

NEUROMUSCULAR ADAPTATION OF CONSCRIPTS
DURING AN 8-WEEK MILITARY BASIC TRAINING
PERIOD IN FINNISH WINTER CONDITIONS

Kristiina Salo

Biomekaniikan pro gradu

Syksy 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Vesa Linnamo, Jarmo Piirainen

TIIVISTELMÄ

Salo Kristiina 2013. Varusmiesten hermo-lihasjärjestelmän muutokset 8 viikkoa kestäväen armeijan peruskoulutuskauden aikana talviolosuhteissa. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu, 70 s.

Tutkimustyön tavoitteena oli tutkia talvella tapahtuvan ja 8 viikkoa kestäväen armeijan peruskoulutuskauden vaikutukset hermolihaskjärjestelmän toimintaan ja voimantuotto-kykyyn, vertailla niissä havaittujen muutosten yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn (VO_{2max}) sekä arvioida mahdollista ylikuormittumista. Koehenkilöinä oli 24 miestä henkilöä (18–21 vuotiaita). Heidät jaettiin edelleen kolmeen eri kuntoryhmään (G1 hyvä > 46.0 ml/kg/min; G2 keskinkertainen = $40.0 - 45.9$ ml/kg/min; G3 alhainen < 39.9 ml/kg/min) perustuen maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) tulokseen, joka mitattiin peruskoulutuskauden alussa.

H-refleksi (H_{max}/M_{max}) mitattiin levossa ja V-aalto (V/M_{max}) maksimaalisen isometrisen plantaarifleksion aikana Soleus -lihaksesta peruskoulutuskaudella 1, 5 ja 8 viikon kohdalla. Maksimaalinen jalan ojennusvoima (MVC) ja räjähtävä voimantuottokyky mitattiin huippuvoimana (0-500ms) nelipäisestä reisilihaksesta maksimaalisen isometrisen suorituksen aikana jalkapenkkiprässissä samoissa aikapisteissä. Lihaskäytyvyys mitattiin jalkapenkkiprässissä EMG signaaleilla ulommasta ja sisemmästä reisilihaksesta. Passiivinen lihasnykäysvaste mitattiin kolmipäisestä pohjelihaksesta. Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) testattiin ensimmäisen viikon lisäksi myös viikoilla 5 ja 8.

Tutkimuksen päälöydöksiä olivat aerobiselta kuntotasoltaan erikuntoisten alokkaiden hermolihaskjärjestelmän muuttujissa (H – refleksi ja V – aalto) havaitut erot. Tämä oli havaittavissa erityisesti V – aaltovasteissa, jotka olivat tilastollisesti alhaisemmat huonokuntoisemmalla ryhmällä koko peruskoulutuskauden ajan. H – refleksi oli tilastollisesti korkeampi G1 ryhmällä 5 viikon harjoittelun jälkeen verrattuna molempiin G2 ja G3 ryhmiin (G2 -39 % $p < 0.01$, G3 -32 % $p < 0.05$). H – refleksi kasvoi merkittävästi vain ryhmän G2 sisällä ja viimeisen 3 harjoitusviikon aikana (38 % $p < 0.05$). V – aalto oli merkittävästi alhaisempi G3 ryhmällä verrattuna G1 ryhmään peruskoulutuskauden

alussa, 5 viikon jälkeen sekä kauden lopussa (-40 % - -57 % $p < 0.01 - 0.05$). Lihaskuuden muuttujissa (jalan ojennusliikkeen MVC sekä räjähtävän voimantuotto) ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia ryhmien sisällä tai niiden välillä. Passiivinen lihasnykäys osoitti merkittävästi korkeampi arvoja G1 ryhmälle verrattuna G2 ryhmään 5 viikon harjoittelun jälkeen (-28 % $p < 0.05$). $aEMG_{500} / aEMG_{max}$ -suhde osoitti merkitseviä löydöksiä G3 ryhmän sisällä harjoitusviikoilla 1 ja 5 (-35 % $p < 0.05$). Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) arvot kasvoivat kaikissa ryhmissä koko peruskoulutuskauden ajan. Tilastollisesti merkittävät VO_{2max} muutokset näkyivät ryhmissä G1 ja G2, mitkä olivat merkittävästi korkeammat verrattuna ryhmään G3 5 viikon jälkeen (G1 -27 % $p < 0.01$, G2 -20 % $p < 0.01$) sekä 8 viikon jälkeen (G1 -25 % $p < 0.01$, G2 -21 % $p < 0.01$).

Tutkimuksen johtopäätös oli, että hyväkuntoisten alokkaiden huomattavasti paremmat H-refleksivasteet osoittavat heikompaa hermolihasjärjestelmän adaptoitumista niillä, joilla on huonompi aerobinen suorituskyky. Tätä johtopäätöstä tukee myös hyväkuntoisten alokkaiden korkeammat V-aaltovasteet, kun verrattiin niitä heikompikuntoisten vasteteisiin kaikilla mittausviikoilla. Heikko sentraalinen aktiivisuus voi yleisesti johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen ja sen vuoksi jopa sotilaskoulutuksen keskeytyksiin. Tietynlainen harjoittelu voi parantaa näitä tuloksia, kun aiemmissa tutkimuksissa on todettu jopa 3-4 viikon voimaharjoittelun osoittavan kasvua hermolihasjärjestelmän vasteissa. Passiivisen lihasnykäyksen tuloksissa ei havaittu huomattavia muutoksia, mikä osoittaa, että lihaksen voimantuotto-ominaisuudet eivät heikentyneet, mutta eivät myöskään kehittyneet peruskoulutuskauden aikana. Ylikuormittumisesta ei havaittu merkkejä missään ryhmissä, kun tarkasteltiin voimantuoton ja aerobisen suorituskyvyn tuloksia.

Avainsanat: Aerobinen suorituskyky, hermolihasjärjestelmän väsyminen, ylikuormitus

ABSTRACT

Salo Kristiina 2013. Neuromuscular adaptation of conscripts during an 8-week military basic training period in Finnish winter conditions. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä. Master's Thesis of Biomechanics, 70 p.

The purpose of this study was to evaluate the development of neuromuscular adaptation, whether aerobic capacity (VO_{2max}) is related to the neuromuscular adaptation and possible overreaching of the neuromuscular system during 8 weeks of basic training (BT) in winter conditions. 24 male conscripts (18-21 years) participated in the study. They were divided into three groups (G1 good; G2 moderate; G3 low) based on their VO_{2max} values at the beginning of BT. Good > 46.0 ml/kg/min for group 1; moderate $40.0 - 45.9$ ml/kg/min for group 2; low < 39.9 ml/kg/min for group 3.

H-reflex (H_{max}/M_{max}) at rest and V-wave (V/M_{max}) during maximal isometric plantar flexion were measured from the soleus muscle in the beginning, after 5 weeks and at the end of 8 week long BT. Maximal leg extension force (MVC) and rapid force production as a peak force (0-500ms) were measured from quadriceps muscle group during maximal isometric leg bench press at the same time points. Muscle activity was measured in the same leg bench press with EMG signals from Vastus Lateralis and Vastus Medialis muscles. Passive twitch response was measured from Triceps Surae muscle.

The major finding of this study was the differences observed in the neural activity (H-reflex and V-wave) in conscripts of different aerobic fitness level. This was seen especially in V-wave responses which were significantly lower in the poor aerobic capacity group during the entire BT period. H-reflex was significantly higher in G1 after 5 weeks of training compared to both G2 and G3 (G2 -39% $p < 0.01$, G3 -32% $p < 0.05$). H-reflex increased significantly only within G2 and during the last 3 weeks of training (38 % $p < 0.05$). V-wave was significantly lower in G3 compared to G1 in the beginning, after 5 weeks and at the end of BT (from -40 % to -57 % $p < 0.01 - 0.05$). There were no significant differences between the groups or changes in any of the groups in leg extension MVC or in rapid force production during the basic training. Passive twitch

showed significantly higher values in G1 than in G2 during the fifth week of training (-28% $p < 0.05$). $aEMG_{500} / aEMG_{max}$ – ratio from right leg extension showed significant findings within G3 between training weeks 1 and 5 (-35 % $p < 0.05$). The aerobic capacity measures (VO_{2max}) showed a rising development for all groups during the entire basic training period. Statistically significant differences of VO_{2max} were observed in groups G1 and G2 which were significantly higher compared to group G3 after 5 weeks (G1 -27% $p < 0.01$, G2 -20% $p < 0.01$) and after 8 weeks (G1 -25% $p < 0.01$, G2 -21% $p < 0.01$).

In conclusion significantly better H – reflex response for good level conscripts indicates weaker neuromuscular adaptation of those with poor in aerobic fitness level. This conclusion is also supported by the higher V – wave responses of the good level conscripts versus low in every week the measurements were made. Weaker central activity can lead to overall decrease in performance and therefore even to interruptions from military training. Certain type of training could improve these results while even 3-4 weeks of strength training has been shown to increase the neuromuscular responses. Passive twitch showed no significant change which indicates the muscle properties did not weaken but did not develop either. There were also no signs of overreaching in any group based on the measured force production and aerobic capacity values.

Keywords: Aerobic capacity, neuromuscular fatigue, overreaching

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	4
SISÄLTÖ	6
1 JOHDANTO	7
2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄ JA AEROBINEN SUORITUSKYKY	8
2.1 Hermolihasjärjestelmän toiminta ja hermostollinen ohjaus	8
2.2 Aerobinen suorituskyky	12
3 VÄSYMINEN.....	15
3.1 Sentraalinen väsymys	16
3.2 Perifeerinen väsymys	23
3.3 Väsymisen vaikutukset aerobiseen suorituskykyyn	26
4 HARJOITUSVASTEIDEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN	28
4.1 Voimaharjoittelun vaikutukset	28
4.2 Kestävyysharjoittelun vaikutukset	30
4.3 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset.....	31
4.4 Armeijan peruskoulutuskauden harjoittelumuoto	32
4.5 Ylikuormittuminen	33
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	37
6 LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

Nuorten suomalaismiesten fyysinen kunto on heikentynyt viime vuosikymmeninä sekä samanaikaisesti heidän kehon massa on kasvanut merkittävästi (Santtila ym. 2006). Armeijan peruskoulutuskausi voi olla liian raskasta alokkaille, jotka ovat huonossa fyysisessä kunnossa, mikä voi johtaa mahdolliseen palvelusajan keskeytykseen.

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet myös maailmanlaajuisen trendin nuorten miesten aerobisen suorituskyvyn heikkenemisessä ja liikalihavuuden kasvamisessa (Kyröläinen ym. 2010). Aerobinen suorituskyky onkin yksi hyvä fyysisen kunnan mittari, kun pyritään selvittämään henkilöiden yleistä fyysistä hyvinvointia sekä harjoittelusta aiheutuneita vaikutuksia elimistölle. Lisäksi tutkimustulokset aerobisesta suorituskyvystä yhdessä hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn kanssa antavat hyvän kuvan henkilön yleisestä kuntotasosta (Kyröläinen ym. 2010).

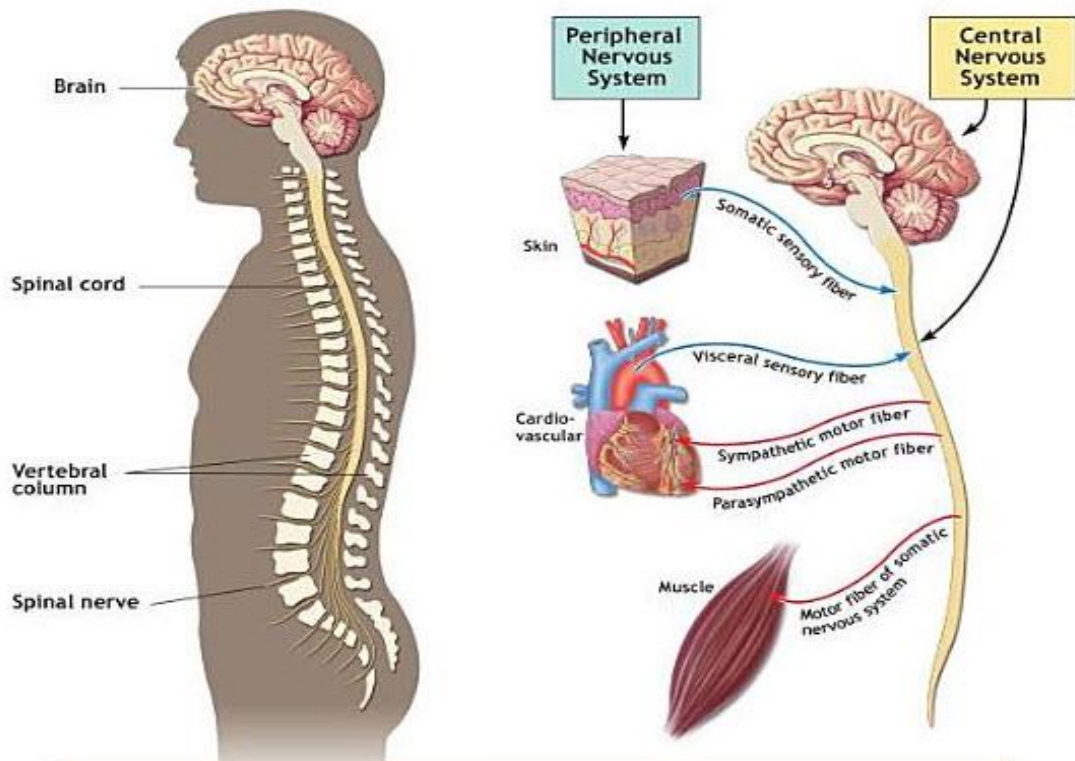
Aiemmassa vastaavanlaisessa hermolihasjärjestelmään keskittyneessä tutkimuksissa ei havaittu merkkejä ylikuormittumisesta kesäaikana tapahtuneessa armeijan koulutuksessa. Talvi ja kylmät olosuhteet voivat kuitenkin tehdä harjoittelun vielä vaativammaksi. Tuossa tutkimuksessa koehenkilöt oli jaettu ryhmiin heidän kehon rasvaprosentin mukaan. (Pirainen ym. 2008) Tutkimalla hermolihasjärjestelmän muutoksia yhdessä hapenottokyvyn muutosten kanssa voidaan saada tärkeää tutkimustietoa alokkaiden peruskoulutuskauden kuormittavuudesta sekä erilaisten harjoitusvasteiden vaikutuksista eri kuntoisiin alokkaisiin.

Tässä pro gradu työssä keskityttiin tutkimaan armeijan peruskoulutuskauden aikaansaamia vaikutuksia hermolihasjärjestelmään ja pyrittiin selvittämään yhteyttä hapenottokyvyn sekä hermolihasjärjestelmän muutosten välillä. Toissijaisena tutkimustavoitteena oli tutkia talviaikaan tapahtuvan peruskoulutuskauden mahdollisesti aiheuttamaa hermolihasjärjestelmän ylikuormittuneisuutta.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄ JA AEROBINEN SUORITUSKYKY

2.1 Hermolihasjärjestelmän toiminta ja hermostollinen ohjaus

Hermosto voidaan rakenteellisesti jakaa kahteen osaan; keskus- ja ääreishermostoon (kuva 1). Keskushermosto käsittää aivot ja selkäytimen. Sitä sanotaan myös sentraaliseksi hermostoksi. Ääreishermosto puolestaan käsittää autonomisen hermoston perifeeriset osat sekä aivo- ja selkäydinhermot. Näihin sisältyy sekä liikkeitä että sisäelimiä säätelevä hermosto eli toisinsanoin kaikki motoriset ja sensoriset hermot. Ääreishermostoa kutsutaan toisella nimellä perifeeriseksi hermostoksi. (Palo ym. 1988, 19; McArdle ym. 2010, 378)



KUVA 1. Keskus- ja ääreishermoston rakenne (McArdle ym. 2010, 378).

Lihaksen hermostollinen kontrolli on yksittäisten hermo-lihasjärjestelmän osien yhteistoimintaa. α – motoneuronit, jotka sijaitsevat aivo- ja selkäydinhermojen juuressa ovat aktiivinen osa lihasten toiminnan ohjauksessa. α – motoneuroni ja lihassolut ovat kiin-

nittyneitä toisiinsa niin sanotulla hermo-lihasliitoksella. Tätä α – motoneuronista sekä sen hermottamista lihassoluista muodostuvaa toiminnallista osaa kutsutaan motoriseksi yksiköksi. Motorisessa yksikössä toimivien välittäjäaineiden avulla voidaan viedä hermostossa kulkevaa signalointia lihakseen ja takaisin. (Sand ym. 2011, 109; Enoka 2002, 278–279) Keskushermostoon päin käskyjä tuovia hermosyitä kutsutaan afferenteiksi ja siitä pois päin vieviä efferenteiksi. Motoriset liikehermot ja autonomiset hermosyyt toimivat efferentteinä eli ne kuljettavat hermostossa kulkevaa signalointia keskushermoston ylemmistä osista selkäytimen ja motorisen yksikön kautta lihakseen ja sisäelimiin. Sensoriset tuntohermot taas toimivat afferentteina ja tuovat ääreishermoston reseptoreista viestisignaaleja keskushermostoon päin. (Palo ym. 1988, 52; McArdle ym. 2010, 378)

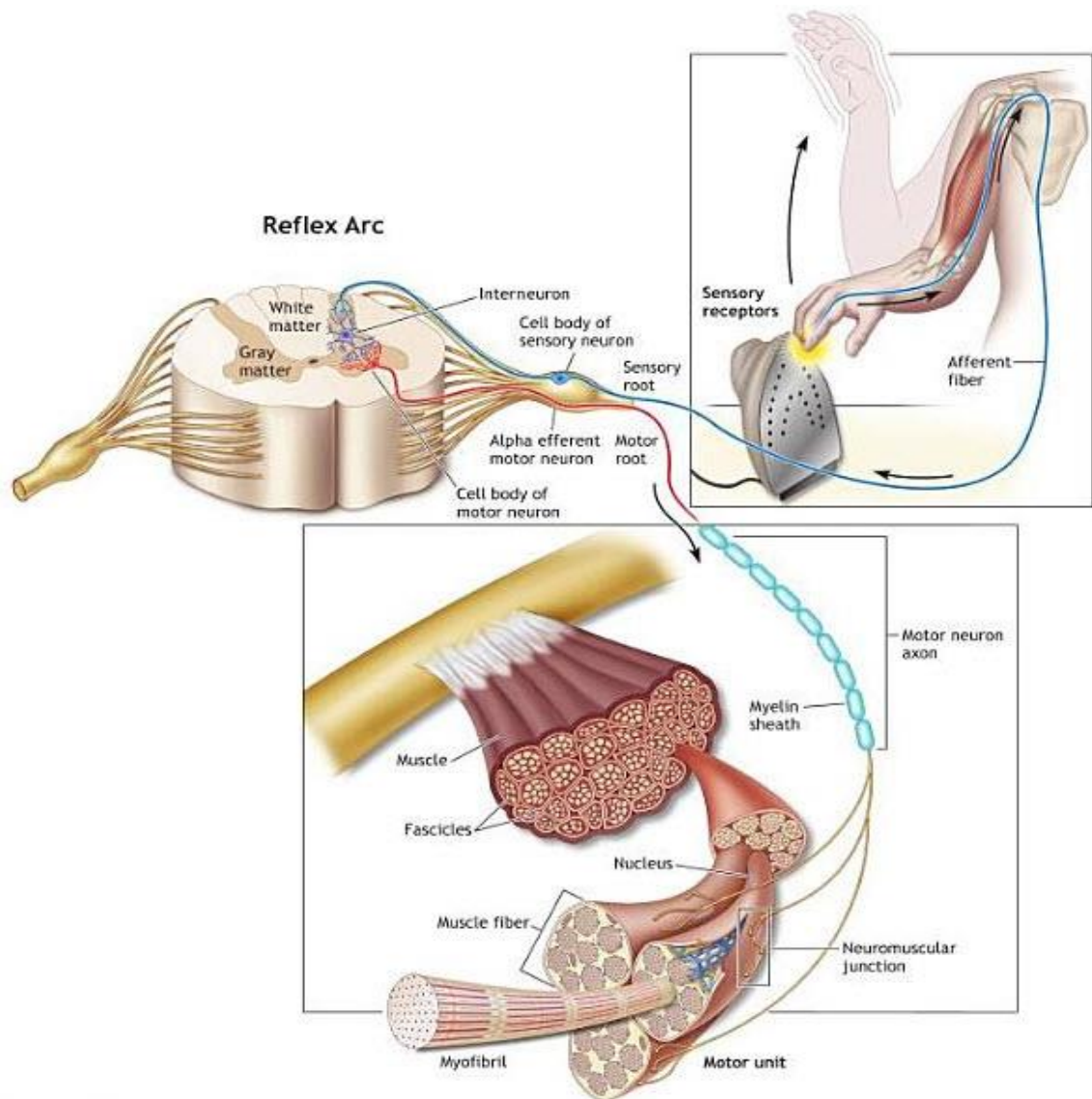
Eri lihaksissa on eri määrä motorisia yksiköitä sekä niiden välillä olevien motoristen yksiköiden koko on hyvin vaihteleva. Lihaksen käskytyks tapahtuu keskushermoston kautta säätämällä yksittäisen motorisen yksikön syttymistäajuutta sekä kiihdyttämällä uusien motoristen yksiköiden rekrytointia. Motoriset yksiköt voidaan myös jakaa erityyppisiin toimijoihin, hitaisiin ja nopeisiin niiden hermottamien lihassolutyyppien mukaan. Nimensä mukaisesti nopeat motoriset yksiköt rekrytoituvat nopeammin ja kykenevät myös tuottamaan suuremman supistusvoiman kuin hitaat yksiköt. Hitaat yksiköt taas selviävät paremmin mm. kestävyystyyppisestä harjoitteesta eli ne eivät väsy niin nopeasti kuin nopeat yksiköt. (Enoka 2002, 283–284)

