

**SOTAHARJOITUKSEN AIHEUTTAMAT MUUTOKSET AUTONOMISEN
HERMOSTON TOIMINNASSA, HORMONAALISISSA JA
AINEENVAIHDUNNALLISISSA VASTEISSA, SEKÄ KOETUSSA
RASITTUNEISUUDESSA**

Juho Seppänen

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Seppänen, J. 2024. Sotaharjoituksen aiheuttamat muutokset autonomisen hermoston toiminnassa, hormonaalisissa ja aineenvaihdunnallisissa vasteissa, sekä koetussa rasittuneisuudessa. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 89 s.

Johdanto. Stressi aiheuttaa muutoksia elimistön autonomisen hermoston toiminnassa ja hormonaalisissa ja aineenvaihdunnallisissa vasteissa. Sotaharjoituksissa stressiä aiheuttavat esimerkiksi yksilölliset tekijät, fyysinen rasitus, kognitiiviset tehtävät, ympäristölliset tekijät, univaje, energiavaje ja psyykkiset tekijät. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia muutoksia sotaharjoituksen aiheuttama stressi aiheutti sykevälivaihteluun, hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin vasteisiin ja koettuun rasittuneisuuteen. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, kuinka muutokset olivat yhteydessä toisiinsa, ja oliko kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä muutoksiin.

Tutkimusmenetelmät. Tutkimukseen osallistui 49 miestä (ikä 20 ± 1 vuotta; pituus $179,1 \pm 7,2$ cm; paino $73,0 \pm 8,8$ kg). Tutkimusjakso koostui kolme viikkoa kestävästä sotaharjoituksesta, joka jakautui järjestyksessään ampumaharjoitusjaksoon (5 vuorokautta), ensimmäiseen taisteluharjoitusjaksoon (8 vuorokautta) ja toiseen taisteluharjoitusjaksoon (7 vuorokautta). Tutkittavien yöunen- ja aamunaikaista sykevälivaihtelua, hormoneja ja aineenvaihduntatuotteita, fyysistä aktiivisuutta, koettua rasittuneisuutta ja unen määrää mitattiin ennen sotaharjoitusta, jaksottain harjoituksen aikana, sekä 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen.

Tulokset. Kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana yöunen- ja aamunaikainen syke, kortisoli, SHBG, CK, RPE ja NASA-TLX nousivat ($p < 0.05$). Sen sijaan testosteroni, TES/COR ja IGF-1 laskivat ($p < 0.05$). Sykevälivaihtelumuuuttujissa ei havaittu juurikaan tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Sotaharjoituksen aiheuttama stressi ei vaikuttanut olevan pitkäkestoista, sillä useat muuttajat palautuivat joko lähtötasolleen tai lähelle sitä 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen. Monien muuttujien muutosten välillä oli etenkin heikkoa yhteyttä, ja selkeää yhteyttä oli harvoin. RPE:n ja testosteronin muutoksilla oli yhteys ($r = -0.30$, $p < 0.05$) ja NASA-TLX:n ja kortisolin muutoksilla oli yhteys ($r = 0.49$, $p < 0.01$). Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet sykevälivaihtelun, hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten vasteiden, sekä koetun rasittuneisuuden muutoksiin olivat epäselviä.

Johtopäätökset. Sotaharjoituksen aiheuttama stressi aiheutti muutoksia tutkittavien autonomisen hermoston toimintaan, hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin vasteisiin, sekä koettuun rasittuneisuuteen. Muutokset osoittivat, että sotaharjoitus lisäsi tutkittavien fysiologista ja/tai psykologista stressiä, ja tutkittavien elimistö ajautui katabolisempaan ja yllirasittuneempaan tilaan. Tuloksia oli haastavaa tulkita, koska muutokset vaihtelivat yksilöllisesti. Tämä tutkimus voi tarjota mielenkiintoista tietoa sotaharjoituksen kuormittavuudesta. Tutkimukselle haasteita aiheutti erityisesti huonolaatuinen sykedata. Erilaisia mittaamenetelmiä ja -välineitä, sekä vakiointia tarvitaan laadukkaamman datan mittaamiseksi ja siten tutkimuksen luotettavuuden ja toistettavuuden parantamiseksi. Lisäksi yksilölliset vasteet kuormitukselle tulisi ottaa huomioon.

Asiasanat. stressi, autonominen hermosto, hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen järjestelmä, koettu rasittuneisuus, sotaharjoitus

ABSTRACT

Seppänen, J. 2024. Changes in autonomic nervous system, hormonal and metabolic systems and perceived exertion during military field training. The Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 89 pp.

Introduction. Stress causes changes in the body in the functioning of the autonomic nervous system and in hormonal and metabolic systems. Factors that cause stress in military field training are, for example, individual factors, physical strain, cognitive tasks, environmental factors, lack of sleep, energy deficit and psychological factors. The aim of this study was to investigate the stress caused by military field training measured by heart rate variability, hormonal and metabolic variables and perceived exertion. In addition, the purpose was to find out how the changes were connected to each other, and whether endurance fitness and body composition were related to the changes.

Methods. 49 men (age 20 ± 1 years; height $179,1 \pm 7,2$ cm; weight $73,0 \pm 8,8$ kg) participated in the study. The research period consisted of a three-week military exercise, which was divided into a shooting training period (5 days), a first combat training period (8 days) and a second combat training period (7 days). Subjects' nocturnal and morning heart rate variability, hormonal and metabolic variables, physical activity, perceived exertion, and amount of sleep were measured before the military field training, periodically during the training, and 4–5 days after the end of the military field training.

Results. During the three-week military field training, nocturnal and morning heart rate, cortisol, SHBG, CK, RPE and NASA-TLX increased ($p < 0.05$). On the other hand, testosterone, TES/COR and IGF-1 decreased ($p < 0.05$). Only a few statistically significant changes were observed in heart rate variability variables. The observed stress caused by the military field training seems to recover to its initial levels or close to them within 4–5 days after the end of the training. There were weak associations between the changes in many measured variables, and rarely clear associations. RPE was associated with testosterone ($r = -0.30$, $p < 0.05$) and NASA-TLX with cortisol ($r = 0.49$, $p < 0.01$). The associations of aerobic fitness and body composition to the changes of heart rate variability, hormonal and metabolic adaptations, and perceived exertion were unclear.

Conclusions. The stress caused by military field training caused changes in the functions of the autonomic nervous system, hormonal and metabolic systems, and in perceived exertion. The changes indicate that the training increased the subjects' physiological and/or psychological stress leading the body to a more catabolic and overreaching state. It was challenging to interpret the results because the changes varied individually. The present study can provide interesting data about the workload of military field training. Especially poor quality heart rate data caused challenges to the study. Different measurement methods and tools, and standardization are needed for obtaining better quality data and thus, improving the reliability and reproducibility of the study. Finally, individual responses and adaptations should be taken into consideration.

