. A. & Marcell, T. J. 2001. Influence of weight training exercise and modification of hormonal response on skeletal muscle growth. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia* 4 (4), 431-446.
- Taylor, A. W. & Bachman, L. 1999. The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee* 24 (1), 41-53.
- Tremblay, M. S., Copeland, J. L. & Van Helder, W. 2004. Effect of training status and exercise mode on endogenous steroid hormones in men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 96 (2), 531-539.
- Tuominen, K., Kantola, H., Kujala, A., Luhtanen, P., Rusko, H. & Viitasalo, J. 1989. *Suomalainen Valmennusoppi*. Jyväskylä: Urheilusyke Oy.
- Upton, A. R., McComas, A. J. & Sica, R. E. 1971. Potentiation of "late" responses evoked in muscles during effort. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 34 (6), 699-711.
- Urhausen, A. & Kindermann, W. 2002. Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 32 (2), 95-102.
- Viitasalo, J. T. & Bosco, C. 1982. Electromechanical behaviour of human muscles in vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 48 (2), 253-261.

- Vila-Cha, C., Falla, D., Correia, M. V. & Farina, D. 2012. Changes in H reflex and V wave following short-term endurance and strength training. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 112 (1), 54-63.
- Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Incledon, T. & Boetes, M. 1997. Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 82 (1), 49-54.
- Walsh, N. P., Blannin, A. K., Robson, P. J. & Gleeson, M. 1998. Glutamine, exercise and immune function. Links and possible mechanisms. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 26 (3), 177-191.
- Watt, P. W., Kelly, F. J., Goldspink, D. F. & Goldspink, G. 1982. Exercise-induced morphological and biochemical changes in skeletal muscles of the rat. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 53 (5), 1144-1151.
- Wolfe, R. R. 2000. Effects of insulin on muscle tissue. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care* 3 (1), 67-71.