Lihaksen sisällä tapahtuvaa perifeeristä toimintaa kuvattaessa täytyy tarkastella lihaksen rakennetta solutasolla sekä lihaksiston ympärillä olevan solukalvoston toimintaa. Lihaskoostuu lihassoluista, joiden sisällä on myofibrillisäikeitä. Myofibrilli puolestaan koostuu useista vierekkäisistä myosiini- ja aktiinifilamenteista. Filamentit muodostavat yhdessä poikittaissiltoja, ja ne pääsevät liukumaan toistensa lomiin mm. lihassupistuksen tai lihasvenytyksen tapahtuessa. Lihassolua ympäröi sarkoplasmaattinen solulimakalvosto, joka jatkuu myös solun sisään painuneena niin sanottuna T-putkistona. (Vuori & Taimela 1999, 26–27) Myofilamentit kykenevät kampeamaan itsenään aktiinifilamenteja pitkin tiettyjen valkuaisainemolekyylien, troponiinin ja tropomyosiinin sekä solulimakalvostosta vapautuvan välittäjäaineen, kalsiumin avulla. Tämä tapahtuu, kun sarkoplasmaattisesta solulimakalvostosta vapautuneet kalsiumionit sitoutuvat troponiiniin, joka siirtää tropomyosiinin syrjään peittämästä aktiinin aktiivisia kohtia. Tällöin aktiini pääsee reagoimaan myosiinin kanssa ja myosiini pääsee oman ATP – varastonsa pilk-

koutumisesta saadun energian voimin kampeamaan aktiinia myöten. (Sand ym. 2011, 241)

Sentraalinen ohjaus. Lihassupistuksen hermostollinen osuus on yhteydessä eri välittäjäaineiden toimintaan ja näin ollen solukalvon toimintajännitteen muutoksiin. Lihassupistuksessa lihasta hermottamassa motorisessa hermosyössä kulkeutuu sähköinen aktiopotentiaali ja hermosolukalvon natrium - kaliumionien jakauma muuttuu hetkellisesti solukalvon ulko- ja sisäpinnoilla. Kun hermosolun aktiopotentiaali jatkaa etenemistään motoriseen päätelevyyn, hermo-lihasliitoksesta vapautuu asetyylikoliini nimistä eksitovaa välittäjäainetta ja natriumionit pääsevät etenemään lihassolukalvon sisälle. (Palo ym. 1988, 69–71) Näin myös lihassolukalvon sähköinen varaus muuttuu eli aktiopotentiaaliksi sanotaan etenevän hermo-lihasliitoksesta lihassolun sisälle samalla aiheuttaen kaliumionien vapautumisen lihassolulimakalvostosta. (Vuori & Taimela 1999, 27) Tämä muutos käynnistää lihassolutasolla edellä kuvatun perifeerisen toimintaketjun lihassupistuksen tuottamiseksi. Lihaksen sentraalista ohjausta voidaankin esitellä seuraavalla lihassupistusta kuvaavalla laajemmalla tapahtumaketjulla, kun otetaan perifeerisen toiminnan lisäksi mukaan myös edellä kuvatut muut hermolihaskäytännön osat. Lihaksen toiminnan käskytyssignaali lähtee liikkeelle keskushermoston ylemmistä osista, motorisesta aivokuoresta. Sieltä se etenee efferentteja hermostoratoja pitkin α – motoneuroniin ja edelleen motorisen aksonin kautta aktiopotentiaaliksi hermo-lihasliitokseen. Liitoksesta signaali etenee välittäjäaineiden avulla lihassolun sarkolemmaan, T- tubuluksiin ja lopulta aktiini- ja myosiinifilamenttien yhteistoiminta aiheuttaa lihassupistuksen. (Gandevia 2001)

Spinaalinen ohjaus. Hermostollinen kontrolli on sentraalisen ohjauksen lisäksi riippuvainen myös spinaalisella tasolla eli selkäytimessä tapahtuvasta lihasten aktivoinnista. Spinaalisen tason refleksit ohjaavat monia lihastoimintoja heijaste- eli refleksikaaren avulla (kuva 2). Refleksi voi olla joko mono- tai polysynaptinen heijaste. Monosynaptisessa heijasteessa on vain yksi sensorinen neuroni sekä α – motoneuroni, kun taas polysynaptisessa heijasteessa niiden välissä voi olla välineuroneja ja täten monta synapsia. (Nienstedt ym. 2004, 546–547)



KUVA 2. Refleksikaari (McArdle ym. 2010, 384).

Spinaalisella tason tiedonsiirron muutoksia tekevät sensoriset reseptorit ja tuntohermot, mitkä ovat herkkiä lihassupistuksessa tapahtuville mekaanisille, kemiallisille, metaboli- sille eli aineenvaihdunnallisille sekä ionikonsentraatioissa tapahtuville muutoksille (Garland ym. 1991; Bigland-Ritchie ym. 1986). Refleksivasteen muutokset voivat olla esimerkiksi primaaria monosynaptista sensorista neuronina (Ia -afferentti) eksitoivia, samanaikaisesti Ia afferenttia neuronina inhiboivia (rinnakkainen inhibitio) tai presynaptista inhibitiota aiheuttavia. Refleksin inhibitiolla saavutetaan mm. joustava reagointi stimu- lukseen sekä suojataan lihasta ja siihen liittyviä kudoksia esimerkiksi vammautumisilta. Tällaisia muutoksia aikaansaavia refleksikaaren osia ovat välineuronit kuten Renshaw solut sekä Golgin jänne-elimet. (Devenandan ym. 1966, Eccles ym. 1957; Fetzi ym. 1979; Garland ym. 1991; Bigland-Ritchie ym. 1986) Golgin jänne-elimet voivat vaikut-

taa merkittävästi hermossa tapahtuvaan tiedonsiirtoon, koska ne voivat muuttaa tietoa jo ennen kuin syöte saavuttaa motoneuronin. Tällaista ennen synapsia tapahtuvaa inhibitiota kutsutaan presynaptiseksi inhibitioksi. Golgin jänne-elimen tehtävänä onkin havaita ja tarvittaessa muuttaa lihasjännityksessä tapahtuvia voimatason muutoksia. (Devenandan ym. 1966, Lafreux ym. 1992) Niin lihasvenytys kuin lihassupistuskinnitys aktivoi Golgin jänne-elintä, jolta Ib afferentti kuljettaa inhiboivaa signaalia edelleen synergistilihaksille (Fetz ym. 1979). Refleksivaste voi myös vaihdella riippuen refleksikaaren välineuronin saapuneesta tiedosta sekä välineuronin aiheuttamasta tiedon muutoksesta. Esimerkki tällaisesta muutoksesta on rinnakkainen inhibitio ('recurrent inhibition'), missä Ia afferenttiin aiheutunut inhibitio on seurausta inhibitorisen Renshawin solun tekemistä paikallisista välineuronimuutoksista refleksikaareissa (Hultborn ym. 1979).

Afferentit voidaan jakaa eri ryhmiin sen mukaan mitä osaa refleksikaareissa ne signaloivat sekä niiden erilaisen johtumisnopeuden perusteella (Garland ym. 1991; Brown ja Fyffe 1979). Ryhmän Ia ja II afferentit ovat mekaanisiin muutoksiin reagoivia suuria myeliinitupellisia hermosyitä ja ne tuovat viestisignaaleja motoneuronin lihasspindelilta. Ib afferentit puolestaan kuljettavat keskushermostoon päin viestisignaaleja Golgin jänne-elimiltä. (Garland ym. 1991) Diametriltaan pienemmät afferentit kuuluvat ryhmiin III sekä IV ja niillä on hyvin voimakas vaikutus inhiboiviin välineuroneihin kuten Renshawin soluun sekä alfa- ja gammamotoneuronien syttymistaajuusmuutoksiin (Garland ym. 1991; Bigland-Ritchie ym. 1986). Ryhmän III ja IV vapaat hermopäätteet aktivoituvat lihaksessa syntyvien aineenvaihduntatuotteiden vaikutuksesta (Bigland-Ritchie ym. 1986). Nämä afferentit ovatkin ainoita hermosyitä, joiden tiedetään reagoivan kemialliseen stimulusiin ollen kemosensoitiivisia (Garland ym. 1991).

2.2 Aerobinen suorituskyky

Aerobista kuntoa pidetään yhtenä kuntoparametrina lihasvoiman ja kestävyyskunnan rinnalla. Itse termi, 'aerobinen kunto' ('aerobic fitness'), viittaa useisiin kuntotasoa kuvaaviin termeihin, kuten sydämen, verenkierto- ja hengityselimistöön kuntoon sekä VO_{2max} eli maksimihapenottokykyyn. Sen avulla voidaankin kuvata hyvin henkilön verenkierto- ja hengityselimistöön kykyä siirtää happea lihaksistolle fyysisen aktiivisuuden aikana. (Kyröläinen ym. 2010) Aerobisen kunnan on todettu olevan tärkeä tekijä myös ylläpidettävän suorituskyvyn kannalta mm. alokkaiden peruskoulutuskauden harjoitte-

lun aikana (Tanskanen ym. 2009). Alentunut aerobinen kunto voi olla merkki alokkaan kasvaneesta riskistä peruskoulutuskauden aikana tapahtuvaan loukkaantumiseen tai sairastumiseen ja sitä kautta lyhentyneeseen sotilaspalvelusaikaan (Jones ja Knapik 1999, Tanskanen ym. 2009, Santtila ym. 2008).

Verenkiertoelimistöllä tarkoitetaan sydämen, veren sekä verisuoniston yhdessä muodostamaa kokonaisuutta. Kun tämän kokonaisuuden avulla veri kuljetetaan sydämen, kudosten ja keuhkojen välillä, saadaan varmistettua kudosten ravinnonsaanti, kuona-aineiden poistaminen elimistöstä sekä elimistön suojaaminen esimerkiksi eri kehon osien lämpötila- tai nestepitoisuuserojen tasoittamisessa. (Sand ym. 2011, 268) Jotta aerobisen suorituskyvyn ominaisuuksia ymmärtää tarkemmin, on tarkasteltava sydämen toimintaa sen mekaanisten ominaisuuksien eli minuutti- ja iskutilavuuden sekä sykintätaajuuden perusteella. Sydämen minuuttitulavuus kertoo pumpatun veren määrästä sekä sykintätiheydestä yhden minuutin ajalta, kun taas iskutilavuus kuvaa sydämestä aorttaan siirtyvää verimäärää yhden supistuksen aikana (Mero ym. 2004, 85). Kun suunnitellaan elimistön aerobisten kestävyysominaisuuksien kehittämistä, pyritään yleensä vaikuttamaan sydämen minuuttitulavuuden kasvattamiseen, koska se on suorassa suhteessa kuormituksen lisääntymisen kanssa (Vuori & Taimela 1999, 34). On myös huomattavaa, että työssä käytettävän lihasmassan osuus on suorassa suhteessa sydämen minuuttitulavuuden kanssa. Tämä näkyy kasvaneena minuuttitulavuutena mm. urheilusuorituksissa, joissa on sekä ala- että yläraajat tehokkaasti käytössä. (Mero ym. 2004, 86) Sydämen syke on lineaarisesti suorassa suhteessa kuormituksen intensiteettitasoon kanssa (Vuori & Taimela 1999, 34). Kun kuormituksen intensiteetti kasvaa lähelle maksimisykettä, sykkeen nousu kuitenkin hidastuu ja tasaantuu suhteessa kuorman nousuun. Tämä on merkki henkilön maksimisyketason saavuttamisesta. (Hoffmann 2002, 47–48)

Hengityselimistö koostuu keuhkoista, hengitysteistä ja hengityslihaksista. Sen tehtävänä on huolehtia keuhkojen ja veren välillä tapahtuvasta keuhkotuuletuksesta eli ventilaatiosta sekä kaasujen vaihdosta. (Mero ym. 2004, 73) Hengityselimistö toimii yhdessä verenkiertoelimistön kanssa saadakseen kuljetettua keuhkorakkuloista siirtyvää happea laskimoveren kautta kudoksille ja samalla poistettua kudoksista vereen siirtynyttä hiili-dioksidia keuhkoalveoleihin. (Hoffmann 2002, 45–46) Keuhkotuuletus tehostuu kuormituksen kanssa samassa suhteessa ja on lineaarisesti suhteessa elimistön energian tarpeeseen (Mero ym. 2004, 76). Kasvun aiheuttajina toimivat niin kemialliset kuin her-

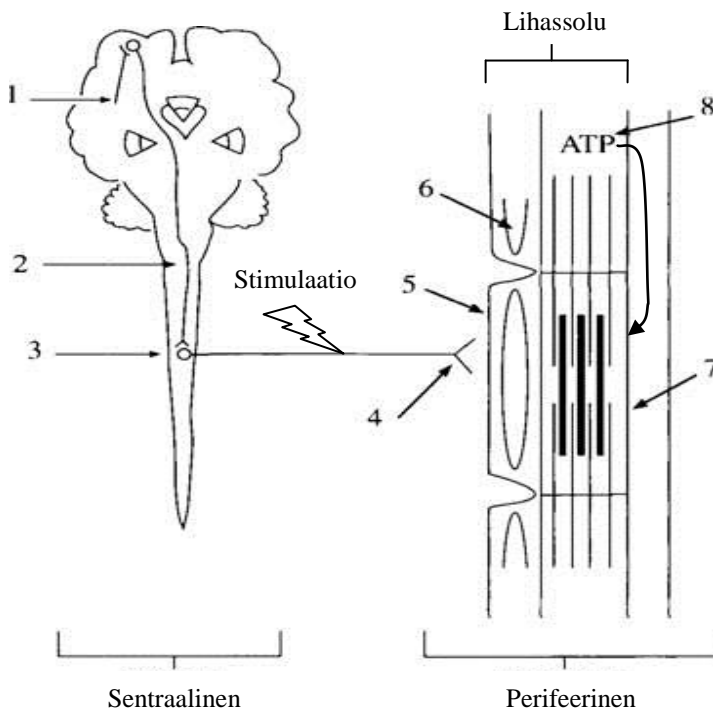
mostolliset tekijät. Esimerkiksi submaksimaalisen harjoituksen aikana keuhkotuuletus kasvaa lineaarisesti hapenoton kanssa, mikä on tulosta hengitystilavuuden kasvamisesta. Kun harjoitusintensiiteettiä edelleen kasvatetaan, hapen kulutuksen kasvuun vaikuttaa enemmän hengitystaajuuden kasvaminen. (Hoffmann 2002, 51)

Aerobinen energianmuodostus tapahtuu hiilihydraattien avulla solun mitokondrioissa sitruunahappokierron eli Krebsin syklin tuloksena sekä rasvavarastojen avulla solun sytoplasmassa ns. β – oksidaatio – reaktiossa (McArdle 1991, 119). Aerobinen energiantuotto on hitaampaa kuin anaerobinen, mutta se on paljon taloudellisempaa eli tuottaa enemmän ATP – molekyyliä energiavarastoiksi. Sen avulla ei pystytä tuottamaan tarvittavaa energiaa suuri intensiteettisen suorituksen alkuvaiheessa, mutta aerobisten energiantuottomekanismien (sitruunahappokierto ja β – oksidaatio) merkitys korostuu suorituksen keston pidentyessä. (McArdle 1991, 127)

Aerobisen suorituskyvyn mittarina on käytetty maksimaalista hapenottoa eli VO_{2max} – arvoa, joka on tärkeä komponentti määriteltäessä fyysisen kunnon profiilia (ACSM 2006, 66). Sen avulla kuvataan elimistön kykyä muodostaa Adenosiinitrifosfaattia (ATP) eli energiaa aerobisesti. Maksimaalisen hapenottokyvyn taso voi olla eri ihmisillä erilainen riippuen kehon koostumuksesta, harjoitustaustasta, perimästä, kuormitustavasta, sukupuolesta sekä iästä. Maksimaalisen hapenottokyvyn saavuttaminen suorituksen aikana vaatii niin hengitys- ja verenkiertoelimistön kuin hermolihasjärjestelmän yhteistoimintaa. (McArdle 1991, 211) Aerobinen suorituskyky voidaan määritellä mittaamalla maksimihapenottokyky (VO_{2max}), joko laboratorio-olosuhteissa tai erilaisilla kenttätesteillä, kuten 12 minuutin juokstestillä. Maksimihapenottokykyä voi parantaa jopa 12 % oikeanlaisella fyysisellä harjoituksella. Tosin, tutkimusten mukaan 40–60 % sen vaihteiluista on geneettisesti määrättyä. (Kyröläinen ym. 2010, Santtila ym. 2008)

3 VÄSYMINEN

Väsymyksen on määritelty olevan harjoittelusta aiheutunutta akuuttia suorituskyvyn heikkenemistä (Enoka & Stuart 1992; Gandevia ym. 1996). Väsymys tulee ilmi lisääntyneenä ponnisteluna saavutetun voiman ylläpitämiseksi sekä lopulta kyvyttömyytenä tuottaa tätä voimaa (Barry & Enoka 2007). Väsymys voi olla aiheutunut perifeerisistä lihassolun tasolla tapahtuvista muutoksista (kuvan 3 osat 6-8), mutta myös vähentyneestä keskushermoston motorisesta ohjauksesta eli sentraalisesta väsymyksestä (kuvan 3 osat 1-5) (Gandevia 2001; Bigland-Richie ym. 1983, Bigland-Ritchie 1981).



KUVA 3. Väsymystä aiheuttavat sentraaliset sekä perifeeriset komponentit (mukaeltu Bigland-Ritchie 1981). 1. Motorisen aivokuoren aktivoiminen, 2. Keskushermoston ohjaus motoneuroonille, 3. ja 4. Motoriset yksiköt, jotka aktivoivat lihaksia, 5. hermolihassjärjestelmän sähköiset ominaisuudet ja käskytysviestien johtuminen, 6. ärsytys-supistusyhdistelmä, 7. ja 8. energiantuottoa varten tarvittavat aineenvaihduntatuotteet ja solunsisäiset prosessit.