Key words: stress, autonomic nervous system, hormonal and metabolic system, perceived exertion, military field training

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	Kehon painoindeksi (Body Mass Index)
CK	Kreatiinikinaasi (Creatine kinase)
COR-S	Syljestä mitattu kortisoli (Salivary cortisol)
COR-V	Verestä mitattu kortisoli (Blood cortisol)
EKG	Elektrokardiografia
HFP	Korkean taajuuden teho (High frequency power)
HR	Sydämen syke (Heart Rate)
HRV	Sykevälivaihtelu (Heart rate variability)
IGF-1	Insuliinin kaltainen kasvutekijä 1 (Insulin-like growth factor 1)
INAKT	Inaktiivisuus
JUOKASK	Juoksuaskeleet
KAIKASK	Kaikki askeleet
KEVAKT	Kevyt aktiivisuus
KOHAKT	Kohtalainen aktiivisuus
LFP	Matalan taajuuden teho (Low frequency power)
LFP/HFP	Matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde
MET	Metabolinen ekvivalentti (Metabolic equivalent)
NASA-TLX	Kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus (NASA Task Load Index)
PPG	Fotopletysmografia (Photoplethysmography)
RASAKT	Raskas aktiivisuus
RMSSD	Peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo (Root mean square of successive differences of adjacent R-R-intervals)
RPE	Koetun rasituksen taso (Rate of perceived exertion)
SDNN	N-N -intervallien keskihajonta (Standard deviation of NN intervals)
SHBG	Sukupuolihormoneja sitova globuliini (Sex hormone-binding globulin)
TES	Verestä mitattu testosteroni (Testosterone)
TES/COR	Verestä mitattujen testosteronin ja kortisolin suhde

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	FYYSINEN AKTIIVISUUS JA ENERGIANKULUTUS SOTILAALLA	3
3	ELIMISTÖN REAGOINTI KUORMITTUMISEEN JA STRESSIIN	7
4	KUORMITUKSEN JA STRESSIN SEURANNAN OBJEKTIIVISET MITTARIT	9
4.1	Sykevälivaihtelu.....	9
4.1.1	Sykevälivaihtelumuuttujien määrittäminen ja mittaaminen.....	9
4.1.2	Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät.....	12
4.1.3	Sykevälivaihtelumittaus stressin määrän ja palautumisen arvioinnissa	14
4.2	Hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta.....	15
4.2.1	Testosteroni, sukupuolihormoneja sitova globuliini ja kortisoli	16
4.2.2	Insuliinin kaltainen kasvutekijä 1	18
4.2.3	Kreatiinikinaasi.....	18
5	KUORMITUKSEN JA STRESSIN SEURANNAN SUBJEKTIIVISET MITTARIT	19
6	SOTATEHTÄVIEN KUORMITTAVUUS	20
6.1	Sotilailta vaaditut ominaisuudet.....	20
6.2	Sotilaan tehtävien kuormittavuus stressin seurannan mittareissa	21
6.3	Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden yhteys toisiinsa.....	25
7	TUTKIMUSKYSYMYKSET	27
8	TUTKIMUSMENETELMÄT	30
8.1	Tutkittavat.....	30
8.2	Tutkimusasetelma.....	30
8.3	Mittausmenetelmät	33
8.4	Tilastollinen analyysi.....	37
9	TULOKSET.....	38

9.1	Kehonkoostumuksen ja unen muutokset	38
9.2	Fyysisen aktiivisuuden muutokset	38
9.3	Sykevälivaihtelun muutokset	41
9.3.1	Yöunenaikainen sykevälivaihtelu	41
9.3.2	Aamunaikainen sykevälivaihtelu	43
9.3.3	Yöunen- ja aamunaikaisen sykevälivaihtelun yhteydet toisiinsa	44
9.4	Hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutokset	45
9.5	Koetun rasittuneisuuden muutokset	48
9.6	Fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteydet sykevälivaihtelun, hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan ja koetun rasittuneisuuden muutoksiin	50
9.7	Sykevälivaihtelun muutosten yhteydet hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin	52
9.8	Koetun rasittuneisuuden muutosten yhteydet sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin	54
9.9	Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet kuormittuneisuuteen	55
9.10	Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutokset tiivistetysti	57
10	POHDINTA	59
10.1	Kuormituksen ja stressin lisääntyminen harjoituksen aikana ja palautuminen harjoituksesta	59
10.2	Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet	70
10.3	Jatkotutkimukset	75
10.4	Käytännön sovellutukset	77
10.5	Johtopäätökset	77
	LÄHTEET	80

1 JOHDANTO

Sotilaiden ja varusmiesten hyvällä fyysisellä toimintakyvyllä on suuri merkitys. Muuhun väestöön verrattuna sotilaan on oltava yleisesti esimerkiksi keskimääräistä paremmassa fyysisessä kunnossa. (Kyröläinen ym. 2021, 11) Onnistuminen sotilastehtävissä vaatii monipuolisesti hyviä tehtäväkohtaisia ja taktisia taitoja, sekä fyysistä että henkistä kyvykkyyttä. Armeijat pyrkivätkin kouluttamaan suorituskyvyltään korkealuokkaisia ja taitavia sotilaita. (Santtila ym. 2015)

Armeijassa sotilaiden tietyn suorituskyvyn osa-alueen tai ominaisuuden kehittäminen vaatii harjoituksellisesti optimaalista ohjelmointia. Armeijoiden tulisikin ottaa huomioon progressiivisuus, turvallisuus ja tehokkuus kaikessa harjoittelussa. (Santtila ym. 2015) Varusmiespalveluksessa varusmiesten kuntoa kehitetään monipuolisella fyysisellä koulutuksella. Varusmiesten koulutus sisältää muun muassa erilaisia marsseja, taisteluharjoituksia ja liikuntakoulutuksia. Pääsääntöisesti tehtävät sisältävät matalatehoista pitkäkestoista fyysistä aktiivisuutta sisältäen kuitenkin osittain korkeatehoisia lyhytkestoisia suorituksia. (Kyröläinen ym. 2021, 25)

Sotaharjoitus aiheuttaa akuuttia ja kroonista stressiä (Lieberman ym. 2016). Stressiä aiheuttavia tekijöitä sotaharjoituksessa ovat esimerkiksi fyysinen rasitus, kognitiiviset tehtävät, ympäristölliset tekijät, univaje, energiavaje ja psyykkiset tekijät (Ojanen ym. 2018a ja 2018c). Sotaharjoituksen aiheuttaman stressin tiedetään näkyvän muutoksina kehon hormonitoiminnassa (Ojanen ym. 2018c, Ponce ym. 2023, Salonen ym. 2019) ja aineenvaihdunnallisessa toiminnassa (Ojanen ym. 2018b, Ponce ym. 2023). Viime aikoina mielenkiinnon kohteeksi on noussut selvittää, kuinka sykevälivaihtelua (HRV) mittaamalla voitaisiin arvioida sotatehtävien aiheuttaman stressin määrää kehossa ja ennustaa sotatehtävistä suoriutumista (Hinde ym. 2021).

