

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN SUORITUSKYVYN MUUTOKSET JA  
HORMONIVASTEET KAHDEN VIIKON SOTILASKOULUTUSJAKSOSSA**

EUK -tutkielma

Kapteeni  
Mika Salonen

Esiupseerikurssi 66  
Maasotalinja

Huhtikuu 2014

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Esiupseerikurssi 66	Linja Maasotalinja
Tekijä Kapteeni Mika Salonen	
Tutkielman nimi Hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutokset ja hormonivasteet kahden viikon sotilaskoulutusjaksossa	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2014	Tekstisivuja Liitesivuja 37 kpl 4 kpl
<p><b>TIIVISTELMÄ</b></p> <p>Fyysiseen kuormittavuuteen kohdistuvia tutkimuksia voidaan käyttää arvioitaessa sotilaiden suorituskyvyn vaatimuksia tai kehitettäessä tehtäväkohtaista taktiikkaa ja koulutusta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kahden viikon sotilaskoulutusjakson kuormittavuutta ja kuormituksesta palautumista fysiologisia kuormitusvasteita ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutoksia seuraamalla. Tutkimus toteutettiin mittaamalla koehenkilöiden fyysistä suorituskykyä ja fysiologia vasteita kahden viikon sotilaskoulutusjakson aikana. Jakso sisälsi kasarmikoulutusjakson (4 vrk), harjoitusjakson (7 vrk) sekä palautumisjakson (3 vrk). Mitattavat fysiologiset vasteet voidaan jakaa kolmeen kokonaisuuteen, jotka ovat kehon koostumus, lihasvoima ja -aktiivisuus, sekä hormonit. Mittauksiin osallistui kaksikymmentä vapaaehtoista upseerioppilasta (n=20), joista kymmenen osallistui myös voimamittauksiin.</p> <p>Maastoharjoituksen aikana kyynärvarren koukistuksen maksimi voimantuotto (MVC) lisääntyi 3 % (p&lt;0.01) ja hauislihaksen maksimi lihasaktiivisuus (EMG) 12 % (p&lt;0.001). Vastaavasti polven ojennuksen MVC:ssä havaittiin laskeva trendi (-12 %, p=0.063) ja suoran reisilihaksen maksimi EMG väheni 5 % (p&lt;0.05). Käsien puristusvoima nousi koulutuksen alkuvaiheessa, mutta laski raskaimmalla harjoitusvaiheessa alkumittauksen tasolle. Merkittävimpiä hormonaalisia muutoksia 11 vuorokauden koulutusvaiheen aikana olivat vapaan testosteronin 51 % lasku (p&lt;0.05) ja testosteroni/kortisoli suhdeluvun 43 % lasku (p&lt;0.001). Kolmen vuorokauden palautumisjakson aikana vapaa testosteroni nousi 28 % alkumittauksesta (p&lt;0.001) ja testosteroni/kortisoli suhdeluku 50 % harjoitusjakson loppumittauksesta (p&lt;0.001). Kehon koostumuksen osalta merkittävimpiä muutoksia olivat keskipainon 4 % (2.8 kg, p&lt;0.001) ja rasvamassan 21 % (2.3 kg, p&lt;0.001) väheneminen koulutuksen aikana.</p> <p>Tutkimus osoitti maastoharjoituksen kuormittavan ylä- ja alavartalon lihaksia eri tavalla. Harjoitusvaiheen pitkäkestoisessa kuormituksessa alavartalon lihasten voiman heikkeneminen on todennäköisesti seurausta sekä sentraalisista että perifeerisistä tekijöistä, joiden yhteisenä selittävänä tekijänä on koehenkilöiden energiavaje. Hormonaalisten kuormitusmarkkereiden ja hormonisuhdelukujen muutokset osoittivat koulutusjakson aiheuttaneen merkittävän fysiologisen kuormituksen, johon univajella on todennäköisesti suurin vaikutus. Hormonisuhdelukujen lasku valtaosalla koehenkilöistä oli niin suuri, että heidät luokiteltaisiin ylikuntotilaan. 17/20 koehenkilön testosteroni/kortisoli suhdeluku laski enemmän kuin 30 %, jota on pidetty raja-arvona ylikunnon toteamiseksi. Koejaksolla sotilaille muodostui tilapäistä ylikuormitusta, joka palautui vasta viikonloppuvapaalla. Palautumisjakson (3 vrk) vaikutukset kehon koostumukseen, hormonipitoisuuksiin sekä hormonisuhdelukuihin osoittavat palautumisen onnistuneen hyvin suunnitellussa ajassa.</p>	
Avainsanat Fysiologiset vasteet, fyysinen kuormitus, hermolihasjärjestelmä, hormonivasteet, sotilaan toimintakyky, sotilaskoulutus	

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. SOTILAAAN FYYSSINEN TOIMINTAKYKY.....	3
3. SOTILASKOULUTUKSEN FYSIOLOGISET VASTEET JA PALAUTUMINEN .....	6
3.1 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky sotilaskoulutuksen aikana .....	6
3.2 Hormonaalisen järjestelmän toiminta sotilaskoulutuksen aikana.....	9
3.3 Fysiologinen palautuminen sotilaskoulutuksessa .....	15
4. TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	17
5. TUTKIMUSMENETELMÄT.....	18
5.1 Koeasetelma.....	18
5.2 Koehenkilöt.....	19
5.3 Aineiston keräys ja analysointi .....	20
5.4 Tilastolliset menetelmät.....	22
6. TULOKSET .....	23
6.1 Kehon koostumus .....	23
6.2 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky.....	23
6.3 Hormonaaliset vasteet.....	27
7. POHDINTA .....	32
7.1 Fysiologiset vasteet.....	32
7.2 Palautuminen .....	34
7.3 Tulosten luotettavuus ja jatkotutkimusongelmat .....	36
7.4 Johtopäätökset.....	37
7.5 Lopuksi .....	37
LÄHTEET.....	38
LIITTEET .....	49

## **HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN SUORITUSKYVYN MUUTOKSET JA HORMONIVASTEET KAHDEN VIIKON SOTILASKOULUTUSJAKSOSSA**

### **1. JOHDANTO**

Moderneja sotajoukkoja kehitetään jatkuvasti kohti tehokkaampaa, ammattitaitoisempaa ja tarkempaa toimintaa taistelukentällä. Massa-armeijoista on siirrytty aikakaudelle, jossa kehittyneen sotateknologian käytöllä ja sen hallitsevan henkilöstön yhteistoiminnalla on keskeinen merkitys taistelussa. On esitetty väittämiä sotilaiden suorituskykyvaatimusten lisääntymisestä nykyisissä operaatioissa (Maavoimaesikunta 2004, 276). Tämä voi olla seurausta lisääntyneistä välineistä ja kuormasta, joita sotilaat nykyaikana kantavat (Dean 2005; Knapik ym. 2004). Aiemmin ainoastaan joukkokohtaisena materiaalina käytetyt välineet, kuten radio, optiikat ja johtamisjärjestelmä ovat tulleet yksittäisen taistelijan käyttöön. Nykyaikainen taistelija koulutetaan joukkonsa sisälle tietyn tehtävän erityisosajaksi. Joukko koostuu eri taistelu-tehtävien ammattilaisista ja niihin tarvittavasta teknologiasta. Aiemmin tällainen toimintapa on ollut vain erikoisjoukoissa, mutta nykyisin arkipäivää myös esimerkiksi normaalissa jääkäriryhmässä. Suunta on selvä – pienemmillä ja iskukykyisemmillä joukoilla tehokkaampiin tuloksiin.

Joukkojen määrän pienentyessä ja tehtävien vaikeutuessa on selvää, että yksittäiseen taistelijaan kohdistuvat vaatimukset kasvavat. Kosolan (2012, 12-13) mukaan lähitulevaisuuden tekninen kehitys ei syrjäytä taistelijaa sodankäynnin tärkeimmän elementin paikalta ja etätoimintojen kehittymisestä huolimatta taistelijan läsnäolon merkitys taistelukentällä säilyy. Sotilaan on kyettävä toteuttamaan tehtävänsä vähemmällä levolla pidemmän aikaa. Sotilaan fyysinen suorituskyky on tehtävän toteuttamisen kannalta keskeinen ominaisuus. Suorituskyky on luotava ennalta ja sitä on kyettävä ylläpitämään taisteluiden aikana. Hyvä fyysinen suorituskyky ja -kunto edesauttavat taistelussa menestymistä ja siitä palautumista. Sotilaskoulutuksella pyritään luomaan taistelukelpoinen joukko ja fyysisen suorituskyvyn kehittäminen on nyt ja tulee jatkossakin olemaan osa koulutusta. Fyysisen suorituskyvyn kehittämiseksi on koulutuk-

sessä otettava huomioon normaalit fyysisen harjoittelun lainalaisuudet. Näitä ovat ainakin harjoittelun määrän, ravinnon ja riittävän levon huomioiminen.

Varusmieskoulutusta annetaan fyysisiltä suorituskykyvaatimuksiltaan hyvin erilaisiin sodanajan tehtäviin. Myös koulutettavan joukon fyysisen kunnon skaala on erittäin laaja. Lähtökohtaisesti fyysisesti vaativampiin tehtäviin hakeutuu ja valitaan siihen parhaiten soveltuva henkilöstö. Koulutusta antavissa joukoissa eli käytännössä perusyksiköissä luodaan joukoille tehtävän edellyttämien suoritusvaatimusten mukaiset koulutussuunnitelmat. Suunnitelmissa ja seurannassa otetaan huomioon koulutuksen fyysinen kuormitus ja siitä palautuminen. Tässä on menty varusmieskoulutuksessa jatkuvasti eteenpäin ja saatu myös rohkaisevia tuloksia esimerkiksi palveluksen keskeyttämisten vähentämisen suhteen.

Sotilaiden fyysistä aktiivisuutta ja fysiologisia muuttujia seuraamalla saadaan tietoa tehtävien kuormittavuudesta ja kuormittumiseen vaikuttaneista tekijöistä. Tässä tutkimuksissa selvitettiin kahden viikon sotilaskoulutusjakson kuormittavuutta ja kuormituksesta palautumista fysiologisia kuormitusvasteita ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutoksia seuraamalla. Mittaukset toteutettiin reserviupseerikurssilla 233 Haminassa 17.11. – 1.12.2008. Jakson aikana koulutus sisälsi teoriaa ja käytännön koulutusta kasarmilla, sekä kaksi peräkkäistä sota-harjoitusjaksoa joukon tyypillisessä toimintaympäristössä. Mittauksiin osallistui kaksikymmentä (n=20) reservinupseeriksi koulutettavaa tiedustelijaa. Tutkimusjoukko edusti satunnaisotantaa tiedusteluryhmänjohtajiksi koulutettavista nuorista varusmiehistä. Henkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti. Tutkimus on osa Suomen puolustusvoimissa tehtävää sotilaan toimintakyvyn kokonaistutkimusta.

## 2. SOTILAAN FYYSINEN TOIMINTAKYKY

Fyysinen toimintakyky voidaan ymmärtää fyysisenä suorituskykynä, jolla tarkoitetaan kykyä tehdä kuntoa ja taitoa vaativaa lihastyötä. Motoriset taidot ja fyysinen kunto muodostavat fyysisen toimintakyvyn. Fyysinen osa on kiinteässä yhteydessä psyykkiseen toimintakykyyn ja motivaatioon. Fyysinen kunto ja motoriset taidot koostuvat suorituskyvyn eri osa-alueista, jotka muodostavat sotilaan fyysisen toimintakyvyn. Keskeisiä suorituskyvyn osa-alueita ovat kestävyys, voima ja nopeus. Kestävyydellä tarkoitetaan kykyä vastustaa väsymystä lähinnä energia-aineenvaihdunnan ja lihasten energian saannin sekä riittävyyden kokonaisuudessa. Voima on työn tekemiseen tarvittava perusominaisuus, jota eri muodoissaan vaaditaan kaikissa taistelukentän tehtävissä. Nopeus on hermoston ja lihaksiston ominaisuus, jolla ymmärretään yleisesti työ ja liikkeen suoritusnopeutta, sekä sen eri osa-alueita. Motoriset taidot ovat tärkeitä esimerkiksi aseiden ja muiden välineiden käsittelyssä. (Pääesikunta 2011, liite 1)

Sotilasjoukon taistelukelpoisuuden yhtenä osana on yksilöiden fyysinen suorituskyky, jota voidaan mitata ja sille voidaan antaa tavoitetasoja tehtävään ja olosuhteisiin liittyen. Useissa sotilaskoulutukseen liittyvissä teoksissa korostetaan taistelijan ja taistelunjohtajan fyysisen suorituskyvyn merkitystä. Useimmiten keskeisimpänä mainitaan aerobisen kestävyuden osa-alue, jota voidaan tarkastella taistelijan maksimaalisena hapenottokykynä. Pääesikunta (2011, 5) on asettanut sotilaille tehtävien mukaiset kestävyyskunnan suorituskykyvaatimukset seuraavasti:

- Erikoisjoukkoihin koulutettujen sotilaiden hapenottokyvyn taso tulee olla vähintään 55–60 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> tai 3000 metriä 12-minuutin juoksupuhtestissä.
- Liikkuvaan sodankäyntiin koulutettujen sotilaiden hapenottokyvyn taso tulee olla vähintään 50 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> tai 2800 metriä 12-minuutin juoksupuhtestissä.
- Taistelua tukevien joukkojen sotilaiden hapenottokyvyn taso tulee olla vähintään 45 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> tai 2600 12-minuutin juoksupuhtestissä.
- Esikuntatehtävissä palvelevien sotilaiden hapenottokyvyn taso tulee olla vähintään 42 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> tai 2300 metriä 12-minuutin juoksupuhtestissä.

Lisäksi Lindholm työryhmineen (2008) ovat esittäneet erityistehtäviin, esimerkiksi tiedusteluun, sijoitettavien maksimisuorituskyvyn tavoitetasoksi vähintään 57 – 58 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>.

Uusimmissa suorituskykyvaatimuksissa on huomioitu selkeämmin myös sotilaiden lihaskunto ja sen merkitys. Suomalaiselle sotilaalle vaatimuksena on toimintakyvyn säilyttäminen 25 kilogramman painoisen lisäkuorman kanssa. Huomioitavaa on, että tietyissä tehtävissä tai tilanteissa kannettava kuorma voi olla huomattavasti suurempi, jopa 55 - 60 kg. Suorituskyvyn tavoitteita asetettaessa on myös huomioitava ympäristön olosuhteet, jotka voivat merkittävästi lisätä vaatimuksia. (Pääesikunta 2011, 5)

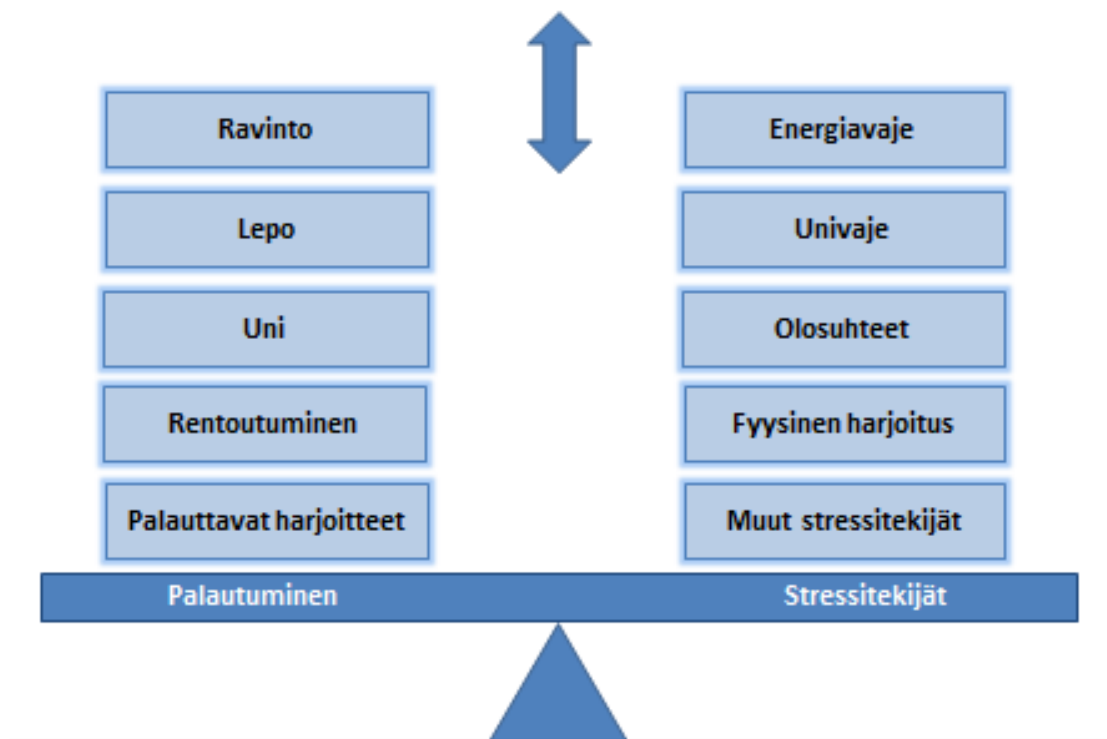
Sotilaskoulutuksen toimintaympäristö valitaan koulutuksen sisällön ja vaiheen, sekä koulutettavan joukon perusteella. Lähtökohtaisesti asiat opetellaan ensin teoriassa hyvissä olosuhteissa esimerkiksi kasarmilla. Teorian omaksumisen jälkeen koulutus siirtyy sotilaan tyypilliseen toimintaympäristöön ja harjoittelu etenee perusharjoituksista sovellettuihin harjoituksiin. Koulutuksen edetessä toimintaympäristöä pyritään muutamaamaan ja vaikeuttamaan. Maastoharjoitukset ovat stressitekijöiden osalta sotilaille kaikkein kuormittavimpia jaksoja sisältäen uni- ja energiavajetta, fyysistä ja psyykkistä kuormitusta ja olosuhteiden aiheuttamia paineita (Tanskanen 2012, 14). Tällöin usein puhutaan monistressi (eng. multistressor) tilanteesta (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2006; Tanskanen 2012), joka usein liittyy juuri sotilaskoulutukseen ja sen vaativimpiin harjoituksiin.

Toimintaympäristön vaikeutuessa ja harjoitusten kuormittavuuden lisääntyessä sotilaan fyysistä ja psyykkistä toimintakykyä tarkoituksellisesti koetellaan. Koulutuksen onnistumisen kannalta on kuitenkin otettava huomioon sotilaan fyysisen ja psyykkisen palautumisen merkitys ja toteutuminen. Muutoin koulutuksen tulokset pitkällä jännteellä olisivat vaarassa jäädä toteutumatta. Koulutuksen suunnittelussa otetaan huomioon fyysisen palautumisen merkitys. Palautumisen toteutumista ei kuitenkaan yleensä varmisteta millään tavoin ja on erittäin tärkeää tutkia riittävätkö nykyisessä koulutuksessa oleva vapaa-aika ja kevyempi koulutus palauttamaan elimistön fysiologian sille tasolle, että se on taas valmis vastaanottamaan harjoitusärsykeitä.

Hyvä fyysinen kunto edesauttaa palautumista sotilaskoulutuksen tai operaatioiden aiheuttamasta stressistä. Sotilaiden tulee omata riittävä suorituskyvyn reservi palautumisen varmistamiseksi ja tehtävän jatkamiseksi. Myös varusmieskoulutuksesta selviytyminen ja siinä menestyminen edellyttää hyvää fyysistä kuntoa. Fyysisen koulutuksen ja toimintakyvyn kehittämiseksi puolustusvoimissa tehtävä alan tutkimus on avainasemassa. Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa koulutus- sekä valmennusmenetelmiä, joilla saavutetaan ja ylläpidetään sodan ajan joukkoihin sijoitetun henkilöstön riittävä fyysinen toimintakyky tehtävistään sekä niiden edel-

lyttämästä koulutuksesta suoriutumiseksi. Huomioitavaa tässä on, että kaikille suomalaisille sotilaille tämä koulutus alkaa varusmiespalveluksen kautta. Varusmieskoulutuksella luodaan se perusta, jonka varassa fyysinen kunto voidaan ylläpitää reservissä riittävällä liikunta-aktiivisuudella. (Kyröläinen & Santtila 2010)

Sotilaskoulutuksen kuormittavuutta on tutkittu kansallisesti ja kansainvälisesti kohtuullisen kattavasti. Tutkimuksissa on selvitetty sotilaan kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä. Olennaisinta on ollut selvittää mistä kuormittuminen johtuu. On esitetty väittämiä erilaisten sotilaskoulutuksen tekijöiden ja sotilaiden fyysisten ominaisuuksien vaikutuksesta ylikuormitukseen. Viimeisimpiä alan tutkimuksia Suomen puolustusvoimissa ovat Minna Tanskasen (2012) ja Matti Santtilan (2010) väitöskirjat, joita on käytetty tämän tutkimuksen tärkeimpänä kotimaisena lähdeaineistona. Sotilaskoulutuksen kuormitukseen ja palautumiseen vaikuttavia kokonaisuuksia on esitetty kuvassa 1, joka on mukailtu Tanskasen (2012) väitöskirjan aineistosta.