Väsymystä aiheuttavat muuttujat voidaan näin ollen jakaa niin sanottuihin sentraalisiin ja perifeerisiin komponentteihin, jotka on esitetty kuvassa 3 (Bigland-Ritchie 1981). Jos jokin näistä fysiologisista muuttujista heikkenee väsyttävän harjoituksen seurauksena,

voi henkilölle aiheutua väsymykselle ominaista voimantuoton heikkenemistä. (Bigland-Ritchie 1981).

3.1 Sentraalinen väsymys

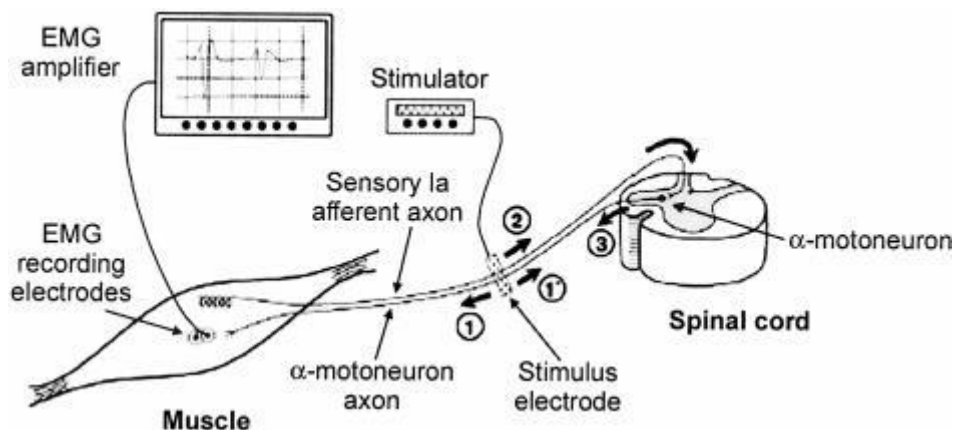
Sentraalinen väsymys tarkoittaa keskushermoston motoriseen ohjaukseen vähitellen kehittyvää alenevaa kykyä aktivoida lihasta maksimaalisesti. Se kehittyy maksimaalisessa suorituksessa, joka voi olla joko pidätettyä tai toistoilla tehtyä. (Gandevia ym. 1996; Nordlund ym. 2004.) Sentraalinen väsymys voi johtaa henkilön lopulliseen väsymykseen ja tehtävän keskeyttämiseen, vaikka lihaksessa olisikin vielä kapasiteettia jatkaa tehtävää (Gandevia 2001). Osa aiheutuneesta väsymyksestä johtuu supraspinaalisen ohjauksen vaikutuksesta motoneuronien toimintaan eli supraspinaalisesta väsymyksestä, mikä on yksi sentraalisen väsymyksen komponentti. Sentraalinen ohjaus toimii tällöin ikään kuin lihaksen suojelejana, jotta perifeeristä väsymystä ei pääsisi tapahtumaan enempää. Tosin suojeleminen tapahtuu maksimaalisen suorituskyvyn kustannuksella. (Gandevia 2001)

Väsymyksen voimakkuus vaihtelee eri lihasryhmien, suoritettavan tehtävän sekä yksilöiden välillä (Gandevia 2001; Taylor ym. 2000). Yksilöllisiä eroja aiheutuu mm. hitaiden ja nopeiden lihassolujen jakauman sekä erikokoisten lihasten vuoksi (Gandevia ja Taylor, 2006). Moni sentraaliseen väsymiseen liittyvä mekanismi on riippuvainen myös käytettävästä voimantasosta sekä suoritettavasta harjoitustyypistä (esim. jatkuva tai tauotettu). Tämä viittaa siihen, että sentraalinen väsymys on hyvin vahvasti yhteydessä tehtäväkohtaiseen väsymiseen. (Gandevia ja Taylor, 2006) Vaikka suurin osa väsymyksestä aiheutuu yleensä lihassoluista, osa voiman menetyksestä johtuu kuitenkin motoneuronien riittämättömästä aktivaatitasosta. (Taylor ym. 2000)

Sentraalisen väsymyksen vaikutusmekanismit voidaan edelleen jakaa supraspinaaliseen ja spinaaliseen väsymykseen riippuen sen aiheuttajamekanismin sijainnista hermolihasjärjestelmässä.

Spinaalinen väsymys. Sentraalisia muutoksia tapahtuu spinaalisella tasolla väsyneeseen lihakseen tulevien lihasspindelien, Golgin jänne-elimien sekä ryhmien III ja IV lihasafferenttien vaihtelevan signaloinnin vuoksi (Gandevia 2001). On ehdotettu, että yk-

si sentraalista väsymystä aiheuttava mekanismi olisi spinaalisella α – motoneuronitasolla tapahtuva rekrytointi- tai syttymistaajuusmuutos (Bigland-Ritchie ym. 1986; Bigland-Ritchie ym. 1983; Macefield ym. 1991). Näiden löydösten mukaan Ia afferenttien alentunut ärtyvyyskynnys johtuisi nimenomaan lihasspindelien alentuneista syttymistaajuuksista (Macefield ym. 1991; Bigland-Ritchie ym. 1986, Garland ym. 1991). Tämä voi olla tulosta ryhmän III- ja IV afferenttien aiheuttamasta lisääntyneestä presynaptisesta inhibitiosta (Garland ym. 1991). Ryhmien III ja IV – afferentit ovat diametriltään pieniä hermopäätteitä, jotka aktivoituvat herkästi ja voimakkaasti nimenomaan väsymyksen yhteydessä syntyvien biokemiallisten aineenvaihduntatuotteiden, kuten bradykiniinin, laktaatin ja fosfaatin vaikutuksesta ja ovat osallisina vaikuttamassa Alpha – motoneuronien lisäksi myös γ -motoneuronien syttymistaajuuden laskuun. (Bigland-Ritchie ym. 1986; Garland ym. 1991). Alpha – motoneuronitasolla tapahtuvien alentuneiden rekrytointimuutosten on erään tutkimuksen (Avela ym. 1999) mukaan todettu olevan seurausta ryhmän III- ja IV – afferenttien aiheuttaman presynaptisen inhibition lisäksi heikentyneestä γ - silmukan toiminnasta. Tämä ilmenee γ -motoneuronien alentuneena lihasspindelien aktivoimisena sekä Ia afferenteissa kulkevien impulssien vähenemisenä ja edelleen α – motoneuronialtaan herkkyyden laskuna. Lisääntyneen inhibition sekä alentuneen spinaalisten refleksien käyttöasteen tuloksena motoneuroneja on vaikeampaa käskyttää maksimaalisesti. Keskiarvoinen motorisen yksikön syttymistaajuus yleensä laskee liian nopeasti ylläpitääkseen maksimivoimaa. (Gandevia, 2001)



KUVA 4. Mittausjärjestely H – refleksin mittaukselle (Aagaard ym. 2002).

H – refleksi. H – refleksi on mittausmenetelmä, jolla on selvitetty motoneuronien ärtyvyystilaa (Schieppati, 1987). Se kuvaa koko refleksikaassa tapahtuvia muutoksia (kuva 4.) (Racinais ym. 2007; Aagaard ym., 2002). Tarkemmin sanottuna EMG – mittalait-

teessa näkyvä H – aalto on α – motoneuronaltaan refleksivaste, joka kuvaa signaalin kulkeutumista lihasspindelistä lähteivissä paksuissa Ia lihassyissä. Sen suuruus riippuu hitaiden motoristen yksiköiden kokonaismäärästä sekä rekrytoitumiskynnyksestä (Maffiuletti ym. 2001). H – refleksin amplitudia onkin yleisesti käytetty selkäydintasolla tapahtuvien muutosten tutkimiseen (Aagaard ym. 2002; Schieppati 1987).

H - refleksivaste saadaan aikaiseksi submaksimaalisella hermostimulaatiolla, mikä aiheuttaa pääasiassa hitaiden motoristen yksiköiden aktivoitumisen (Maffiuletti ym. 2001). H – refleksi on siis sähköisesti aiheutettu keinotekoinen refleksivaste. H – refleksi ohittaa kokonaan lihasspindelin ja tuottaa siksi arvokasta tietoa selkäytimen monosynaptisen refleksin muutoksista (Palmieri ym. 2004). Vakioidun sähköstimuluksen avulla esiin saadut H – refleksin muutokset ovat hyödyllisiä, kun tarkastellaan motoneuronien eksitatorista tai inhibitorista vaikutustilaa. H – refleksivastetta voidaan käyttää keskushermoston motoneuronin herkkyyden ja Ia – afferentin välitystehokkuuden tutkimiseen (kuva 4) (Aagaard ym. 2002). Kuvassa 4 on esitettyä Aagaardin tutkimusryhmän tekemän M – aalto- ja H – refleksivasteen mittauksen koko refleksikaari ja sen osat. Kuvan mukaisesti Ia – afferenttiin aiheutetaan sähköinen stimulus (vaste 2), joka johtaa hermosolukalvon depolarisaatioon. Aktiopotentiali leviää tämän jälkeen keskushermoston kautta α – motoneuroniin spinaalisella tasolla, josta se etenee edelleen lihakseen (vaste 3). EMG – laitteen ulostulossa näkyy tällöin sähköinen H – refleksivaste. (Aagaard ym. 2002) Monen muun tutkimusryhmän tavoin Aagaardin ryhmä käytti tutkimuksessaan Soleus – lihasta, koska siitä pystytään mittaamaan H – refleksi hyvin paksujen I_A – afferenttien aksoneiden sekä ohuiden α – motoneuronien aksoneiden poikkeikkausten suuren eroavaisuuden vuoksi. Tämä antaa mahdollisuuden stimuloida paksuimpia aksoneita pienemmällä sähköstimuluksella ja vastaavasti ohuita α – motoneuronien aksoneita suuremmalla. (Aagaard ym. 2002)

Hmax/Mmax – suhde. H – refleksi itsessään kuvaa koko refleksikaaren muutoksia, joten haluttaessa selvittää pelkästään α – motoneuronaltaan ärtyvyystilaa, H – refleksi täytyy aina normalisoida eli suhteuttaa vastaavan mittauksen M – aaltoon (Racinais ym. 2007). Normalisointi on tehtävä, jotta H – refleksin mittaustuloksia pystyttäisiin vertailemaan eri koehenkilöiden välillä. Ilman normalisointia H – refleksi vaihtelee suuresti mm. henkilöiden ihon ja rasvakudoksen aiheuttamien ominaisuuksien sekä mittaustilanteesta

johtuvien seikkojen vuoksi. (Palmieri ym. 2004) Tähän tarkoitukseen on käytettävissä joko laskennallisesti jälkeinpäin tehtävä normalisointi (H_{max}/M_{max} – suhde) tai mittauksen aikana M – aallon intensiteettitason säätöä hyväksikäyttävä normalisointi. Normalisointi voidaan tehdä myös mittauksen aikana säätämällä intensiteettitasoa niin, että M – aalto on juuri tulossa esiin reuna-alueella, mutta jää vielä kuitenkin näkymättömiin. Yleisesti on käytetty reuna-alueen arvona noin 10 % M_{max} arvosta. M – aalto on suoraan α – motoneuronia stimuloimalla saatu lihasvaste, jonka avulla voidaan analysoida hermolihaskäytännön johtumisominaisuuksia (Cupido ym. 1992). Se syntyy supramaksimaalisen hermostimuloinnin vaikutuksesta, ja aiheuttaa kaikkien motoneuronaltaan motoristen yksiköiden aktivoitumisen, hitaiden ja nopeiden (Maffiuletti ym. 2001). M – aaltoa käytetään yhtenä menetelmänä analysoitaessa hermolihaskäytännön eri osien, kuten motorisen hermon, hermolihaskäytännön sekä lihassolukalvon herkkyyttä (Schieppati 1987). On huomattava, että M – aalto on nimenomaisesti lihasvaste eikä refleksi. Tämä siitä syystä, että se ei kulje selkäytimen kautta vaan stimuloidaan suoraan motorisesta aksonista (Palmieri ym. 2004).

H_{max}/M_{max} – suhdetta käytetään H – refleksin normalisointiin yleensä mittauksissa, jotka tehdään useammalla kuin yhdellä kerralla. Tällöin stimulaattorin ja mittauselektrodien paikka muuttuu mittauksen välillä ja oletettavasti myös motoneuronaltaan osuus stimulaatiossa on eri. (Palmieri ym. 2004) Lisäksi, jotta H – refleksiä voitaisiin pitää luotettavana, on varmistettava, että stimuluksen teho pysyy muuttumattomana koko mittauksen ajan. Tästä syystä stimuluksen tehoa tulee kontrolloida myös mittauksen aikana käyttäen hyväksi M – aaltovastetta. (Aagaard ym. 2002)

Duchateau ja hänen kollegansa onnistuivat osoittamaan normalisoidun H – refleksivasteen pienenemistä väsymykseen saakka tehdyn isometrisen lihasjännityksen jälkeen. Heidän tuloksensa viittaa väsymyksen olevan yhteydessä lihaskuntoharjoituksen intensiteettitasoon. (Duchateau ym. 2002) Racinaisin tutkimusryhmän tutkimus keskittyi H – refleksivasteen tutkimiseen perustuen pitkäkestoisen harjoituksen aikana kerättyyn lihastietoon. Tämä eroaa aiemmista pitkäkestoisella harjoituksella tehdyistä H – refleksi-tutkimuksista, jotka ovat käyttäneet refleksivasteen tutkimista ainoastaan levon aikana. Tuloksissa havaittiin juoksuharjoituksen jälkeen merkittävää pienenemistä herätereleksiaallon amplitudeissa, sekä H_{max} että H_{max}/M_{max} . Tutkimusryhmän mukaan tämä johtui ryhmän III ja IV - afferenttien aiheuttamasta motoneuronaltaan presynaptisesta inhibi-

tiosta. Tulos on merkittävä, koska se osoitti ensimmäistä kertaa motoneuronialtaan herkkyyden pienenemisestä pitkäkestoisen kestävyysharjoituksen jälkeen. (Racinais ym. 2007)

Harjoitusvasteiden aiheuttamia hermostollisia muutoksia tarkasteltaessa on siis erittäin tärkeää ottaa huomioon onko tutkimuksessa tehty mittaukset levossa vai itse suorituksen aikana. Vaikka edellä mainituissa H – refleksivastetutkimuksissa on käytetty erityyppisiä menetelmiä ja harjoitusvasteita, saadut tulokset kuitenkin osoittavat, että hermostollisia muutoksia esiintyy väsytysharjoittelun vaikutuksesta. (Duchateau ym. 2002; Racinais ym. 2007; Aagaard ym. 2002; Maffioletti ym. 2001)

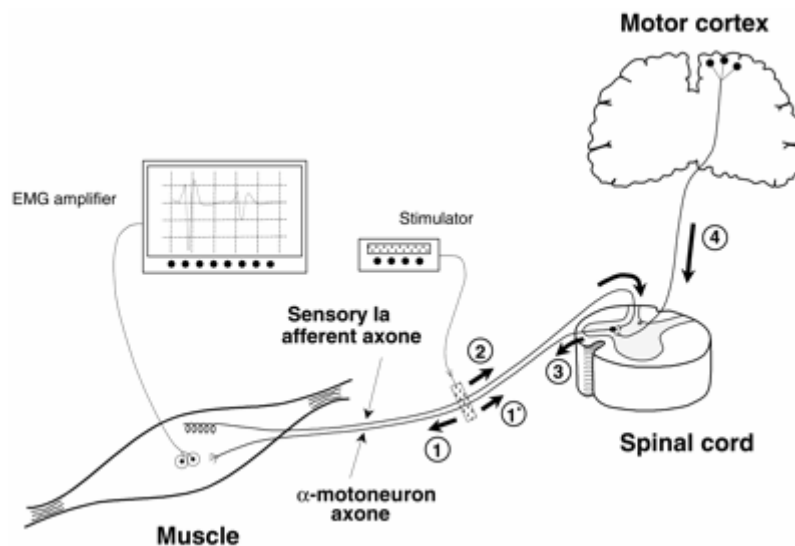
Supraspinaalinen väsymys. Supraspinaalinen väsymys viittaa siihen väsymyksen komponenttiin, joka aiheuttaa häiriötä motoriseen aivokuoreen (Gandevia ja Taylor, 2006). Sentraalinen väsymys on supraspinaalista silloin, kun motorisen aivokuoren ulostulo ei ole enää optimaalinen tai se epäonnistuu kokonaan tuottamaan ulostuloa (Gandevia 2001). Motoriseen aivokuoreen vaikuttavia supraspinaalisia tekijöitä ovat mm. keskushermoston välittäjäaineissa tapahtuvat muutokset (Davis ja Bailey 1997), psykologiset muutokset kuten henkilön motivaatioon tai keskittymiseen vaikuttavat tapahtumat (Gibson ym. 2001, Gandevia ja McKenzie 1985) sekä motoneuronitasolla tapahtuvat rekrytointi- tai syttymistäajuusmuutokset (Bigland-Ritchie ym. 1986; Bigland-Ritchie ym. 1983; Macefield ym. 1991).

Supraspinaalinen väsymys kehittyy harjoittelun myötä ja sillä on dramaattisia vaikutuksia sekä motoriseen aivokuoreen että kortikospinaaliseen viestintään motoneuronien kanssa. (Gandevia ja Taylor, 2006) Motoneuronien kykenemättömyys ylläpitää alun perin korkeaa syttymistäajuutta pidätetyssä maksimaalisessa tahdonalaisessa voimantuotossa voi selittyä spinaalisella tai supraspinaalisella tasolla toimivista tekijöistä. Lihasen voimantuotantokapasiteetti ja biokemiallinen vaikutus voivat lopulta heikentää motorisen aivokuoren kykyä käyttää supramotorisia aivokuoren alueita tehokkaasti. Supraspinaalisella tasolla toimivat palautekanavat aiheuttavat muutoksia agonistin, synergistin ja lopulta myös muiden lihasten motoneuronialtaiden ulostuloon. (Gandevia, 2001)

Harjoituksesta johtuva rasitus voi aiheuttaa keskushermoston välittäjäaineissa vajetta tai kasautumista, mikä heikentää keskushermostoon päin kulkevaa supraspinaalista käskytystä. Supraspinaalisen väsymyksen kannalta tärkeitä hermovälittäjäaineita ovat mm. serotoniini, dopamiini ja asetyylikoliini (Davis ja Bailey 1997). Serotoniinin osuuden on todettu kasvavan useissa aivon eri osissa rasituksen aikana, mikä näkyy supraspinaalisen väsymyksen nopeampana ilmenemisenä. Samanlainen vaikutus on nähty olevan myös harjoituksen aikaisella ammoniakkin kasautumisella vereen ja aivoihin. Rasituksen seurauksena syntyneen vajeen dopamiinin ja asetyylikoliinin osuuksissa on todettu myös aiheuttavan suprapinaalisen käskytyksen heikentymistä. (Davis ja Bailey 1997)

Supraspinaalinen väsymys voi olla myös yhteydessä motorisen aivokuoren mentaalisiin toimintoihin, kuten henkilön suorituksen aikaiseen motivaatioon sekä keskittymiskykyyn (Gibson ym. 2001, Gandevia ja McKenzie 1985, Grimby ym. 1981). Motivaation puute voi johtaa tehtävään tarvittavien motoneuronien kannalta riittämättömään supraspinaaliseen ohjaukseen (Gibson ym. 2001). Keskittymiskyky sekä henkilön motivaatio-
taso ovat hyvin yksilökohtaisia, mikä selittää osaltaan myös eri henkilöiden välisiä eroja saman suorituksen kestoissa sekä maksimaalisissa voimantuotontuloksissa. Voidaan myös olettaa, että urheilijoilla voi olla fysiologisten erojen lisäksi eroavaisuuksia myös heidän mentaalisisessa kyvyssään vastustaa fyysisen väsymyksen oireita paremmin kuin heillä, jotka eivät liiku paljoa. Heillä sanotaankin olevan parempi tehtäväkohtainen mentaalinen kapasiteetti tai toisin sanoen 'mentaalinen kovuus'. (Gibson ym. 2001)

V-aalto. Yhtäaikaisesti tehty tahdonalainen käskytyks kumooa motorisessa hermossa supramaksimaalisen stimuloinnin aiheuttaman antidroomisen aktiopotentiaalin ja osa H -refleksivasteesta näkyy lihaksessa V – aaltona. Kuva 5 esittää V – aallon mittausjärjestelmän, jossa tuotetaan maksimaalisen tahdonalaisen lihasjännityksen aikana stimulus supramaksimaalisella intensiteetillä. (Aagaard ym. 2002) Voidaan siis sanoa, että V –aalto on H –refleksin variantti, joka on riippuvainen α – motoneuronien aksoneissa liikkuvien efferenttien hermoimpulssien määrästä sekä tiheydestä (Upton ym. 1971; Racinais ym. 2007). V –aalto tavoittaa lihaksen vain tahdonalaisen supistuksen aikana ja tällöin rekrytoi suuren määrän motorisia yksiköitä (Racinais ym. 2007). Mitä suurempi tahdonalainen käskytyks on, sitä suurempi on V-aallon amplitudi (Upton ym. 1971; Aagaard ym. 2002).