Parina viime vuosikymmenenä sykedataa ja autonomista hermostoa on tutkittu lisääntyvällä tahdilla psykofysiologisissa tutkimuksissa (Schuurmans ym. 2020). HRV:tä on viime vuosina hyödynnetty paljon urheilussa harjoittelun seurannassa (Hernando ym. 2018a) ja harjoitusohjelman muokkaamisen välineenä (Hinde ym. 2021). HRV:n mittaaminen on yleistynyt lisäksi tavallisten kansalaisten käytössä oman kehon tilan seurannassa (Hernández-Vicente ym. 2021). HRV voikin olla hyödyllinen väline, kun halutaan saada selville kehon reagoitua stressiin (Hinde ym. 2021). Helposti kiinnitettävissä oleville, tarkasti sykedataa tallentaville laitteille on

kysyntää (Dobbs ym. 2019). Teknologisen kehityksen myötä HRV:tä mittaavia puettavia laitteita on tullut markkinoille paljon. Huomioitavaa kuitenkin on, että niiden tarkkuuden arviointi erilaisissa tilanteissa on yhä kesken. (Georgiou ym. 2018) Tällä hetkellä tutkimuksille, joissa tutkitaan HRV-laitteiden tarkkuutta, luotettavuutta ja soveltuvuutta armeijaympäristössä, on kysyntää (Hinde ym. 2021). Mielenkiintoista voisikin olla selvittää, kuinka sotaharjoitus vaikuttaa HRV:hen.

Nykyiset nuorten liikuntatottumukset aiheuttavat haasteita puolustusvoimien joukkojen toimintakyvyn ylläpidolle, koska nuoriso jakautuu fyysisesti hyvin aktiivisiin ja hyvin passiivisiin entistä enemmän (Kyröläinen ym. 2021, 11). Palveluksen suorittavilla kehonpaino on keskimäärin noussut ja aerobinen kapasiteetti keskimäärin heikentynyt viimeisten vuosikymmenten aikana. Lisäksi tuossa ajassa heikon aerobisen kunnan ja lihaskunnan omaavien alokkaiden määrä on noussut lähes lineaarisesti. (Santtila ym. 2018) Varusmiespalveluksen keskeytyksen riskitekijöiksi kuuluvatkin muiden muassa heikko aerobinen kunto, heikko lihaskunto ja ylipaino. Huomioitavaa on, että varusmiehistä noin joka kolmas on heikossa fyysisessä kunnossa ennen palveluksensa aloittamista. (Kyröläinen ym. 2021, 26–31) Suunta vaikuttaa huolestuttavalta sen kannalta, että armeijalla säilyisi hyvä toimintakyky. Varusmiesten kuntotason polarisaatio erittäin hyvä- ja huonokuntoisiin voinee lisätä haastetta suunnitella varusmiespalveluksen sisältämät harjoitukset niin, että ne palvelisivat optimaalisimmin ja tehokkaimmin varusmiesten kehitystä hyväksi sotilaiksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia muutoksia kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aiheuttama stressi aiheutti sykevälivaihteluun, hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin vasteisiin ja koettuun rasittuneisuuteen varusmiespalvelustaan suorittavilla nuorilla suomalaisilla miehillä. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, kuinka muutokset olivat yhteydessä toisiinsa, ja oliko kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä muutoksiin.

2 FYYSINEN AKTIIVISUUS JA ENERGIANKULUTUS SOTILAALLA

Fyysinen aktiivisuus on mitä tahansa luurankolihasien tuottamaa liikettä, jossa kulutetaan energiaa. Fyysistä aktiivisuutta ovat esimerkiksi kotitöiden tekeminen, fyysinen työ työpaikalla, urheiluharjoittelu yms. (Caspersen ym. 1985) Tudor-Locken ym. (2008) mukaan yksilön voidaan luokitella olevan fyysisesti aktiivinen, kun hänelle kertyy 10000 askelta vuorokaudessa. Fyysisen aktiivisuuden seuraaminen on hyvä väline harjoittelun onnistumisen arvioinnissa. Voidaan seurata esimerkiksi, onko harjoittelu toteutettu kuten oli suunniteltu. Lisäksi voidaan esimerkiksi arvioida, missä menee turvallinen raja vammojen ennaltaehkäisemisen kannalta fyysisen aktiivisuuden määrän suhteen. (Moran ym. 2013)

Sotilaan työtehtävissä fyysisen aktiivisuuden ja energiankulutuksen määrään vaikuttavat suoritettavat tehtävät itsessään (Tharion ym. 2005; Wyss ym. 2012) ja toimintaympäristö (Tharion ym. 2005). Esimerkiksi taistelutilanteessa energiankulutus on usein suurempaa kuin ei-taistelutilanteessa, ja korkeassa ilmanalassa ja kylmässä ilmassa energiankulutus on usein suurempaa kuin merenpinnan tasolla ja lämpimämmässä (Tharion ym. 2005).

Sotilaan työtehtävät ovat hyvin monipuolisia (Pihlainen ym. 2018a) ja sisältävät monenlaista fyysistä aktiivisuutta (Ojanen ym. 2018a). Sotaharjoituksissa fyysistä aktiivisuutta ovat esimerkiksi pitkät marssit, suurten kuormien kantaminen, ryömiminen, kuormien nostelu ja juokseminen. Sotaharjoituksen aikana fyysisen aktiivisuuden seuraaminen on tärkeää, kun otetaan selvää sotaharjoituksen aiheuttamista fysiologisista muutoksista. (Ojanen ym. 2018a)

Metabolinen ekvivalentti (MET) on kehitetty kuvaamaan fyysiseen aktiivisuuteen käytettyä energiamäärää. 1 MET kuvaa lepoaineenvaihdunnan tasoa (istutaan tuolilla puhumatta), ja silloin kulutetaan happea keskimäärin 3,5 ml/kg/min. Esimerkiksi tenniksen pelaaminen, jossa hengästyy välillä, voi olla aktiivisuudeltaan noin 4–6 MET:n luokkaa, ja selkeästi hengästyttävä tenniksen pelaaminen voi nostaa energiankulutuksen noin 10 MET:iin. Sen sijaan juokseminen nopeudella 15 km/h nostaa arvon noin 15 MET:iin. Kävely nopeudella 5 km/h on hieman yli 3 MET:n luokkaa ja arkisten kotitöiden tekeminen puolestaan on useimmiten kevyttä tai keskiraskasta fyysistä aktiivisuutta, jolloin MET on 2–5. (Jetté ym. 1990)