*Kuva 1. Sotilaskoulutuksessa palautumiseen ja kuormittavuuteen, sekä mahdolliseen ylikuormitukseen ja ylikuntoon vaikuttavia tekijöitä (mukailtu Tanskanen 2012, 14).*



### 3. SOTILASKOULUTUKSEN FYSIOLOGISET VASTEET JA PALAUTUMINEN

#### 3.1 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky sotilaskoulutuksen aikana

Fyysisen suorituksen liikemekaniikkaan liittyvät olennaisesti neljä komponenttia, jotka ovat luusto, hermosto, lihakset, sekä jänteet ja nivelsiteet. Suorituskyvyn osalta harjoittelun tai kuormituksen akuutit vaikutukset ilmenevät selkeimmin hermoston ja lihasten kohdalla. Tämän vuoksi niiden seuraaminen kuormituksen vaikutuksen arvioimiseksi on merkityksellistä. Fyysinen harjoittelu myös yleisesti kohdistetaan lihasten ja hermoston suorituskyvyn parantamiseen. Elimistön hermostollinen eli neuraalinen järjestelmä säätelee lihasten toimintaa ja voimantuottoa, jonka lisäksi voimantuottoon vaikuttavat merkittävästi lihasmekaaniset tekijät (Komi 1986; Häkkinen ym. 1985b). Hermolihasjärjestelmän suorituskykyä voidaan kehittää harjoittelemalla, mutta liiallisen kuormituksen tai muiden negatiivisten ulkoisten tai sisäisten tekijöiden vaikutuksesta suorituskyky voi kääntyä laskuun (Karvonen ym. 1992; Kreider ym. 1998).

Lihastyö voidaan jakaa dynaamiseen ja staattiseen työhön. Dynaaminen työ jaetaan eksentriseen ja konsentriseen voimantuottotavan mukaan. Voimantuotto on eksentristä, kun nivelen yli vaikuttavan voiman määrä on suurempi kuin vastustava voima, ja lihas pitenee aktiivisesti. Voimantuotto on konsentrista, kun lihas supistettaessa lyhenee ja saadaan aikaan liike nivelen yli. Staattista työtä on isometrinen supistus, joka on kyseessä kun nivelkulma ja lihaksen pituus ei muutu lihaksen supistuessa. (Kauranen & Nurkka 2010, 219) Ihmisen liikkuminen on kuitenkin useimmiten näiden työtapojen yhdistelmä muodostuen erilaisista sarjoista liikkeitä. Tällaista liikesarjaa ja sen mekaniikkaa käsiteltäessä usein puhutaan venymis-lyhenemiskierrosta (SSC), johon pohjautuvaa mallia on käytetty myös hermo-lihasjärjestelmän väsymisen tutkimiseen (Avela & Komi 1998; Horita ym. 1996; 1999; 2003).

Lihäsväsymyksessä lihasten kyky tehdä työtä on väliaikaisesti laskenut aiemman rasituksen vuoksi (Asmussen 1979). Lihäsväsymys on usein seurausta erilaisista rasitustekijöistä ja lihasten voimantuoton väheneminen voidaan nähdä muodostuvan erilaisten mekanismien heikentymisen tai pettämisen summana (Enoka 2002, 374). Lihäsväsymys on jo viime vuosisadan alusta asti yleisesti jaettu sentraaliseen ja perifeeriseen väsymykseen (mm. Brainbridge 1931; Enoka & Stuart 1992).

Lihäsväsymystä voidaan tutkia mittaamalla isometrinen maksimaalinen tahdonalainen lihäsüpistus (maximal voluntary contraction, MVC) ja lihäsaktiivisuus (electromyography, EMG), sekä laskemalla MVC suoritukselta maksimaalinen voimantuottonopeus (rate of force development, RFD). Yhdistämällä MVC ja EMG voidaan selvittää väsymyksen luonnetta sekä voimantuoton ajoitusta ja taloudellisuutta. Jos voima laskee ja sähköinen aktiivisuus laskee, johtuu lihäs väsymys todennäköisesti keskushermoston eksitaation riittämättömyydestä. Sähköisen aktiivisuuden pysyessä samana voiman laskiessa, on väsymyksen syy todennäköisesti lihäsüpistämekanismilla. (Bigland-Ritchie 1981)

Sentraalinen väsyminen johtuu keskushermoston heikentyneestä kyvystä ylläpitää tarvittavaa aktivaatiota lihaksessa. Sentraaliseen väsymykseen kuuluvat kaikki lihäs toimintaan liittyvät mekanismit motoriselta aivokuorelta hermolihasliitokseen. Bigland-Ritchie ym. (1978) mukaan niitä ovat mm. heikko motivaatio, heikentynyt sähköisten signaalien välittyminen selkäydintasolla ja heikentynyt motoristen yksiköiden aktivointi. Motoristen yksiköiden aktiivisuutta voidaan tutkia elektromyografialla (EMG). Tutkimuksilla on osoitettu, että keskushermostollisilla väsymistekijöillä on pienempi vaikutus voimantuottoon hyvin motivoituilla koehenkilöillä (Bigland-Ritchie 1981). Erinäisillä koehenkilöön vaikuttavilla ulkoisilla tai sisäisillä tekijöillä voi näin ollen olla suuri vaikutus motivaation kautta sentraaliseen väsymykseen. Näitä tekijöitä voivat olla mm. olosuhteet, ravintotasapaino ja vireystila.

Perifeeriseen väsymiseen sisältyy biokemialliset tapahtumat hermolihasliitosta alemmalla tasolla. Bigland-Ritchien (1981) mukaan niitä voivat olla tiedonsiirto hermo-lihasliitoksessa, lihäs solukalvon aktiopotentiaali, aineenvaihdunnan lähtöaineiden saatavuus, solunsisäisen ympäristön tila, supistuvien rakenteiden tila ja lihäs verenkierto. Käytännön tilanteisiin liittyen merkityksellisiä perifeerisen väsymyksen aiheuttajia voivat olla lihäs ten energian loppuminen ja lihäs ten happamuuden lisääntyminen.

Pitkäkestoisissa suorituksissa väsymisen kannalta merkittäväksi on usein arvioitu energialähteiden riittävyys. Energiavaje voi vaikuttaa usealla lihäs mekaanisella tasolla, mutta sentraalisilla vaikutusmekanismeilla on todettu olevan suorituskyvyn kannalta keskeinen rooli. Neuraalisella aktivaatiolla voidaan nähdä olevan suora vaikutus lihäs aktiivisuuteen ja näin ollen lihäs solun energiantarpeeseen. (Green 1988) Toisaalta Grenier ym. (2012) ovat osoittaneet, että 21 tuntia kestäneen paljon liikkumista ja taakan kantamista sisältäneen sotilaallisen harjoituksen aiheuttama lihäs väsymys oli ennen kaikkea perifeeristä.

Sotilaskoulutuksessa hermolihasjärjestelmän toimintaan liittyy paljon ongelma- tai häiriötekijöitä. Varusmiesten on todettu altistuvan ei-harjoituksellisille kuormitustekijöille, jotka pääasiassa johtuvat ympäristö- ja olosuhdetekijöistä (Huovinen ym. 2009). Yksi fyysiseen harjoitteluun liittyvä ongelma on kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistäminen, jolloin mm. Leveritt ym. (1999) ja Santtila ym. (2008; 2009a; 2009b) ovat osoittaneet heikentynyttä voimominaisuuksien kehittymistä. Toisaalta viimeisimmät tutkimukset ovat korostaneet yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun merkitystä nykyaikaisten sotilaiden suorituskyvyn parantamiseksi (mm. Kraemer ym. 2004; Santtila ym. 2008; 2009a; 2010).

Suomalaisen varusmieskoulutuksen kuormittavuutta tutkineet Santtila ym. (2008; 2009a; 2009b; 2010) selvittivät lisätyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia varusmiesten suorituskykyyn. Keskeisimpinä tuloksina osoitettiin nykyisen peruskoulutuskauden koulutusohjelman parantavan merkittävästi varusmiesten maksimaalista hapenottokykyä, maastajuoksu-suorituskykyä sekä ylä- ja alavartalon maksimaalista voimantuottoa. Myös kehon koostumuksessa tapahtui peruskoulutuskauden aikana positiivisia muutoksia. Lisätyn voimaharjoittelun ryhmässä ei saatu aikaan maksimivoimatasojen tai lihaksen poikkipinta-alan merkitseviä muutoksia. Lihassoimaharjoittelun merkitys sotilaan suorituskyvylle nähtiin kuitenkin edelleen tärkeänä ja tuloksien parantamiseksi esitettiin kestävyyspainotteisen harjoittelun vähentämistä ja lihaskuntoharjoittelun lisäämistä. Kuormitustason hallinnan ja yksilöllisempien harjoitusohjelmien nähtiin olevan avain parempaan kehitykseen.

Tanskanen ym. (2009; 2011a; 2011b; 2012) selvittivät suomalaisen varusmieskoulutuksen kuormittavuutta ja ylikuormitusta, sekä niiden vaikutuksia aerobiseen kuntoon, seerumin hormonipitoisuuksiin, oksidatiiviseen stressiin ja energiatasapainoon. Tutkimuskohteena oli talvikauden kahdeksan viikkoa kestävä peruskoulutusjakso. Peruskoulutusjakson ensimmäisten neljän viikon aikana varusmiesten aerobinen suorituskyky parani, mutta loppuaikana kehitystä ei enää tapahtunut. Merkittävää oli, että useiden fysiologisten ja biokemiallisten muuttujien perusteella 33 % koehenkilöistä luokiteltiin ylikuormittuneiksi. Tutkimuksen mukaan kykyyn sietää harjoitusta peruskoulutuskaudella vaikuttavat energiatasapaino, aerobinen kunto ja lihavuus. Koulutukseen sisältyvän maastoharjoituksen ei energiavajeesta huolimatta todettu heikentävän suorituskykyä, vaan osittain tapahtui jopa suorituskyvyn kehittymistä.

Lihassoimatason heikentymistä rasittavassa sotilaskoulutuksessa ovat raportoineet mm. Kyröläinen ym. (2004) jolloin kyseessä oli 20 vuorokautta kestänyt tiedusteluharjoitus ja Friedl ym. (1995) jossa muutokset todettiin Yhdysvaltojen armeijan ranger -kurssin aikana. Voima-

tason heikkenemisen voidaan arvioida liittyvän ylikuormitukseen tai sotilaiden kokonaiskuormitukseen johon maastoharjoituksissa liittyy usein tarkoituksellista unen rajoittamista, negatiivista energiatasapainoa, fyysistä uuvuttamista, vaikeille olosuhteille altistamista, sekä terveydellisiä ongelmia (Taulukko 1). Koulutukseen sisällytetään tarkoituksellisesti stressitekijöitä sotilaskoulutuksen onnistumiseksi, mutta ainakin osittain fyysisen harjoitusvaikutuksen kustannuksella.

*Taulukko 1. Ranger -koulutuksen stressitekijöitä kesäolosuhteissa (Friedl ym. 1995).*

<b>Stressitekijä</b>	<b>Kuvaus; seurantametodi</b>
Energian rajoittaminen	Vaje 1000 kcal/d 8 vkon ajan; kehon koostumuksen muutos
Unen rajoittaminen	Uni 3,6 h/d 8 vkon ajan; aktiivisuusmittari ranteessa
Fyysinen uuvuttaminen	Energian kulutus 4000 – 6000 kcal/d; $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ -menetelmä
Sää	Keskim. max T=30°C ja ympäröivä ilmankosteus ~80 %
Terveydelliset ongelmat	Rakkulat, hyönteisten puremat, nyrjähdykset, venähdykset, ja infektiot

Nindl ym. (2007) tutkimuksessa kahdeksan viikon sotilaskoulutuksen aikana alavartalon voimantuotto, räjähtävä voima ja maksimi nostovoima laskivat merkittävästi. Voimatasojen heikkenemisen aiheuttajaksi ehdotettiin lihasmassan vähenemistä, heikentynyttä hermostollista lihasten aktivointia, muuttunutta supistuvien proteiinien laatua lihassyssä ja motivaation heikkenemistä.

### **3.2 Hormonaalisen järjestelmän toiminta sotilaskoulutuksen aikana**

Hormonaalinen eli endokriininen toiminta on osa kehon elintoimintoja säätelevää järjestelmää. Homeostaasia eli tasapainotilaa soluissa, kudoksissa ja koko kehossa ylläpitävät myös elimistön muut järjestelmät kuten hermosto. Järjestelmät toimivat kiinteässä yhteistoiminnassa. Hormonaalisen järjestelmän tuotteena syntyy biokemiallisia välittäjäaineita eli hormoneja. Ne kulkevat verenkierron mukana kehon kaikkiin osiin ja säätelevät lukuisia erilaisia toimintoja. Hormonaalinen järjestelmä osallistuu pääasiassa kehon eri aineenvaihduntatoimintoihin alkaen solutasolta. Näitä ovat mm. kemiallisten reaktioiden säätely soluissa, aineiden kuljetus solukalvon läpi sekä muut solutason aineenvaihdunnan toiminnot. Eri hormonit vaikuttavat erilaisissa aineenvaihdunnallisissa tilanteissa. Tässä tutkimuksessa huomioitavia hormoneja, niiden erittymistä, vaikutusta ja merkitystä liikunnallisessa toiminnassa on esitetty taulukossa 2. (Guyton & Hall 2006, 906-917; Kontula ym. 2000, 9-12)

*Taulukko 2. Tutkimuksessa mitatut hormonit ja SHBG, kestävyysharjoitteluvaste, vaikutus ja merkitys yleensä (Guyton & Hall 2006, 906-917; McArdle ym. 2007, 447; Nienstedt, ym. 1989, 601-606).*

<b>Hormoni tai välittäjäaine</b>	<b>Kuormitusvaste</b>	<b>Vaikuttavuus ja merkitys</b>
<b>Testosteroni</b>	↑ fyysisen harjoituksen vaikutuksesta ↓ tai ei muutu pitkäkestoisen kuormituksen aikana ja hetimiten jälkeen (vaihtelee eri lähteissä) ↓ ylikuormittuneilla	Miessukupuoliset tehtävät (lisääntyminen ja tunnusmerkit) Anabolia ja proteiinisynteesi ↑ Lisää voimantuottoa ja kykyä harjoittelumäärän lisäämiseen (Kraemer ym. 1998)
<b>Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG)</b>	↑ fyysisessä rasituksessa ↑ lepopitoisuutta ylikuormittuneilla (Tanskanen ym. 2012)	Testosteronin kuljetus veressä Vähentää kudosten testosteronin saatavuutta (Kraemer ym. 1998)
<b>Kortisoli</b>	↑ harjoituksen, stressin ja kivun vaikutuksesta ↓ kuormituksen jälkeen yllirasittuneilla urheilijoilla	Useita aineenvaihduntaa kontrolloivia tehtäviä, Glukoneogeneesi ↑, Veren glukoosi ↑ Anabolia ja proteiinisynteesi ↓
<b>Tyroksiini</b>	ei suuria muutoksia aerobisessa kuormituksessa (Borer 2013) ↓ energiavajeessa (Friedl ym. 2000 ja Nindl ym. 2007)	↑ aineenvaihduntaa ↑ rasva ja glukoosi metaboliaa (Bunt 1986)

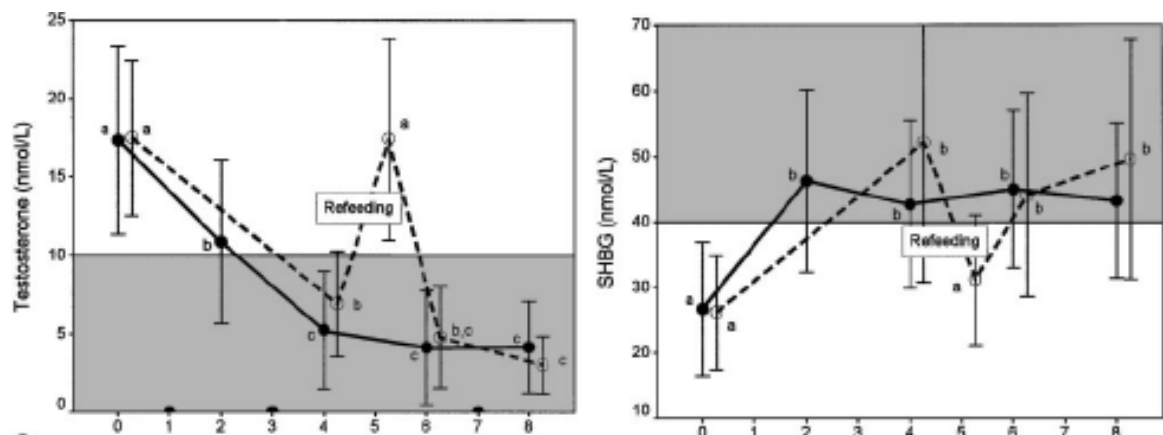
Aineenvaihdunnallisten toimintojen lisäksi hormonaalinen toiminta säätelee mm. sukusolujen syntymistä ja seksuaalisia toimintoja, kasvua ja kehitystä, sekä niiden rajoittamista. Hormonit säätelevät myös kehon nesteiden tilavuutta ja elektrolyyttisisältöä, sydämen sykettä, happoemästäapainoa ja kehon lämpötilaa. Hormonien vaikutusnopeus riippuu hyvin paljon niiden tehtävästä. Eräiden hormonien vaikutus näkyy jopa sekunneissa, mutta toisaalta vaikutukset voivat olla paljon hitaampia. Kehon hapenkulutuksen ja siten myös perusaineenvaihdunnan nopeuden säätelyssä on kilpirauhashormoneilla, kuten tyroksiinilla keskeinen osuus. (Kontula ym. 2000, 9-12)

Hormonit ovat epäorgaanisia yhdisteitä, jotka vaikuttavat hyvin pienin väkevyyksin muiden solujen toimintaan. Hormoneja erittävät siihen erikoistuneet solut, joista on muodostunut umpirauhasia eli endokriinisia rauhasia. Lisäksi hormoneja erittävät elimistössä muiden solujen välissä olevat ”sivutoimisesti” hormoneja erittävät solut. Hormonien määrät elimistössä ovat hyvin pienet, mutta nykyaikaiset määritysmenetelmät ovat vähitellen parantuneet ja näin ollen lisänneet hormonien käyttöä tutkimuksessa. Hormonien pitoisuuksia mitataan yleensä verestä. Nykyään joitain hormoneja, esimerkiksi kortisolia, voidaan mitata myös syljestä tai virtsasta (Stenman 2000, 31, 33). Tutkittaessa kuormituksen hormonaalisia vasteita on otettava huomioon monia seikkoja. Kuormitus on vain yksi hormonien eritykseen vaikuttava tekijä. Hormonien eritystä säätelee palautejärjestelmä, jonka ohjaamana hormonia erittyy sykäyksittäin. Hormonien erittymisen pulssit voivat olla ”hitaita”, esim. kuukautiskiertyön liittyvät tai nopeita kuten hengitys. Hormonipitoisuus seerumissa vaihtelee kyseessä olevan hormonin pulssien keston mukaan. Yhden hormonipulssin kesto voi olla minuuteista tunteihin tai noudattaa vuorokausi tai jopa kuukausirytmää. Vuorokauden jaksolle ajoittuvaa rytmitystä noudattelevat mm. kortisoli, melatoniini ja prolaktiini. Aivolisäkkeen etulohkon erittämät hormonin, kuten kasvuhormonin ja lutenisoivan hormonin pitoisuus seerumissa noudattaa pulsseja, joiden pituus on minuuteista tunteihin. (Nienstedt ym. 1989, 12-13, 368-370)

Hormonien säätelystä vastaa sisäinen kontrollijärjestelmä, jota kutsutaan negatiiviseksi palautejärjestelmäksi (negative feedback). Kun hormonia erittyy liikaa, kohde-elimen kautta välittyy palautetta endokrinologiselle rauhaselle, joka vähentää hormonin eritystä. Endokriiniset hormonit yhdistyvät yleensä ensin hormonireseptoreihin solun pinnalla ja sisällä. Hormonireseptorit ovat suuria proteiineja. Jokaisen solun stimulointiin tarvitaan tavallisesti 2000 – 100 000 reseptoria. Jokainen näistä reseptorista on erikoistunut tietylle hormonille. Tämän mukaan eri hormonit vaikuttavat eri kudoksiin. Hormonit kulkevat veressä eri tavoin. Vesiliukoiset hormonit, kuten peptiinit ja katekoliamiinit liukenevat plasmaan. Steroidi- ja kilpirauhashormonit kulkevat veressä pääasiallisesti plasman proteiineihin sitoutuneina. (Guyton & Hall 2006, 906-917)

**Testosteroni** on pääasiassa kivesten erittämä tehokas anabolinen hormoni, joka stimuloi proteiinisynteesiä ja kasvua (Hackney 1996). Testosteronin pitoisuuden on todettu laskevan pitkäkestoisissa suorituksissa (Adlercreutz ym. 1986; Fernandez-Garcia ym. 2002; Kuoppasalmi 1981; Väänänen ym. 2004) sekä sotilaallisissa harjoituksissa (Nindl ym. 2006; Gomez-Merino ym. 2003; Opstad 1992a;b; Väänänen ym. 2002; Salonen ym. 2013) ja energiavajees-

sa (Friedl ym. 2000; Salonen ym. 2013). Pitkäkestoisessa partiotiedusteluharjoituksessa Kyröläinen ym. (2004) havaitsivat testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuuden laskeneen alkumittauksesta kolmannen ja kuudennen päivän mittauksiin. Tämän jälkeen alkaneessa kevyemmässä harjoitusvaiheessa testosteronipitoisuudet nousivat jopa alkumittausta korkeammalle tasolle. Lyhyemmissä ja intensiivisemmissä harjoituksissa on havaittu etenkin harjoituksen aikana tapahtunutta testosteronipitoisuuden nousua (Fahrner & Hackney 1998; Kuoppasalmi 1981). Raskaan tai pitkäkestoisen harjoituksen jälkeen voi kestää jopa 24 - 72 tuntia ennen kuin testosteroni palautuu normaalitasolle (Hackney 1996). Myös energiansaannilla on voimakas vaikutus testosteronin ja sen kuljettajaproteiinin SHBG:n pitoisuuksien palautumiseen (kuva 2). Plasman ja seerumin testosteronipitoisuuden laskua pitkäkestoisessa fyysisessä stressissä on selitetty mm. kivesten laskeneella testosteronin erityksellä (Cameron & Jones 1972), kivesten erityksen laskulla sekä aivolisäkkeen adrenokortikaalisen systeemin aktiivisuudella (Kuoppasalmi 1981) sekä muiden hormonien kuten kortisolin erityksen lisääntymisellä (Cumming ym. 1983).