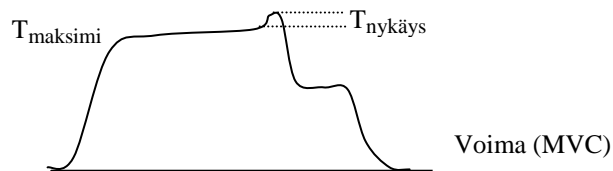


KUVA 5. Mittausjärjestely V – aallon mittaamiselle (Aagaard ym. 2002).

Racinais käytti V – aaltotekniikkaa ensimmäistä kertaa kestävyystyyppisestä juoksuharjoituksesta aiheutuneen väsymyksen tutkimiseen. Tätä aiemmat väsymystutkimukset olivat käyttäneet V – aaltoa muutosten tarkasteluun ainoastaan isometrisen lihasjännityksen aikana. (Racinais ym. 2007) Tutkiessaan kestävyysharjoittelusta syntyvän väsymyksen aiheuttamia muutoksia V – aaltovasteessa Racinais havaitsi merkittävää pienenemistä motoneuronaltaan herkkyydessä pitkäkestoisen juoksun jälkeen. Löydös on merkittävä osoitus selkäytimessä sijaitsevan osatekijän roolista keskushermoston väsymisessä. (Racinais ym. 2007)

Aktivaatiotaso. Sentraalista eli keskushermostollista väsymystä tutkitaan yleisesti myös aktivaatiotason mittausmenetelmällä (Strojnik ja Komi 1998, Racinais ym. 2007). Keskushermostollisen väsymisen esiintymistä voidaan todistaa toteamalla aktivaatiotason pienenemistä väsytysharjoituksen jälkeen (Racinais ym. 2007). Motoriset yksiköt, joita ei ole rekrytoitu tahdonalaisesti tai jotka eivät syty optimaalisella tahdilla, voivat tuottaa vielä lisävoimaa sähköisen stimuluksen avulla ja tämä voidaan nähdä parantuneena aktivaatiotasona (Gandevia ym. 1996). Väsymys voidaan täten havaita tutkimalla maksimaalisesti harjoitetun lihaksen tahdonalaista aktivaatiotasoa samalla, kun motorista hermoa stimuloidaan supramaksimaalisella sähköisellä stimuluksella (Gandevia ym. 1996; Merton 1954). Aktivaatiotason tutkiminen tapahtuu niin sanotun twitch – interpolointi tekniikan avulla (Merton 1954). Mittausmenetelmän perusoletus on, että väsymykseen saakka viedyn maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen aikana kaikki

lihassolut ovat täysin aktivoituja, jolloin stimuluksella annetun motorisen lisäpurskeen ei pitäisi kasvattaa enää lihasvoimaa (Merton 1954). Jos stimulus kuitenkin aiheuttaa lisäyksen voimantuotossa, on se merkki siitä, että lihaksessa olisi varaa tuottaa voimaa lisää, mutta keskushermosto ei pysty sitä täysin rekrytoimaan. Tällä tavalla aikaansaatu lihasvoiman kasvaminen tai vakioituminen paljastaa onko mitattu tahdonalainen voima sama kuin henkilön maksimivoima eli toisin sanoen kertoo henkilön aktivaatiotasosta (Merton 1954). Lihasnykäyksen analysoinnin rajoituksena kuitenkin on, ettei siitä voida nähdä onko heikentynyt sentraalinen väsymys tapahtunut spinaalisella ja/tai supraspinaalisella tasolla. (Gandevia 2001, Racinais ym. 2007). Kuvassa 6 on esitetty aktivaatiotason laskentakaava sekä osoitettu voimanlisäys signaalianalyysin keinoin (Strojnik ja Komi 1998, Merton 1954).



$$\text{Aktivaatiotaso} = (100 \% - (T_{\text{nykäys}} / T_{\text{maksimi}} \times 100 \%))$$

KUVA 6. Aktivaatiotason laskenta ja analyysi. (Strojnik ja Komi 1998, Merton 1954)

3.2 Perifeerinen väsymys

Väsymys on perifeeristä, kun itse lihaksen voimantuottokyky on pienentynyt (Nordlund ym. 2004). Se voidaan havaita mm. silloin, kun sähköinen stimulus ei onnistu enää palauttamaan voimantuottoa (Merton 1954). Perifeerinen väsymys voi olla peräisin mistä tahansa vaiheesta siinä tapahtumaketjussa, joka osallistuu tahdonalaisen lihassupistuksen tuottamiseen (Gibson & Edwards 1985). Perifeerisiä osia tai prosesseja tässä tapahtumaketjussa ovat α – motoneuroni, hermolihhasliitos, sarkoplasmaattinen kalvosto, ärsytys-supistusyhdistelmä, metaboliittien syntyminen tai energiavarastojen ehtyminen (Kirkendall 1990).

Kun tarkastellaan koko tapahtumaketjun osien toimintaa tarkemmin, voidaan perifeerisen väsymyksen syntymekanismit jakaa eri vaiheisiin (Bigland-Ritchie ja Woods 1984, Gibson ja Edwards 1985, Fitts 1996, Vollestad 1997):

1. Kaliumin ionien (K^+) lisääntyminen solunulkoisessa koostumuksessa solukalvon depolarisoitumisen seurauksena, mikä aiheuttaa aktiopotentiaalin kulun häiriöitä erityisesti hermolihaskliitoksessa – motorisessa päätelevyssä.
2. pH:n laskun vuoksi tapahtuneen kalsiumionien (Ca^{2+}) toiminnan heikkeneminen eli niiden vähentynyt vapautuminen sekä takaisinotto, josta edelleen seuraa;
 - a. heikentynyt lihassolukalvon ärsyyntyminen ja hidastunut aktiopotentiaalin leviäminen sekä sarkoplasmaattisessa kalvostossa että T-tubulusjärjestelmässä.
 - b. heikentynyt kalsiumionien (Ca^{2+}) kiinnittyminen troponiiniin eli häiriö poikittaissiltojen aktivoinnissa.
3. Vähentynyt energiantuotto ja – kulutus (ATP), mistä aiheutuu lihaksen supistuskyvyn heikkenemistä.

Yleisesti tunnettuja perifeeristä väsymystä aiheuttavia yksilöllisiä tekijöitä ovat lihassolutyypin jakauma (nopeat vastaan hitaat lihassolut), lihaksen pituus, ennen väsymystä omattu lihasvoima sekä energiavarastot, jotka vaikuttavat mm. kalsiumin vapautumiseen (Nordlund 2004). Väsymykseen ei ole olemassa yksittäistä syytä vaan se voi aiheutua monista muuttujista ja päämekanismin on aiempien tutkimusten perusteella nähty olevan riippuvainen myös suoritettavasta tehtävästä. Muita merkittäviä väsymykseen vaikuttavia muuttujia ovat lihaksen aktivaatiotaso, tehtävän aktiivisuuden voimakkuus ja kesto sekä tehtävän harjoitusmuoto, jatkuvakestoisen vai jaksottainen aktiivisuus. (Barry ja Enoka, 2007)

Sentraalisen ja perifeerisen väsymyksen on havaittu kehittyvän sekä maksimaalisessa että submaksimaalisessa jatkuvakestoisessa tahdonalaisessa harjoituksessa. Kun harjoitus on tehty jaksoittaisilla maksimaalisilla toistoilla, harjoituksissa on edelleen havaittu molempia väsymysmekanismeja. On kuitenkin myös havaittu, että jaksottaisilla submaksimaalisilla toistoilla väsymys aiheutuu pääasiassa vain perifeerisellä mekanismilla. (Nordlund ym., 2004)

Yhtenä mittarina perifeerisen väsymyksen tutkimiseen on käytetty sähköistä M-aaltovastetta. M – aallon amplitudin voimakkuudesta voidaan päätellä hermolihaskiitos-
toimintakykyä. Amplitudin voimakkuus on riippuvainen monesta tekijästä. Näitä ovat mm. lihasryhmä, M – aaltoa edeltävä aktiivisuus, motorisen yksikön syttymistajuus, supistumisaika sekä lihassupistuksen jaksottaminen. (Cupido ym. 1996) Amplitudin voimakkuudesta voidaan myös päätellä välittäjäaineiden kuten natriumkaliumpumpun toiminnan muutoksia. M-aallon kasvu voi olla merkki lisääntyneestä natrium-kalium pumpun aktiivisuudesta, mikä taas voi aiheuttaa lisäystä voimaan (Enoka ja Stuart 1992).

Kun tutkitaan hermolihaskiitos-
toimintaa, M – aallosta käytetään yleisesti maksimaalisen M – aallon arvoa (M_{max}). Maksimaalinen M – aallon (M_{max}) amplitudi esittää motoristen yksiköiden yhtäaikaista syttymistä ja sen sanotaankin kuvaavan lihaksen ärtyvyyden indeksiä (Racinais ym. 2007). Tyypillisimmin M – aaltoa käytetään kuitenkin hermolihaskiitosjärjestelmän mittauksien normalisointiin (esim. H_{max}/M_{max} -suhde). Tällä saadaan mm. eri ihmisten ja eri mittauskertojen välisistä tuloksista vertailukelpoisia.

Piitulainen ym. (2008) tutkivat M – aallon avulla lihassolussa sijaitsevan sarkoleeman herkkyuden osuutta eksentrisestä voimaharjoituksesta aiheutuvaan lihasväsymykseen. Oletuksena oli, että sarkoleeman herkkyystaso laskisi eksentrisen väsytysharjoituksen jälkeen. Loppupäätelmässä tutkimusryhmä kuitenkin toteaa, että herkkyystaso laski ainoastaan hetkellisesti, mutta pidemmän aikavälin vaikutuksia ei voitu todeta. (Piitulainen ym. 2008)

Harjoittelusta aiheutuvan lihasväsymyksen tutkimiseen on yleisesti käytetty myös passiivisen lihasnykäyksen (twitch) tutkimista (Gandevia ym. 1996, Strojnik ja Komi 1998). Passiivinen lihasnykäys on sähköstimulaation avulla lihakseen tai suoraan hermoon annettu supramaksimaalinen ärsyke, kun lihas on täysin rentona ilman minkäänlaista tahdonalaista aktivaatiota (Strojnik ja Komi 1998, Piirainen ym. 2010). Mittausmenetelmänä on käytetty mm. jalkadynamometriä, jossa tutkittava istuu pitäen mitattavaa jalkaa alustalla mahdollisimman rentona (Piirainen ym. 2010). Passiivisen lihasnykäyksen avulla voidaan saada tietoa väsymyksen aiheuttavista distaalisisista osista eli hermolihaskiitos-
toimintasta, sarkoleeman herkkydestä ja lihaksen supistumisominaisuuksista (Racinais ym. 2007).

Piiraisen ym. (2008) tutkimuksessa seurattiin passiivista lihasnykäystä armeijan alokkailta 8 viikkoa kestävästä peruskoulutuskauden aikana ja pyrittiin selvittämään sen avulla alokkaiden kuormittuneisuutta. Tulokset osoittivat merkittävää kasvua alokkaiden passiivisen lihasnykäyksen arvoissa koko peruskoulutuskauden aikana. Tämä oli osoitus siitä, ettei armeijan kesäaikana tapahtuva peruskoulutuskausi itsessään aiheuta alokkaiden ylikuormittuneisuutta.

3.3 Väsymisen vaikutukset aerobiseen suorituskykyyn

Maksimaalinen hapenottokyky ja aerobinen suorituskyky ovat tärkeitä määrittäjiä maksimaalisen suorituskyvyn sekä väsymyksen suhteen. Aerobisen suorituskyvyn väsymystutkimukset ovatkin perinteisesti keskittyneet maksimaalisen aerobisen hapenottokyvyn rooliin väsymyksen aiheuttajana korkea intensiteettisen maksimaalisen kestävyysharjoituksen aikana. Näissä harjoituksissa on yleensä menetelmänä polkupyörä- tai juoksumattoergometri, jossa intensiteettitasoa kasvatetaan inkrementaalisesti (Taylor ym. 1955). Ergometritestissä hapenottokyky mitataan aktiivisuuden aikana ja maksimaalinen hapenottokyky määritellään sen perusteella milloin koehenkilö saavuttaa hapenkulutuksessa tasanteen tai milloin hän itse lopettaa testin teon tasanteesta riippumatta. (Taylor ym. 1955; Gibson ym. 2001)

Maksimaalista hapenottokykyä rajoittaa sydän- ja hengityselimistön kyky sekä kapasiteetti kuljettaa happea. Ergometrityyppisen kestävyysharjoituksen päättymisen maksimaaliseen hapenottokykyyn ja sitä seuraava lihasten anaerobinen tila on tulkittu olevan testiprotokollasta riippuvaisia väsymyksen aiheuttajia. (Basset ja Howley 1997) Hochachka (1999) kuvasi omassa tutkimuksessaan, että perifeerinen lihas ei koskaan hapetu kuitenkaan 70 prosenttia enempää. Tuolloin myoglobiini toimii puskurina happivajeelle siirtäen happimolekyylejä sellaisiin elimistön solujen osiin, mitkä tarvitsevat niitä maksimaalisen kestävyysharjoituksen aikana aktiivisen energiantuotto-prosessin avuksi, esimerkiksi mitokondrion solukalvostoon. (Hochachka 1999)

Aerobisen suorituskyvyn kannalta väsymyksen vaikutukset tulevat esille lihaksen anaerobisena tilana, kuten happo-emäskierron epätasapainona (pH - arvon lasku), suurentuneena anaerobisena energiantarpeena tuottaa ATP molekyyleja ja lisääntyneenä happi-

vajeena. Tuloksena tästä on veren laktaattipitoisuuden kasvaminen ja happamuuden kasaantuminen (Duncan ym. 1997). Lihaksiston tasolla pH:n lasku aiheuttaa heikkenemistä kalsiumionien toiminnassa, jonka vuoksi lihaksiston sarkoplasmaattisessa kalvostossa ja T-tubulusjärjestelmässä heikkenee lihassolukalvon johtumisominaisuudet ja näin ollen myös aktiopotentiaalin leviäminen (Bigland-Ritchie ja Woods 1984, Gibson ja Edwards 1985, Fitts 1996, Vollestad 1997). Samasta syystä myös lihasten poikittaissiltojen aktiivisuudessa aiheutuu häiriöitä kalsiumionien heikentyneessä kiinnittymisessä troponiiniin (Fitts 1996, Vollestad 1997). Vähentyneestä energiantuotosta (ATP) aiheutuu edelleen lihaksen supistuskäyvyn heikkenemistä (Bigland-Ritchie ja Woods 1984, Gibson ja Edwards 1985). Paremmat aerobiset suorituskyvyt omaavat henkilöt, kuten kestävyysurheilijat, voivat selvitä väsytysharjoituksissa pidempään ilman väsymysoireita korkeamman hapenottokäyvyn sekä sen kautta energiavarojen kannalta tärkeän paremman aerobisen aineenvaihduntakäyvyn avulla (Hamilton ym. 1991).

Maksimaalinen aerobinen suorituskyky ei suoraan säätele väsymystä ja siitä johtuvaa maksimikestävyystyyppisen harjoituksen lopettamista. Erään tutkimusryhmän (Noakes 1988) mukaan harjoituksen lopettamisen syy maksimitasolla oltaessa olisi sydänlihaksen suojaantumisen kestävyysurjoituksen aikana liikuttaessa korkeaintensiteetisellä tasolla maksimisuorituksessa. Tämän mukaan maksimaalinen aerobinen suorituskyky ei olisikaan päätekijänä väsymyksen selittäjänä vaan maksimaalisen kestävyysurjoituksen aiheuttamat väsymyksen säätelijät sijaitisivatkin henkilön sydänlihaksessa. (Noakes 1988, Gibson ym. 2001) Jos sydämen pumppauskapasiteetti tulisi ylitettyä maksimaalisen kestävyysurjoituksen intensiteetillä, veren hapenkuljetus sydänlihakselle heikentyisi, mikä voisi aiheuttaa sydämen toiminnan hidastumista ja edelleen sydämen pysähtymistä. (Gibson ym. 2001) Gibsonin ym. (2001) mukaan tässä mallissa lihaksen anaerobioosi ei ole mahdollista ja harjoitus loppuu efferenttien välittämästä inhibitiokäskystä ennen maksimaalisen kapasiteetin saavuttamista joko sydämen tai harjoitetun lihaksen toimesta. Jotta tämä käsky toimisi, afferenttien signaalien täytyy nousta sydänlihaksessa sijaitsevista tyypin III ja IV – kemoreseptoreista ja tuottaa efferenttien välittämää inhiboivaa signalointia perifeeriselle lihaksistolle. Tässä mallissa efferenttien hermojen käskyt eivät suoja perifeeristä lihaksistoa väsymykseltä vaan vähentävät voimantuottoa ja liikkeen nopeutta, jotta perifeerisestä lihaksistosta ei syntyisi liian paljon aineenvaihdunnallisia vaikutuksia elimistöön. (Gibson ym. 2001)

4 HARJOITUSVASTEIDEN VAIKUTUS HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN TOIMINTAAN

Eri harjoitusvasteiden on todettu vaikuttavan ihmisen hermolihasjärjestelmään eri tavoin. Voima- ja kestävyys harjoittelun aiheuttamat luustolihas fysiologiset ärsykkeet ovat luonteeltaan erilaisia, jopa vastakkaisia esimerkiksi voiman kasvun suhteen. Myös niiden vaikutukset ihmisen hermolihasjärjestelmään ovat erilaiset. (Häkkinen ym. 2003, Maffioletti ym. 2001)

4.1 Voimaharjoittelun vaikutukset

On osoitettu, että suurilla painoilla tapahtuva voimaharjoittelu, joka sisältää paljon lihasjännityksiä, voi kasvattaa maksimilihasvoimaa. Sen aiheuttamat muutokset ovat sekä hermostollisia, että lihassolun kasvuun eli hypertrofiaan liittyviä. (Aagaard ym. 2002; Häkkinen ym. 2003, Dolezal ja Potteiger 1998) Voimaharjoittelu kasvattaa kaikkien motoristen yksiköiden voimantuottoa kompensoimalla näin alentunutta refleksisignaalin tehokkuutta I_A – afferentin ja α – motoneuronin välillä (Maffioletti ym. 2001). Voimantuoton lisäys on tulosta harjoituksen aiheuttamasta nopeiden lihassolujen kokonaismäärän sekä nopeiden motoneuronien syttymistiheyden ja rekrytoitumisen kasvamisesta sekä motoristen yksiköiden synkronisoitumisen paranemisesta (Aagaard ym. 2002; Milner-Brown ym. 1975).