Fyysinen aktiivisuus voidaan intensiteetin mukaan jaotella eri MET-alueille. Näitä alueita ovat istuminen/paikoillaan pysyminen (< 1,5 MET), kevyt fyysinen aktiivisuus (1,5–2,99 MET),

keskiraskas fyysinen aktiivisuus (3–5,99 MET) ja raskas fyysinen aktiivisuus (> 6 MET). (Ojajenen ym. 2018a) Esimerkiksi Ojajenen ym. (2018a) tutkimuksessa, jossa selvitettiin 3 viikon mittaisen sotaharjoituksen vaikutuksia fyysisen aktiivisuuden, neuromuskulaarisen suorituskyvyn ja kehonkoostumuksen muutoksiin asepalvelustaan suorittavilla nuorilla suomalaisilla miehillä, fyysisen aktiivisuuden käyttäytymistä tarkasteltiin muiden muassa edellä mainituilla alueilla, sekä myös askelten kokonaismääränä ja juoksuaskelten määränä. Samoilla intensiteettialueilla esimerkiksi Chappel ym. (2016) tutkivat palomiesten fyysistä aktiivisuutta työnteossa, Husu ym. (2016a) suomalaisten aikuisten fyysistä aktiivisuutta arjessa ja Husu ym. (2016b) suomalaisten lasten ja nuorten fyysistä aktiivisuutta arjessa.

Fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta voidaan mitata esimerkiksi kiihtyvyyssantureilla (Freedson ym. 2012, Li ym. 2015, Pihlainen ym. 2018b). Kolmiulotteisesti mittaavat kiihtyvyyssanturit ovat nykypäivänä suosiossa objektiivisina mittareina (Freedson ym. 2012). Myös esimerkiksi askelmittarilla voidaan mitata fyysisen aktiivisuuden määrää (Li ym. 2015, Moran ym. 2013). Ne eivät kuitenkaan erottele fyysisen aktiivisuuden tyyppiä ja mittaavat vain askelten määrää (Moran ym. 2013). Askelmittarit ovatkin yksinkertaisimpia fyysistä aktiivisuutta mittaavia laitteita. Ne rekisteröivät askelten määrän suodattaen muutaman askeleen sarjat pois tallennuksesta. Kiihtyvyyssanturit puolestaan ovat monipuolisempia kuin askelmittarit. (Li ym. 2015) Kiihtyvyyssanturit arvioivat fyysisen aktiivisuuden todennäköisesti paremmin kuin askelmittarit (Moran ym. 2013).

Hinden ym. (2021) tutkimuksessa selvitettiin, millainen laitteisto voisi soveltua armeijaympäristössä HRV:n, fyysisen aktiivisuuden ja energiankulutuksen mittaamiseen. Kaikkia edellä mainittuja asioita voidaan mitata esimerkiksi kaksielektrodisella rintakehälle kiinnitettävällä Actiheart-laitteella. Myös esimerkiksi Polar Vantage V -rannekellon ja Polar H10 -sykevyön yhdistelmällä voidaan mitata HRV:n lisäksi laadukkaasti energiankulutusta. Lisäksi erästä kiihtyvyyssanturia, Actigraph, voidaan pitää yhtenä vaihtoehtona fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa. (Hinde ym. 2021) Hinde ym. (2021) painottavat, että monet puettavat laitteet eivät välttämättä sovellu armeijaympäristöön. Soveltumattomuutta voivat aiheuttaa sensorien kiinnitykseen liittyvät tekijät, johdot, heikko akun kestävyys, ja ylipäänsä laitteiden kykenemättömyys huomioida olosuhteita. Yleisesti laitteiden on oltava myös esimerkiksi riittävän tarkkoja mittaamaan haluttua asiaa (keräystiheys riittävä). (Hinde ym. 2021) Myös Gilgen-Ammann ym. (2021) tutkivat, kuinka valideja eri fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta mittaavat laitteet

olivat armeijaympäristössä. Useiden rintakehälle ja vyötärölle kiinnitettävien laitteiden validiteetti oli vain heikko tai kohtalainen. Käsivarteen kiinnitetty Everion oli validein käyttömukavuudeltaan, ja rintakehälle kiinnitettävät laitteet huonompia vaihtoehtoja. (Gilgen-Ammann ym. 2021)

Kiihtyvyyssantureilla voidaan mitata fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä, määrää ja kestoja (Crouter ym. 2006). Kehon ollessa liikkeessä esimerkiksi kävellessä maakontaktit aiheuttavat lantioon kiinnitettyyn kiihtyvyyssanturiin suunnanmuutoksia erilaisilla nopeuksilla. Esimerkiksi juoksussa kiihtyvyyssanturit mittaavat suurempia voiman suunnanmuutoksia kuin kävelyssä. (Vähä-Ypyä ym. 2015) Kiihtyvyyssantureiden mittaamaan fyysiseen aktiivisuuteen ja energiankulutukseen vaikuttavat mm. laitteen kiinnityspaikka kehossa, laitteen datan keräystiheys ja korjausfiltointi, sekä energiankulutusalgoritmit. Esimerkiksi mitä suurempi laitteen keräystiheys on, sitä luotettavampaa dataa saadaan. (Migueles ym. 2017) Esimerkiksi lantiolle kiinnitettävä Hookie AM20 -kiihtyvyyssanturi mittaa ja tallentaa laitteen liikkeen kolmiulotteisessa x,y,z-tilassa 100 Hertzin keräystiheydellä (Husu ym. 2016a). Hookie AM20 -kiihtyvyyssanturin mittaama fyysinen aktiivisuus voidaan tallentaa ja ilmoittaa vuorokauden aikaisena askelten kokonaismääränä, juoksuaskelten määränä ja fyysisen aktiivisuuden ajallisena määränä eri MET-alueilla (istuminen/paikoillaan pysyminen (< 1,5 MET), kevyt fyysinen aktiivisuus (1,5–2,99 MET), keskiraskas fyysinen aktiivisuus (3–5,99 MET) ja raskas fyysinen aktiivisuus (> 6 MET)) (Ojanen ym. 2018a).

Huomionarvoista on, että kiihtyvyyssanturit voivat arvioida väärin fyysisen aktiivisuuden ja energiankulutuksen määrää eri MET-alueilla. Näin voi käydä todennäköisemmin silloin, kun fyysinen aktiivisuus ja liikkuminen on monipuolista, eikä pelkästään kävelyä tai juoksua. Kiihtyvyyssanturit eivät siis kykene mittaamaan tarkasti kaikkea aktiivisuutta. (Crouter ym. 2006) Esimerkiksi kuntosalilaitteiden kanssa toimiessa fyysinen aktiivisuus voi olla jotain ihan muuta kuin mitä kiihtyvyyssanturi arvioi (Husu ym. 2016a). Kiihtyvyyssanturit eivät kerro kuormituksen ja energiankulutuksen todellista määrää myöskään esimerkiksi liikkeessä ylä- tai alamäkeen, tai kun voimaa tuotetaan isometrisesti. Jos lantio pysyy paikallaan tai liikkuu tasaisella nopeudella tiettyyn suuntaan fyysisestä kuormituksesta huolimatta, lantiolle kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ei kerro totuutta kuormituksen määrästä. (Vähä-Ypyä ym. 2015) Lisäksi esimerkiksi erilaisiin sotilaan työtehtäviin voi kuulua suojavarusteiden ja muiden tavaroiden kantoa. Tämän takia kuormitus ja energiankulutus voikin todellisuudessa olla suurempaa kuin mitä kiihtyvyyssanturit kertovat. (Pihlainen ym. 2018b) Vaikuttaa siltä, että kiihtyvyyssantureiden antamaan