Kuva 2. Testosteronin ja SHBG:n muutokset rasittavassa ranger -koulutuksessa. Katkoviiva ja yhtenäinen viiva kuvaavat kahta eri koulutusryhmää. Katkoviivalla oleva laatikko "refeeding" kuvaa aikaa, jolloin energiansaantia lisättiin. Aikajanalla numerot ovat viikkoja. (Friedl ym. 2000)

**SHBG** eli sukupuolihormoneja sitova (beeta) globuliini (Sex Hormone Binding Globuline) ja **vapaa testosteroni** ovat kokonaistestosteronin ohella merkittäviä elimistön androgeeniaktiivisuuden mittareita. Stenmanin (2000, 30) mukaan kiertävästä testosteronista noin 99 % on sitoutuneena kuljettajaproteiineihin. Testosteronin spesifinen sitoja proteiini on SHBG. Normaalisti noin 44 % testosteronista on sitoutuneena SHBG:hen sekä noin 54 % löyhästi plasman albumiiniin. SHBG sitoo testosteronia noin 1000 -kertaa voimakkaammin kuin albumiini. Molemmat sitovat testosteronista suunnilleen yhtä paljon, koska albumiinin pitoisuus on

moninkertainen SHBG:hen verrattuna. SHBG:n pitoisuuden on katsottu olevan suoraan yhteydessä ylikuntoon sotilaskoulutuksessa (Adlercreutz ym. 1986; Tanskanen ym. 2012).

Sitoutumaton osa kiertävästä testosteronista eli noin 2 - 3 % on vapaata. Vapaa testosteroni parantaa testosteronin biologista aktiivisuutta. (Fahrner & Hackney 1998; Hackney 1989; Hackney 1996) Vapaan testosteronin katsotaan olevan parempi androgeeniaktiivisuuden mittari kuin kokonaistestosteroni. Vapaan testosteronin on todettu laskevan pitkäkestoisessa fyysisessä rasituksessa ja käyttäytyvän samoin kuin kokonaistestosteroni (Nindl ym. 2006; Kyröläinen ym. 2004; Kyröläinen ym. 2007). Tätä tukee myös mm. Morgan ym. (2000) tutkimus, jossa havaittiin testosteronin sekä vapaan testosteronin lasku sotilaiden selviytymiskoulutuksessa.

**Kortisoli** on lisämunuaisen erittämä aktiivinen glukokortikoidi. Se on tunnettu niin sanottuna stressihormonina, mutta sillä on myös lukuisia aineenvaihdunnallisia tehtäviä. Kortisoli mm. stimuloi glukoneogeneesiä. Lähes kaikkentyyppisen, fyysisen tai neurologisen stressin on todettu lisäävän välittömästi aivolisäkkeen etulohkon kortikotropiinin eli ACTH:n eritystä ja sen seurauksena minuuteissa tapahtuvaa kortisolin eritystä. (Guyton & Hall 1996, 950-956) Kortisolin pitoisuuksien on todettu nousevan fyysisen (Kuoppasalmi 1981; Väänänen ym. 2004) tai psyykkisen (Kunz-Ebrecht ym. 2003; Ritvanen 2006) stressin seurauksena. Kortisolin pitoisuuden on myös havaittu laskevan tai pysyvän muuttumattomana pitkäkestoisessa fyysisessä rasituksessa (Fernandez-Garcia ym. 2002). Opstad ja Aakvaag (1981) havaitsivat kortisolin erityksen lisääntyvän ennen viisipäiväistä raskasta ja jatkuvaa harjoitusta ja laskevan toisena ja neljäntenä päivänä. He havaitsivat myös kortisolin erityksen vuorokausittaisen rytmin katoamisen. Adlercreutz ym. (1986) esittivät kortisolipitoisuuden olevan suoraan yhteydessä ylikuntoon sotilaskoulutuksessa. Kyröläinen ym. (2004) raportoivat kortisolin merkittävän nousun pitkän partiotiedusteluharjoituksen kolmantena vuorokautena, jonka jälkeen kortisoli laski lähelle harjoitusta edeltävää tasoa. Gomez-Merinin ym. (2003) tutkimuksessa viiden vuorokauden intensiivinen sotilaskoulutus ei vaikuttanut merkittävästi plasman aamukortisoli pitoisuuksiin. Kortisolimuutosten ristiriitaisuutta edellisiin verraten osoittaa myös Yhdysvaltojen armeijan ranger -kurssin hormonimittaukset, joissa ensimmäisen neljän viikon aikana kortisoliarvot hieman laskivat, vaikka muut kuormitusmarkkerit kuten testosteroni ja paino laskivat erittäin merkittävästi. Ranger kurssilla kortisolitaso nousi kuitenkin alkumittauksesta  $441 \pm 22$  nmol/l kahdeksannella viikolla arvoon  $706 \pm 34$  nmol/l. (Friedl ym. 2000)



Hormonipitoisuuksien suhteiden on raportoitu ilmaisevan luotettavammin elimistön kuormitusta. Käytetyimpiä suhteita ovat vapaa testosteroni/kortisoli (Chicharro ym. 1998; Adlecreutz ym. 1986; Coutts ym. 2007; Mäestu ym. 2005) testosteroni/kortisoli (Urhausen ym. 1995; Tanskanen ym. 2011a) ja testosteroni/SHBG (Häkkinen ym. 1987). Häkkinen ym. (1985a) havaitsivat kahden jälkimmäiseksi mainitun suhdeluvun yhteyden maksimivoiman muutoksiin voimaharjoittelujaksossa. Ylikuntoilan havaitsemisen kriteerinä on usein pidetty seuraavia raja-arvoja:

- vapaa testosteroni/kortisoli suhdelukua alle 0.00035 tai 30 % laskua suhdeluvussa (mm. Adlecreutz ym. 1986; Härkönen 1984; Karvonen ym. 1992)
- testosteroni/kortisoli suhdelukua alle 0.03 tai 30 % laskua suhdeluvussa (Karvonen ym. 1992)

**Tyroksiini** on kilpirauhasen erittämä metabolinen hormoni. Kilpirauhashormonit on usein sivuutettu tutkittaessa elimistön adaptoitumista fyysiseen kuormitukseen, koska niiden muutokset lyhytkestoisessa kuormituksessa ovat vähäisiä. Pitkäkestoisessa energiavajeeseen johtaneessa kuormituksessa niiden merkitys on kuitenkin suurempi. (Borer 2013, 181) Vapaa tyroksiini eli  $T_4$  tai  $T_4V$  on varsinainen biologisesti aktiivinen osa elimistön tyroksiinia ja näin ollen sen mittaamiseen tulee pyrkiä (Välimäki 2000, 125-135). Sawkan ja Coylen (1999) mukaan harjoituksen aikana vapaan tyroksiinin pitoisuus veressä nousee noin 35 %. Tämä nousu voi johtua kehon ydinlämmön noususta, joka mahdollisesti huonontaa useiden hormonien sitoutuvuutta kuljettajaproteiineihin. Tyroksiinin eri muotojen pitoisuuden on todettu laskevan talviolosuhteissa toteutetun 72 tunnin maastoharjoituksen aikana ja palautuvan lepotasolle vaikka palautuminen ei muuten olisi riittävää. Univajeen ja fyysisen työn määrän ei havaittu vaikuttavan merkittävästi muutoksiin koejoukossa. (Hackney ym. 1995) 20 vuorokautta kestävässä sotaharjoituksessa Kyröläinen ym. (2007) totesivat tyroksiinin pitoisuuden laskua selvästi negatiivisesta energiatasapainosta kärsivältä koejoukolta. Opstad ja Aakvaag (1981) raportoivat merkittäviä muutoksia seerumin tyroksiinin pitoisuuksissa viiden vuorokauden jatkuvassa fyysisessä aktiviteetissä.  $T_4$  nousi ensimmäisen päivän mittaukseen, jonka jälkeen se kääntyi laskuun. Kyseisessä harjoituksessa enemmän ravintoa nauttineella ryhmällä oli korkeammat tyroksiinin toisen muodon  $T_3$ :n pitoisuudet, matalammat kasvuhormonin ja kortisolin pitoisuudet kuin vähemmän ravintoa saaneelle ryhmällä. Galbon (1981) mukaan kilpirauhashormonien tärkeimmän tehtävän onkin arvioitu olevan lihassolun aineenvaihdunnan lisääminen stimuloimalla proteiinisynteesiä ja hiilihydraattiaineenvaihduntaa, jonka lisäksi se voi vaikuttaa epäsuorasti rasva-aineenvaihduntaan.

### 3.3 Fysiologinen palautuminen sotilaskoulutuksessa

Fyysisen harjoittelun kuormittavuus riippuu harjoittelun määrän ja intensiteetin suhteesta levon ja palautumisen määrään (Fry ym. 1992). Harjoittelun tarkoituksena on järkyttää solujen ja elinten homeostaasia, joka harjoittelun jälkeisen levon aikana palautuu korkeammalle tasolle eli kunto siis paranee. Liialliseen harjoitteluun on yleisesti liitetty käsitteet ylikunto (overtaining) ja ylikuormitus (overreaching), joista ylikunto on pitkälle kehittynyt ja ylikuormitus lyhytaikaisempi ylirasitustila (Fry ym. 1991; Lehmann ym. 1992). Ylikunto syntyy liiallisesta harjoittelun ja muiden tekijöiden aiheuttamasta yksilön sietokyvyn ylittämästä stressistä (Kuipers & Keizer 1988; Fry ym. 1991; 1992). Yleisesti on havaittu, että ylikuormitus ja siitä johtuva fyysisen kunnan kehityksen pysähtyminen tai heikkeneminen voi olla seurausta epätasapainoisesta levon ja kuormituksen suhteesta. Sotilaskoulutusta annetaan vaativiin sodan ajan tehtäviin ja simuloitaessa näitä tilanteita vaativat maasto-/sotaharjoitukset ovat lähimpänä todellista taistelutilannetta. Maasto-olosuhteissa toteutettavat yön yli kestävät harjoitukset ovat koulutuksen kuormittavimpia jaksoja. Sotilasjoukon ja yksittäisten taistelijoiden toimintakyvyn palauttaminen operaatioiden ja vaativien sotaharjoitusten aikana on tehtävän onnistumisen kannalta erittäin tärkeää.

Terve elimistö palautuu kevyestä kuormituksesta nopeasti. Mitä kovempi rasitus on, sitä enemmän tarvitaan palautumisaikaa. Jos elimistö kuormitetaan jatkuvasti ilman riittävää lepoa, voi tapahtua harjoituskuorman pitkäaikaista kasautumista. Muutokset voivat vaikuttaa autonomisen hermoston säätelyyn, jonka seurauksena aiheutuu fysiologisia ja hormonaalisia muutoksia. Fysiologiseen palautumiseen ja elimistön rentoutumiseen liittyen autonomisella hermostolla on tärkeä merkitys. Sen toimintaan ei voi suoraan vaikuttaa tahdon avulla, vaikka autonomiset toiminnot eivät ole täysin riippumattomia tahdonalaisesta käyttäytymisestä. Autonomisella hermostolla on tärkeä tehtävä elimistön tasapainon eli homeostaasin ylläpidossa. (Guyton & Hall 2006, 204-212; McArdle ym. 2007, 392-393; Mero ym. 2004, 37)

Tutkimuksissa on osoitettu, että hyväkuntoiset nuoret sotilaat pystyvät palautumaan raskaastakin sotilaallisesta kuormituksesta ja stressistä hyvin. Mm. Friedl ym. (1995) ja Nindl ym. (2002) havaitsivat useasta eri fysiologisesta vasteesta sotilaiden onnistuvan palautumisessa hyvin, kun siihen yleensä annetaan mahdollisuus. Sotilaskoulutuksessa ylikuormituksen on arvioitu johtuvan kumuloituneesta univajeesta (Booth ym. 2006). Liiallisten stressitekijöiden mm. uni- ja energiavaje on todettu selkeästi laskevan sotilaiden fyysisistä ja psyykkistä suori-

tuskykyä ja altistavan heidät turhille terveystriskeille silloin, kun palautuminen on riittämätöntä (Opstad 1995). Yleisesti on pyritty löytämään sotilaskoulutuksen moninaisten stressitekijöiden kuormituksen ylärajaa vammojen (mm. Knapik ym. 2011; Bullock ym. 2011) ja sairastumisten (mm. Tanskanen ym. 2011b) eli keskeyttämisten vähentämiseksi.

Sotilaskoulutuksessa havaitusta ylikuntotilasta ovat raportoineet Chicharro ym. (1998), joiden tutkimuksessa 24 % sotilaista Espanjan armeijan kahdeksan viikon peruskoulutusjaksolla päätyi ylikuntotilaan. Ylikunnon myötä havaittiin fyysisen suorituskyvyn (isometrinen voima, vertikaalihyppy ja anaerobinen voima) laskua. Tutkimuksessa ylikunnon kriteerinä käytettiin vapaa testosteroni/kortisoli suhdeluvun 30 % laskua (mm. Adlecreutz ym. 1986; Coutts ym. 2007; Mäestu ym. 2005). Myös Booth ym. (2006) päättelivät lisääntyneiden ylähengitystieinfektioiden ja psykologisten oireiden, sekä laskeneiden vapaa testosteroni/kortisoli suhteen, immunologian ja aerobisen kunnon perusteella 8 % tutkimukseen osallistuneista Australian armeijan sotilaista päätyneen ylikuntoon.

Suomalaisen varusmieskoulutuksen peruskoulutuskauden kuormitusta tutkineen työryhmän mukaan tutkituista 57 varusmiehestä 33 % oli lyhytkestoisessa ylikuormitustilassa. Ylikuormituksen ilmeneminen ei korreloinut palveluksen alun fyysisen kunnon tai kehon painon kanssa, kun koulutuksessa käytettiin tasoryhmiä. Tutkijoiden mukaan harjoittelun määrän lisäksi palautumisen kestolla oli selkeä yhteys harjoittelun vaikutuksiin. Tästä syystä esitettiin koulutusta suunniteltavaksi siten, että kuormittavimpia jaksoja seuraisi fyysisesti kevyempi jakso. (Tanskanen ym. 2011a; 2012)

#### 4. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kahden viikon sotilaskoulutusjakson fyysistä kuormittavuutta ja kuormituksesta palautumista, sekä niiden vaikutusta hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn. Fyysistä kuormittavuutta selvitettiin mittaamalla ja analysoimalla kuormituksen aiheuttamia fysiologisia vasteita ja muutoksia hermolihasjärjestelmän suorituskyvyssä. Koska yleisesti on jo voitu osoittaa sotilaan tehtävien olevan fyysisesti kuormittavia, saadaan lisätutkimuksella myös tietoa käytettyjen menetelmien soveltuvuudesta kuormittavuuden mittaamiseen. Tutkimus on osa puolustusvoimissa tehtävää kokonaistutkimusta, joka kohdistuu eri sotilaallisten tehtävien ja koulutuksen kuormittavuuteen (PEkoul-os. 2002, 22).

Tutkimusongelmia ovat:

1. Millaisia hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutoksia ja hormonivasteita kaksi viikkoa kestävä sotilaskoulutusjakso aiheuttaa?
2. Miten sotilaiden fysiologinen palautuminen onnistuu kahden viikon sotilaskoulutusjaksossa?

Tutkimusongelmiin järjestyksessä liittyvät hypoteesit ovat:

1. Kahden viikon sotilaskoulutusjakso aikaansaa kuormituksen, joka on mitattavissa fysiologisista vasteista. Kokonaiskuormitus aikaansaa muutoksia kehon koostumuksessa, homeostaasissa ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyssä.
2. Palautumisen huomioiminen koulutuksessa ja sen rytmittämisessä on tärkeää sotilaiden ylikuormituksen välttämiseksi ja suorituskyvyn ylläpitämiseksi. Koulutuksessa on huomioitu sotilaiden fysiologinen palautuminen.

Tämä tutkimus käsittelee kahden viikon sotilaskoulutusjakson fyysistä kuormittavuutta ja suorituskyvyn muutoksia. Mitattavat fysiologiset muuttujat on pyritty valitsemaan siten, että ne liittyvät ensisijaisesti pitkäkestoiseen fyysiseen kuormittavuuteen. Tehtyjen anomusten perusteella tutkimuksen hyväksyivät Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta ja puolustusvoimien ylilääkäri.

## 5. TUTKIMUSMENETELMÄT

### 5.1 Koeasetelma

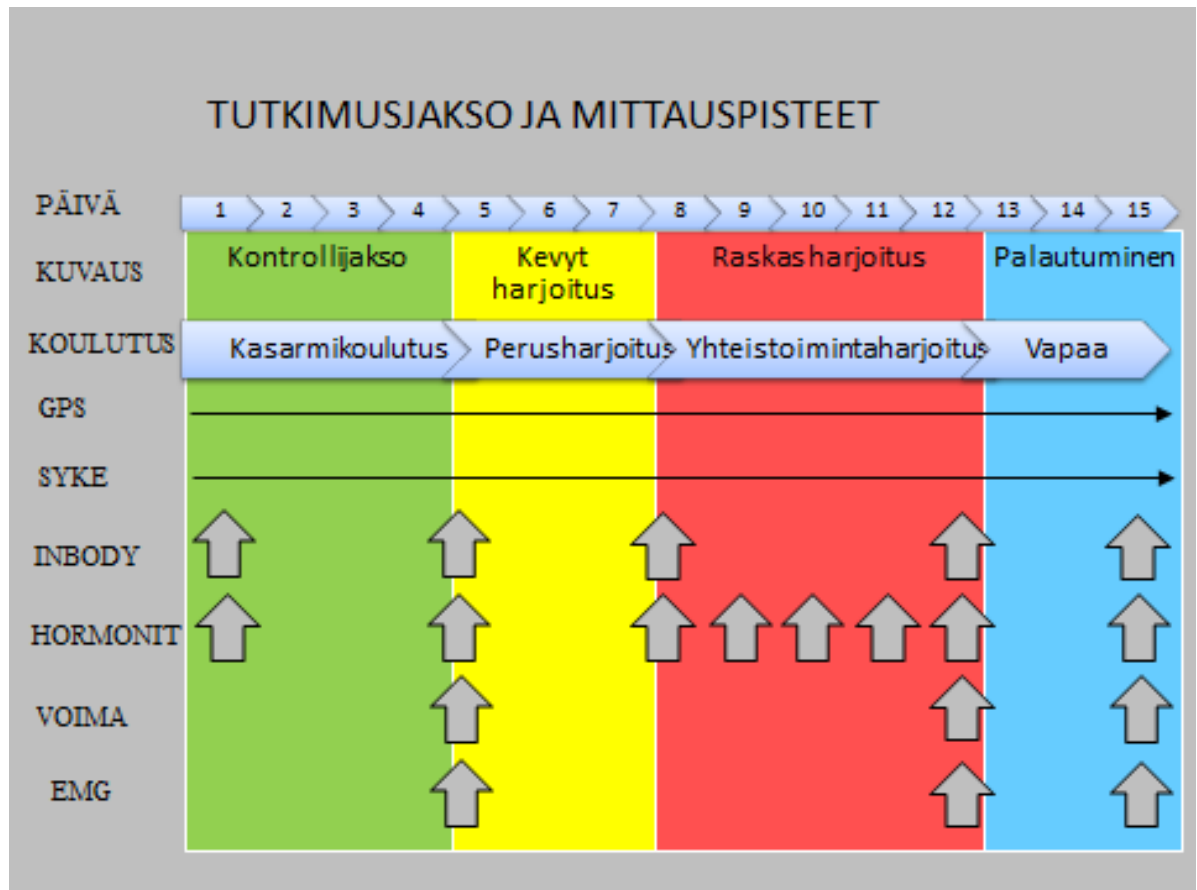
Tutkimus kohdistuu fyysisen kuormittumisen mittaamiseen. Se toteutettiin mittaamalla koehenkilöiden fyysistä suorituskykyä ja fysiologia vasteita koejakson aikana. Mitattavat fysiologiset vasteet voidaan jakaa kolmeen kokonaisuuteen, jotka ovat kehon koostumus, lihasvoima ja -aktiivisuus, sekä hormonit. Verikokeet ja voimamittaukset toteutettiin mittausvuorokausittain samaan ajankohtaan aamumittauksina. Koulutusvaiheissa koehenkilöiden aktiivisuutta mitattiin syke seurannalla ja liikkumista GPS -seurannalla.