Voimaharjoittelun on todistettu kasvattavan enemmän lihaksen voimantuottokykyä sekä tuovan nopeampaa lihaksen supistumis- rentoutumiskykyä kuin kestävyys harjoittelun (Pääsuke ym. 1999). Yksi syy kestävyysurheilijoita suurempaan supistumisvoimantuottoon on voimaharjoittelusta johtuva lihaksen suurempi poikkileikkauspinta-ala sekä yksittäisten lihassolujen kasvu (Häkkinen ym. 2003). Toinen merkittävä tekijä on suurempi nopeiden lihassolujen kokonaismäärä verrattuna kestävyysurheilijoihin. Näiden lisäksi lihaksen supistumisvoiman ominaisuuksiin vaikuttaa ärsytys-supistusyhdistelmän kinetiikka, sarkoplasmaattisen verkoston toiminta sekä kalsiumin kiinnittyminen myosiiniin (Pääsuke ym. 1999, Kugelberg & Thornell 1983). Voimaharjoittelulla voidaan tehostaa näitä ominaisuuksia, kuten lisääntynyttä maksimaalista tahdonalaista hermostol-

lista aktivaatiota, ja siten parantaa lihaksen voimantuottokykyä (maximal voluntary contraction, MVC) (Pääsuke ym. 1999, Häkkinen ym. 2003). Voimaharjoittelun on nähty kasvattavan huomattavasti myös räjähtävää voimantuottokykyä, mikä on yhteydessä samalla nopean hermostollisen aktivoinnin merkittävään lisääntymiseen harjoittelun myötä (Häkkinen ym. 2003).

Voimaharjoittelun vaikutuksia hermolihásjärjestelmään voidaan tutkia analysoimalla hermolihásjärjestelmän sähköisiä vasteita kuten normalisoidun H - refleksivasteen (H_{\max}/M_{\max} - suhteen), M-aallon amplitudin sekä normalisoidun V-aallon (V_{\max}/M_{\max} - suhteen) ominaisuuksia. Aagaardin ym. (2002) tekemässä tutkimuksessa lihasaktiivisuuden aikana mitatun H - refleksin herkkyytás kasvoi 14 viikon voimaharjoittelun tuloksena. Tämä näkyi heidän tuloksissaan maksimaalisen lihassupistuksen aikana mitatun normalisoidun H - refleksivasteen (H_{\max}/M_{\max}) amplitudin kasvuna, mikä tutkijoiden mukaan johtui α - motoneuronien herkkyyden kasvusta. Tosin kirjoittajien mukaan se voi johtua myös alentuneen motorisen ohjauksen vaikutuksesta, vaikkakaan alentunut presynaptista inhibitiota I_a - afferentteihin eivät tutkijat sulkeneet pois vaihtoehtoista. Yleisesti ottaen normalisoidun H - refleksivasteen (H_{\max}/M_{\max}) on todettu olevan pienempi voimaharjoittelijoilla verrattuna kestävyysharjoittelijoihin, mikä paljastaa H - refleksin suuruuden olevan riippuvainen enemmän hitaiden motoristen yksiköiden määrästä kuin nopeiden (Maffiuletti ym. 2001). Tutkimus osoitti myös kohonnutta V - aaltovastetta teho- ja voimalajien urheilijoilla verrattuna vähän liikkuviin koehenkilöihin. On siis todennäköistä, että kasvanut α - motoneuronin syttymistiheys tai kiihtynyt motoneuronien rekrytointi olisi syynä myös V - aallon amplitudin kasvuun.

Myös Sale ym. (1983a) päätyivät omassa tutkimuksessaan siihen, että voimaharjoittelulla voi saada aikaan kasvanutta kykyä nostaa motoneuronien herkkyytásosa tahdonalaisen lihassupistuksen aikana. He tutkivat harjoitusvaikutuksia kahden V - aaltovasteen muutosten perusteella ja havaitsivat, että voimaharjoittelu oli voimistanut merkittävästi tahdonalaisen lihassupistuksen aikana mitattuja V - aaltovasteita. Salen ym. (1983b) toinen tutkimus puolestaan osoitti voimaharjoittelijoilla olevan keskimääräistä paremmat motorisen hermon johtumisominaisuudet sekä edelleen heidän omaavan parantunutta kykyä aktivoida motorisia yksiköitä maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen aikana.

Mittausmenetelmien kannalta on huomattavaa, että Aagaardin ryhmän (2002) tutkimuksissa vastaavasti levon aikana mitattu H – refleksivasteen amplitudi (H_{\max}/M_{\max}) ei muuttunut voimaharjoittelun myötä. Kun siis puhutaan sähköisten vasteiden mittaamisesta sekä niistä saatujen tulosten analysoimisesta, on oltava erityisen tarkkoja siitä miten tietty vaste on mitattu; lihasaktiivisuuden vai levon aikana. Aagaardin ryhmä (2008) osoitti oman tutkimuksensa avulla juuri tämän mittausmenetelmän eron olevan tärkeää mm. voimaharjoittelusta aiheutuneita hermostollisia muutoksia tutkittaessa.

Kun voimaharjoittelua lisätään suunnitelmallisesti paljon kestävyysurheilutyypistä liikuntaa sisältävälle armeijan peruskoulutuskaudelle, nähdään positiivista kehitystä myös alokkaiden aerobisessa suorituskyvyssä (Santtila ym. 2008). Samankaltainen kehitys voitiin nähdä tosin myös ilman lisättyä voimaharjoittelua tehdyllä verrokkiryhmällä. Tämän tutkimuksen perusteella voidaankin sanoa, että kestävyystyyppisen urheilun lisäksi tehty voimaharjoittelu (3 kertaa viikossa) ei häiritse millään tavalla maksimaalisen hapenottokyvyn paranemista. (Santtila ym. 2008)

4.2 Kestävyysharjoittelun vaikutukset

Kestävyysharjoittelijat tuottavat tarvittavan voiman rekrytoimalla enemmän hitaita lihassoluja verrattuna muihin kontrolliryhmiin, esimerkiksi voimaharjoittelijoihin. Heidän harjoittelun vaikutukset tulevatkin näkyviin lisääntyneessä hitaiden lihassolujen kokonaismäärässä, mikä näkyy heidän lihassolujakaumassa suurempana osuutena suhteessa nopeisiin lihassoluihin. Kestävyysharjoittelumuoto lisää myös hitaiden motoristen yksiköiden rekrytoitumista. Kestävyysharjoittelijoiden voimantuotto aktivoituu lisäämällä refleksisignaloinnin kautta motoneuronialtaan kiihtyvyyttä. (Maffioletti ym. 2001) On osoitettu, että kestävyysharjoittelu voi mm. kasvattaa kykyä rekrytoida koko motoneuroniallasta sekä lisätä hitaiden lihassolujen kokonaismäärää. Sen aiheuttamat muutokset ovatkin sekä hermostollisia että lihassolujakaumaan liittyviä. (Maffioletti ym. 2001)

Kestävyysurheilu vähentää kehon rasvaprosenttia sekä parantaa aerobista suorituskykyä (Dolezal ja Potteiger 1998). Santtilan ym. (2008) tekemän tutkimuksen perusteella havaittiin, että paljon kestävyysurheilutyypistä liikuntaa sisältävä armeijan peruskoulutuskauti paransi alokkaiden sydän – ja hengityselimistön suorituskykyä eli aerobista

kapasiteettia. Lisäksi peruskoulutustyyppisen kestävyysurheilun on todettu vähentävän riskiä sairastua sydän – ja hengityselimistötauteihin yhdessä painonlaskun sekä vähentyneen sisäelinrasvan kanssa (Cederberg ym. 2011). On kuitenkin merkittävää, ettei peruskoulutuskauden harjoitteluun edelleen lisätyllä ylimääräisellä kestävyysharjoittelulla (3 kertaa viikossa) nähty enää merkittävää hyötyä aerobisen suorituskyvyn kehityksen kannalta. (Santtila ym. 2008)

Kun analysoidaan kestävyysharjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmän sähköisten vasteiden avulla, voidaan todeta normalisoidun H – refleksivasteen (H_{\max}/M_{\max}) kasvavan kestävyysharjoittelun myötä (Maffiuletti ym. 2001). Kun taas verrataan eri harjoitusvasteiden välillä, aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet edelleen kohonnutta H – refleksivasteen herkkyyttä kestävyysurheilijoilla verrattuna voima- ja teholajien urheilijoihin (Aagaard ym. 2002).

4.3 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset

Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu on tärkeä harjoitusmuoto jo pelkästään yleisen kuntotason kannalta, koska sillä pystytään vaikuttamaan useisiin arkielämässä tehtäviin liikkeisiin kuten portaiden nousu, kävely tai kompastumisen estäminen (Häkkinen ym. 2003). On kuitenkin huomattava, että yhdistetyssä harjoittelussa pitäisi pyrkiä löytämään optimaalinen painotus näiden eri harjoitusten välillä, jotta estettäisiin esimerkiksi huonokuntoisten yksilöiden ylikuormittuminen (Santtila ym. 2009).

Häkkinen ym. (2003) osoittivat tutkimuksessaan, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu aiheuttaa suurta kasvua maksimivoimassa (lihaksen poikkileikkauspinta-alassa) sekä yksittäisten lihassolujen kasvussa. Lisäksi oli havaittavissa myös harjoitettujen lihasten maksimaalisen tahdonalaisen hermostollisen aktivoinnin kasvu. Tämä tulos ei ollut eronnut heidän tutkimuksessaan, kun verrattiin vastaavia tuloksia pelkästään voimaharjoittelua tekeviin ryhmiin. Erona näissä ryhmissä oli kuitenkin tulokset räjähtävän voimantuotannon suhteen. Yhdistetty harjoitus häiritsi merkittävästi räjähtävän voimantuoton kehitystä harjoitetuissa lihaksissa, minkä arvioitiin johtuvan nopean tahdonalaisen hermostollisen aktivoinnin rajoituksista. (Häkkinen ym. 2003) Myös Santtila ym. (2009) havaitsivat samankaltaisia räjähtävän voimantuoton tuloksia yhdistetyn harjoitusmuodon alokkeilla. Lisäksi havaittiin, ettei voimaharjoittelu tuonut suurta vaikutusta

voimantuottoon verrokkiryhmiin nähden sekä lihaksen paksuuden kehitys jäi pienemmäksi kuin mitä lisätystä voimaharjoittelusta voisi odottaa (Santtila ym. 2009). Tämä voi olla seurausta peruskoulutuskauden suuremmasta kestävyysarjoittelupainotuksesta, liian alhaisesta energiansaannista, suuresta energiankulutuksesta sekä lyhyistä yöunista, mitkä vaikuttavat etenkin voimaharjoittelijoiden tuloksiin negatiivisesti (Nindl ym. 2007, Santtila ym. 2009). Energianvajeesta kärsivillä sotilaille on todettu 8 viikon kovan sotilasharjoituksen päätteeksi jopa 20 % lasku räjähtävän voimantuoton tuloksissa. Pääsyyinä tähän on nähty kehon kokonaismassan sekä kehon rasvattoman massan painon menetykset johtuen itse sotilasolosuhteista sekä armeijan koulutuksen harjoittelumuodosta. (Nindl ym. 2007)

Kuten edellä on mainittu, yhdistetyllä harjoittelulla voidaan kasvattaa lihasvoimaa samaan tapaan kuin pelkän voimaharjoittelun avulla sekä parantaa aerobista suorituskykyä pelkän kestävyysarjoittelun tapaan, mutta vaikutukset ovat yleensä rajoittuneita verrattuna kohdennettuun harjoitteluun (Dolezal ja Potteiger 1998). On kuitenkin huomattava, että yhdistetty harjoittelu ei heikennä voiman adaptoitumista, lihaksen hypertrofiaa ja voimaharjoittelusta aiheutunutta hermostollista aktivoitumista (Häkkinen ym. 2003). Maksimaalisen hapenottokyvyn on tosin havaittu kasvavan yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun tuloksena yhtä paljon kuin pelkästään kestävyysarjoittelun tuloksena (Bell ym. 2000). Vaikka yhdistetyn harjoittelun on osoitettu parantavan henkilön fyysistä kuntoa sekä suorituskykyä, kuten lihaksen voimaominaisuuksia, sen on samalla havaittu olevan hyvin tehtäväkohtaista kehittymistä (Sillanpää ym. 2008, Kraemer ym. 2004). Yhdistetyllä harjoittelulla on nähty tutkimusten valossa olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta myös kehon koostumukseen kuten rasvaprosentin pienenemiseen verrattuna pelkästään yksittäin tehtyyn voima – tai kestävyysarjoitteluun (Sillanpää ym. 2008).

4.4 Armeijan peruskoulutuskauden harjoittelumuoto

Armeijan peruskoulutuskauden päätarkoituksena on valmistaa sotilaat niin fyysisesti kuin psyykkisesti toimimaan sotilasolosuhteissa. Lisäksi sillä pyritään parantamaan sotilaiden aerobista suorituskykyä sekä lihasvoimaa, jotta sotilaat kykenisivät suoriutumaan vaativista sotilastehtävistä. (Santtila ym. 2008) Suurin osa armeijan peruskoulutuskauden harjoittelusta sijoittuu kestävyystyyppisen harjoittelumuodon alle. Tanskanen (2011)

sekä Santtila (2008) kuvaavat tutkimuksissaan peruskoulutuskauden normaalia harjoittelu-aikaa, ja niistä näkyy suuri painotus kestävyystyyppiseen harjoitteluun. (Tanskanen ym. 2011, Santtila ym. 2008)

Peruskoulutuskausi kestää 8 – viikkoa ja sen aikana noudatetaan Suomen puolustusvoimien yleisiä ohjeita harjoitusajan fyysisen rasituksen suhteen. Fyysisen aktiivisuuden intensiteettitaso päivittäisessä ohjelmassa on ensimmäisellä peruskoulutusviikolla matala, mutta kasvaa siitä eteenpäin mentäessä. Sotilaskoulutus koostuu fyysisesti raskaista aktiviteeteista, kuten marsseista, taisteluharjoituksista sekä muista urheilutyypisistä fyysisistä harjoituksista. Alokkaat kantavat lisäksi osassa harjoituksia mukanaan 15 – 25 kilogrammaa painavaa taisteluvarustusta, etenkin marssien ja taisteluharjoitusten aikana. Harjoitukset sisältävät myös yön yli tehtäviä kenttäharjoituksia. Fyysisten harjoitteiden ohella peruskoulutuskaudella on kasarmin luokahuoneessa tapahtuvaa teoriaopiskelua, materiaalien käsittelyä, ampumista, kiväärin käsittelyä sekä yleistä sotilaskoulutusta kuten suljettuja marssiharjoituksia. Alokkaat marssivat ohjattujen harjoitusten lisäksi neljä kertaa päivässä syömään, mikä saattaa kasvattaa päivän aikana tehtyä kävelymäärää jopa 5 – 7 kilometriä. Päivittäiset ulkoiluharjoitukset sekä siirtymät suorituspaikkojen välillä suoritetaan yleensä myös marssimisella, mikä kasvattaa kestävyysurheilunosuutta huomattavasti koko peruskoulutusjaksosta. (Tanskanen ym. 2011, Santtila ym. 2009, Santtila ym. 2008) Peruskoulutuskauden aluksi fyysisen harjoittelun keston on erään tutkimuksen (Tanskanen ym. 2011) teon aikana tutkittu olevan noin 2 tuntia 21 minuuttia kasvaen 3 – 4 tuntiin viikkojen 4 – 7 aikana. Peruskoulutuskauden aikataulu sisälsi tällöin myös neljä pidempää (2 – 8 tuntia) marssiharjoitusta taisteluvarusteet päällä. (Tanskanen ym. 2011)

4.5 Ylikuormittuminen

Ylikuormittuneisuus voi kehittyä, jos harjoittelusta aiheutuva stressi ja riittävä palautuminen eivät ole tasapainossa (Meeusen ym. 2006). Seuraavaa Kreiderin (1998) esittelemää ylikuormittuneisuuden määrittelyä on käytetty monissa alan julkaisuissa; ”Ylikuormittuneisuus on seurausta harjoittelusta ja harjoittelemattomuudesta kasaantuneesta stressistä, mikä aiheuttaa lyhytaikaisesti suorituskyvyn heikkenemistä sekä mahdollisesti fysiologisia ja psykologisia merkkejä ja oireita palautumista haittaavista piirteistä.” (Kreider ym. 1998, Meeusen 2006) Ylikuormittumisen määrittely on haastavaa ja sitä ei

yleensä määritelläkään pelkästään yhden muuttujan perusteella. Määrittelyn kannalta on myös huomattavaa, että armeijan peruskoulutuskauden aikana tapahtuvaa ylikuormittumista ei ole vielä paljoa tutkittu niin fysiologisten kuin biomekaanisten vaikutustenkaan kannalta (Tanskanen ym. 2011).

Piiraisen ym. (2008) tekemässä alokkaiden armeijan peruskoulutuskauden kuormittuneisuustutkimuksessa mitattiin hermo-lihasjärjestelmän biomekaanisia muutoksia, jotta voitaisiin selvittää ylikuormittuneisuuden näkymistä hermo-lihasjärjestelmän mittaustuloksissa. Levossa mitatuissa H – refleksivasteissa löytyi merkitseviä tuloksia vain yhdellä, alimman rasvaprosentin omaavalla, ryhmällä. Ne olivat laskeneet merkitsevästi, minkä katsottiin johtuvan kuitenkin muusta kuin ylikuormittuneisuudesta. Tämä johtopäätös perustui saman ryhmän voimamittausten tuloksiin, missä ei havaittu ylikuormittumista tukevia merkitseviä löydöksiä. Samassa tutkimuksessa V – aaltovaste tutkittiin istuvassa asennossa maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen aikana ja tulokset näyttivät siltä, että V – aaltovasteiden arvot olivat laskeneet kaikilla ryhmillä, mutta merkittävä löydös oli vain yhdellä ryhmällä. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin passiivista lihasnykäystä eli lihasnykäyksen mittaamista levossa olevasta lihaksesta. Jokaisella tutkittavalla ryhmällä olivat passiivisen lihasnykäyksen arvot kasvaneet merkittävästi 8 viikon seurantakauden aikana. Niin H – refleksivasteen kuin passiivisen lihasnykäyksenkin tulokset tukevat tutkimusryhmän mukaan sitä päätelmää, ettei armeijan kesäaikana tapahtuva peruskoulutuskausi itsessään aiheuta alokkaiden ylikuormittuneisuutta. V – aaltovasteen tulokset voivat tutkimuksen mukaan olla osoitus siitä, ettei peruskoulutuskauden kestävyystyyppinen harjoittelu stimuloinut hermostollista aktiivisuutta. (Piirainen ym. 2008)

Myös Lehmannin yhdessä kollegoidensa kanssa (1997) tekemässä kuormitustutkimuksessa käytettiin biomekaniikan hermo-lihasjärjestelmänvasteita ylikuormittuneisuuden mittaamiseen. Tutkimuksessa koehenkilöitä kuormitettiin intensiivisesti pyöräergometriharjoituksilla 6 viikon ajan. Lehmann ym. (1997) osoittivat omassa tutkimuksessaan, että ylikuormittuneen urheilijan hermolihaskäytön artyvyystasossa ja voimaominaisuuksien suorituskäytön tasossa oli havaittavissa korrelaatio. Hermolihaskäytön artyvyystaso laski merkittävästi 6 viikon intensiivisen kuormitusharjoituksen aikana alun 3 viikon lievän kasvun jälkeen. Voimaominaisuuksien suorituskäytön taso pysyi muuttumattomana ja jopa laski lievästi 6 viikon aikana alun 3 viikon merkittävän kas-

vun jälkeen. Hermolihasjärjestelmän ärtyvyystaso näytti palautuneen 2 viikkoa kuormituksen jälkeen, mutta maksimivoimantuotto oli edelleen heikentynyt eikä superkompensaatiota ollut selkeästi havaittavissa. Tutkimuksen perusteella nähtiin, että hermolihasjärjestelmän ärtyvyystason heikkeneminen voi olla osoitus varhaisesta vaiheesta henkilön ylikuormittumisessa.