arvioon fyysisestä aktiivisuudesta ja siitä, millä MET-alueella ja kuinka kauan yksilö on liikunut, tulee varautua aina jonkinlaisella varauksella. Kiihtyvyyssantureiden arvioima fyysisen aktiivisuuden määrä ja näin ollen virheiden suuruus vaikuttaa riippuvan liikuntamuodosta ja lihastyötavoista fyysisessä kuormituksessa. Kun tiedetään, että sotaharjoitukseen kuuluu työtehtävien mukaan mahdollisesti monipuolista fyysistä kuormitusta, kiihtyvyyssantureiden arviot fyysisen aktiivisuuden määrästä vaikuttavat sisältävän aina jonkin verran virhettä.

3 ELIMISTÖN REAGOINTI KUORMITTUMISEEN JA STRESSIIN

Kun ympäristössä tapahtuu joitain muutoksia, elimistö pyrkii ylläpitämään homeostaasin eli tasapainotilan (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998). Elimistön kohdatessa homeostaasia haastavia stressoreita (stressin aiheuttajia) sen on adaptoiduttava eli mukauduttava siis vallitsevaan tilanteeseen (Schneiderman ym. 2005). Hermostollinen ja hormonaalinen systeemi huolehtivat kehon eri orgaanien viestinnästä toisilleen homeostaasin ylläpitämiseen liittyen. Hermostollisella systeemillä tarkoitetaan viestin kulkua kehon eri osien välillä. Hormonaalisella systeemillä tarkoitetaan prosessia, jossa rauhaset erittävät hormoneja, jotka kulkeutuvat verenkierron mukana kehon eri osiin ja kohdesoluihin, joissa ne saavat aikaan muutoksia. Hormonit yleisesti kontrolloivat elimistön kasvua, kehitystä ja aineenvaihduntaa. Lisäksi ne säätelevät muiden muassa elimistön nesteiden elektrolyyttipitoisuuksia. Hermostollinen ja hormonaalinen systeemi vaikuttavat toisiinsa esimerkiksi niin, että kun hermostollista systeemiä stimuloidaan, tiettyjen hormonien vapautuminen voi tehostua. (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998)

Stressillä voi olla hyötyjä tai haittoja elimistössä (Yaribeygi ym. 2017). Pitkäaikainen tai jatkuva stressi aiheuttaa kehossa esimerkiksi tiettyjen hormonien valmistamisen ja erittymisen. Kehon jatkuva stressitila voi aiheuttaa yksilölle terveyshaittoja ja vaikuttaa esimerkiksi tiettyihin elimiin, kuten aivoihin, sydämeen ja maksaan. (Noushad ym. 2021) Pitkään jatkuva voimakas stressi onkin elimistölle haitallista (Yaribeygi ym. 2017). Pitkään jatkunut eli krooninen stressitila aiheuttaa muutoksia esimerkiksi hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaiskuoriakselin (HPA-akselin), autonomisen hermoston, hormonaalisen järjestelmän, aineenvaihdunnallisen järjestelmän ja immuunijärjestelmän fysiologisissa biomarkkereissa. (Noushad ym. 2021)

Autonominen hermosto kontrolloi sydämen sykettä, verisuonten supistumista ja laajentumista, monien elinten sileän lihaskudoksen supistumista ja relaksaatiota, sekä rauhasen eritystoimintaa (Georgiou ym. 2018). Autonomisen hermoston efferenttihaarat ja verenkierrossa olevat hormonit vaikuttavat sinussolmukkeeseen laukaisemaan sydämen pumppaustoimintaan (Shaffer & Ginsberg 2017). Autonomisen hermoston toiminta jaetaan sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Sympaattinen hermosto kiihdyttää toimintoja ja parasympaattinen hermosto rauhoittaa toimintoja. Kun keho kohtaa stressiä aiheuttavia tekijöitä, sympaattinen hermosto aktivoituu enemmän kuin parasympaattinen. (Schuurmans ym. 2020)

Esimerkiksi fyysistä rasitusta voidaan seurata pitemmällä aikavälillä veren hormonitoiminnan muutosten avulla. Hormoneilla on tärkeä rooli fyysisen rasituksen aiheuttamien adaptaatioiden synnyssä, sekä palautumisessa, ja ne säätelevät kehon anabolisia ja katabolisia prosesseja. (Urhausen ym. 1995) Hormonien toiminta vaikuttaa elimistön fysiologisiin adaptaatioihin ja stressistä palautumiseen. Esimerkiksi autonomisen hermoston toiminnan (sympaattisen ja parasympaattisen hermoston) epätasapaino ja neuroendokriininen toimintahäiriö voivat vaikuttaa suorituskyvyn laskuun ja ylirasitustilan syntymiseen. (Snyder & Hackney 2013, 523–534)

Jos kuormituksen aiheuttama stressi on liian suurta palautumiseen nähden, voi syntyä ylirasitustila. Ylirasitustilalla tarkoitetaan harjoittelun ja muun kuormituksen aiheuttamaa lyhyellä aikavälillä kumuloitunutta stressiä, joka voi johtaa mm. kehon suorituskyvyn laskuun ja fysiologisiin ja psykologisiin muutoksiin. Ylirasitustilalle tyypillisten oireiden ja löydösten palautuminen normaalille tasolle voi kestää päivistä viikkoihin. Mikäli stressiä on kumuloitunut pitkällä aikavälillä, on kyse ylikunnosta, josta palautuminen voi kestää joistain viikoista kuukausiin. (Meeusen ym. 2013)

Tasapainottelu väsymyksen ja palautumisen välillä on riippuvainen kuormituksesta. Esimerkiksi suorituskykymittaukset kertovat, kuinka voi suoriutua itse tehtävästä. Sen sijaan fysiologiset ja psykologiset markerit kertovat elimistön kohtaaman rasituksen määrästä, palautumisesta ja tasapainotilasta. (Kellmann ym. 2018) Vallitsevaa palautumisen tasoa suhteessa stressin määrään voidaan arvioida myös mittaamalla stressaavien ja palauttavien aktiviteettien tiheyttä ja tasoa kuluneiden päivien aikana (Kallus 2016, 27–48).