Tutkimusjakso oli kestoltaan kaksi viikkoa, joka sisälsi kasarmikoulutusjakson (4 vrk), harjoitusjakson (7 vrk) sekä palautumisjakson (3 vrk). Kasarmikoulutusjakso sisälsi oppitunteja, sotilaskoulutus- ja liikuntakoulutusharjoituksia, sekä kasarmikoulutuksen päivärytmiin liittyvät järjestymiset, siirtymiset ja ruokailut. Sykemittauksen perusteella kasarmikoulutusjaksoon sisältyi päivittäin useita intervallityyppisiä harjoitteita, jotka nostivat jakson fysiologista kokonaiskuormitusta. Harjoitusjakso koostui perusharjoituksesta, jossa harjoiteltiin tiedustelijan perustaitoja muodollisena koulutuksena, sekä yhteistoimintaharjoituksesta jossa tiedustelijat harjoittelivat hyökkäyksen tiedustelua sovelletussa harjoituksessa. Sykemittauksen ja GPS -seurannan perusteella harjoitusjakson aktiivisimpia vaiheita olivat jalan tapahtuneet siirtymiset. Mittausjakson ajankohta oli 17.11. – 1.12.2008. Sää oli vuodenajan mukaisesti alkutalvinen. Lämpötila vaihteli +4 ja -10 °C välillä. Ensilumi satoi harjoitusjakson alkaessa. Harjoitusjakson olosuhteita ja varustusta on esitetty kuvassa 3.



*Kuva 3. Olosuhteet olivat talviset ensilumen satamisen jälkeen.*

Perusharjoitus kesti kolme vuorokautta ja yhteistoimintaharjoitus neljä vuorokautta. Harjoitusvaiheessa tiedusteluryhmä koottiin vuorokausittain tapahtuvaa mittausta varten sovittuun yhteydenottopisteeseen (Y-piste). Palautumisjakso oli kolme vuorokautta sisältäen harjoituksen päättämisen ja viikonloppuvapaan. Viikonloppuvapaan koehenkilöt viettivät oman suunnitelmansa mukaisesti kotonaan. Koehenkilöille korostettiin levon, ravinnon, yms. merkitystä palautumisvaiheessa. Tutkimusjakso ja mittauspisteet on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Tutkimusjakson ja mittauspisteiden kuvaus.

## 5.2 Koehenkilöt

Tutkimusotos muodostettiin vapaaehtoisuuden sekä satunnaisotannan perusteella Reserviupseerikoulun sissikomppanian tiedustelulinjan upseerioppilaista. Tutkimukseen koehenkilöille pidettiin infotilaisuus ennen harjoitusta. Mittauksiin osallistui kaksikymmentä vapaaehtoista upseerioppilasta (n=20), joista kymmenen osallistui myös voimamittauksiin. Tutkittavalla oli mahdollisuus peruuttaa tai keskeyttää mittauksiin osallistuminen missä tahansa vaiheessa. Alkutilanteen kehon koostumuksen mittaukset tehtiin koejakson ensimmäisen päivän aamuna.

Koehenkilöiden ikä, pituus ja kehon koostumuksen aritmeettiset keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 3.

*Taulukko 3. Koehenkilöiden ikä, pituus ja kehon koostumus alkutilanteessa.*

<b>Ikä</b> (v)	<b>Paino</b> (kg)	<b>Pituus</b> (m)	<b>Rasvamassa</b> (kg)	<b>Lihasmassa</b> (kg)
20 ± 1	76.0 ± 7.1	1.79 ± 0.04	11.2 ± 4.1	36.9 ± 3.3

Koehenkilöiden anaerobinen suorituskyky mitattiin kahdentoista (12) minuutin juoksutestillä, jossa keskimääräiseksi tulokseksi saatiin  $2980 \pm 267$  m. Tulos vastaa maksimi hapenottokynä ( $VO_{2max}$ ) laskukaavan (*Cooper tulos (m) - 504.9*) /  $44.73 = VO_{2max} (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1})$  mukaisesti (Cooper 1968) noin  $55.3 \pm 6.0 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Testi suoritettiin Haminan urheilukentällä harjoitusta edeltävällä viikolla.

### 5.3 Aineiston keräys ja analysointi

Koehenkilöiden aktiivisuuden seuraamiseksi sykettä mitattiin koko koejakson ajan Polar Team<sup>2</sup> Pro (Polar Electro, Kempele, Finland) järjestelmällä. Mittauksia tehtiin myös sykeväli-vaihteluun liittyvää tutkimusta varten myös ortostaattisina kokeina, mutta ne on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Koehenkilöiden liikkumista seurattiin ryhmittäin kolmella Tracker TTA-310i GPS paikantimella (Tracker Oy, Oulunsalo, Finland). Paikkatieto mitattiin 30 sekunnin välein ja seurattiin reaaliaikaisena.

Kehon koostumus mitattiin bioimpedanssianalyysiin (BIA) perustuvalla Inbody 720 mittalaitteella (Biospace Co., Ltd., Soul, Korea). Mitattavia muuttujia olivat kehon paino, lihasmassa, rasvamassa ja rasvaprosentti, sekä kehon nestetasapainoa kuvaava suhdeluku ECW/TBW (Extracellular Water / Total Body Water) eli solunulkoisen veden ja koko kehon veden suhde. Lihassoiman ja -aktiivisuuden muuttujista mitattiin puristusvoima, isometrinen maksimi tahdonalainen lihassupistus (MVC), maksimaalinen voimantuottonopeus (RFD), elektromyografia (EMG) eli lihasaktiivisuus suorasta reisilihaksesta (Rectus femoris) ja hauislihaksesta (Biceps brachii), sekä reaktionopeus ääni- ja valoefektiin (käsi ja jalka).

Puristusvoimamittaus tehtiin kalibroidulla Jamar & Saehan puristusvoimamittarilla (Masan, Korea) oikeasta ja vasemmasta kädestä vuorotellen kaksi kertaa. Puristus suoritettiin istuma-asennossa selkä suorana ja irti selkänojasta. Puristava käsi oli 90 asteen kulmassa kyynärnive-

lestä ja olkavarsi kiinni vartalossa. Vapaan käden kämmen pidettiin suorituksen ajan vapaan käden puoleisella polvella. Tulos määritettiin molempien käsien parhaiden puristusten (N) keskiarvona. Voimamittausten toteutusta on esitetty kuvassa 5.



*Kuva 5. Voimamittausten toteutusta ja mittauslaitteistoa*

Jalan ojennuksen ja kyynärvarren koukistuksen voimamittaukset (MVC ja RFD) tehtiin Jyväskylän yliopiston dynamometreillä. Mittaukset tehtiin oikealla jalalla ja oikealla kädellä maksimaalisina 2 – 3 sekunnin suorituksina. Suoritus toistettiin kolme kertaa noin minuutin palautuksella. Jalan ojennus tehtiin istuen polvikulman ollessa 90 astetta. Kyynärvarren koukistus tehtiin istuen kyynärvarren ollessa 90 asteen kulmassa. Lihasaktiivisuuden (EMG) mittauksessa käytettiin bipolaarisia pintaelektrodeja, jotka asetettiin paikoilleen SENIAM (Hermens ym. 1999) ohjeiden mukaisesti. Maksimivoiman perusteella parhaan suorituksen signaalit siirrettiin ME4ISO (Mega Electronics Ltd., Finland) ja ME6000 (Mega Electronics Ltd., Finland) yksiköiden kautta tallennettavaksi MegaWin ohjelmistoon (Mega Electronics Ltd., Finland) myöhempää käsittelyä varten. Maksimaalinen voimantuottonopeus analysoitiin voiman alun ja siitä 200 ms:n päässä olevan arvon erotuksena. Maksimaalinen EMG analysoitiin maksivoimakohdan molemmilta puolilta (500 + 500 ms).

Verikokeista analysoitiin testosteroni, kortisoli, sukupuolihormonia sitova globuliini (SHBG), sekä vapaa tyroksiini ( $T_4$ ). Hormonit analysoitiin verikokeista Immulite® 1000 analysaattorilla (Siemens Healthcare Diagnostics Products Ltd., Gwynedd, UK). Seerumin testosteronin erottelukyky oli 0.5 nmol/l, SHBG:n 0.2 nmol/l, kortisolin 5.5 nmol/l ja vapaan tyroksiinin 3.9 pmol/l. Vapaa testosteroni laskettiin Andersonin kaavalla: vapaa testosteroni (pmol/l) = testosteroni (nmol/l) x {2.28 – 1.38} x log [SHBG (nmol/l) x 0.1] x 10 (Stenman 2000, 30).



Harjoitusvaiheen aikaiset mittaukset ja verikokeet toteutettiin sisätiloissa harjoitusalueen rakennuksissa (kuva 6).



*Kuva 6. Kehon koostumuksen mittausta sekä harjoitusvaiheen mittauksia ja verikokeita*

#### 5.4 Tilastolliset menetelmät

Taulukointi, laskut ja tilastolliset analyysit on suoritettu IBM<sup>®</sup> SPSS<sup>®</sup> Statistics Ver 21.0, sekä Microsoft<sup>®</sup> Excel 2010 -ohjelmistoilla. Aineiston normaalijakaumaoletus testattiin Kolmogorov-Smirnovin sekä Shapiro-Wilkin testeillä. Normaalisti jakautuneen aineiston tilastolliseen analyysiin käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa ja kehon koostumuksen mittausten osalta parivertailua Bonferroni -korjausta käyttäen. Normaalijakaumaoletuksen jäädessä toteutumatta (vapaa testosteroni, T<sub>4</sub>, testosteroni/SHBG ja vapaa testosteroni/kortisoli) käytettiin Friedmanin testiä parivertailuna. Analyyseissa käytettiin standardi merkitsevyys kriteeriä ( $\alpha=0.05$ ). Tulokset on esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina. Tilastollisen merkitsevyyden kuvaamiseen on käytetty tähtisymboleita seuraavalla tavalla \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  ja \*\*\*  $p < 0.001$ . Voimamittauksissa lähellä merkitsevyyskriteeriä olevia muutoksia on kuvattu #  $p < 0.065$ .

## 6. TULOKSET

### 6.1 Kehon koostumus

Sotilaiden keskipaino kontrollimittauksessa oli  $76.0 \pm 7.1$  kg. Sotilaskoulutusjakson päätteeksi heidän keskipainonsa oli  $73.1 \pm 6.4$  kg. Sotilaiden keskipaino oli näin ollen vähentynyt  $2.8 \pm 1.2$  kg eli 4 % ( $p < 0.001$ ). Kehon paino lisääntyi palautumisjakson aikana keskiarvoon  $75.3 \pm 7.1$  kg ( $p < 0.001$ ). Rasvamassa väheni sotilaskoulutusjakson aikana ( $11.2 \pm 4.1 \rightarrow 8.9 \pm 3.8$  kg) eli 21 % ( $p < 0.001$ ). Palautumisjakson jälkeen rasvamassa jäi 18 % alemmas kuin alkumittauksessa ( $p < 0.001$ ). Rasvaprosentti väheni samansuuntaisesti sotilaskoulutusjakson aikana ( $14.5 \pm 4.4 \rightarrow 12.0 \pm 4.5$  %), joka on suhteellisella asteikolla 17 % ( $p < 0.001$ ). Palautumisjakson jälkeen rasvaprosentti jäi suhteellisesti 17 % alemmas kuin alkumittauksessa ( $p < 0.001$ ). Lihasmassa kasvoi kasarmikoulutusjakson aikana ( $36.9 \pm 3.3 \rightarrow 37.4 \pm 3.1$  kg,  $p < 0.01$ ). Palautumisjakson jälkeisessä mittauksessa keskimääräinen lihasmassa oli  $37.7 \pm 3.6$  kg, joka on 0.8 kg ja 2 % suurempi kuin alussa ( $p < 0.01$ ). Nestetasapainoa kuvaava suhdeluku ECW/TBW kasvoi hiukan harjoitusvaiheen aikana, mutta muutokset olivat pieniä ja vain osittain merkitseviä. Kehon koostumuksen muutokset on esitetty koottuna taulukossa 4.

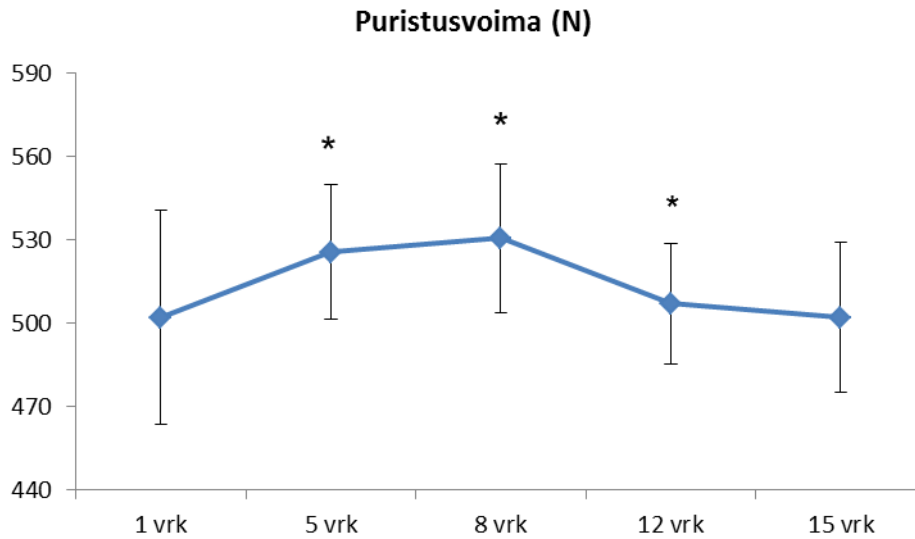
*Taulukko 4. Kehon koostumuksen muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään. 1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso.*

Päivä	1. Päivä	5. Päivä	8. Päivä	12. Päivä	15. Päivä
Paino (kg)	76.0 $\pm 7.1$	75.7 $\pm 6.6$	74.1*** $\pm 6.7$	73.1*** $\pm 6.4$	75.3 $\pm 7.1$
Rasvamassa (kg)	11.2 $\pm 4.1$	10.1*** $\pm 4.1$	9.0*** $\pm 4.0$	8.9*** $\pm 3.8$	9.2*** $\pm 3.8$
Lihasmassa (kg)	36.9 $\pm 3.3$	37.4** $\pm 3.1$	37.1 $\pm 3.2$	36.5 $\pm 3.3$	37.7** $\pm 3.6$
Rasva%	14.5 $\pm 4.4$	13.2*** $\pm 4.5$	11.9*** $\pm 4.5$	12.0*** $\pm 4.5$	12.1*** $\pm 4.3$
Nestetasapaino ECW/TBW	0.371 $\pm 0.007$	0.370 $\pm 0.006$	0.373** $\pm 0.006$	0.372 $\pm 0.006$	0.371 $\pm 0.006$

### 6.2 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky

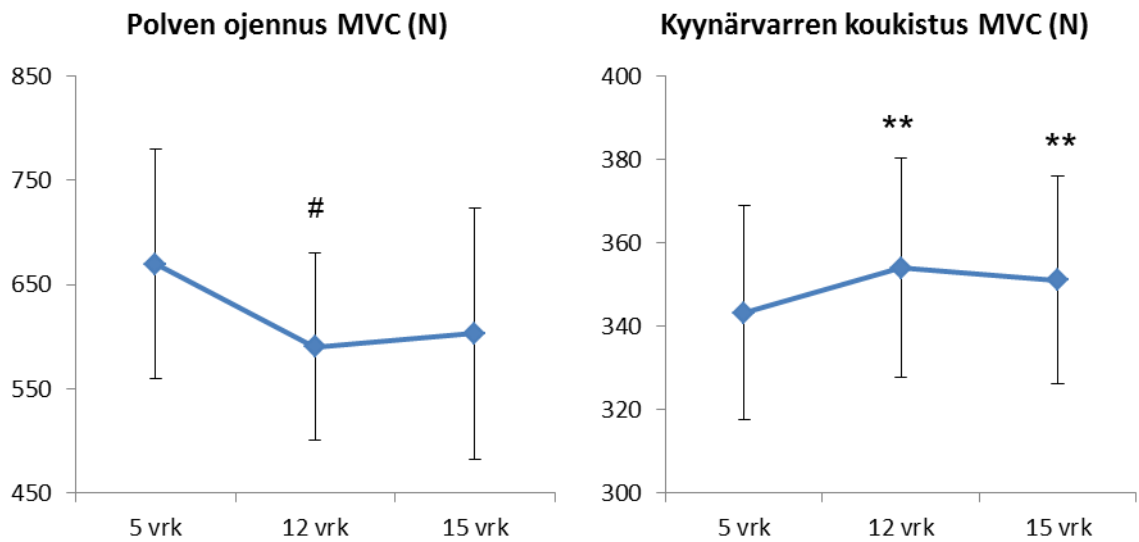
Käsien puristusvoima kasvoi alkumittauksesta kasarmikoulutusviikolla ( $502 \pm 77 \rightarrow 526 \pm 49$  N,  $p < 0.05$ ) ja perusharjoituksen aikana ( $502 \pm 77 \rightarrow 531 \pm 53$  N,  $p < 0.05$ ) ja väheni raskaam-

man yhteistoimintaharjoituksen aikana lähelle alkumittauksen tasoa ( $502 \pm 77 \rightarrow 507 \pm 43$  N,  $p < 0.05$ ). Puristusvoiman muutokset on esitetty kuvassa 7.



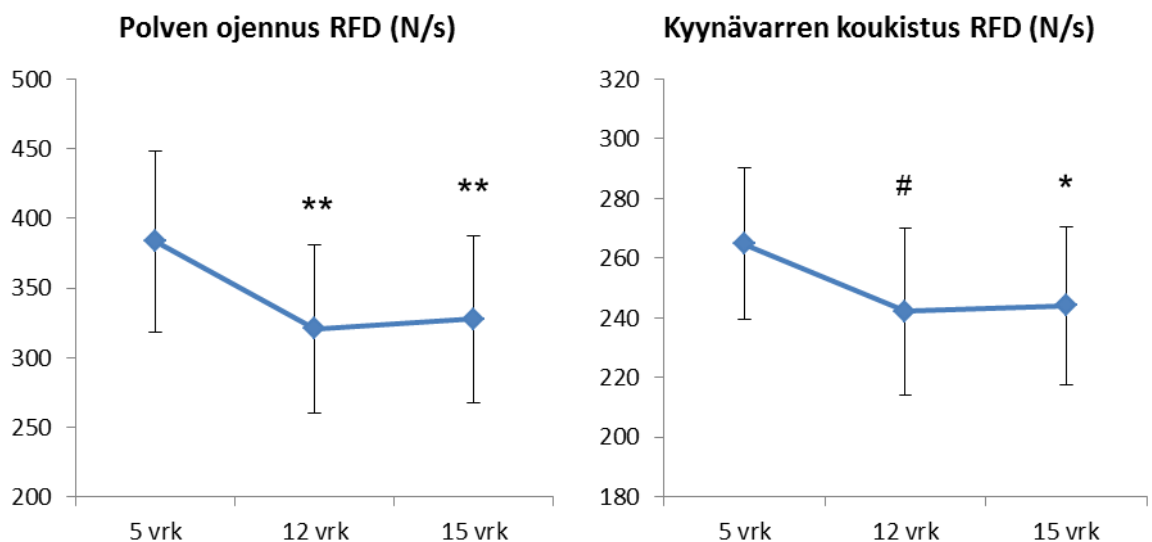
*Kuva 7. Puristusvoiman muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

Ala- ja ylävartalon lihasten isometrisen maksimivoimantuoton (MVC) muutokset poikkesivat toisistaan (kuva 8). Seitsemän vuorokauden maastoharjoitusjakson aikana havaittiin laskeva trendi polven ojennuksen MVC:ssä (-12 %) ( $670 \pm 219 \rightarrow 590 \pm 180$  N,  $p = 0.063$ ). Kyynärvarren koukistuksen MVC taas kohosi harjoitusjakson aikana 3 % ( $343 \pm 51 \rightarrow 354 \pm 52$  N,  $p < 0.01$ ). Kolmen vuorokauden palautumisjakson aikana kyynärvarren koukistuksen MVC laski hieman, mutta jäi vielä harjoitusjaksoa korkeammalle tasolle ( $351 \pm 50$  N,  $p < 0.01$ ).