Kun peilataan ylikuormittuneisuuden näkymistä fysiologisissa muuttujissa, voidaan tarkastella Tanskasen ja hänen kollegoidensa (2011) tekemää tutkimusta, jossa alokkaiden ylikuormittumisen kriteerit määriteltiin viidellä eri muuttujalla. Ylikuormittumisen katsottiin tapahtuneeksi, kun kolme alla olevasta viidestä kriteeristä täyttyi. (Tanskanen ym. 2011)

- 1) alentunut aerobinen fyysinen kuntotaso (5 % alenema VO_{2max} – arvossa)
- 2) havaittiin kohonnut räsitus-tason tuntemus (RPE) 45 minuuttia kestävän submaksimaalisen testin edetessä kohtaan, jossa saavutetaan 70 % VO_{2max} – arvo
- 3) sairauspoissaolo testien aikana
- 4) lisääntyneet somaattiset tai emotionaaliset ylikuormittumisoireet
- 5) päivittäisistä tehtävistä tapahtuva sairauspoissaolojen suuri määrä

Tämän fysiologisen tutkimuksen mukaan kolmasosa (33 %) alokkaista oli ylikuormittuneita talvella tapahtuneen peruskoulutuskauden harjoittelun johdosta. Lisäksi havaittiin lisääntyneitä ylikuormittumiseen viittaavia emotionaalisia ja somaattisia oireita. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella seerumin sukupuolihormonin kiinnittävä globuliini (SHBG), kortisoni ja testosteroni / kortisoni – suhde sekä maksimaalinen laktaatti / RPE – suhde voisivat olla hyödyllisiä fysiologisia työkaluja paljastamaan henkilölle liian raskaan harjoitteluohjelman. (Tanskanen ym. 2011) Tanskasen ja hänen tutkimusryhmänsä (2011) tekemän ylikuormittumistutkimuksen julkaisuhetkellä vuonna 2011 oli vain yksi aiempi vastaavanlainen nuorten miesten armeijaryhmästä tehty ylikuormittumistutkimus olemassa. Siinä Chicharron tutkimusryhmä (1998) havaitsi 8 viikkoa kestävän armeijan peruskoulutuskauden aikana yliharjoittelusyndrooman oireita 24 % koehenkilöistä. Tässä tutkimuksessa käytettiin ylikuormittumisen tai yliharjoittelusyndrooman havaitsemiseen yhtä Tanskasen tutkimusta vastaavaa fysiologista kriteeriä eli vapaiden testosteroni / kortisoni – suhdearvojen absoluuttista laskua. Näiden fysiologisten

oireiden lisäksi havaittiin ylikuormittuneiden henkilöiden harjoitusvasteiden olevan erilaisia verrokkiryhmään nähden. (Tanskanen ym. 2011, Chicharro ym. 1998)

Aiempien tutkimusten perusteella on tiedossa, että noin 15 % uusista varusmiehistä keskeyttää pakollisen sotilaskoulutuksen ensimmäisen palveluskuukauden aikana alhaisen kuntotason seurauksena. Tästä huolimatta kaikille varusmiehille, kuntotasosta riippumatta, on suunniteltu suoritettavaksi sama fyysinen harjoitteluohjelma armeijan sotilaallisessa ympäristössä. (Tanskanen ym. 2011) Tanskasen tutkimuksessa havaittiin, että 33 % koehenkilöinä olleista varusmiehistä oli ylikuormittuneita 8 viikkoa kestävä peruskoulutusharjoittelun viimeisen puoliskon aikana. Tutkimusryhmä ehdottaakin, että peruskoulutuskauden harjoitusten jälkeen ylikuormittuneiden alokkaiden kannattaisi tehdä palautumista edistäviä harjoituksia estääkseen pitkäaikaisesta ylikuormittuneisuudesta seuraavan ns. yliharjoittelusyndrooman kehittymistä. Jos koehenkilöiden harjoituksen sietokyky suhteutetaan sairauspoissaolokriteereihin, tutkimustulokset ehdottavat varusmiesten jakamista eri harjoitusryhmiin aerobisen kuntotason perusteella. (Tanskanen ym. 2011)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet myös maailmanlaajuisen trendin nuorten miesten aerobisen suorituskyvyn heikkenemisessä ja liikalihavuuden kasvamisessa (Kyröläinen ym. 2010). Aerobinen suorituskyky onkin yksi hyvä fyysisen kunnon mittari, kun pyritään selvittämään henkilöiden yleistä fyysistä hyvinvointia sekä harjoittelusta aiheutuneita vaikutuksia elimistölle. Lisäksi tutkimustulokset aerobisesta suorituskyvystä yhdessä hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn kanssa antavat hyvän kuvan henkilön yleisestä kuntotasosta (Kyröläinen ym. 2010). Tutkimalla hermolihasjärjestelmän muutoksia yhdessä hapenottokyvyn muutosten kanssa voidaan saada tärkeää tutkimustietoa alokkaiden peruskoulutuskauden kuormittavuudesta sekä erilaisten harjoitusvasteiden vaikutuksista eri aerobisen kuntotason omaaviin alokkaisiin.

Tämän tutkimustyön tavoitteena on tutkia talvella tapahtuvan ja 8 – viikkoa kestäväen armeijan peruskoulutuskauden vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan ja voimantuotto- ja suorituskykyyn, vertailla niissä havaittujen muutosten yhteyttä maksimaaliseen hapenotto- ja suorituskykyyn sekä arvioida mahdollista ylikuormittumista. Oletuksena on, ettei heikkomman hapenotto- ja suorituskyvyn omaavien tutkittavien kuormittuminen ja palautuminen ole optimaalinen, minkä vuoksi fyysinen toimintakyky ei kehity tai jopa laskee.

6 LÄHTEET

Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P., 2002. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92: 2309–2318.

American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (7th edition). Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2006. ISBN: 0-7817-4506-3.

Avela, J., Kyröläinen, H., Komi, P. V. & Rama, D. 1999. Reduced reflex sensitivity persists several days after long- lasting stretch-shortening cycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 86 (4), 1292-1300.

Barry B.K. & Enoka R.M. 2007. The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integrative and Comparative Biology*, vol 47, number 4, pp. 465–473.

Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 81: 418-27.

Bassett DR, Howley ET. 1997. Maximal oxygen uptake: 'classical' versus 'contemporary' viewpoints. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29: 591-603

Bigland-Ritchie B. 1981. EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9: 75-117.

Bigland-Ritchie B. Johansson R. Lippold OCJ. and Woods J.J. 1983. Contractile Speed and EMG Changes During Fatigue of Sustained Maximal Voluntary Contractions. *Journal of Neurophysiology* Vol. 50, No. 1.

Bigland-Ritchie B, Dawson NJ, Johansson R, Lippold OCJ. 1986. Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatiguing human voluntary contractions. *The Journal of Physiology* 379: 451-459.

Cederberg H, Mikkola I, Jokelainen J, Laakso M, Härkönen P, Ikäheimo T, Laakso M, Keinänen-Kiukaanniemi S. 2011. Exercise during military training improves cardiovascular risk factors in young men. *Atherosclerosis*. 216(2):489-95.

Chicharro, JL, Lopez-Mojares, LM, Lucia, A, Perez, M, Alvarez, J, Labanda, P, Calvo, F, and Vaquero, AF. 1998. Overtraining parameters in special military units. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 69: 562–568.

Cupido CM, Hicks AL, Martin J., 1992. Neuromuscular fatigue during repetitive stimulation in elderly and young adults. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(6):567-72.

Cupido CM, Galea V, McComas AJ., 1996. Potentiation and depression of the M wave in human biceps brachii. *The Journal of Physiology*, 491: 541–550.

Davis, J. M. & Bailey, S. P., 1997. Possible mechanism of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29 (1), 45-57.

Devanandan MS, Eccles RM, Stenhouse D. 1966. Presynaptic inhibition evoked by muscle contraction. *Journal of Physiology*. 185(2):471-85.

Dolezal, BA and Potteiger, JA. 1998. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *Journal of Applied Physiology* 85: 695–700.

Duchateau J, Balestra C, Carpentier A, Hainaut K. 2002. Reflex regulation during sustained and intermittent submaximal contractions in humans. *The Journal of Physiology*, 541: 959–967.

Duncan GE, Howley ET, Johnson BN. 1997. Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29(2):273-8.

ECCLES, J. C., ECCLES, R. M. & LUNDBERG, A. 1957. Synaptic actions on motoneurons caused by impulses in Golgi tendon organ afferents. *Journal of Physiology* 138, 227-252.

Enoka, R.M. 2002. *Neuromechanics of Human Movement*. 3rd edition Human Kinetics. ISBN: 0-7360-0251-0.

Enoka, R.M., 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. 4th edition. Human Kinetics. ISBN-13: 978-0-7360-6679-2.

Enoka, R.M. and Stuart, D.G. 1992. Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72: 1631–1648.

Fetz EE, Jankowska E, Johannisson T, Lipski J. 1979. Autogenetic inhibition of motoneurons by impulses in group Ia muscle spindle afferents. *Journal of Physiology* 293:173-95.

Gandevia SC, Allen GM, Butler JE, Taylor JL. 1996. Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. *The Journal of Physiology* 490: 529–536.

Gandevia, S. C. 2001. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*, 81: 1725-1789.

Garland SJ. 1991. Role of small diameter afferents in reflex inhibition during human muscle fatigue. *The Journal of Physiology* 435: 547–558.

Gibson, A. S. C., Lambert, M. I. & Noakes, T. D. 2001. Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Medicine* 31 (9), 637-650.

Grimby, L., Hannerz, J., Hedman, B. 1981. The fatigue and voluntary discharge properties of single motor units in man. *Journal of Physiology*, 316: 545–554.

Hamilton AL, Nevill ME, Brooks S, Williams C. 1991. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *Journal of Sports Sciences*. Winter;9(4): 371-82.

Hochachka PW. 1999. The metabolic implications of intracellular circulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96: 233-9.

Hoffmann, J. 2002. *Physiological Aspects of Sport Training and Performance*. Human Kinetics. ISBN: 0-7360–3424-2.

Hultborn H and Pierrot-Deseilligney E. 1979. Changes in recurrent inhibition during voluntary soleus contractions in man studied by an H-reflex technique. *Journal of Physiology*. 297: 229–251.

Häkkinen, K, Alen, M, Kraemer, WJ, Gorostiaga, E, Izquierdo, M, Rusko, H, Mikkola, J, Häkkinen, A, Valkeinen, H, Kaaralainen, E, Romu, S, Erola, V, Ahtiainen, J, and Paavolainen, J. 2003. Neuromuscular adaptation during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 89: 42–52.

Jones BH, Knapik JJ. 1999. Physical training and exercise-related injuries. Surveillance, research and injury prevention in military populations. *Sports Medicine*: 27: 111–125.

Kirkendall DT. 1990. Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 22:444±449

Kreider, R., Fry, A. C., & O’Toole, M. 1998. *Overtraining in Sport*. Champaign, IL: Human Kinetics. ISBN: 0-88011-563-7.

Kugelberg E, Thornell L-E. 1983. Contraction time, histochemical type, and terminal cisternae volume of rat motor units. *Muscle Nerve* 6:149±153

Kyröläinen H., Santtila M., Nindl B.C. and Vasankari T. 2010. Physical Fitness Profiles of Young Men. Associations Between Physical Fitness, Obesity and Health. *Sports Medicine*, 40 (11): 907-920.

Lafleur J, Zytnicki D, Horcholle-Bossavit G, Jami L. 1992. Depolarization of Ib afferent axons in the cat spinal cord during homonymous muscle contraction. *Journal of Physiology*. 445: 345-354.

Lehmann, M, Baur, S, Netzer, N, and Gastmann, U. 1997. Monitoring high intensity endurance training using neuromuscular excitability to recognize overtraining. *European journal of applied physiology*. 76: 187–191.

Macefield G, Hagbarth KE, Gorman R, Gandevia SC, and Burke D. Decline in spindle support to alpha-motoneurons during sustained voluntary contractions. *The Journal of Physiology* 440: 497–512, 1991.

Maffiuletti, NA, Martin, A, Babault, N, Pensini, M, Lucas, B, and Schieppati, M. 2001. Electrical and mechanical Hmax-to-Mmax ration in power- and endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 90: 3–9.

McArdle W, Katch F, Katch V. 1991. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance*. Sixth Edition. Lippincott Williams ja Wilkins, ISBN: 0-8121-1351-9.

McArdle W, Katch F, Katch V. 2007. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance*. Sixth Edition. Lippincott Williams ja Wilkins, ISBN 13: 978-0-7817-4990-9, ISBN: 0-7817-4990-5.

Meeusen, R, Duclos, M, Gleeson, M, Rietjens, G, Steinacker, J, and Urhausen, A. 2006. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *European Journal of Sport Science* 6: 1–14.

Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K., Häkkinen, K. 2004. *Urheiluvälittäjä*. VK-Kustannus Oy. ISBN: 951–9147-44-6.

Merton, P. A. 1954. Voluntary strength and fatigue. *The Journal of Physiology*, 123: 553–564.

Milner-Brown HS, Stein RB, Lee RG. 1975. Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 38:245±254

Moritani, T ja deVries, HA. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58: 115–130.

Nienstedt W, Hänninen O, Arstila A ja Björkqvist, S. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 15. Painos. ISBN: 951-0-29611-2, ISBN: 978-951-0-29611-0

Nindl, BC, Barnes, BR, Alemany, JA, Frykman, PN, Shippee, RL, and Friedl, KE. 2007. Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. *Medicine and science in sports and exercise*, 39: 1380–1387.

Noakes TD. 1988. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20: 319-30.

Nordlund, M.M., Thorstensson, A. and Cresswell, A. G. 2004. Central and peripheral contributions to fatigue in relation to level of activation during repeated maximal voluntary isometric plantar flexions. *Journal of Applied Physiology* 96: 218–225.

Paavolainen, J. 2003. Neuromuscular adaptation during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89: 42–52.

Palmieri, R.M., Ingersoll, C.D., Hoffman, M.A. 2004. The Hoffman Reflex: Methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of Athletic Training*, 39(3): 268-277.

Palo J, Jokelainen M, Kaste M, Teräväinen H, Waltimo O. 1988. Neurologia. WSOY, ISBN: 951-0-15251-X.

Piirainen, J. M., Salmi, A J., Avela, J. and Linnamo V. 2008. Effect of body composition on the neuromuscular function of Finnish conscripts during an 8-week basic training period. *The Journal of Strength ja Conditioning Research* 22(6):1916-25.

Piirainen, J. M. , Avela, J. , Sippola, N. and Linnamo, V. 2010. Age dependency of neuromuscular function and dynamic balance control. *European Journal of Sport Science*, 10: 1, 69 — 79

Piitulainen H, Komi P, Linnamo V, Avela J. 2008. Sarcolemmal excitability as investigated with M-waves after eccentric exercise in humans. *Journal of electromyography and kinesiology*, 18(4):672-81.

Pääsuke M., Ereline, J. and Gapeyeva, H., 1999. Twitch contractile properties of plantar flexor muscles in power and endurance trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 80: 448-451

Racinais, S., Girard O., Micallef J. P., Perrey S., 2007. Failed Excitability of Spinal Motoneurons Induced by Prolonged Running Exercise. *Journal of neurophysiology*, 97: 596–603.

Sale DG, MacDougall JD, Upton A, and McComas AJ. 1983a. Effect of strength training upon motoneuron excitability in man. *Medicine and science in sports and exercise* 15: 57–62.

Sale DG, Upton A, McComas A, and MacDougall JD. 1983b. Neuromuscular function in weight-trainers. *Experimental neurology* 82: 521–531.

Sand O, Sjaastad Ø, Haug E, Bjålie J. ja Toverud K. 2011. 1. painos. WSOYPro. ISBN: 978–951-0-34655-6.

Santtila, M, Kyröläinen, H, Vasankari, T, Tiainen, S, Palvalin, K, Häkkinen, A, and Häkkinen, K. 2006. Physical fitness profiles in young Finnish men during the years 1975–2004. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38: 1990–1994.

Santtila, M. Häkkinen K. Karavirta L. Kyröläinen H. 2008. Changes in cardiovascular performance during an 8-week military basic training period combined with added endurance or strength training. *Military Medicine*; 173, 12; 1173.

Santtila, M., Kyröläinen, H., and Häkkinen, K. 2009. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4): 1300–1308.

Santtila, M., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Kyröläinen, H. 2010. Effects of Basic Training on Acute Physiological Responses to a Combat Loaded Run Test. *Military Medicine*, 175, 4; 273

Schieppati M. 1987. The Hoffmann reflex: A means of assessing spinal reflex excitability and its descending control in man. *Progress in Neurobiology*, 28: 345-376.

Sillanpää E, Häkkinen A, Nyman K, Mattila M, Cheng S, Karavirta L, Laaksonen D.E, Huuhka N, Kraemer W.J. and Häkkinen K. 2008. Body Composition and Fitness during Strength and/or Endurance Training in Older Men. *Medicine and Science in Sports Exercise*. 40(5): 950–958.

Strojnik V. and Komi P.V. 1998. Neuromuscular fatigue after maximal stretch-shortening cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*. 84(1): 344–350.

Tanskanen, M.M., Uusitalo A.L., Häkkinen K., Nissilä, J., Santtila, M., Westerterp K.R., Kyröläinen H. 2009 Aerobic fitness, energy balance, and body mass index are associated with training load assessed by activity energy expenditure. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 19: 871–878

Tanskanen, M.M., Kyröläinen, H., Uusitalo, A.L., Huovinen, J., Nissilä, J., Kinnunen, H., Atalay, M., and Häkkinen, K. 2011. Serum sex hormone-binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(3): 787–797.

Taylor, J.L., Allen, G.M., Butler, J.E. ja Gandevia, S.C. 2000. Supraspinal fatigue during intermittent maximal voluntary contractions of the human elbow flexors. *Journal of Applied Physiology*, 89: 305–313.

Taylor, H. L., E. Buskirk, ja A. Henschel. 1955. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of Applied Physiology*. 8:73-80

Upton, A.R.M., McComas, A.J. ja Sica, R.E.P. 1971. Potentiation of "late" responses evoked in muscles during effort. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 34: 699-711.

Vuori I. ja Taimela S. 1999. *Liikuntalääketiede*. Vammalan Kirjapaino Oy, ISBN: 951-656-032-6.

MANUSCRIPT

NEUROMUSCULAR ADAPTATION OF CONSCRIPTS DURING AN 8-WEEK
MILITARY BASIC TRAINING PERIOD IN FINNISH WINTER CONDITIONS

Kristiina Salo

INTRODUCTION

It has been shown previously that physical fitness of the young Finnish males has decreased during the past decades while their body mass weight has increased significantly (Santtila et al. 2006, Kyröläinen et al. 2010). At the same time and especially during the past decade, the number of drop outs among conscripts has increased in military service. For conscripts of poor physical condition the basic training (BT) period may be too strenuous and possibly lead to drop outs.