4 KUORMITUKSEN JA STRESSIN SEURANNAN OBJEKTIIVISET MITTARIT

4.1 Sykevälivaihtelu

Sykevälivaihtelun (HRV) mittaamisella voidaan arvioida autonomisen hermoston tilaa ja seurata kehon kohtaaman stressin määrää fyysisessä ja psyykkisessä kuormituksessa (Shaffer & Ginsberg 2017). HRV:n seurannalla voidaan myös arvioida palautumisen tasoa (Tomes ym. 2020). HRV-mittauksia voidaan tehdä levossa ja rasituksessa (Singh ym. 2018). HRV:n muuttujien avulla voidaan arvioida kehon fysiologista vaikutusta stressille (Schuermans ym. 2020).

Sykevälivaihtelu (HRV) on ajan vaihtelua peräkkäisten sydämen sykähdysten välillä (Shaffer & Ginsberg 2017). Sydämen pumppaustoiminta käynnistyy sinussolmukkeeseen aiheuttamasta sähköisestä impulssista. Jos muut tekijät eivät vaikuttaisi sydämen lyöntitiheyteen, olisi syke (HR) noin 100 lyöntiä/minuutti jatkuvasti. Muiden tekijöiden (mm. kuormituksen taso, hermoston toiminta) johdosta jollain yksilöllä syke voi olla esimerkiksi alimmillaan 30 lyöntiä/minuutti ja korkeimmillaan 200 lyöntiä/minuutti. Sydänlihaksen sähköinen aktiivisuus johtuu elimistön elektrolyyttipitoisissa nesteissä hyvin. Ihon pinnalle asetettavat elektrodit havaitsevat jännitteen muutokset, jotka aiheutuvat sydämen pumppaustoiminnan eri vaiheista. Sydämen sähköinen aktiivisuus voidaan tallentaa elektrokardiografialla (EKG) ja sydämen pumppaustoiminta nähdään elektrokardiogrammissa PQRST-komplekseina. (McArdle ym. 2015, 326–327)

4.1.1 Sykevälivaihtelumuuttujien määrittäminen ja mittaaminen

HRV:n muuttujat jaetaan aikamuuttujiin, taajuusmuuttujiin ja ei-lineaarisiin muuttujiin. Tutkimuksissa tarkastellaan aikamuuttujista usein mm. sydämen sykettä (HR), R-R-intervallien keskihajontaa (SDNN) ja peräkkäisten sykevälien neliöllistä keskiarvoa (RMSSD), ja taajuusmuuttujista matalan taajuuden tehoa (LFP), korkean taajuuden tehoa (HFP) ja matalan ja korkean taajuuden tehojen välistä suhdetta (LFP/HFP). Edellä mainituista muuttujista RMSSD on usein suurimpana tarkastelun kohteena. Jotkin muuttujat, kuten RMSSD ja HFP, korreloivat vahvasti keskenään. (Task Force 1996) Muuttujien mittaamat ja kuvaamat asiat ovat nähtävillä taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tyypillisimpiä tutkimuksissa esiintyviä HRV-muuttujia. (Mukaeltu Dobbs ym. 2019; Task Force 1996)

Kategoria	Muuttuja	Kuvaus	Mitä mittaa/merkitys
Aikamuuttujat	HR	Syke (lyöntiä/minuutti)	
	SDNN	R-R-intervallien keskihajonta (millisekunti (ms))	HRV:n teho
	RMSSD	Peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo (millisekunti (ms))	Vagaalinen modulaatio, parasympaattisen aktiivisuus
Taajuusmuuttujat	LFP	Matalan taajuuden (0.04–0.15 Hz) teho (ms^2)	Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuus
	HFP	Korkean taajuuden (0.15–0.4 Hz) teho (ms^2)	Parasympaattisen hermoston aktiivisuus
	LFP/HFP	Matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde	Parasympaattisen ja sympaattisen hermoston tasapaino

Aikamuuttujat saadaan selville jo sekunneissa, sillä on kyse peräkkäisten sykähdysten väliseen aikaan liittyvistä vaihteluista. Taajuusmuuttujissa sen sijaan LFP:lle suositellaan vähintään 2 minuutin kestoista mittausta ja HFP:lle vähintään 1 minuutin kestoista mittausta. (Shaffer & Ginsberg 2017) Taajuusmuuttujien määrittämistä varten HRV-data käsitellään usein tutkimuksissa ei-parametrisilla algoritmeilla (Task Force 1996). Yksi paljon käytetty taajuusmuuttujien määrittämismenetelmä on fast Fourier transform -menetelmä (Shaffer & Ginsberg 2017).

HRV-mittauksia voidaan toteuttaa eri kestoisina vaihdellen sekunneista useisiin vuorokausiin. Pitkäkestoisemmat mittaukset antavat kokonaisvaltaisemman kuvan kehon fysiologisesta tilasta, kun taas lyhyemmät mittaukset antavat tietoa yksittäisestä hetkestä. Mittauksen keston mukaan tuloksiin vaikuttavat esimerkiksi kehon sisäinen vuorokausirytm, aineenvaihdunnalliset tekijät, sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tasapaino, sekä hengitys. (Shaffer & Ginsberg 2017) Eri kestoiset mittaukset eivät ole vertailukelpoisia keskenään, koska niihin vaikuttavat eri asiat (Shaffer & Ginsberg 2017, Task Force 1996). Huomattavaa on, että terveydentilan arvioimiseksi on usein käytettävä pitkäkestoisia mittauksia (Shaffer & Ginsberg 2017).

HRV:tä voidaan mitata ihon pinnalta (Task Force 1996). HRV:tä voidaan mitata elektrokardiografialla (EKG) ja fotopletysmografialla (PPG). EKG kuvaa sydämen sähköistä aktiivisuutta, kun taas PPG on verenvirtauksen mukana kulkevan mekaanisen pulssiaallon tuottama signaali. (Georgiou ym. 2018) EKG-laitteet ovat perinteisimpiä autonomisen hermoston tilaa mittaavia laitteita (Schuermans ym. 2020). Monielektrodisia EKG-laitteita pidetään kultaisena standardina (Georgiou ym 2018; Schuurmans ym. 2020), mutta myös kaksielektrodisten EKG-laitteiden on todettu mittaavan varsin luotettavasti sykevälivaihtelua (Hinde ym. 2021, Schuurmans ym. 2020).