Kuva 8. Ala- ja ylävartalon isometrisen maksimivoiman (MVC) muutokset harjoitus – ja palautumisjakson aikana verrattuna harjoituksen aloituspäivään (5.-12.pvä harjoitusjakso ja 12.-15.pvä palautumisjakso).

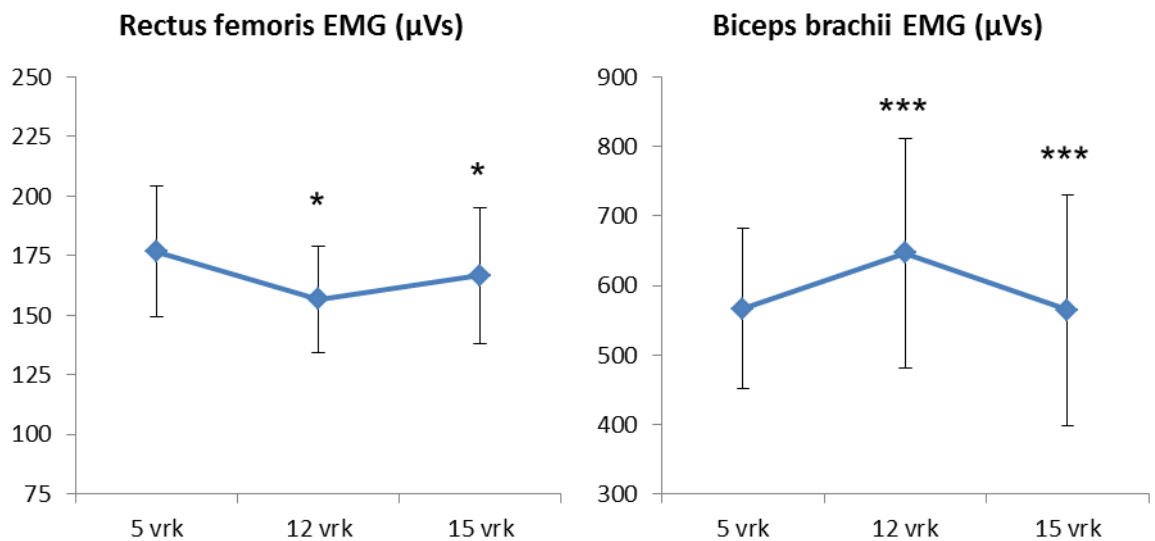
Ala- ja ylävartalon voimantuottonopeudet (RFD) laskivat seitsemän vuorokauden harjoitusjakson jälkeen samassa suhteessa. Polven ojennuksen RFD väheni 16 % ( $383 \pm 130 \rightarrow 321 \pm 120$  N/s,  $p < 0.01$ ). Kyynärvarren koukistuksen RFD:ssä havaittiin laskeva trendi (-9 %) ( $265 \pm 51 \rightarrow 242 \pm 56$  N/s,  $p = 0.059$ ). Palautumisjakson jälkeen RFD kasvoi hiukan, mutta jäi edelleen harjoitusjakson alkumittausta alemmalle tasolle ( $p < 0.01$  –  $p < 0.05$ ). Voimantuottonopeudet on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Ala- ja ylävartalon voimantuottonopeuden (RFD) muutokset harjoitus – ja palautumisjakson aikana verrattuna harjoituksen aloituspäivään (5.-12.pvä harjoitusjakso ja 12.-15.pvä palautumisjakso).

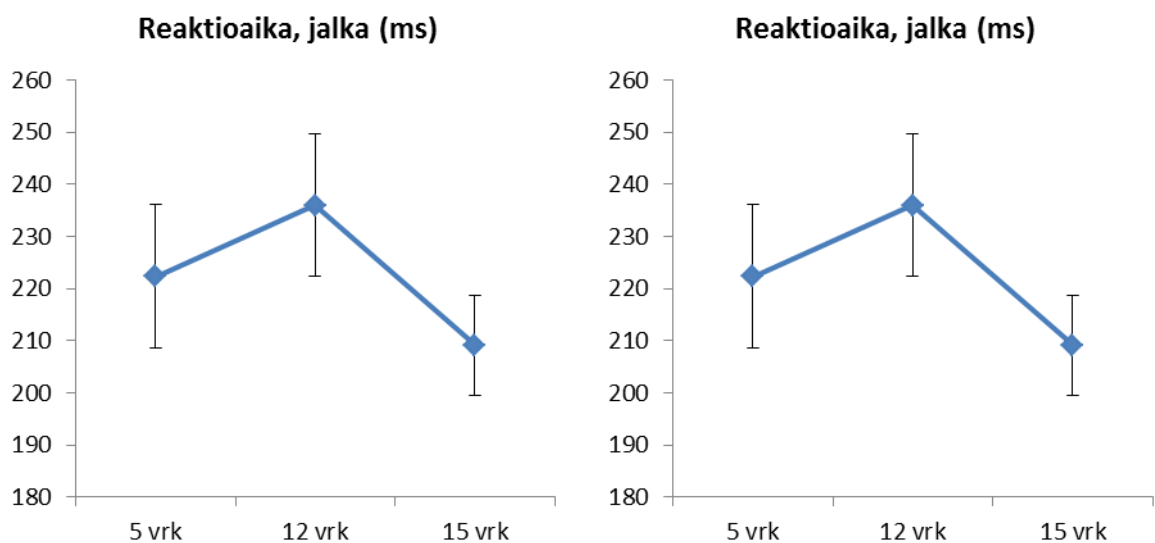
Ala- ja ylävartalon lihasten, suora reisilihas (Rectus Femoris) ja hauislihas (Biceps Brachii), lihasaktiivisuuden (EMG) muutokset poikkesivat toisistaan. Suoran reisilihaksen EMG väheni

harjoitusjakson vaikutuksesta 5 % ( $169 \pm 55 \rightarrow 161 \pm 45 \mu\text{Vs}$ ,  $p < 0.05$ ), kun hauislihaksen EMG lisääntyi samalla 12 % ( $567 \pm 230 \rightarrow 647 \pm 330 \mu\text{Vs}$ ,  $p < 0.001$ ). Palautumisjakson jälkeen EMG molempien lihasten osalta palasi harjoitusjakson alkumittauksen suuntaan ( $p < 0.001 - p < 0.05$ ). Lihaskäytävyyden muutokset on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Suoran reisilihaksen ja hauislihaksen EMG:n muutokset harjoitus – ja palautumisjakson aikana verrattuna harjoituksen aloituspäivään (5.-12.pvä harjoitusjakso ja 12.-15.pvä palautumisjakso).

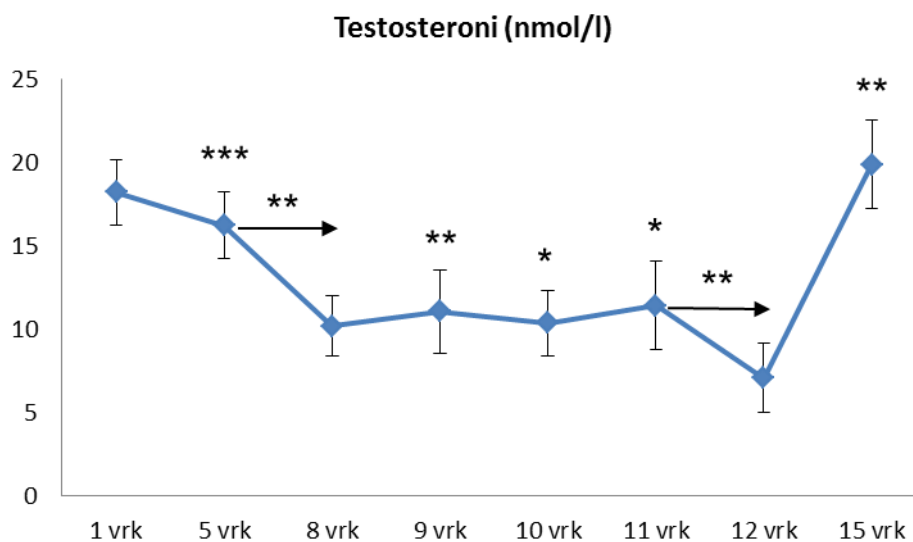
Reaktioajat näkö- ja kuuloärsykkeeseen eivät muuttuneet harjoitus- tai palautumisjakson vaikutuksesta (kuva 11).



Kuva 11. Jalkojen ja käsien reaktioajat näkö ja kuuloärsykkeeseen harjoitus – ja palautumisjakson aikana verrattuna harjoituksen aloituspäivään (5.-12.pvä harjoitusjakso ja 12.-15.pvä palautumisjakso).

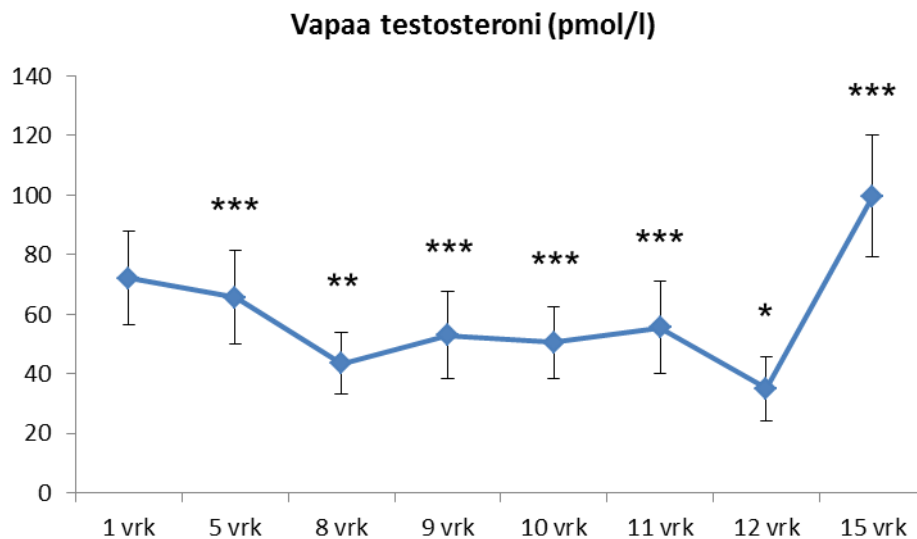
### 6.3 Hormonaaliset vasteet

Seerumin testosteroni (kuva 12) väheni kasarmikoulutusviikolla 11 % ( $18.2 \pm 3.9 \rightarrow 16.2 \pm 4.0$  nmol/l,  $p < 0.001$ ) ja siitä edelleen 37 % perusharjoituksen aikana ( $16.2 \pm 4.0 \rightarrow 10.2 \pm 3.6$  nmol/l,  $p < 0.01$ ). Yhteistoimintaharjoituksen kolmen ensimmäisen vuorokauden aikana koehenkilöiden testosteronitaso pysyi matalalla verrattuna alkumittaukseen ( $p < 0.01 - p < 0.05$ ). Raskaimman siirtymävaiheen sisältäneen harjoituksen päätösvuorokauden aikana testosteroni laski 38 %, saavuttaen alhaisimman arvon ( $7.0 \pm 4.1$  nmol/l,  $p < 0.01$ ). Kolmen vuorokauden palautumisjakson aikana testosteroni kohosi 9 % alkumittausta korkeammalle tasolle ( $19.9 \pm 5.3$  nmol/l,  $p < 0.01$ ).



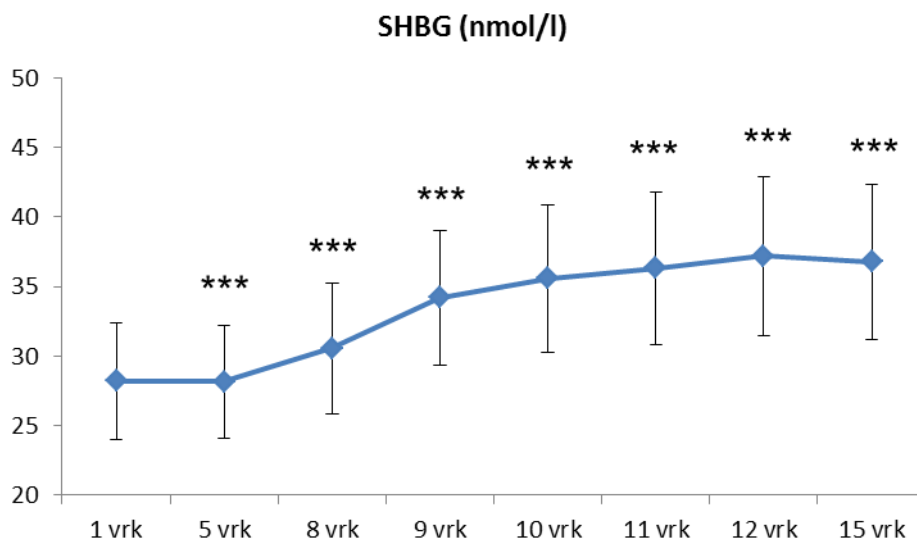
*Kuva 12. Testosteronin muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään ja nuolella (→) kuvattuna mittauspisteiden välinen muutos (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

Vapaa testosteroni (kuva 13) käyttäytyi hyvin samalla tavoin kuin kokonaistestosteroni (kuva 12). Pitoisuuden lasku oli suurin alkumittauksesta harjoituksen lopun arvoon, joka oli 51 % matalampi ( $72.2 \pm 31.4 \rightarrow 35.1 \pm 21.5$  pmol/l,  $p < 0.05$ ). Kolmen vuorokauden palautumisjakson vaikutuksesta vapaa testosteroni nousi 28 % korkeammalle kuin alkumittauksessa ( $72.2 \pm 31.4 \rightarrow 99.7 \pm 41.1$  pmol/l,  $p < 0.001$ ).



*Kuva 13. Vapaan testosteronin muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

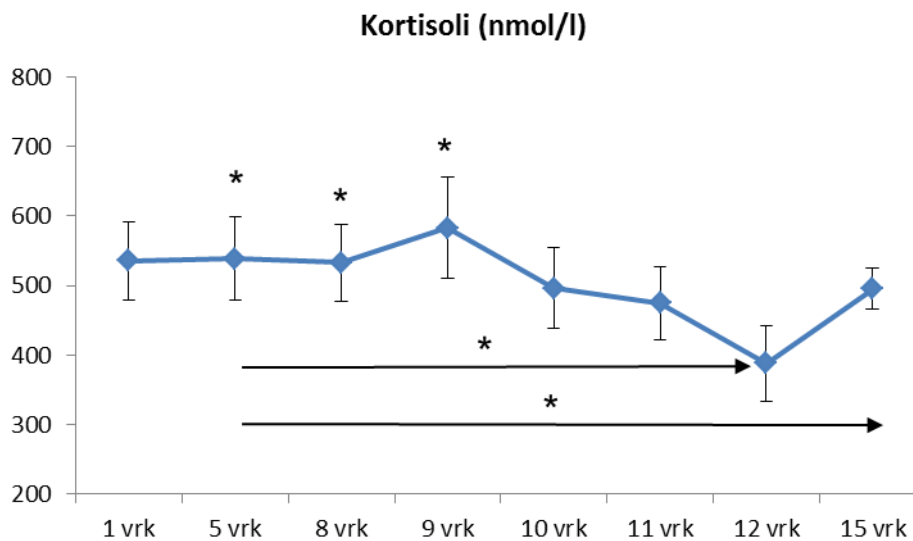
Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG) lisääntyi ( $p < 0.001$ ) harjoitusvaiheen loppuun asti saavuttaen keskimäärin pitoisuuden  $37.2 \pm \text{nmol/l}$ , joka on 24 % suurempi kuin alkumittauksessa. Palautumisjakson seurauksena SHBG väheni hiukan, mutta ei palautunut alkumittauksen tasoon ( $p < 0.001$ ). SHBG:n muutokset on esitetty kuvassa 14.



*Kuva 14. SHBG:n muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

Seerumin kortisoli (kuva 15) säilyi samalla tasolla kasarmikoulutusviikon ja perusharjoituksen aikana ( $p < 0.05$ ). Kortisoli nousi raskaamman harjoituksen ensimmäisenä päivänä koko

mittausjakson korkeimpaan tasoon ( $583 \pm 146$  nmol/l,  $p < 0.05$ ) ja kääntyi tämän jälkeen laskuun vähentyen koko harjoitusvaiheen aikana keskiarvoon  $388 \pm 109$  nmol/l ( $p < 0.05$ ). Palautumisjakson aikana kortisoli nousi lähelle harjoitusjakson alkumittauksen tasoa ( $539 \pm 118 \rightarrow 495 \pm 58$  nmol/l,  $p < 0.05$ ).

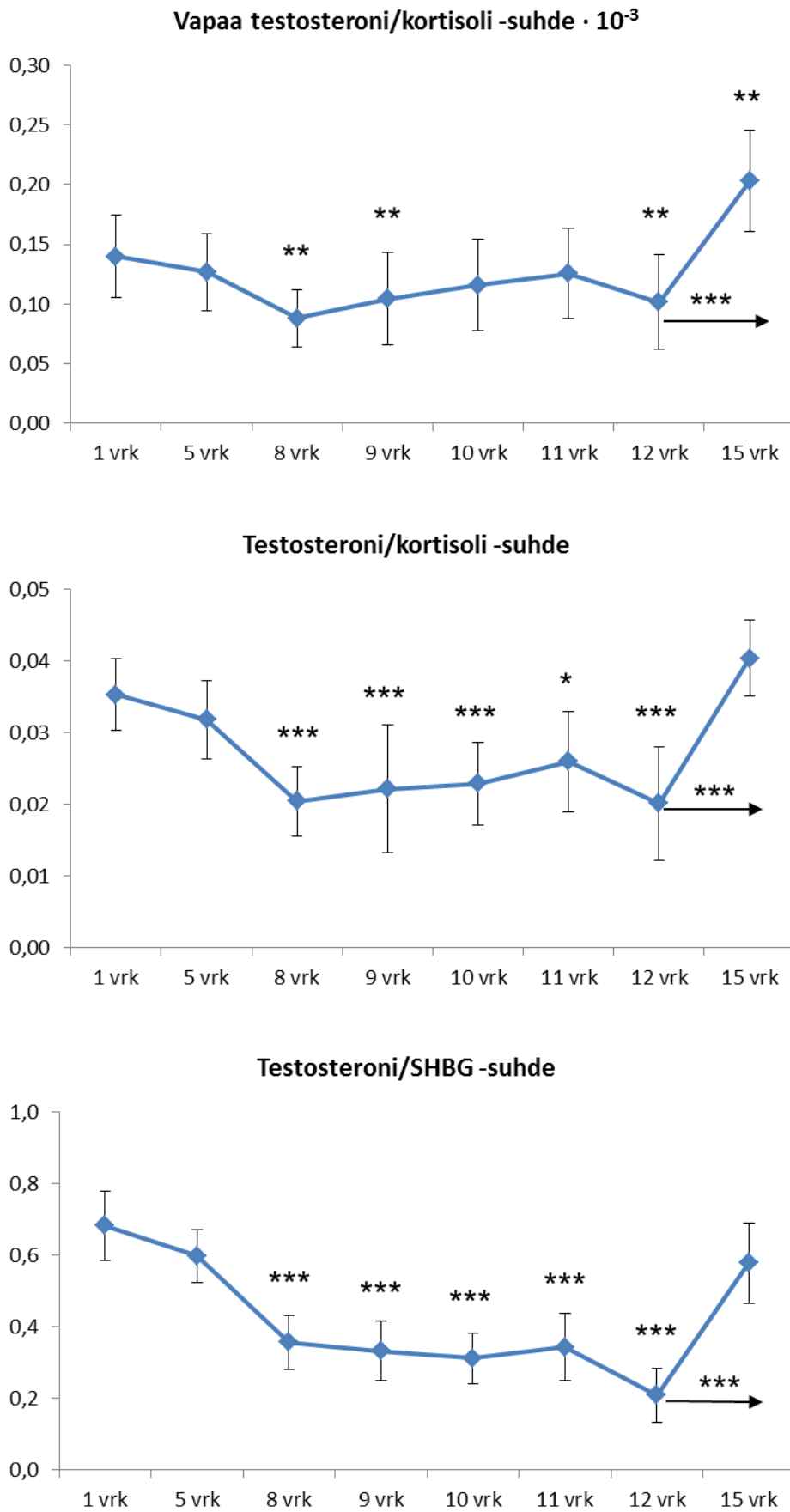


*Kuva 15. Kortisolin muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään ja nuolella (→) kuvattuna mittauspisteiden välinen muutos (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

Vapaa testosteroni/kortisoli suhdeluku laski kasarmikoulutusviikon ja perusharjoituksen jälkeen 37 % ( $0.14 \pm 0.07 \rightarrow 0.09 \pm 0.05 \times 10^{-3}$ ,  $p < 0.01$ ). Lasku koko harjoitusvaiheen loppuun oli 27 % ( $0.14 \pm 0.07 \rightarrow 0.10 \pm 0.08 \times 10^{-3}$ ,  $p < 0.01$ ). Suhdeluku palautui viikonlopun lepojakson aikana alkutasoa 45 % ( $0.14 \pm 0.07 \rightarrow 0.20 \pm 0.08 \times 10^{-3}$ ,  $p < 0.01$ ) ja harjoituksen päätöstasoa 50 % ( $0.10 \pm 0.08 \rightarrow 0.09 \pm 0.05 \times 10^{-3}$ ,  $p < 0.001$ ) korkeammaksi. Yksilökohtaisten tulosten mukaan kahdellatoista koehenkilöllä kahdestakymmenestä (12/20) suhdeluku laski 30 % tai enemmän.