The main purpose for military basic training is to prepare conscripts both physically as well as mentally for the entire military training. Furthermore, it is aiming to improve soldiers' aerobic fitness and neuromuscular performance so that conscripts would be able to cope with demanding military tasks. (Santtila et al. 2008)

Studying aerobic performance together with neuromuscular adaptations can give important information on the load of military basic training period and effects of different training responses among the conscripts of different fitness levels (Kyröläinen et al. 2010). Weaker central activity can lead to overall decrease in performance and, therefore, even to interruptions from military service. A certain type of training could improve the neural properties and even 3-4 weeks of strength training has been shown to increase the neuromuscular responses (Moritani and deVries, 1979). It has also been shown earlier that added strength training during basic military training period is not interfering with the development of improved aerobic capacity (Santtila et al 2008).

In the corresponding study done from the neuromuscular point of view (Piiirainen et al. 2008), there were no observations of overreaching during summer season military training when the subjects were divided to groups according to their fat percentage. However, winter and cold condition may be even more demanding training environment.

The purpose of the present study was to evaluate neuromuscular adaptation, and whether aerobic capacity ($\text{VO}_{2\text{max}}$) is related to the neuromuscular adaptation and possible overreaching of the neuromuscular system during 8 weeks of BT in winter conditions.

METHODS

Subjects

24 healthy male Finnish conscripts (18-21 years) participated in the study. They were divided into three groups (G1 good; G2 moderate; G3 low) based on their VO_{2max} values at the beginning of BT. Good > 46.0 ml/kg/min for group 1; moderate 40.0-45.9ml/kg/min for group 2; low < 39.9 ml/kg/min for group 3 (Table I).

TABLE I. Characteristics of the subjects in the first week of military basic training

Group	VO_{2max} (ml/kg/min)	Height (m)	Body mass (kg)	BMI	Fat %
G1 (N=8)	49,9±4,1	1,75±0,06	68,8±6,8	22,6±2,7	14,8±3,1
G2 (N=8)	44,0±1,8	1,75±0,11	71,0±10,2	23,3±2,9	16,1±4,8
G3 (N=8)	33,9±4,4	1,83±0,07	95,0±14,5	28,4±5,0	22,8±4,5

All subjects were informed and fully aware of the experimental protocol and possible risks, and they gave their written consent to participate in the study. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki, and it was approved by the Finnish Defence Forces, and the Ethical Committees of the University of Jyväskylä and the Kainuu region of Finland.

Basic training period

Basic training period lasts 8 weeks, and it is conducted according to the general physical training guidelines of the Finnish Defence Forces. All conscripts use the same military training schedule during the entire BT period. The intensity level of day to day physical activity is low at the first week but it increases thereafter. Military training consists of heavy physical activities such as marches, battle drills, and other types of physical sport exercises. In addition, conscripts carry heavy combat training equipment of 15 – 25 kg as part of the exercises, especially, during marches and combat trainings. The training period also include field exercises done overnight. Along with physical exercises of the

basic training period, there are theoretical studies being taught in classroom, materials handling, shooting, gun handling and general military training, such as closed marching exercises. Besides the guided exercises, conscripts are marching four times a day to eat, which may increase the amount of walking up to 5 - 7 kilometers during one day. Daily outdoor exercises, as well as the transitions between the venues are usually also done by marching, which increases the share of endurance sports significantly throughout the training period. (Tanskanen et al. 2011, Santtila et al. 2009, Santtila et al. 2008) Tanskanen et al (2011) studied that in the beginning of the basic training period the duration of physical training is approximately 2 hours 21 minutes rising up to 3 - 4 hours during the BT weeks of 4 - 7. During their study, the military basic training period also included four longer (2 - 8 hours) marching exercises while carrying heavy combat training equipment. The present study has been done at the same time and in the same military base so the training description is similar with the current study.

Measurements

Measurements were performed in the first, fifth and eighth weeks of the BT period. At first, the protocol consisted of the aerobic fitness test (VO_{2max}) and body composition measurements (Fat% and BMI). During the same week maximal isometric force (MVC) and rapid force production, surface electromyography (EMG), H-reflex, V-wave and single twitch measurements were done for the neural adaptation analyses.

VO_{2max}

VO_{2max} measurements were done to evaluate the level of aerobic fitness of the subjects. These measurements were later used to divide the subjects into three different groups based on their fitness level. Subjects performed a maximal treadmill test in the first, fifth and eighth weeks of their BT period. Each subject performed the test always at the same time of day between 8.30 AM and 5 PM. Also diet was similar before each test. Test started with a warm up of 3 min walking at 4.6 km/h speed which was followed by walking or jogging at 6.3 km/h (1 degree slope). After the warm up the exercise intensity was increased every three minutes to induce an increase of 6 ml/kg/min in the theoretical VO_{2max} demand of running (ACSM, 2006). The initial running speed was increased by a mean of 1.2 km/h (range 0.6-1.4 km/h), and the initial slope (1 deg) was increased by a mean grade of 0.5 deg (range 0.0-1.0 deg) every three minutes. Test was

continued until exhaustion. The collected data considered heart rate (Polar810i; Polar Electro Oy, Kempele, Finland), pulmonary ventilation and respiratory gas exchange using the breath-by-breath method (Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Germany). The mean values were calculated from measured results at 1 minute intervals for later statistical analysis. VO_{2max} was considered to be achieved when VO_{2max} and heart rate did not increase despite an increase in the exercise intensity, a respiratory exchange ratio (RER) higher than 1.1, and a post-exercise blood lactate (Lactate analyzer; LactatePro, Arkray, Japan) higher than 8 mmol/l (ACSM, 2006). All participants satisfied these criteria (Tanskanen et al 2011).

Body Composition

Percentage of body fat (Fat %) and body mass index (BMI) were measured using an InBody-720 analyser (Biospace Co. Ltd., Seoul, Korea). Table I presents the baseline characteristics of the groups.

MVC and rapid force production

Maximal voluntary leg extension force (MVC) and rapid force production as a peak force (0-500ms) were measured from leg extension muscles during maximal isometric leg extension in the beginning of BT, after 5 weeks and at the end of BT. With details, rapid force production was measured and later analysed as a peak force (peak-to-peak amplitude change) between the onset of the force production and the 500ms time point. Measurements were done with a leg extension dynamometer (University of Jyväskylä, Finland). The subjects were seated on the bench with a hip angle of 110 deg, knee angle 125 deg and ankle angle 90 deg. They did first a warm-up of 15 submaximal voluntary contractions. After that they performed three maximal voluntary contractions at a duration of 2 – 3 s and with 1 min intervals. Force production measurements were gathered from both legs with a force plate. The measured signals were amplified and transferred through an isolation unit (ME4ISO, MegaElectronics Ltd., Finland) and measuring unit (ME6000, Mega Electronics Ltd., Finland) to the MegaWin software (Mega Electronics Ltd., Finland) for later analysis. The best performance was selected for maximal force and rapid force production analyses.

Electromyography

Electromyographic activity was measured from two muscles (vastus lateralis and vastus medialis) during leg extension using bipolar (20-mm distance) surface electrodes. Electrodes for each muscle were placed according to SENIAM (Hermens et al 1999). The EMG signals were measured and recorded using a wireless connection (MegaWin software, biomonitor ME6000; Mega Electronics Ltd, Finland). Both legs were working in the dynamometer however only right leg was measured with EMG measurement during MVC. Electromyographic data was rectified and averaged for each muscle during the analyses phase. Two different time windows of the isometric force-time curve were selected for the analyses of averaged EMG signals: the first 500 milliseconds (aEMG₅₀₀) of the contraction and 200 (\pm 100) milliseconds (aEMG_{max}) during the plateau phase of the maximal voluntary contraction. aEMG₅₀₀/aEMG_{max} – ratio was used to analyse the neural activation strategies during rapid force production. The aEMG₅₀₀ / aEMG_{max} – ratio of right leg extension was calculated from the vastus lateralis and vastus medialis muscles' summated aEMG result which was further averaged. During H – reflex and V – wave measurements, EMG was measured also from the soleus muscle with the same equipments and same settings described earlier.

H-reflex

H-reflex at rest was measured in standing position from the soleus muscle in the beginning of BT, after 5 weeks and at the end of BT. Measurement was done using a fixed bipolar electrode with anode placed over the patella and cathode over the tibial nerve. The correct position of the fixed electrode was determined with a movable stimulation electrode by analysing the shape of the EMG waves at different stimulation intensities with a criterion of peak-to-peak amplitude being the only parameter changing. A supramaximal stimulus (with 0.2ms duration at ca. 0.2 Hz stimulation frequency) was given to the tibial nerve with a stimulator (DS7A, Digimeter Ltd, Welwyn Garden City, England) and the EMG – measures were collected from the soleus muscle. Maximal M – wave (M_{max}), maximal H – reflex (H_{max}) responses and H_{max}/M_{max} - ratio were analysed from the averaged results to evaluate the sensitivity of α – motoneuronpool.

V-wave

V-wave response was measured from soleus muscle respectively with H-reflex recordings but while doing a maximal isometric plantar flexion at 110 deg hip angle, 180 deg knee angle, and 90 deg ankle angle. This knee angle was used to ensure that the subject was mainly using the soleus muscle in the movement. Subject did five maximal plantar flexion repetitions with one min intervals. A supramaximal stimulus was given to the tibial nerve after one second from the start of the contraction. Maximal M-wave, V-wave and V/M_{\max} – ratio were analysed after calculating their average measures.

Passive twitch

Right after V-wave measurements a passive single twitch was measured from triceps surae muscle while the subject was sitting on a leg dynamometer with a knee angle at 170 deg and ankle angle at 110 deg. To ensure that the muscle activity was low, the subjects were asked to hold their feet on the platform as relaxed as possible. Measurement was repeated twice and one supramaximal stimulus was given to the tibial nerve during each repetition. The best performance according to the maximum peak force was selected for further analyses.

Statistical Analyses

Mean and standard deviations of all variables were calculated for each group. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to study the significant differences between and within the groups. Significant differences found by one-way - ANOVA were further analysed by post hoc test of least significant difference (LSD). Associations between maximal aerobic capacity and different neuromuscular properties were analysed with a Spearman correlation coefficient. Correlation analyses were done between the relative changes of the variables to describe the training induced adaptations. The results were considered statistically significant if the p value was below 0.05. The statistical data analyses were done with statistical SPSS package for Windows PC software, PASW Statistics Release 18.0.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

RESULTS

Rapid force production and maximum voluntary contraction

There were no significant differences between the groups or changes within any of the groups in leg extension MVC or in rapid force production during BT (Table II).

TABLE II. Mean (\pm SD) MVC and rapid force production results during maximal isometric leg extension.

	Rapid force production (N)			MVC (N)		
	week 1	week 5	week 8	week 1	week 5	week 8
G1	549 \pm 251	614 \pm 252	727 \pm 264	677 \pm 251	751 \pm 290	829 \pm 299
G2	511 \pm 122	565 \pm 159	592 \pm 180	650 \pm 127	727 \pm 201	761 \pm 190
G3	596 \pm 264	571 \pm 284	537 \pm 73	739 \pm 236	671 \pm 272	675 \pm 108

EMG

Absolute aEMG_{max} - and aEMG₅₀₀ - values (Table III) were measured from the vastus lateralis and vastus medialis muscles to further analyse the neural activation strategies during rapid force production (aEMG₅₀₀ / aEMG_{max} – ratio) (Table IV). aEMG₅₀₀ / aEMG_{max} – ratio of right leg extension was calculated from the vastus lateralis and vastus medialis muscles' summated aEMG result which was then averaged. aEMG₅₀₀ / aEMG_{max} – ratio from right leg extension (Figure 1) increased by 35% within G3 between training weeks 1 and 5 ($p < 0.05$). No significant differences were observed between the groups.

TABLE III. Mean (\pm SD) absolute aEMG values (μ V) measured during MVC and 500 ms rapid force production (measured from the vastus lateralis and vastus medialis muscles).

	VASTUS LATERALIS	VASTUS MEDIALIS	VASTUS LATERALIS	VASTUS MEDIALIS
	aEMG _{MAX} (μ V)		aEMG _{500ms} (μ V)	
WEEK 1				
G1	258 \pm 95	263 \pm 56	160 \pm 139	215 \pm 137
G2	276 \pm 129	311 \pm 125	194 \pm 109	206 \pm 109
G3	172 \pm 153	231 \pm 109	94 \pm 95	97 \pm 78
WEEK 5				
G1	317 \pm 159	324 \pm 121	223 \pm 165	234 \pm 121
G2	227 \pm 109	281 \pm 186	193 \pm 94	221 \pm 112
G3	142 \pm 56	230 \pm 192	167 \pm 155	167 \pm 146
WEEK 8				
G1	176 \pm 79	280 \pm 221	171 \pm 96	244 \pm 117
G2	230 \pm 40	240 \pm 163	194 \pm 114	215 \pm 150
G3	128 \pm 51	171 \pm 139	122 \pm 100	90 \pm 94

TABLE IV. Mean (\pm SD) aEMG₅₀₀/aEMG_{max}- ratios measured during 500ms rapid force production and MVC (measured from the Vastus Lateralis and Vastus Medialis muscles).

aEMG ₅₀₀ / aEMG _{max}	VASTUS LATERALIS	VASTUS MEDIALIS
WEEK 1		
G1	0,63 \pm 0,49	0,81 \pm 0,51
G2	0,82 \pm 0,56	0,73 \pm 0,46
G3	0,55 \pm 0,27	0,38 \pm 0,20
WEEK 5		
G1	0,80 \pm 0,54	0,75 \pm 0,30
G2	0,88 \pm 0,30	0,86 \pm 0,31
G3	1,12 \pm 0,69	0,75 \pm 0,27
WEEK 8		
G1	1,16 \pm 0,60	1,21 \pm 0,62
G2	0,81 \pm 0,42	0,93 \pm 0,31
G3	0,90 \pm 0,50	0,52 \pm 0,23

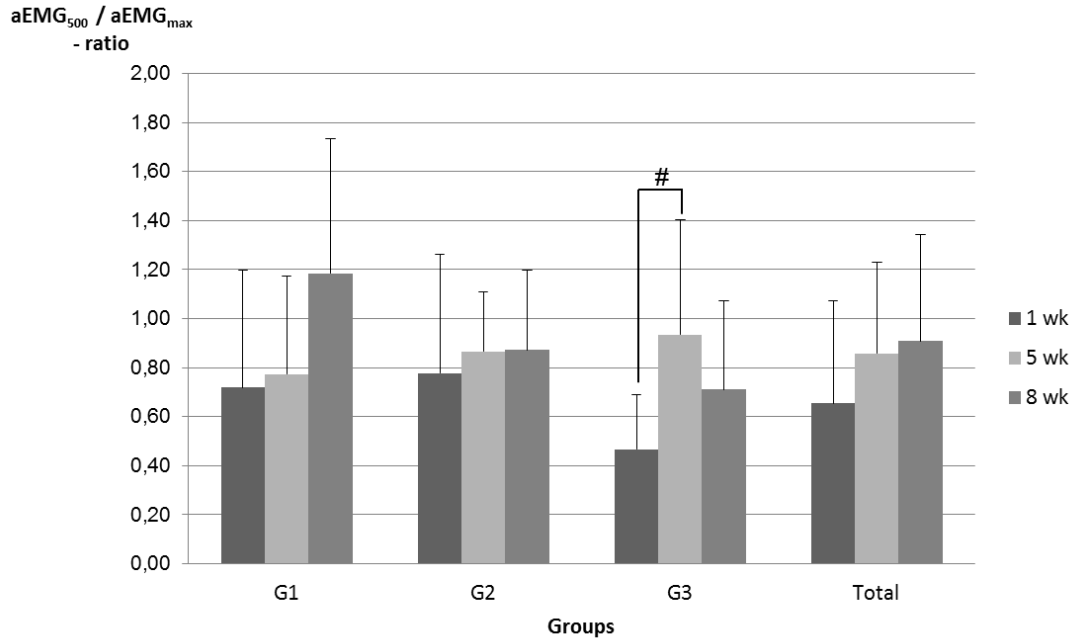


FIGURE 1. Mean (\pm SD) first 500ms aEMG (normalised with aEMG_{max}) during isometric leg extension in all three groups during the BT period. Significant difference found (# $p < 0.05$) within group.

H – Reflex

Normalized maximum H - reflex (H_{max}/M_{max} - ratio) was measured at rest in a standing position from the soleus muscle. H - reflex results had multiple findings between the groups and within group G2. H - reflex was significantly higher in G1 after 5 weeks of training compared to G2 (-39% $p < 0.01$) and G3 (-32% $p < 0.05$). H - reflex increased significantly only within G2 and during the last 3 weeks of training (38% $p < 0.05$). (Figure 2)

G1 had a positive correlation observed between relative changes of H_{max}/M_{max} from week 1 to 5 and aEMG₅₀₀/aEMG_{max} -ratio changes from weeks 1 to 5 ($r = 0.810$ $p < 0.05$).

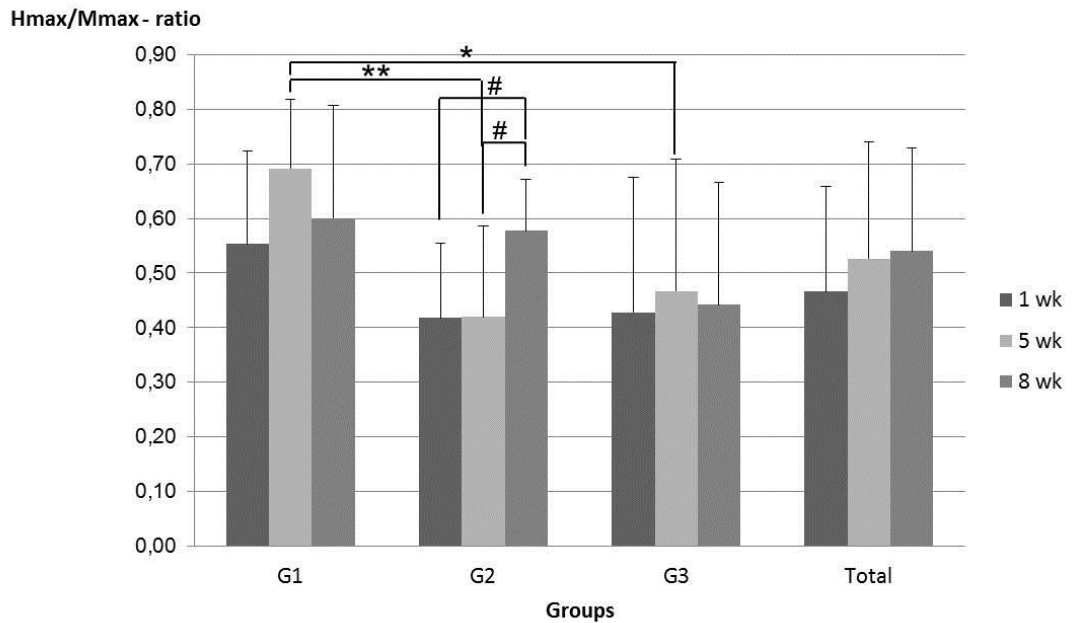


FIGURE 2. Mean (\pm SD) normalized maximum H-reflex (H_{\max}/M_{\max} - ratio) at the beginning, after 5 weeks and at the end of BT in good (G1), moderate (G2) and low (G3) $VO_{2\max}$ groups. Significant differences found (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) between groups or (# $p < 0.05$) within groups.

V – wave

Normalized maximum V – wave (V_{\max}/M_{\max} - ratio) was measured from the soleus muscle while doing a maximal isometric plantar flexion. V – wave results differ significantly between G1 and G3 in every measured week. V – wave was also significantly lower in G3 compared to G1 in the beginning (-40% $p < 0.05$), after 5 weeks of training (-57% $p < 0.01$) and at the end of BT (-52% $p < 0.05$). (Figure 3) In the correlation analysis of the entire study group (N=24), there was a significant positive correlation between the relative changes of V – wave from week 5 to 8 and $aEMG_{500}/aEMG_{\max}$ - ratio results ($r = 0.438$ $p < 0.05$).