Vähäelektrodisia EKG-vöitä ja PPG-laitteita pidetään käytännöllisinä ja kätevinä, mutta niiden validiteetti herättää kuitenkin kysymyksiä (Singh ym. 2018). Urheilurannekelloihin, jotka mitaavat HRV:tä PPG-menetelmällä, voidaan luottaa vain lepomittauksessa, sillä rasituksen kasvaessa virheiden määrä datan keruussa kasvaa ja luotettavuus kärsii (Hinde ym. 2021). Laboratorio-olosuhteissa ja -laitteilla saadaan todennäköisemmin luotettavaa dataa, mutta kannettavilla laitteilla voidaan saada kuitenkin jokapäiväisen elämän kannalta validia dataa laboratorion ulkopuolella. Luotettavan sykedatan keräys on tarpeellista HRV:tä tutkittaessa. (Palmer ym. 2021)

Kaksielektrodisista EKG-laitteista etenkin Polar H10 -sykevyö ja BodyGuard 2 -laite vaikuttavat mittaavan hyvin HRV:tä (Hinde ym. 2021). Joissakin tutkimuksissa Polarin kaksielektrodisen sykevyön on tarjonnut jopa parempaa dataa kuin useampielektrodisen EKG-laite, kun mittaukset on toteutettu fyysisen rasituksen aikana (Gilgen-Ammann ym. 2019). Sen sijaan BodyGuard 2 -laitteen on todettu määrittävän tarkasti sykevälejä levossa ja kevyessä rasituksessa. Rasituksen lisääntyessä BodyGuard 2 -laitteen (keräystaajuus 1000 Hz) tallentamassa datassa voidaan kuitenkin mahdollisesti havaita enemmän kohinaa kuin useampielektrodisessa EKG-laitteessa (keräystaajuus 1000 Hz). BodyGuard 2 -laite on helppokäyttöinen, ja sitä voidaan käyttää jokapäiväisessä elämässä. Sen tallentama sykedata voidaan siirtää usb-liitännän kautta tietokoneeseen, ja dataa voidaan käsitellä ja tarkastella helposti. (Palmer ym. 2021) Parak ja Korhonen (2013) totesivat tutkimuksessaan BodyGuard 2:n olevan tarkka mittaamaan RMSSD:tä etenkin häiriöiden ja kohinan korjaamisen jälkeen, kun verrattiin useampielektrodisen EKG-laitteeseen.

EKG-laitteella mitattu sykedata voidaan analysoida esimerkiksi Kubios-ohjelmalla (Hinde ym. 2021). Kubios lukee EKG-datasta sydämen sykähdysten aikaansaamat QRS-kompleksit ja

aika- ja taajuusmuuttujat saadaan suoraan ohjelmalta (Tarvainen ym. 2014). Kubioksen käytössä on otettava huomioon, että sykedatan korjausalgoritmin valinta voi vaikuttaa hyvin oleellisesti HRV-muuttujiin. Kubioksen ilmaisversiossa kynnyksarvoon perustuvan häiriön korjausalgoritmi voidaan valita esimerkiksi hyvin matala (0,45 s), matala (0,35 s), keskisuuri (0,25 s), korkea (0,15 s) tai hyvin korkea (0,05 s) filttteri. (Tarvainen ym. 2021, 11–12) Plaza-Florido ym. (2021) toteavat, että hyvin korkealla kynnyksarvolla korjaava algoritmi voi aiheuttaa virheitä varsinaisiin HRV-arvoihin heikentäen niitä, joten kyseistä algoritmia on käytettävä hyvin harkiten, etenkin nuoremmalla väestöllä. Myös Alcantara ym. (2020) ovat samaa mieltä toden, että hyvin matala, matala tai keskisuuri kynnyksarvo voisi olla sopiva korjausalgoritmi. Tutkimuksissa olisi syytä kertoa mahdollisimman tarkasti käytössä ollut korjausalgoritmi, jotta eri tutkimusten tuloksia voitaisiin verrata keskenään (Alcantara ym. 2020, Plaza-Florido ym. 2021). Korjausalgoritmi tulisi valita datan laadun mukaan niin, että Kubioksen käyttöohjeiden suositusten mukainen alle 5 %:n datan korjaus toteutuisi (Alcantara ym. 2020).

4.1.2 Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät

Sykemittauksessa HRV-muuttujiin voivat vaikuttaa monet tekijät. Esimerkiksi signaalin keräystaajuus (Task Force 1996), signaalin keräystapa (EKG, PPG), mitattavan kehonasento, hengitys, sukupuoli, etnisuus, ikä, aerobinen kunto, ihonalaisen rasvan määrä ja taajuusmuuttujien määrittäminen menetelmä vaikuttavat sykedataan ja muuttujiin (Shaffer & Ginsberg 2017). Korkea ikä, suuri vartalon rasvamassa ja heikko fyysinen kunto voivat altistaa suuremmalle virheiden määrälle HRV-mittauksissa (Hernández-Vicente ym. 2021). Yksilölliset erot voivat aiheuttaa virheitä HRV-mittauksissa. Virheet näkyvät sykedatassa esimerkiksi virheellisinä lyönteinä, rekisteröimättöminä lyönteinä tai kohinana. Virheellistä sykedataa voidaan korjata paremmaksi. HRV:n mittaaminen on kompleksista, ja virheiden mahdollisuus HRV-muuttujien analysoimisessa ja johtopäätösten tekemisessä voi olla suuri. (Task Force 1996)

HRV-muuttujissa tapahtuu muutoksia stressin seurauksena (Järvelin-Pasanen ym. 2018). HRV-mittauksella voidaan arvioida yksittäisen harjoituksen adaptaatiovasteita ja pitemmällä aikavälillä harjoittelun adaptaatioita. Lisäksi voidaan ennustaa ylikuntotilojen syntymistä. HRV voi laskea, kun yksilö altistuu jollekin/joillekin stressitekijöille sympaattisen hermoston aktivoituessa tällöin enemmän parasympaattiseen hermostoon verrattuna. (Hernando ym. 2018b) Yleisellä tasolla ajateltuna seurantajaksolla heikentynyt HRV voi kertoa esimerkiksi heikentyneestä

terveydestä (Hernández-Vicente ym. 2021). Kohentunut HRV (etenkin korkea HFP) sen sijaan liitetään parempaan terveyteen (Hernández-Vicente ym. 2021), adaptaatiokapasiteettiin, sekä resilienssiin (Shaffer & Ginsberg 2017). Huomattavaa kuitenkin on, että joissain sairauksissa-kin HRV voi nousta (Shaffer & Ginsberg 2017). Stressitilanteissa RMSSD ja HFP voivat laskea ja LFP/HFP-suhde nousta, kun stressiä on paljon (Järvelin-Pasanen ym. 2018). Parempi aerobinen kunto eli korkeampi maksimaalinen hapenottokyky ($VO_2\max$) voi kieliä paremmasta palautumiskyvystä (Tomes ym. 2020). Seurantajaksolla heikentynyt HRV voi kertoa ylikunnosta, henkisestä stressistä, väsymyksestä ja ylipainustiloista (von Rosenberg ym. 2017). Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että heikompi HRV (pienempi RMSSD, SDNN ja HF) on yhteydessä haasteisiin kognitiivisissa tehtävissä. Heikompi HRV on siis yhteydessä heikompaan kognitiivisen suorituskyykyyn. (Forte ym. 2019) Heikentyneitä HRV-muuttujia on havaittu esimerkiksi huonon muistin (Shah 2011) ja heikon päätöksentekokyvyn (heikentynyt HF) (Hinde ym. 2021) yhteydessä.