Testosteroni/kortisoli suhdeluku laski kasarmikoulutusviikon ja perusharjoituksen jälkeen 43 % ( $0.035 \pm 0.010 \rightarrow 0.020 \pm 0.010$ ,  $p < 0.001$ ). Yhteistoimintaharjoituksen aikana suhdeluku nousi hieman ( $p < 0.001 - p < 0.05$ ), kunnes kääntyi jälleen laskuun raskaimman siirtymävaiheen aikana laskien 43 % alemmas kuin alkumittauksessa ( $0.035 \pm 0.010 \rightarrow 0.020 \pm 0.016$ ,  $p < 0.001$ ). Kolmen vuorokauden palautumisjakson aikana testosteroni/kortisoli suhdeluku nousi 50 % harjoitusjakson loppumittauksesta ( $p < 0.001$ ). Yksilökohtaisten tulosten mukaan seitsemällätoista koehenkilöllä kahdestakymmenestä (17/20) suhdeluku laski 30 % tai enemmän.

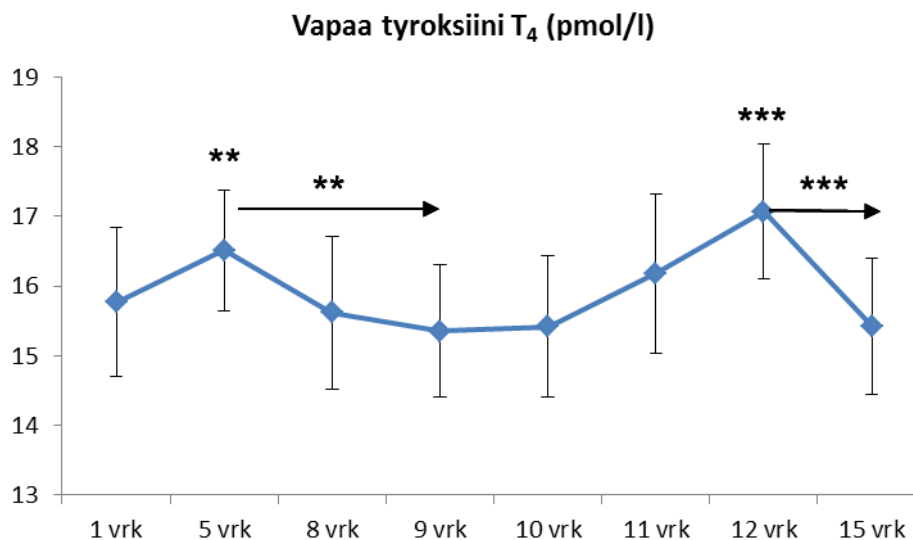




*Kuva 16. Hormonisuhdelukujen muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään ja nuolella (→) kuvattuna mittauspisteiden välinen muutos (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

Testosteroni/SHBG suhdeluku laski jyrkästi kasarmikoulutusviikon ja kevyemmän kolmen vuorokauden harjoituksen jälkeen 48 % alkumittauksesta ( $p < 0.001$ ). Suhdeluku laski maltillisesti raskaamman harjoitusvaiheen ensimmäisten kolmen vuorokauden aikana ( $p < 0.001$ ) kunnes laski jyrkästi raskaaimman siirtymisvaiheen sisältäneen viimeisen harjoitusvuorokauden aikana. Suhdeluku oli harjoituksen päättyessä alhaisimmillaan eli 69 % alempana kuin alkumittauksessa ( $p < 0.001$ ), josta suhdeluku palautui 64 % ylemmäs kolmen vuorokauden palautumisjakson jälkeen ( $p < 0.001$ ). Suhdelukujen muutokset on esitetty koottuna kuvassa 16.

Vapaa tyroksiini ( $T_4$ ) nousi kasarmikoulutusviikolla keskiarvoon  $16.5 \pm 1.7$  pmol/l ( $p < 0.01$ ), jonka jälkeen se kääntyi laskuun harjoitusvaiheen neljänteen päivään asti ( $p < 0.01$ ). Raskaaimman harjoituksen loppuvaiheessa, johon sisältyi eniten jalan siirtymistä,  $T_4$  lisääntyi jälleen saavuttaen jakson korkeimman arvon harjoituksen päättyessä ( $15.8 \pm 2.1 \rightarrow 17.1 \pm 1.9$  pmol/l,  $p > 0.001$ ). Kolmen vuorokauden palautumisjakson aikana  $T_4$  väheni 10 % ( $17.1 \pm 1.9 \rightarrow 15.4 \pm 2.0$  pmol/l,  $p < 0.001$ ). Vapaan tyroksiinin muutokset on esitetty kuvassa 19.



*Kuva 17. Vapaan tyroksiinin ( $T_4$ ) muutokset sotilaskoulutusjakson aikana verrattuna aloituspäivään ja nuolella ( $\rightarrow$ ) kuvattuna mittauspisteiden välinen muutos (1.-5.pvä kasarmikoulutus, 5.-8.pvä kevyt harjoitus, 8.-12.pvä raskas harjoitus ja 12.-15.pvä palautumisjakso).*

## 7. POHDINTA

Hormonaalisten kuormitusmarkkereiden ja hormonisuhdelukujen muutokset osoittivat jo karsmikoulutuksen ja kevyeksi suunnitellun perusharjoituksen aikaansaavan sotilaille merkittävän fysiologisen kuormituksen. Sotaharjoitusvaiheen aikana testosteronin erityks pysyi matalalla osoittaen raskasta fyysistä kuormitusta ja palautumisen riittämättömyyttä. Koulutusjakson aikainen hormonisuhdelukujen lasku valtaosalla koehenkilöistä oli niin suuri, että heidät luokiteltaisiin ylikuntoon. Kortisolin kääntyminen laskuun raskaammassa harjoitusvaiheessa voi merkitä elimistön ylikuormitusta tai vuorokausirytmien sekoittumista. Vapaan tyrokseen nouse voi osoittaa negatiivista energiataapainoa harjoituksen neljän ensimmäisen vuorokauden aikana ja adaptoitumista energiavajeeseen harjoituksen lopussa. Voimamittausten mukaan koehenkilöiden ylä- ja alavartalon lihakset kuormittuivat maastoharjoitusvaiheessa eri tavalla. Polven ojennuksen voimantuotto väheni samalla kun käsivarren koukistuksen voimantuotto lisääntyi. Voimantuoton väheneminen on todennäköisesti seurausta alavartalon lihasten pitkäkestoisesta kuormituksesta ja siihen liittyvistä sentraalisista ja perifeerisistä väsymistekijöistä, joiden selittävinä tekijöinä voi olla yleinen energiavaje, lihasryhmän energiavaje ja lihasvauriot. Käsivarren koukistuksen osalta lihasaktiivisuuden lisääntyminen osoittaa koehenkilöiden pystyneen harjoituksen jälkeen rekrytoimaan enemmän motorisia yksiköitä ja/tai lisäämään niiden syttymistäajuutta. Voimantuottonopeudet laskivat harjoituksen vaikutuksesta ja jäivät alas myös palautumisjakson jälkeen. Sotilaskoulutusjakson aikainen rasvamassan 18 % (2.0 kg) ja väheneminen ja lihasmassan 2 % (0.8 kg) lisääntyminen osoittivat koulutusjakson positiivista harjoitusvaikutusta. Viikonlopun palautumisjakson vaikutukset kehon koostumukseen, hormonipitoisuuksiin sekä hormonisuhdelukuihin osoittavat palautumisen onnistuneen hyvin suunnitellussa ajassa.

### 7.1 Fysiologiset vasteet

Maastoharjoituksen aikana kyynärvarren koukistuksen maksimivoimantuotto lisääntyi 3 % ja hauislihaksen maksimi EMG 12 %. Lihasaktiivisuuden lisääntyminen osoittaa koehenkilöiden pystyneen harjoituksen jälkeen rekrytoimaan enemmän motorisia yksiköitä ja/tai lisäämään niiden syttymistäajuutta. Vastaavasti havaittiin trendi polven ojennuksen maksimivoimantuoton vähenemisessä 12 % ( $p=0.063$ ). Suoran reisilihaksen maksimi EMG väheni merkittävästi 5 %. Samanaikainen voimantuoton ja EMG:n lasku voi ilmaista keskushermoston väsymistä ja kyvyttömyyttä käskyttää lihassoluja (Bigland-Ritchie 1981). Keskushermostollista väsymistä raskaassa harjoitusvaiheessa ovat hyvin todennäköisesti aiheuttaneet uni- ja ener-

giavaje, sekä vaikeat maasto-olosuhteet. Energiavajeen sentraalisilla vaikutusmekanismeilla on todettu olevan suorituskyvyn kannalta keskeinen rooli (Green 1988). Päinvastainen muutos ylä- ja alavartalon lihasten MVC:ssä ja EMG:ssä ei kuitenkaan tue sentraalista väsymystä selittävänä tekijänä. Energiavaje voi myös vaikuttaa usealla lihasmekaanisella tasolla (Green 1988). Harjoitusvaiheen pitkäkestoisessa kuormituksessa alavartalon lihasten voiman heikkeneminen voi olla seurausta myös lihasten energian loppumisesta, lihasvaurioista tai happamuuden lisääntymisestä. Lihasväsymyksen luonne jää osittain epäselväksi, mutta todennäköisesti alaraajojen lihasväsymys on seurausta sekä sentraalisista että perifeerisistä tekijöistä. Väsymystä aiheuttavana yhteisenä tekijänä on todennäköisesti koehenkilöiden energiavaje. Nindl ym (2007) havaitsivat myös alavartalon voimatasojen heikkenemistä sotilaskoulutusjaksossa. Kyseisessä tutkimuksessa heikkenemisen osoitettiin korreloivan sotilaiden painon ja rasvattoman massan vähenemisen kanssa.

Käsien puristusvoima nousi koulutuksen alkuvaiheessa, mutta laski raskaimmassa harjoitusvaiheessa alkumittauksen tasolle. Voimantuottonopeudet laskivat merkitsevästi polven ojennuksessa 16 % ja samankaltainen trendi havaittiin kyynärvarren koukistuksessa 9 % ( $p=0.065$ ). Voimantuottonopeudet eivät palautuneet lepojaksen aikana, vaan jäivät polven ojennuksessa 15 % ja kyynärvarren koukistuksessa 8 % alhaisemmiksi kuin ennen harjoitusta. Sotaharjoitus ei sisältänyt voimaharjoittelua, jolla voidaan sotilaskoulutuksessa oikein rytmittynä saada aikaan positiivisia vaikutuksia lihasvoimassa (Legg & Duggan 1996; Kraemer ym. 2004; Santtila ym. 2009a).

Androgeenisten hormonien lasku koulutusvaiheen aikana ei todennäköisesti muodostu pelkästään fyysisestä rasituksesta. Urheilijoiden tutkimuksessa pelkkä radikaali harjoitusintensiteetin lisääminen ei ole vaikuttanut esimerkiksi vapaan testosteronin ja vapaan tyroksiinin pitoisuuksiin (Lehmann ym. 1991). Boothin (2006) tutkijaryhmän mukaan univaje on suurin negatiivisiin hormonimuutoksiin vaikuttanut tekijä australialaisten sotilaiden 45 vuorokauden koulutusjakson tutkimuksessa. Univajeen havaittiin selittävän vapaan testosteronin ja vapaan testosteroni/kortisoli suhdeluvun muutoksia. Unenpuutteen lyhytaikaiset vaikutukset eivät dramaattisesti vaikuta fyysiseen suorituskykyyn (Goodman ym. 1989; Symons ym. 1988; Vaara ym. 2007), mutta täydellinen unenpuute voi johtaa jopa kuolemaan (Härmä & Sallinen 2000). Tässä tutkimuksessa koehenkilöiden uni oli rajoitettua maastoharjoitusvaiheen aikana ja samalla ilmenivät suurimmat muutokset kuormitusmarkkereissa. Univaje on todennäköisesti yksi merkittävimmistä tekijöistä androgeenisten hormonitasojen laskuun ja muiden kuormitusmarkkereiden ilmenemiseen.

Tyroksiinilla ja muilla kilpirauhashormoneilla on useita tehtäviä, mutta yhden merkityksellisimmistä on esitetty olevan lihassolun aineenvaihdunnan lisääminen kiihdyttämällä proteiini-synteesiä ja hiilihydraattiaineenvaihduntaa (Galbo 1981). Myös muiden tutkimusten (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2007) mukaan tyroksiinin laskua on pidetty merkinä elimistön adaptoitumisesta energiavajeeseen. Tämän tutkimuksen tuloksien mukaan kasarmikoulutusviikon aikana vapaan tyroksiinin pitoisuus kohosi ja kääntyi laskuun maastoharjoituksen aikana. Lasku voi osoittaa negatiivista energiatasapainoa harjoituksen neljän ensimmäisen vuorokauden aikana. Vapaan tyroksiinin pitoisuus nousi kuitenkin harjoituksen loppuvaiheessa koko mittausjakson korkeimmalle tasolle, joka näyttää tukevan osittain aiempaa tutkimusta (Hackney ym. 1995). Sen mukaan tyroksiini laskee maastoharjoituksen aikana, mutta palautuu normaalitasolle jo ennen optimaalista lepoa tai palautumista. Harjoituksen loppuvaiheessa tyroksiinipitoisuuden nousu voi olla osoitus parantuneesta energiatasapainosta tai mahdollisesti tehostuneesta rasva-aineenvaihdunnasta, johon kilpirauhashormoneilla on ainakin epäsuora vaikutus (Galbo 1981).

Sotilaiden keskipainon 4 % (2.8 kg) ja rasvamassan 21 % (2.3 kg) väheneminen koulutuksen aikana kuvastaa negatiivista energiatasapainoa ja nestevajetta. Muutos oli suurin maastoharjoitusvaiheen aikana. Vaikean energiavajeen on todettu vaikuttavan negatiivisesti fyysiseen ja psyykkiseen suorituskykyyn (Guezennec ym. 1994; Opstad 1994) ja sairauksien ja infektioiden vastustuskykyyn (Gomez-Merino ym. 2003; Kraemer ym. 1997). Tämän tutkimuksen osalta energiatasapainon analysointi jää jatkotutkimuksen varaan. Tutkimusaineistosta on mahdollisuus määrittää sykeanalyysiin perustuva karkea energiankulutus ja ruokapäiväkirjoista maastoharjoituksen aikainen energiansaanti. Nykyisen aineiston ja aiempien tutkimusten (mm. Gomez-Merino ym. 2003; Tanskanen ym. 2009; Salonen ym. 2013) perusteella voidaan kuitenkin todeta, että energia- ja nestetasapainon ylläpitämiseen on kiinnitettävä huomiota erityisesti pitkien maastoharjoitusten aikana.

## **7.2 Palautuminen**

Hormonien osuus energia-aineenvaihdunnassa on merkittävä. Ne osallistuvat prosesseihin, joilla rasituksessa ja sen jälkeen aikaansaadaan kudosaaurioiden korjausta, uudistumista ja palautumista. (Nindl ym. 2006) Tämän tutkimuksen yksi keskeisimpiä havaintoja oli viikonlopun kontrolloimattoman lepojaksen palauttava vaikutus. Koulutusta toteuttavissa joukoissa on usein oltu huolissaan nuorien sotilaiden levon riittävydestä viikonloppuvapaiden aikana.

Yleisenä linjauksena koulutuksen suunnittelussa on kuitenkin pidetty, että viikonlopun jälkeen voidaan aloittaa koulutus palautuneella ja levänneellä joukolla. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella oletus voidaan vahvistaa ja palautuminen raskaankin koulutusjakson jälkeen on mahdollista kontrolloimattoman viikonlopun vapaan aikana.

Kolmen vuorokauden palautumisjakson jälkeiset hormonaaliset vasteet ja kehon koostumuksen muutokset osoittivat kotona vietetyn vapaa-ajan toimineen suunnitellusti palauttavana jaksena. Viikonlopun jälkeen koehenkilöt olivat jälleen valmiit sotilaskoulutukseen ja fyysiseen rasitukseen. Hormonaalisten vasteiden ja kehon koostumuksen muutosten perusteella koko koejaksolla voitiin osoittaa olleen ainakin osittain positiivinen fysiologinen harjoitusvaikutus. Palautumisvaiheen jälkeiset kohonneet testosteronipitoisuudet ja lihasmassan lisääntyminen ovat tästä selkeimmät indikaatiot. Voimamittaukset eivät tosin kokonaisuudessaan tukeneet positiivista kehitystä suorituskyvyssä. Jalkalihasten osalta MVC ja maksimi EMG palautuivat, mutta eivät kehittyneet viikonlopun levon aikana.

Tanskanen ym. (2012) havaitsivat ylikuormittuneilla varusmiehillä SHBG:n lepopitoisuuden selkeää nousua, jonka lisäksi sotilaskoulutuksen ylikuormitusmarkkereiksi esitettiin seerumin kortisolia ja testosteroni/kortisoli suhdetta levossa. Kyseisten kuormitusmarkkereiden mukaan tämän tutkimuksen koulutusjakso oli erittäin raskas ja etenkin harjoitusvaiheen (12. päivä) jälkeen sotilaiden tilapäinen ylikuormitustila oli hyvin todennäköinen. Tätä tukee yksilökohtaisesti tarkastellut vapaa testosteroni/kortisoli ja testosteroni/kortisoli suhdelukujen muutokset joiden mukaan 12/20 ja 17/20 koehenkilön suhdeluku laski enemmän kuin 30 %. Edellistä on pidetty raja-arvona ylikunnon toteamiseksi (mm. Adlecreutz ym. 1986; Härkönen 1984; Karvonen ym. 1992). Myös kasarmikoulutusjakso ja kevyemmäksi suunniteltu perusharjoitus olivat kokonaiskuormitukseltaan melko raskaita. Tästä johtuen raskaamman harjoitusvaiheen alkaessa sotilaat olisivat kaivanneet vaikka lyhyttäkin palautumis-/lepoaikaa.