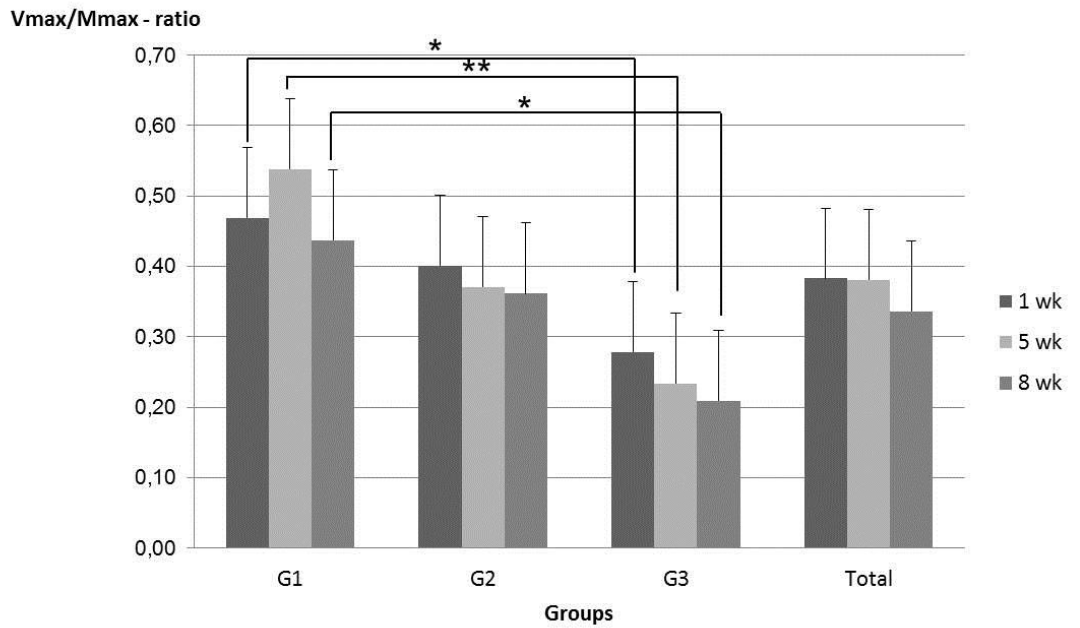


FIGURE 3. Mean (\pm SD) normalized maximum V - wave (V_{\max}/M_{\max} - ratio) at the beginning, after 5 weeks and at the end of BT in the good (G1), moderate (G2) and low (G3) $VO_{2\max}$ groups. Significant differences found (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) between groups.

Passive twitch

Passive twitch was measured with a single twitch from the triceps surae muscle while subject was sitting on a leg dynamometer. Passive single twitch showed significantly higher values in G1 than in G2 during the fifth week of training (-28% $p < 0.05$). Otherwise, there were no significant differences between or within groups (Figure 4).

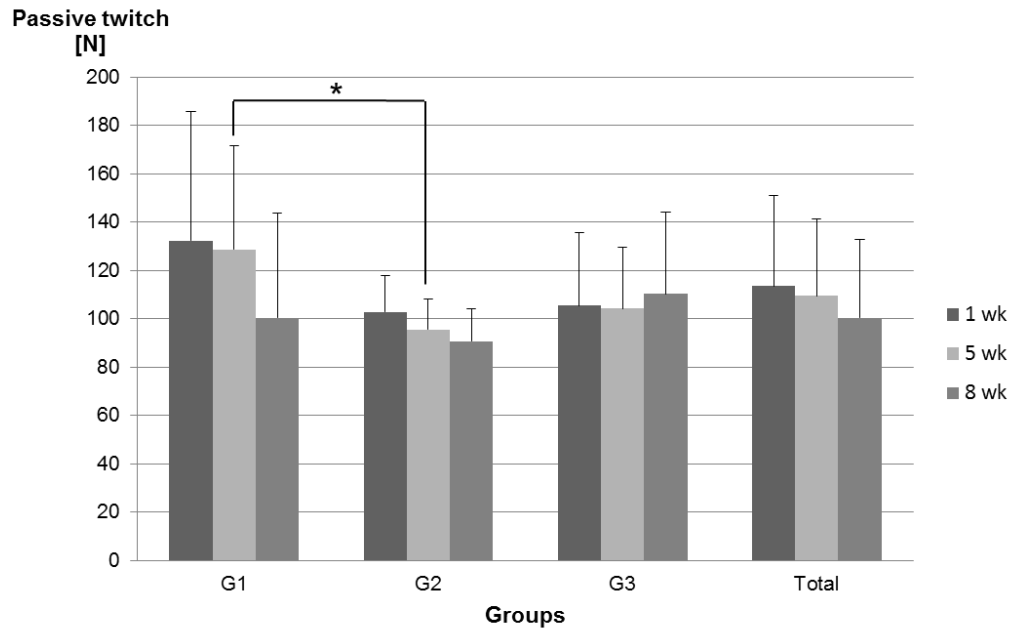


FIGURE 4. Passive twitch force results with single stimulus (* $p < 0.05$).

VO_{2MAX}

VO_{2MAX} results were measured three times during the BT period (Table V). Initial VO_{2MAX} values were used to divide the subjects into three different fitness level groups (Table I). VO_{2MAX} was the highest in G1, moderate for G2 and the lowest in G3 in the beginning of BT. The fifth week results showed a rising development in the aerobic capacity measures for all groups. Statistically significant differences were observed in G1 and G2 which were significantly higher compared to G3 (G1 -27% $p < 0.01$, G2 -20% $p < 0.01$). Also the results of the eighth week in G1 and G2 were both seen to be significantly higher than in G3 (G1 -25% $p < 0.01$, G2 -21% $p < 0.01$).

VO_{2MAX} increased in all groups during the entire BT period but it improved significantly within G2 (G2: 5 wk 9% $p < 0.01$, 8 wk 11% $p < 0.01$) and within G3 (G3: 5 wk 12% $p < 0.01$, 8 wk 14% $p < 0.01$) when compared to the first week of the BT period.

TABLE V. Mean (\pm SD) $VO_{2\max}$ results from all three groups during 8 week military basic training.

$VO_{2\max}$ (ml/kg/min)	WEEK 1	WEEK 5	WEEK 8
G1	$49,9 \pm 4,1$	$52,9 \pm 3,8$	$52,0 \pm 4,3$
G2	$44,0 \pm 1,9$	$48,1 \pm 1,8$	$49,7 \pm 2,5$
G3	$33,9 \pm 4,4$	$38,6 \pm 2,3$	$39,2 \pm 1,3$

DISCUSSION

Main finding of the present study was the differences observed in the neural activity (H-reflex and V-wave) of conscripts from different aerobic fitness level. This was seen, especially, in V-wave responses which were significantly lower in the poor aerobic capacity group (G3) as compared to the group with good aerobic capacity (G1) during the entire BT period. In the present study, there were no major improvements or declines in neural activation or in force production capabilities within any of the groups. However, aerobic capacity was developed within all groups during the entire BT period. These results together indicate that the training was not sufficient to induce neural changes but also that there were no signs of overreaching during the BT.

Changes in MVC and rapid force production performance. Development in force production is accompanied with increased voluntary neural activation, increased muscle cross-sectional area and hypertrophy of individual muscle fibre (Häkkinen et al 2003). Thus, maximal leg extension force (MVC) and rapid force production were measured in the current study to evaluate the training adaptations in the force production properties of muscles and corresponding neural components caused from the BT period. However, there were neither improvements nor declines to give any signs of sufficient neural development or of overuse in any fitness group based on the measured MVC and rapid force production results. One reason for insufficient strength development could be again the high amount of endurance based activity in the current military BT (Santtila et al 2008, Kraemer et al 1995). Endurance training has earlier been considered to interfere also with the explosive strength development by limiting the training induced changes in rapid neural activation (Häkkinen et al 2003). When MVC results are further compared against V-wave results, it can be observed that V –wave is significantly lower in G3 compared to G1, even though absolute MVC values show no significant differences between the groups. However, no significant correlations were observed between the relative changes of these variables. If MVC would be related to body weight, we could probably find more significant differences also from MVC results. This is because G3 has possibly more muscle mass in addition to fat mass. When

studying the body composition values (BMI and fat %) of G1, it can be seen that they are quite lightweight and lean which indicates they clearly have also less muscle mass.

Changes in muscle activity (EMG). The muscle activity measurements done with EMG and analysed by $aEMG_{500} / aEMG_{max}$ -ratio in this study also show some signs that there was insufficient development in the force production properties of muscles and corresponding neural components. $aEMG_{500} / aEMG_{max}$ -ratio increased significantly in the VL muscle only in poor aerobic capacity group (G3) in the first 5 weeks of training but no significant changes were observed in the later part of basic training. The ratio did not develop significantly in any of the other groups or with any of the measured muscles (VL and VM) during entire 8 week military basic training period. Also this supports that BT is not sufficient to improve power related capacities and more explosive type of training can be recommended.

Changes in H-reflex. There were significant differences in the normalised H – reflex (H_{max}/M_{max}) results between groups G1 and G2 as well between G1 and G3. One factor explaining the significant difference between G1 and G2 could be that G1 could have more endurance type of athletes (e.g. cross-country skiers). Because of this fact, the neural factors affecting H –reflex can be different. These factors are related to both neural but also to muscle cell distribution (Maffiuletti et al. 2001). For example, endurance athletes have usually smaller co-activation of agonist (soleus) and antagonist (tibialis) muscles (Garrandes et al 2007). However, in the current study we did not measure the tibialis anterior muscle during H – reflex measurements and, therefore, cannot analyse H – reflex results based on co-activation properties. Other neural difference is shown in the firing rate of different motor unit types. For endurance type of persons, training has more effects on the slow motor units. Based on earlier study, athletes that do more endurance type of training have higher normalised H – reflex response (H_{max}/M_{max}) and thus more slow motor units are being activated compared to strength training type of athletes. (Maffiuletti et al 2001, Aagaard et al 2002) Their muscle cell distribution is bigger for slow than for fast muscle cells, and they can produce the required force by recruiting more slow muscle cells compared to other control groups, e.g. strength trainers. The production of force in endurance athletes is activated by increasing the sensitivity of motoneuronpool through reflex signalling. Endurance training has been shown to increase the ability to recruit the whole

motoneuronpool and to increase the number of slow muscle cells. (Maffiuletti et al 2001) Results of the current study also support these observations when relative changes of G1 groups H – reflex from week 1 to 5 had a positive correlation on relative changes of $aEMG_{500}/aEMG_{max}$ – ratio results. In other words, the maximum force production speed has increased at the same time when central nervous systems activity has improved. Similar correlations were not observed in G2 or in G3. This can be an indication from better neural activation strategy for the good fitness level (G1) conscripts. The central activation has improved and electrical signaling can be more effective to pass through the central nervous system. It could also be that the inhibition has changed, while the central activity has improved. Similar positive correlation result was not even expected from the G3 ('poor fitness level') conscripts while they were expected to have weaker central activity overall. Therefore, based on these results it can be said that training induced neural adaptations between the fitness level groups are different.

It has been found in earlier studies that endurance type of training enhances normalised H – reflex responses (H_{max}/M_{max}) (Maffiuletti et al 2001, Aagaard et al 2002). Results of the current study support these observations when relative changes of G3 ('poor fitness level') H – reflex from week 5 to 8 had a positive correlation with the relative changes of VO_{2max} results. Thus, in this case it could be said that training has had a positive effect on the spinal activity of the poor level conscripts.

Changes in V-wave. When looking into the V –wave results G1 had better neural drive than G3. G1 had significantly higher V – wave results and thus they have significantly higher voluntary activation than G3. One factor explaining this result could be that there might be more untrained persons in the G3 group which would explain a weaker central activity for the muscles. High fat percentage and BMI values of the G3 group indicate that there are clearly overweighted persons in this group. The weaker fitness level is explained by the poor VO_{2max} results which were in line with their weak neural activation properties from central nervous system. Their V –wave responses were significantly lower during the entire BT period. In these results we can clearly see the effect of non-training in G3. It can be assumed that G3 is physically not really active and because of this the central activity is weaker than that for the trained subjects. However, this could be easily improved by introducing more strength training for their weekly schedules during basic training period and thus help to enhance their

neuromuscular properties in just 3-4 weeks (Moritani and deVries 1979). It has also been shown earlier that added strength training during basic military training period is not interfering with the development of improved aerobic capacity that is noticed in the results of this study (Santtila et al 2008). A note is to be taken, however, that the optimal emphasis between different training responses should be found in combined strength training and endurance type BT period to prevent overreaching of subjects with poor fitness level (Santtila et al 2009, Häkkinen et al 2003).

The entire study group (N=24) had one significant positive correlation from week 5 to 8 between the relative changes of V – wave and $aEMG_{500}/aEMG_{max}$ – ratio results. Thus, the capability for rapid muscle activation was increased when central nervous systems activity had improved.

Changes in passive twitch. Results of passive twitch showed no significant change in any of the groups which indicates that muscle activity did not weaken but did not develop either. These results can, however, indicate that winter conditions are more strenuous for the conscripts compared to summer time BT period. Compared to the passive single twitch measurements of corresponding study that were done during summer time basic training period (Pirainen et al. 2008), we found somewhat different results. They found that passive twitch values had increased significantly in all groups during the entire 8 week basic training period. The measurements of the current study were done during winter in cold conditions, and there were also snow present in many of the outdoor activities performed by the conscripts. In snowy conditions, it is more difficult to move, for example, in field training exercises and also e.g. the equipment's (winter clothing) are heavier. In addition to passive twitch results, the effect of environmental aspects was also seen in improved cardiovascular properties (VO_{2max} results) in all groups during winter time BT. Thus, winter conditions can be said to cause a heavier loading of the conscripts which could be expected to lead to overtraining state but based on the improved VO_{2max} results of the current study that is not the case. The passive twitch was measured now with a single stimulus. If the activation level would have been measured with double-twitch, it might have enhanced the calculation and add some more reliability to the results (Upton et al.1971, Suter and Herzog 2001).

Changes in maximal VO_{2max}. Military basic training contains a lot of endurance type of activities that has been observed to improve aerobic capacity and thus cardiovascular and respiratory performance (Santtila et al 2008). The results of the current study support this finding while VO_{2max} results were increased within all groups during the entire BT period but significantly only within the groups G2 and G3. Even though aerobic capacity results were improved at all fitness levels, there were no signs of similar significant positive development in the neural properties within the different fitness groups. These results reveal military basic training to have the emphasis more on endurance type of training than in strength or combined training. Based on the improved aerobic capacity (VO_{2max}), it can be said the performance has not been impaired and thus there is no overreaching observed in any of the groups during the BT period.

When comparing the results of this study with a corresponding study (Pirainen et al. 2008), VO_{2max} seems to be a better indicator of different fitness levels and neural properties than that of body composition (fat percentage). In this corresponding study Pirainen and his colleagues (2008) used fat percentage as a group division factor and there was no clear association between body composition and H – reflex activity in the different groups. In the current study, the grouping was based on the VO_{2max} values. With this selection we wanted to see if the VO_{2max} would uncover differences in the neural properties between the subjects of different aerobic fitness levels. VO_{2max} was used as the variable to divide the groups, there were more significant findings both in H-reflex and in V-wave results between different fitness levels. It was noticed that those who had lower H - reflex values had also poor aerobic fitness level based on the VO_{2max} results which was observed in group G3. Furthermore, those who had higher H - reflex values had also good VO_{2max} results in group G1. Also the V – wave results were significantly different between these two groups, G1 and G3. These results indicate that VO_{2max} is clearly better in describing the physical fitness level than body fat percentage. As an example, it should be noted that a normal sedentary male with a good fitness level (VO_{2max} over 50 ml/kg/min) and with fat percentage of 16-17 % can still have high BMI because of a lot of muscle mass. In the earlier study, this subject would go to G3 (‘low’) and in the current study to G1 (‘good’) because of good VO_{2max} results (Pirainen et al 2008). In that study, however, even the highest averaged fat % results did not reach 20 %. When in the current study not only BMI is higher in G3 compared to G1 or G2 but also fat % is significantly over 20% in G3. These results show that high BMI is

occurring because of high amount of fat in person's body composition and not because of high amount of muscle mass. In case like these it can be suggested that subjects in G3 are overweighed and in poor fitness condition. This factor is also supported by lower V – wave results. They are not poor just because of poor aerobic capacity but also because of poor neural properties.

In conclusion, significantly better H – reflex response for good level conscripts indicates weaker neuromuscular adaptation of those ones with poor aerobic fitness. This conclusion is also confirmed by the higher V – wave responses of the good fitness level conscripts versus their poor counterparts in every week measured. Weaker central activity can lead to overall decrease in performance and, therefore, even to interruptions from military service. Passive twitch showed no significant change which indicates that the muscle activity did not weaken but did not develop either. There were also no signs of overreaching in any group based on the measured force production and aerobic capacity values.

Based on the present study, it can be suggested that strength training should be included in the beginning of the military service which might improve overall performance and thereby help to complete the entire service.

REFERENCES

Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P., 2002. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92: 2309–2318.

American College of Sports Medicine. 2006. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (7th edition). Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins. ISBN: 0-7817-4506-3.

Garrandes, F, Pensini, M, Seynnes, O, & Legros, P. 2007. Neuromuscular fatigue profile in endurance trained and power trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 39: 149-158.

Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug C. and Hägg G. 1999. *European recommendations for surface electromyography: Results of the SENIAM project*. Enschede, Netherlands: Roessingh Research and Development. ISBN: 90-75452-15-2.

Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo, M, Rusko, H, Mikkola, J, Häkkinen, A, Valkeinen, H, Kaaralainen, E, Romu, S, Erola, V, Ahtiainen, J, and Paavolainen, J. 2003. Neuromuscular adaptation during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 89: 42–52.

Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, Newton RU, Triplett NT and Dziados JE. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* March 1, 1995 vol. 78 no. 3 976-989

Kyröläinen H., Santtila M., Nindl B.C. and Vasankari T. 2010. Physical Fitness Profiles of Young Men. Associations Between Physical Fitness, Obesity and Health. *Sports Medicine*, 40 (11): 907-920.

Maffiuletti, NA, Martin, A, Babault, N, Pensini, M, Lucas, B, and Schieppati, M. 2001. Electrical and mechanical Hmax-to-Mmax ration in power- and endurance-trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 90: 3–9.

Moritani, T and deVries, HA. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58: 115–130.

Piirainen, J. M., Salmi, A J., Avela, J. and Linnamo V. 2008. Effect of body composition on the neuromuscular function of Finnish conscripts during an 8-week basic training period. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 22(6):1916-25.

Santtila, M, Kyröläinen, H, Vasankari, T, Tiainen, S, Palvalin, K, Häkkinen, A, and Häkkinen, K. 2006. Physical fitness profiles in young Finnish men during the years 1975–2004. *Medicine & Science in Sports Exercise* 38: 1990–1994.

Santtila, M. Häkkinen K. Karavirta L. Kyröläinen H. 2008. Changes in cardiovascular performance during an 8-week military basic training period combined with added endurance or strength training. *Military Medicine*; 173, 12; 1173.

Santtila, M., Kyröläinen, H., and Häkkinen, K. 2009. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4): 1300–1308.

Suter E. and Herzog W. 2001. Effect of number of stimuli and timing of twitch application on variability in interpolated twitch torque. *Journal of Applied Physiology* 90: 1036–1040.

Tanskanen, M.M., Kyröläinen, H., Uusitalo, A.L., Huovinen, J., Nissilä, J., Kinnunen, H., Atalay, M., and Häkkinen, K. 2011. Serum sex hormone-binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(3): 787–797.

Upton, A.R.M., McComas, A.J. and Sica, R.E.P. 1971. Potentiation of "late" responses evoked in muscles during effort. *Journal of Neurology, Neurosurgery ja Psychiatry*, 34: 699-711.