Koejaksolla sotilaille muodostui tilapäistä ylikuormitusta, joka palautui vasta viikonloppuvapaalla. Sotilaiden koulutussuunnitelmien laadinnan ja kuormituksen seurannan merkitys positiivisen harjoitusvaikutuksen aikaansaamiseksi ja ylikuormituksen välttämiseksi on huomattava. Santtilan ym. (2008; 2009a) mukaan kuormituksen ollessa sopivalla tasolla sotilaskoulutuksessakin saadaan aikaan kehityksen kannalta optimaalinen harjoitusvaikutus. Suomalaisten varusmiesten peruskoulutuskaudella mm. testosteronitason nousu indikoi positiivista harjoitustilaa elimistössä. Lisätty voimaharjoittelu yhdistettynä muuhun koulutukseen johti kuitenkin

kin koehenkilöiden seerumin kortisolipitoisuuden nousuun ja positiivista kehitystä lihasvoimassa ei tapahtunut. (Santtila ym. 2008; 2009a)

### 7.3 Tulosten luotettavuus ja jatkotutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen luotettavuus on pyritty varmistamaan tarkasti suunnitellulla ja toteutetulla aineiston keräämisellä ja huolellisella analysoinnilla, sekä kattavalla ja validilla lähdeaineistolla. Johtopäätöksiä tehtäessä on kokonaisvaldiutta nostettu vertaamalla saatuja tuloksia kattavaan lähdeaineistoon. Alan tuoreita ja luotettavia tutkimustuloksia ja raportteja on ollut hyvin saatavissa. Reliabiliteetin osalta haasteena tämän tutkimuksen kaltaisissa koeasetelmissä on osittain kontrolloimaton koejakson sisältö ja sen aiheuttama sotilaiden vuorokausirytmien sekoittuminen, joka voi vaikuttaa dramaattisesti koehenkilöiden hormonien eritykseen ja viireystilaan mittaushetkinä. Toisaalta koehenkilöiden aktiivisuuden ollessa ympärivuorokautista ja univajeen ollessa vääjäämätöntä, on vuorokausirytmien sekoittuminen osa tutkimuksen tuloksia. Parempaa mittausasetelmaa on vaikea toteuttaa. Mahdollisuutena olisi toteuttaa kattavampi hormonaalisen profiilin mittaus eli useampia mittauspisteitä, mutta sen toteutus verikokeiden osalta ei olisi kovin realistista, eikä mielekäästä. Useammat mittauspisteet olisivat mahdollisia osalle hormoneista kehitettyjen sylkimittausten avulla.

Mittausjakso on toteutettu noin kuusi vuotta ennen tämän raportin kirjoittamista. Siitä johtuen tutkijalla ei ollut mahdollisuutta vaikuttaa mitattujen muuttujien valintaan. Esimerkiksi lihas-ten suorituskyky- ja kuormitusmittausten tueksi kreatiinikinaasin mittaaminen olisi ollut perusteltua. Myös venymis-lyhenemiskiertoon (SSC) pohjautuvaan mallin mukainen hermolihaskäytön väsymisen tutkiminen olisi mielenkiintoista sotilaalliseen toimintaan liittyen. Hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn muutoksien osoittaminen koko kahden viikon harjoitusjaksossa jäi osittain puutteelliseksi kahden mittauspisteen voimamittausten aineiston käyttökelpottomuuden vuoksi. Harjoitusjakson (7 vrk) ja palautumisjakson (3 vrk) vaikutus saatiin kuitenkin mitattua luotettavasti. Muilta osin aineiston käsittely on onnistunut ilman ongelmia ja tärkeää saada nyt raportoitua. Kerätyn aineiston osalta on lähiaikoina vielä odotettavissa ainakin sykevaihteluun perustuva tutkimusraportti. Viimeaikaisissa tutkimuksissa sykevaihtelu on todettu luotettavaksi ja käyttökelpoiseksi fyysisen kuormituksen mittausmenetelmäksi sotilaallisessa toiminnassa (Huovinen ym. 2009; Salonen ym. 2013) ja sen käyttöä tutkimuksessa tulee lisätä. Koejakson osalta aineistoa on lisäksi käytettävissä tämän lisäksi ainakin ampumasuorituksen ja mielialakyselyiden analysointiin.

## 7.4 Johtopäätökset

Tutkimuksen tärkeimmät johtopäätökset ja vastaukset tutkimuskysymyksiin ovat:

### I.

Kahden viikon sotilaskoulutusjakso oli elimistöä kuormittava ja aiheutti merkittäviä muutoksia hormonitoiminnassa. Merkittävimpana muutoksena oli testosteronipitoisuuden voimakas lasku koulutusvaiheessa ja lepojaksion jälkeinen nousu aloitusvaihetta korkeammalle tasolle. Tutkimus osoitti maastoharjoituksen kuormittavan ylä- ja alavartalon lihaksia eri tavalla. Käsivarren koukistuksen osalta lihasaktiivisuuden lisääntyminen osoittaa koehenkilöiden pystyneen harjoituksen jälkeen rekrytoimaan enemmän motorisia yksiköitä ja/tai lisäämään niiden syttymistäajuutta. Harjoitusvaiheen pitkäkestoisessa kuormituksessa alavartalon lihasten voiman heikkeneminen on todennäköisesti seurausta sekä sentraalisista että perifeerisistä tekijöistä, joiden yhteisenä selittävänä tekijänä on koehenkilöiden energiavaje.

### II.

Tutkimuksen tulokset osoittivat palautumisen olleen puutteellista koulutusjakson yhdentoista ensimmäisen vuorokauden aikana. Koulutusjakson päättäneen kolmen vuorokauden lepojaksion jälkeiset hormonaaliset vasteet ja kehon koostumuksen muutokset osoittivat kuitenkin sotilaiden palautuneen fysiologisesti niin hyvin, että he olivat valmiit jatkamaan koulutusta viikonloppuvapaan jälkeen. Raskaasta sotaharjoitusjaksosta palautumisen osalta jo pelkästään perustekijöistä kuten unesta ja ravinnosta huolehtiminen on erittäin merkityksellistä.

## 7.5 Lopuksi

Koejakson toteutuksesta suuri kiitos kuuluu Jukka Huoviselle apulaisineen, Reserviupseerikoululle, vapaaehtoisille koehenkilöille ja muille aineiston keräämiseen osallistuneille tahoille. Lisäksi esitän erityiskiitokset työn ohjaajille Jani Vaaralle ja Heikki Kyröläiselle aktiivisesta ja ammattitaitoisesta ohjausotteesta, sekä Elina Vaaralle avusta tilastollisten menetelmien käytössä. On ollut jälleen etuoikeus työskennellä kaikkien teidän kanssa, kiitos.



**LÄHTEET**

Adlercreutz, H., Härkönen, M., Kuoppasalmi, H., Näveri, H., Huhtaniemi, I., Tikkanen, H., Remes, K., Dessypris, A. & Karvonen, J. 1986. Effects of Training on Plasma Anabolic and Catabolic Hormones and Their Response During Physical Exercise. *Int. J. Sports Med.* (1986) 27-28 Supplement © Georg Thieme Verlag Stuttgart. New York.

Asmussen, E. 1979. Muscle fatigue. *Med Sci Sport* 11:313-321.

Avela, J. & Komi P.V. 1998. Reduced Stretch Reflex Sensitivity and Muscle Stiffness after Longlasting Stretch-shortening Cycle (SSC) Exercise, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78: 403-410, 1998.

Bigland-Ritchie B. 1981. EMG/Force Relations and Fatigue of Human Voluntary Contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9: 75-117.

Bigland-Ritchie, B., Jones, D.A., Hosking, G.R. & Edwards, R-T.H. 1978. Central and peripheral fatigue in maximum voluntary contraction of human quadriceps muscle. *Clin Sci Mol Med* 54: 604-614.

Booth, CK., Probert, B., Forbes-Ewan, C. & Coad, RA. 2006. Australian Army Recruits in Training Display Symptoms of Overtraining. *Military Medicine*, Vol, 171, November 2006.

Borer, K.T. 2013. Advanced exercise endocrinology. University of Michigan. Human Kinetics. Printed in the United States of America.

Brainbridge, FA. 1931. *The physiology of muscular exercise*. London: Longmans, Green & Co.

Bunt, J.C. 1986. Hormonal Alterations Due to Exercise. *Sports Medicine* 3: 331-345 (1986) 0112-1642/86/0900-0331.

Bullock, S. H., Jones, B. H., Gilchrist, J. & Marshall, S. W. 2011. Prevention of physical training-related injuries recommendations for the military and other active populations based on expedited systematic reviews. *Am J Prev Med* 38, S156-181.

- Cameron, E.H.D. & Jones, D.E. 1972. Some observations on the measurement of estradiol-17 $\beta$  in human plasma by radioimmunoassay. *Steroids* 20, 737, 1972.
- Chicharro, J. L., Lopez-Mojares, L. M., Lucia, A., Perez, M., Alvarez, J., Labanda, P., Calvo, F. & Vaquero, A. F. 1998. Overtraining parameters in special military units. *Aviat Space Environ Med* 69, 562-568.
- Cooper, H. 1968. A means of assessing maximal oxygen intake. *Journal of the American Medical Association*. Vol. 203, No.3.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. J. & Murphy, A. 2007. Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *Int J Sports Med* 28, 116-124.
- Cumming, D., Quigley, M. & Yen, S. 1983. Acute suppression of circulation testosterone level by cortisol in men. *J Clin Endocrinol Metab* 57: 671-673.
- Dean, C.E. 2005. The modern warrior's combat load - dismounted combat operations in Afghanistan. US Army. USA. Teoksessa International Congress on Soldiers' Physical Performance. May 18-22, 2005, Jyväskylä, Finland. Congress Proceedings.
- Enoka, R. M. & Stuart, D. G. 1992. Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72: 1631-1648.
- Enoka, R.M. 2002. *Neuromechanics of human movement*. 3rd edition. Human Kinetics Publishers, Champaign IL.
- Fahrner, C. & Hackney, A. 1998 Effects of endurance exercise on free testosterone concentration and the binding affinity of sex hormone binding globulin (SHBG). *Int J Sports Med* 19: 12-15.
- Fernandez-Garcia, B., Lucia, A., Hoyos, J., Chicharro, JL., Rodriguez-Alonso, M., Bandres, F. & Terrados, N. 2002. The response of sexual and stress hormones of male pro-cyclists dur-

ing continuous intense competition. *International journal of sports medicine* 2002 Nov; 23(8): 555-60.

Friedl, KE., Maysm MZ., Kraemer, TR. & Shippee, RL. 1995. Acute Recovery of Physiological and Cognitive Function in U.S. Army Ranger Students in a Multistressor Field Environment. Paper presented at the RTO HFM Workshop on "The Effect of Prolonged Military Activities in Man. Physiological and Biochemical Changes. Possible Means of Rapid Recuperation", held in Oslo, Norway, 3-5 April 1995, and published in RTO MP-042.

Friedl, KE., Moore, RJ., Hoyt, RW., Marchitelli, LJ., Martinez-Lopez, LE. & Askew, WE. 2000. Endocrine markers of semistarvation in healthy lean men in a multistressor environment. *Journal of Applied Physiology* 88: 1820–1830.

Fry, R.W., Morton, A.R. & Keast, D. 1991. Overtraining in athletes. An update. *Sports Medicine* 12(1), 32-65.

Fry, R.W., Morton, A.R. & Keast, D. 1992. Periodisation and the prevention of overtraining. *Canadian Journal of Applied Sports Science* 17, 241-248.

Galbo, H. 1981. Endocrinology and metabolism in exercise. *Int J Sport Med.* 4: 203-211.

Gomez-Merino, D., Chennaoui, M., Burnat, P., Drogou, C. & Guezennec, CY. 2003. Immune and hormonal changes following intense military training. *Military medicine* 2003 Dec; 168(12): 1034-8.

Goodman, J., Radomski, M., Hart, L., Plyley, M. & Shephard, R.J. 1989. Maximal aerobic exercise following prolonged sleep deprivation. *Int J Sports Med.* 10, 419-423.

Green, H. J. 1988. Manifestations and Sites of Neuromuscular Fatigue. Teoksessa Taylor, A. W., Gollnick, P. D., Green, H. J., Ianuzzo, C. D., Noble, E. G., Metivier, G., Sutton, J. R. (toim.) *International Series on Sport Sciences*, vol. 21: *Biochemistry of Exercise VII. Human Kinetics*, Illinois.

Grenier JG, Millet GY, Peyrot N, Samozino P, Oullion R, Messonnier L & Morin JB. 2012. Effects of extreme-duration heavy load carriage on neuromuscular function and locomotion: a

military-based study. PLoS One. 2012; 7(8): e43586.

Guezennec, C.Y., Satabin, B., Legrand, H. & Bigard, A. X. 1994. Physical performance and metabolic changes induced by combined prolonged exercise and different energy in-takes in humans. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*. Vol. 6, No. 6, 525-530.

Guyton, A.C. & Hall, J.E. 2006. *Textbook of Medical Physiology*, 11th edition. Elsevier Inc, Philadelphia, Pennsylvania.

Hackney, A. 1989. Endurance training and testosterone. *Int J Sports Med* 8: 298-303.

Hackney, A. 1996. The male reproductive system and endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 28(2): 180-189.

Hackney AC, Hodgdon JA, Hesslink R Jr, Trygg K. 1995. Thyroid hormone responses to military winter exercises in the Arctic region. *Arctic Med Res*. 1995 Apr;54(2):82-90.

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.

Horita T, Komi PV, Härmäläinen I, Avela J. 2003. Exhaustive Stretch-shortening Cycle Exercise Causes Greater Impairment in SSC Performance Than in Concentric Performance, *European Journal of Applied Physiology*, 88: 527-534.

Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. 1996. Stretch Shortening Cycle Fatigue: Interactions Among Joint Stiffness, Reflex, and Muscle Mechanical Performance in the Drop Jump, *European Journal of Applied Physiology*, 73: 393-403.

Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. 1999. Effect of Exhaustive Stretch-shortening Cycle exercise on Time Course of Mechanical Behavior in the Drop Jump: Possible Role of Muscle Damage, *European Journal of Applied Physiology*, 79: 160-167.

- Huovinen, J., Tulppo, M., Nissilä, J., Linnamo, V., Häkkinen, K. & Kyröläinen, H. 2009. Relationship between heart rate variability and the serum testosterone-to-cortisol ratio during military service. *European Journal of Sport Science* 9, 277-284.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M. & Komi P.V. 1985a. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular power. *Eur J Appl Physiol* 53: 287-293.
- Häkkinen, K., Alen, M. & Komi P.V. 1985b. Changes in isometric force- and relaxationtime, electromyography and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125, 573-585.
- Häkkinen K., Pakarinen A., Alén, M., Kauhanen H. & Komi P.V. 1987. Relationships Between Training Volume, Physical Performance Capacity, and Serum Hormone Concentrations During Prolonged Training in Elite Weight Lifters. *Int J Sports Med* 1987; 08: S61-S65.
- Härkönen, M. 1984. Biochemical indicators in diagnosis of overstrain condition in athletes. *Sp Med and Ex Sci Proceedings of the Olympic Scientific Congress, July, Eugene, Oregon USA.*
- Härmä, M. & Sallinen, M. 2000. Univaje terveystriskinä. *Duodecim* 116(20):2267-73.
- Karvonen J, Lemon PWR, Iliev I. 1992. Overtraining. *Medicine in Sports Training and Coaching. Med Sport Sci. Basel, Karger, 1992, vol 35, pp 174-188.*
- Kauranen, K & Nurkka, N. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 166. Tammerprint Oy, Tampere.
- Knapik, J.J., Hauret, K.G., Canada, S., Marin, R. & Jones, B. 2011. Association between ambulatory physical activity and injuries during United States Army Basic Combat Training. *J Phys Act Health.* 2011 May;8(4):496-502.
- Knapik, J.J. Reynolds, K.L. & Harman, E. 2004. Soldier Load Carriage: Historical, Physiological, Biomechanical and Medical Aspects. *Military Medicine, Vol. 169.*
- Komi, P.V. 1986. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine.* (suppl) 7-10.

Kontula, K., Leinonen, P. & Jänne, O. 2000. Endokriininen järjestelmä. Teoksessa Välimäki, M., Sane, T. & Dunkel, L (toim.) 2000. Endokrinologia. 1.painos. Karisto Oy, Hämeenlinna.

Kosola, J. 2012. Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin 2015-2025. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan Laitoksen Julkaisusarja 4 No 3/2011. Edita Prima Oy. Helsinki.

Kramer, T.R., Moore, R.J., Shippee, R.L., Friedl, K.E., Martinez-Lopez, L., Chan, M.M. & Askew, E.W. 1997. Effects of Food Restriction in Military Training on T-Lymphocyte Responses. *Int J Sports Med* 1997; 18: S84-S90.

Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, McCormick M, Nindl BC, Volek JS, Gotshalk LA, Fleck SJ, Campbell WW, Gordon SE, Farrell PA, Evans WJ. 1998. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998a Feb;77(3):206-11.

Kraemer, W. J., Vescovi, J. D., Volek, J. S., Nindl, B. C., Newton, R. U., Patton, J. F., Dzidos, J. E., French, D. N. & Häkkinen, K. 2004. Effects of concurrent resistance and aerobic training on load-bearing performance and the Army physical fitness test. *Mil Med* 169, 994-999.

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

Kuipers, H. & Keizer, H.A. 1988. Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Medicine* 6, 79-92.

Kunz-Ebrecht, SR., Mohamed-Ali, V., Feldman, PJ., Kirschbaum, C. & Steptoe, A. 2003. Cortisol responses to mild psychological stress are inversely associated with proinflammatory cytokines. *Brain, behavior and immunity* 2003, vol. 17, no5, pp. 373-383.

Kuoppasalmi, K. 1981. Effects of exercise stress on human plasma hormone levels – with special reference to steroid hormones. Academic dissertation. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. Painatusjaos Helsinki.

Kyröläinen, H., Karinkanta, J., Santtila, M., Koski, H., Mäntysaari, M. & Pullinen, T. 2007. Hormonal responses during a prolonged military field exercise with variable exercise intensity. *Eur J Appl Physiol.* 2007 Nov 27; : 18040709.

Kyröläinen, H & Santtila, M. 2010. Teoksessa Mäkinen, J & Tuominen, J. (toim.). *Military Pedagogical Reflections*. Maanpuolustuskorkeakoulu, Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos, Julkaisusarja 1, n:o 6, Helsinki 2010.

Kyröläinen, H., Santtila, M., Hämäläinen, H., Koski, H., Mäntysaari, M. & Karinkanta, J. 2004. Partiotiedusteluharjoituksen fysiologiset vasteet ja fyysisen suorituskyvyn muutokset. Edita Prima. Helsinki.

Legg SJ. & Duggan A. 1996. Effects of basic training on aerobic fitness and muscular strength and endurance of British recruits. *Ergonomics*; 39:1403-1418.

Lehmann, M., Dickhuth, H.H., Gendrich, G., Lazar, W., Thum, M., Kaminski, R., Aramendi, J.F., Peterke, E., Wieland, W. & Keul, J. 1991. Training – Overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 12(5), 444-452.

Lehmann, M., Gastmann, U., Petersen, K.G., Bachl, N., Seidel, A., Khalaf, A.N., Ficher, S. & Keul, J. 1992. Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle- and long-distance runners. *Br J Sports Med* 1992;26:233-242 doi:10.1136/bjism.26.4.233.

Leveritt M., Abernethy P.J., Barry B.K. & Logan P.A. 1999. Concurrent strength and endurance training. A Review. *Sports Med* 28: 413-427.

Lindholm, H., Ilmarinen, R., Santtila, M., Oksa, J., Rissanen, S., Hirvonen, A., Mälkiä, E., Rusko, H., Mäntysaari, M. & Kyröläinen, H. 2008. Sotilastyön tehtäväkohtainen energiankulutus, eri tehtävien edellyttämä fyysinen minimisuorituskyky ja kuormituksen sekä kuormittumisen arviointi kenttäoloissa. *MATINE:n julkaisusarja*.

- Maavoimaesikunta. 2004. Maavoimien järjestelmät. Teoksessa Puolustusjärjestelmien kehitys. Sotatekninen arvio ja ennuste 2030 – STAE 2020, osa 2. Edita Prima Oy, Helsinki.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2007. Exercise Physiology. Energy, Nutrition & Human Performance, Sixth edition. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. 2004. Urheilualmennus. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
- Morgan, CA., Wanga, S., Masona, J., Southwicka, SM., Foxa, P., Hazlett G., Charneya DS. & Greenfieldd G. 2000. Hormone profiles in humans experiencing military survival training. Biological Psychiatry. Volume 47, Issue 10, May 2000, Pages 891–901.
- Mäestu, J., Jurimäe, J. & Jurimäe, T. 2005. Hormonal response to maximal rowing before and after heavy increase in training volume in highly trained male rowers. J Sports Med Phys Fitness 45, 121-126.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-T. 1989. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY:n graafiset laitokset. Porvoo.
- Nindl BC, Barnes BR, Alemany JA, Frykman PN, Shippee RL, Friedl KE. 2007. Physiological Consequences of U.S. Army Ranger Training. Med Sci Sports Exerc. 39:1380–1387.
- Nindl, BC, Leone, CD, Tharion, WJ, Johnson, RF, Castellani, JW, Patton, JF & Montain, SJ. 2002. Physical performance responses during 72 h of military operational stress. Med Sci Sports Exerc Nov; 34(11):1814-22.
- Nindl, Bradley C., Rarick, Kevin R., Castellani John W., Tuckow Alexander P., Patton John F., Young Andrew J. & Montain Scott J. 2006. Altered secretion of growth hormone and luteinizing hormone after 84 h of sustained physical exertion superimposed on caloric and sleep restriction. J Appl Physiol 100: 120-128, 2006. First published September 1, 2005.
- Opstad, PK. 1992a. The hypothalamo-pituitary regulation of androgen secretion in young men after prolonged physical stress combined with energy and sleep deprivation. Acta Endocrinol 127: 231-236.



Opstad, PK. 1992b. Androgenic Hormones during Prolonged Physical Stress, Sleep, and Energy Deficiency. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* Vol. 74, No. 5. Downloaded from [jcem.endojournals.org](http://jcem.endojournals.org) by on January 31, 2008.

Opstad, PK. 1994. Circadian rhythm of hormones is extinguished during prolonged physical stress, sleep and energy deficiency in young men. *European journal of endocrinology / European Federation of Endocrine Societies* 131, 56-66.

Opstad, PK. 1995. Endocrine and Metabolic Changes during Exhaustive Multifactorial Military Stress. Results from Studies during the Ranger Training Course of the Norwegian Military Academy. Paper presented at the RTO HFM Workshop on "The Effect of Prolonged Military Activities in Man. Physiological and Biochemical Changes. Possible Means of Rapid Recuperation", held in Oslo, Norway, 3-5 April 1995, and published in RTO MP-042.

Opstad, PK & Aakvaag, A. 1981. The effect of a high calory diet on hormonal changes in young men during prolonged physical strain and sleep deprivation. *European Journal of Applied Physiology* Volume 46, Number 1 / April, 1981.

PEkoulo-s. 2002. Raportti. Taistelija 2005 - Fyysisen suorituskyvyn tutkimustoiminta 17.12.2002.

Pääesikunta. 2011. Fyysisen toimintakyvyn perusteet HH47 14.2.2011.

Ritvanen, T. 2006. Seasonal psychophysiological stress of teachers related to age and aerobic fitness. *Kuopion yliopiston julkaisuja D. Lääketiede*.

Salonen, M., Kokko J., Tyyskä J., Koivu M. & Kyröläinen H. 2013. Heart Rate Variability Recordings are a Valid Non-Invasive Tool for Evaluating Soldiers' Stress. *J Def Stud Resour Manage* 2013, 2:1.

Santtila, M. 2010. Effects of Added Endurance or Strength Training on Cardiovascular and Neuromuscular Performance of Conscripts During the 8-week Basic Training Period.

- 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, 1173-1179.
- Santtila, M., Häkkinen, K., Kraemer, W. J. & Kyröläinen, H. 2010. Effects of basic training on acute physiological responses to a combat loaded run test. *Mil Med* 175, 273-279.
- Santtila, M., Kyröläinen, H. & Häkkinen, K. 2009a. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. *J Strength Cond Res* 23, 1300-1308.
- Santtila, M., Kyröläinen, H. & Häkkinen, K. 2009b. Serum hormones in soldiers after basic training: effect of added strength or endurance regimens. *Aviat Space Environ Med* 80, 615-620.
- Sawka, MN. & Coyle, EF. 1999. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev* 1999;27:167.
- Stenman, U-H. 2000. Hormonien määrittämenetelmät. Teoksessa Välimäki M., Sane T. & Dunkel L (toim.) 2000. *Endokrinologia*. 1.painos. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Symons, JD., VanHelder, T. & Myles, WS. 1988. Physical performance and physiological responses following 60 hours of sleep deprivation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol 20, No 4, 374-380.
- Tanskanen, M. 2012. Effects of Military Training on Aerobic Fitness, Serum Hormones, Oxidative Stress and Energy Balance, with Special Reference to Overreaching. Väitöskirja. University of Jyväskylä.
- Tanskanen MM, Kyröläinen H, Uusitalo AL, Huovinen J, Nissilä J, Kinnunen H, Atalay M & Häkkinen K. 2011a. Serum sex hormone binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *J Strength Cond Res* 25:787-797.

Tanskanen MM, Uusitalo AL, Kinnunen H, Häkkinen K, Kyröläinen H & Atalay M. 2011b. Association of military training with oxidative stress and overreaching. *Med Sci Sports Exerc* 43:1552-1560.

Tanskanen M, Uusitalo AL, Häkkinen K, Nissilä J, Santtila M, Westerterp KR & Kyröläinen H. 2009. Aerobic fitness, energy balance, and body mass index are associated with training load assessed by activity energy expenditure. *Scand J Med Sci Sports* 19:871-878.

Tanskanen M, Westerterp KR, Uusitalo AL, Häkkinen K, Atalay M, Kinnunen H & Kyröläinen H. 2012. Effects of easy-to-use proteinrich energy bar on energy balance, physical activity and performance during 8 days of sustained physical exertion. *PLoS ONE*, 7:e47771.

Urhausen A, Gabriel H & Kindermann W. 1995. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine* 1995, 20(4):251-276.

Vaara, J., Kyröläinen, H., Oksanen, H., Siiskonen, V., Koivu, M., Mattila, R., Mäntysaari, M., Lyytinen, H., Virnavirta, M. & Finni, T. 2007. Kuudenkymmenen tunnin valvomisen fysiologiset ja psykologiset vasteet sekä vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan ja oppimiseen. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. Edita Prima Oy.

Välimäki, M. 2000. Kilpirauhanen. Teoksessa Välimäki M., Sane T. & Dunkel L (toim.) 2000. Endokrinologia. 1.painos. Karisto Oy, Hämeenlinna.

Väänänen, I., Vasankari, T., Mäntysaari, M. & Vihko, V. 2002. Hormonal responses to daily strenuous walking during 4 successive days. *European journal of applied physiology* 2002 Nov; 88(1-2): 122-7.

Väänänen, I., Vasankari, T., Mäntysaari, M. & Vihko, V. 2004. Hormonal responses to 100 km cross-country skiing during 2 days. *Journal of sports medicine and physical fitness*. 2004 Sep; 44(3): 309-14.

**LIITTEET**

- Liite 1 Viikko-ohjelma 47/2008 Kasarmikoulutus ja perusharjoitus 2
- Liite 2 Viikko-ohjelma 48/2008 Yhteistoimintaharjoitus 1 ja viikonloppuvapaa
- Liite 3 Viikko-ohjelma Perusharjoitus 2 tarkennettu ohjelma
- Liite 4 Viikko-ohjelma Yhteistoimintaharjoitus 1 tarkennettu ohjelma

PUOLUSTUSVOIMAT		Viikko-ohjelma				Viikko 4	17. - 23.11.2008
Joukko-osasto (vast)		Sunnuntai 23.11.					..Saapumisaera
RESERVIUPSEERIKOULU		PERUSHARJOITUS 2					Kurssi 233
Perusyksikö (vast)		PERUSHARJOITUS 2					Koulutussuora JV / Tiedustelu
SISSIKOMPPANIA		Keskiviikko 19.11.					Lisäetäkyä
VKO S/233		Torstai 20.11.					Fyysinen koulutus 20 h / kova
Aika		Perjantai 21.11.					Lauantai 22.11.
Aamainen 06.35	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Vennätytteet - aamupala pöytästä Terv.as. / sairaanhoitaja	07.30 - 07.45 H.LIIKUNTAKOULUTUS Aamuliikunta / Oppaali	07.30 - 08.45 H.KOULUTTAJAKOULUTUS Suikeijäryhjäsharjoitus 4 Kas / Kapt Rusanen + koul	07.30 - 07.45 H.LIIKUNTAKOULUTUS Aamuliikunta / Oppaali	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Vennätytteet - aamupala pöytästä Terv.as. / sairaanhoitaja		
Lounas 11.35	07.30 - 07.45 O+H.JALKAVAKIOPI Suunnassatiedustelu Rukajärvi + kas / Lin Tammelin, ylik Narkilahti + koul	08.00 - 11.15 O+H.JALKAVAKIOPI Suunnassatiedustelu Rukajärvi + kas / Lin Tammelin, ylik Narkilahti + koul	09.00 - 11.15 O + H.JALKAVAKIOPI Toiminta rakennetulla alueella Rukajärvi + kas / Lin Tammelin + koul	08.00 - 09.45 O.JALKAVAKIOPI Jalkaväkiopin 2 koulutyö Rukajärvi / Kapt Rusanen			
	07.30 - 07.45 O.JÄRJESTELYT Aseiden nouto Varasto / Vänr Savolainen	12.30 - 15.00 O.JALKAVAKIOPI Puolustus Ryhmittyminen Tarkastus ja käsäkykierrokset Taistelu Rukajärvi / Lin Tammelin, ylik Narkilahti + koul	12.30 - 16.15 O.JALKAVAKIOPI Harjoitusvalmistelut TiedJ Hyökkäyksessä Pepin laailminen 2.J. Toimintasuunnitelman tekemi- nen YTH1 harj.	10.00 - 11.15 O.JALKAVAKIOPI Tunnistuskoulutus 6-7 Rukajärvi / Vänr Kakriainen			
	07.50 - 08.00 O.JÄRJESTELYT Kvarapääll puhuttelu Sankarisauna / Kapt Rusanen	15.15 - 16.15 H.LIIKUNTAKOULUTUS Tel-jumppa 4 VK:n pääty / Lin Tammelin	3.J. Partiosuunnitelman tekeminen YTH1 harj. Rukajärvi + kas / Kapt Rusanen, ylik Narkilahti + koul	12.30 - 15.00 K.LIIKUNTAKOULUTUS Liikuman 3. koulutyö - maastojuoksu Tammola / Lin Tammelin			
	08.15 - 16.00 O.JALKAVAKIOPI 2.J. TiedJ Hyökkäyksessä - Pepin laailminen - Toimintasuunnitelma Rukajärvi / Kapt Rusanen	16.15 - 16.30 H.LIIKUNTAKOULUTUS Liashuolto Kas/ Oppaali	16.15 - 16.30 H.LIIKUNTAKOULUTUS Liashuolto Kas/ Oppaali	15.15 - 16.30 O.JALKAVAKIOPI Harjoituspuhuttelu ja valmistelut -2.J. Toimintasuunnitelman esit- tely -3.J. Partiosuunnitelman esittely Rukajärvi + kas / Kapt Rusanen, ylik Narkilahti			
	3.J. Tehtävän suunnittelu - Pepin pirdäminen - Partiosuunnitelma - Väitömyssuunnitelma Rukajärvi / Ylik Narkilahti			17.15 - 19.45 Pyykinvaitto Vaateusvarasto			
	16.15 - 16.30 H.LIIKUNTAKOULUTUS Liashuolto Kas/ Oppaali			18.00 - 20.00 O.OPPILASKUNTATOIMINTA IH-Hittitykset - fyynnäkölsijät Rukajärvi / toim.joht E Lauri			
Päivällinen 16.50	RUK:n ampuma- ja suunnistusmesta- ruuskilpailut Erikseen nimetyt	OPPILASKUNTATOIMINTA 16. - 19.11.2008 Ilmoitushankintamääräykö / SISSIK Välit					
VALVOJA	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 1,0 h	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 2,5 h	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 1,5 h Paikka ja aika	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 3,0 h	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 4,0 h Allekirjoitus	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 20 h	Upskok Hyvärinen fyysinen koulutus 4,0 h Allekirjoitus
			Hamina				Sissikomppanian päällikkö Kapteeni
							Marko Pykalainen



PUOLUSTUSVOIMAT		Viikko-ohjelma					Viikko
Joukko-osasto (väst)		RESERVIVUPSEERIKOULU					24. - 30.11.2008
Perusyksikkö (väst)		SISIKOMPPANIA					..Saapumiserä
VKO		VLV					Kurssi 233
6/233		Sunnuntai 30.11.					Koulutusaara JV / Tiedustelu
Aika		Maanantai 24.11.	Tiistai 25.11.	Keskiviikko 26.11.	Torstai 27.11.	Perjantai 28.11.	Lauantai 29.11.
Aamialinen 06.35	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Verinäytteet Valkjärvi parakki 3 / sairaan- hoitaja	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Verinäytteet Valkjärvi parakki 3 / sairaanhoitaja	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Verinäytteet Valkjärvi parakki 3 / sairaanhoitaja	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Verinäytteet Valkjärvi parakki 3 / sairaanhoitaja	07.20- RASITUSTUTKIMUS ERIKSEEN NIMETYT - Verinäytteet Terveysasema / sairaanhoitaja	Fyysinen koulutus 30 h / erittäin kova	
Lounas 11.35	<b>YHTEISTOIMINTAHARJOITUS 1</b> 25. - 28.11.2008 Tiedusteluharjoitus Suunnassatiedustelu Kohteentiedustelu JJOht-toiminta JOPA-toiminta Tulenjohto Siirtyminen Kapt Rusanen					VLV 28.11. Klo 17.45 - 30.11. Klo 24.00	
Päivällinen 16.50	<b>PERUS- HARJOITUS 2</b> 21.-24.11.2008 Puolustus Suunnassatiedustelu Toiminta rakennetuli- la alueella Tilansuunnittaminen Kapt Rusanen Hamina itäinen					15.30 - 16.30 H.JÄRJESTELTY Viville lähdön valmistelut - tupien ja alueiden silvouts - aseiden vienti - Oppilasesimiesten arviointi Kas / Kapt Rusanen	
VALVOJA	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	Upskok Kukkonen fyysinen koulutus 6,0 h	
		Paikka ja aika				Alekirjoitus	
		Hamina				Sissikomppanian päällikkö Kapteeni	
					13 .11.2008		Marko Pykälämäki



RUNKO, PH2 / TIEDUSTELULINJA		21.11 – 24.11.2008			HUOM
	Perjantai 21.11.	Lauantai 22.11.	Sunnuntai 23.11.	Maanantai 24.11.	
Ilmoittaminen Kpääll 08.00	Heräys 05.30 Aamupala Palautte viestitahjoituksesta	Heräys 05.30 Aamupala Palautte viestitahjoituksesta	Heräys 05.30 Aamupala Palautte viestitahjoituksesta	Heräys 05.30 Aamupala Palautte viestitahjoituksesta	
<b>O. JALKAVÄKIOPPI</b> 08.10 - 09.00 Tiedusteluryhmän tulenjohtotoiminta Rukajärvi / Vänr Savolainen	Kohteentiedustelu P01 AP, P02 IP	Kohteentiedustelu P04 AP, P05 IP	Kohteentiedustelu P04 AP, P05 IP	Tulenjohtotoiminta	
09.00 – 11.00 Harjoitusvalmistelut	Suunnassatiedustelu P02 AP, P02 IP	Suunnassatiedustelu P01 AP, P02 IP	Suunnassatiedustelu P01 AP, P02 IP	Toiminta kokoonntumispaikalla / Väisrymissuunnitelmatahjoitus P01 - P06	
11.30 Marssikäsky	Toiminta rakennetulla alueella P04 AP, P05 IP	Toiminta rakennetulla alueella P05 AP, P04 IP	Toiminta rakennetulla alueella P05 AP, P04 IP	Koulutusaika 07.00 – 09.00 09.00 – 11.00	
12.00 Alkaen PP-siiryminen Sissikomppania - Valkjärvi Vänr Kakkanen + kok	Joukkueenjohtajakoulutus P05 AP, P04 IP	Joukkueenjohtajakoulutus P02 AP, P01 IP	Joukkueenjohtajakoulutus P02 AP, P01 IP	Lounas 11.00 - 12.00	
Iltapäivä - ilta Ruokailu	Koulutusaika 07.00 – 11.30 (AP) 12.30 - 17.00 (IP)	Koulutusaika 07.00 – 11.30 (AP) 12.30 - 17.00 (IP)	Koulutusaika 07.00 – 11.30 (AP) 12.30 - 17.00 (IP)		
Ryhmittyminen Puolustuslaiset P01-P06	Lounas 10.30 – 11.30 Päivällinen 17.00 – 1800	Lounas 10.30 – 11.30 Päivällinen 17.00 – 1800	Lounas 10.30 – 11.30 Päivällinen 17.00 – 1800		
Ilta Koulutuspaikkojen valmistelu	18.00 - 21.00 Tuliyliääkkö (2-J) Toim.kohd.vih.(muod) 3.J	18.00 - 21.00 Tuliyliääkkö (2-J) Toim.kohd.vih.(muod) 3.J	18.00 - 21.00 Tuliyliääkkö (3-J) Toim.kohd.vih.(muod) 2.J		
Ohjeetviestitahjoituksesta Ohjeetkoulutuksesta (la) Johtokäsky suunnassatiedustelusta ja kohteentiedustelusta (2.J)	21.00 – 23.00 Ohjeetviestitahjoituksesta Ohjeetkoulutuksesta (su) Johtokäsky suunnassatiedustelusta ja kohteentiedustelusta (3.J)	21.00 – 23.00 Ohjeetviestitahjoituksesta Ohjeetkoulutuksesta (su) Johtokäsky suunnassatiedustelusta ja kohteentiedustelusta (3.J)	21.00 – 23.00 Ohjeetviestitahjoituksesta Ohjeetkoulutuksesta (su)		
22.00 – 05.30 Viestitahjoitus	23.00 – 05.30 Viestitahjoitus	23.00 – 05.30 Viestitahjoitus	23.00 – 05.30 Viestitahjoitus		
ARVOSANAPALAVERI					

RUNKO, YTH1 / TIEDUSTELULINJA		24.11.2008 – 28.11.2008		HUOM
Maanantai 24.11.	Tiistai 25.11.	Keskiviikko 26.11.	Torstai 27.11.	Perjantai 28.11.
13.00 alkaen PP-siirtyminen Valkjärvi - Vallanjärvi Vänr Savolainen + kok	06.00 - Toimintasuunnitelmien taikastus Ltn Kapt Rusanen / Ylik Näikilähti	06.00 - Toimintasuunnitelmien taikastus Kapt Rusanen / Ylik Näikilähti	06.00 - Toimintasuunnitelmien taikastus Ltn Tammelin	00.00 – 09.00 Siirtyminen Vallanjärvi – Hamina
15.00 – 19.00 Ruokailu Ryhmittyminen JOPA:n perustaminen Kapt Rusanen + kok Kokkonen	07.00 – 07.15 Aamuvenytely/Rj	07.00 – 07.15 Aamuvenytely/Rj	07.00-07.15 Aamuvenytely/Rj	09.30 → -Huolto -Ase- ja taikastus -Palautte -(Maasbloungas)
19.00 – 20.00 Perustais- ja koulutus (Kortit 1 - 5) Liikkuminen Kok + P01 – P06	07.30 Käsityöryhmille tehtäväsä Yhteiskokoulu RJ:n käsityöryhmälle tehtäväsä (etenemiskäsity)	07.30 Käsityöryhmille tehtäväsä Yhteiskokoulu RJ:n käsityöryhmälle tehtäväsä (etenemiskäsity)	07.30 Käsityöryhmille tehtäväsä Yhteiskokoulu RJ:n käsityöryhmälle tehtäväsä (etenemiskäsity)	Harjoituksen päättäminen 14.00 mennessä Kapt Rusanen
20.00 – 24.00 JOPA -PKom taikennukset JJJ:lle -Esikäsityöryhmille - Tiedups taikennukset	12.00 Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu	09.00 Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu	09.00 – 19.00 Suunnassatedustelu Koulu	Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu
RYHMÄT Tehtävään valmistautuminen	12.00 – 19.00 Suunnassatedustelu/kohteenä edustelu Koulu	09.00 – 19.00 Suunnassatedustelu/kohteenä edustelu Koulu	09.00 – 19.00 Suunnassatedustelu Koulu	Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu
20.00 – 20.30 KOULUTTAJA-PUHUTTELU	Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu	17.15 – 18.45 Huoltoon tultuun (P04- P05)	Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu	Ryhmittäjäkautumisalueella Koulu
24.00 – 06.00 Tukikohtapalvelu, huolto Toimintasuunnitelmien valmistaminen (JOPA)	19.00 – 24.00 -Ryhmittäjäkautumisalueella -Palautte johtamissuorituksista -Käytön taikastus - Tehtävien vaihto - PKom käsityöryhmille - Esikäsityöryhmille	19.00 – 24.00 -Ryhmittäjäkautumisalueella -Palautte johtamissuorituksista -Käytön taikastus - Tehtävien vaihto - PKom käsityöryhmille - Esikäsityöryhmille	19.00 – 21.00 -Ryhmittäjäkautumisalueella -Palautte johtamissuorituksista Käytön taikastus - Huolto ja valmistautuminen siirtymiseen	21.00 – 23.00 -Maassikäsityöryhmien -Käytön taikastus ajoneuvoihin
	24.00 – 06.00 Tukikohtapalvelu, huolto Toimintasuunnitelmien valmistaminen (JOPA)	24.00 – 06.00 Tukikohtapalvelu, huolto Toimintasuunnitelmien valmistaminen (JOPA)	23.00 Siirtyminen alkaa 21.00 ARVOSANAPALAVERI	23.00 Siirtyminen alkaa 21.00 ARVOSANAPALAVERI
	21.00 ARVOSANAPALAVERI	22.00 ARVOSANAPALAVERI		