HRV-muuttujien käyttäytyminen ja stressin ilmeneminen vaikuttaa olevan hyvin yksilöllistä riippuen yksilön ominaisuuksista ja tehtävästä. Esimerkiksi Föhr ym. (2016) tutkivat HRV:n käyttäytymistä tavallisella työssäkäyvällä populaatiolla. Fyysisen aktiivisuuden suuremmalla määrällä ja matalammalla kehon painoindeksillä (BMI) oli yhteys vähäisempään stressin määrään työpäivän aikana. Alhaisempi BMI oli yhteydessä myös parempaan palautumiseen yöunen aikana. Fyysisesti paremmassa kunnossa olevat yksilöt palautuvat paremmin yöunien aikana, vaikka liiallinen aktiivisuus heikentääkin palautumista ja yöunien laatua. (Föhr ym. 2016) Paremmalla aerobisella kunnolla ja alhaisemmalla BMI:llä vaikuttaa olevan yhteyttä vähäisempään stressin määrään (pienempiä muutoksia HRV:ssä) ja nopeampaan palautumiseen. Mehta (2015) puolestaan löysi tutkimuksessaan yhteyden ylipainon ja korkeamman stressin yhteydestä. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka väsymystä ilmenee käden puristusvoiman testissä, kun samaan aikaan joko oli tai ei ollut psyykkistä stressiä (kognitiivinen testi). Tulokset kertoivat, että psyykkisen stressin ollessa läsnä ylipainoiset väsyivät nopeammin, kokivat fyysisen rasituksen suurempana ja HRV-muuttujista RMSSD laski ja LF/HF-suhde kasvoi, kun verrattiin väsytykseen ilman psyykkistä häiriötekijää. Normaalipainoisten ryhmällä eroja ei puolestaan edellä mainituissa muuttujissa tapahtunut, oli psyykinen häiriötekijä olemassa tai ei. Ylipainoiset vaikuttavatkin väsyvän nopeammin kuin normaalipainoiset stressitilanteessa. Ylipainoiset lisäksi kokevat rasituksen todennäköisemmin suurempana kuin normaalipainoiset. Ylipainoisilla lisäksi HRV heikkeni enemmän. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että korkeamman

BMI:n omaavat voivat todennäköisesti väsyä nopeammin, etenkin kun stressiä aiheuttavia tekijöitä on paljon ympärillä. (Mehta 2015)

Bourdillon ym. (2021) tutkivat univajeen aiheuttamia muutoksia HRV-muuttujissa. Kolmen peräkkäisen päivän mittaisen ajanjakson aiheuttama univaje voi johtaa RMSSD:n pienenemiseen ja muutoksiin HRV:n taajuusmuuttujissa. He toteavatkin, että univaje vaikuttaa autonomisen hermoston toimintaan lisäten sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja toisaalta vaimentaen parasympaattisen hermoston aktiivisuutta. (Bourdillon ym. 2021) Estrela ym. (2021) havaitsivat puolestaan tutkimuksessaan, että krooninen stressi heikentää unen laatua. Lisäksi he havaitsivat, että unen laatu oli heikompaa sellaisilla yksilöillä, joilla HRV oli pienempi levossa (Estrela ym. 2021). Vaikuttaa siltä, että pitkään jatkunut vähäinen yöunen määrä voi ilmetä HRV-muuttujissa, osoittaen stressin lisääntymistä.

4.1.3 Sykevälivaihtelumittaus stressin määrän ja palautumisen arvioinnissa

Varsinkin yöunen aikana mitatulla HRV:llä ja unen kestolla voidaan seurata palautumista (Mishra ym. 2021). Unenaikaiseen HRV:hen vaikuttaa monia asioita, jotka on huomioitava kertyneen kuormituksen arvioinnissa. Sirkadiaaninen rytmi ja eri unenvaiheet vaikuttavat autonomiseen hermostoon. Tällä on oma vaikutuksensa HRV:hen. (Boudreau ym. 2013) Esimerkiksi REM-unen aikana sympaattinen hermosto vaikuttaa olevan aktiivisempi kuin NREM-unen aikana (Somers ym. 1993). Joissakin tutkimuksissa (Hynynen ym. 2011, Nuutila ym. 2022) yöunenaikaiseen HRV-mittaukseen on käytetty esimerkiksi 4 tunnin mittaista sykekeräystä. Vaikuttaa siis siltä, että yöunenaikaisen HRV-mittauksen pituudeksi olisi hyvä valita riittävän pitkä tarkastelu-aika. Väsymystä ja kuormittuneisuutta voidaan arvioida myös esimerkiksi seuraamalla aamulla vakioidussa lepoasennossa tietyllä hengitysfrekvenssillä mitattuja HRV-muuttujia 5 minuutin kestoisilla mittauksilla (Iizuka ym. 2020). Jos yöunen laatu on hyvää ja näin ollen parasympaattisen hermoston toiminta riittävän aktiivista kehon palautumisen suhteen, aamulla herätessä kehon saama stressireaktio ei ole niin suuri (Hynynen ym. 2011). Joissakin tutkimuksissa (Hynynen ym. 2011, Nuutila ym. 2022) noin 5 minuutin mittainen sykekeräys on toteutettu heti heräämisen jälkeen makuuasennossa. Välittömästi yöunen jälkeen mitattu HRV voi tarjota tärkeää informaatiota kehon fysiologisesta tilasta (Hynynen ym. 2011).

Fyysisen rasituksen ajoituksella vuorokauden aikana vaikuttaa olevan vaikutusta unen aikaan HRV:hen. Esimerkiksi Yamanaka ym. (2015) vertailivat aamulla ja illalla tehtyjen harjoitusten vaikutusta autonomiseen hermostoon ja yöunen. Tulokset antoivat viitteitä siitä, että aamuharjoitus voi parhaimmillaan jopa lisätä parasympaattisen hermoston aktiivisuutta yöunen aikana. Aamuharjoitus mm. nostaa LFP:n ja HFP:n arvoja yöunen aikana. Iltaharjoitus sen sijaan voi pitää harjoituksen jälkeen sympaattisen hermoston aktiivisuutta korkealla yöunenkin aikana. Tämä näkyy mm. kohonneena sykkeenä yöunen aikana. (Yamanaka ym. 2015) Myllymäen ym. (2012) mukaan harjoitus voi vaikuttaa autonomisen hermoston aktiivisuuteen muutamien tuntien ajan harjoituksen päättymisen jälkeen. Esimerkiksi alkuillasta tehty 30 minuutin kestoinen harjoitus monipuolisella intensiteetillä ei vaikuta heikentävän yöunen laatua kohtalaisesti aktiivisilla miehillä, joten sellaisen tekemistä voidaan suositella tehtäväksi. Sen sijaan, mikäli harjoitus on hyvin pitkä ja yksilöt eivät ole tottuneet kyseisen kaltaiseen kuormitukseen, yöunen laatu voi heiketä. Tässä tapauksessa pitkät harjoitukset suositellaan tehtäviksi aiemmin päivän aikana. (Myllymäki ym. 2012) Samaa on havaittu muissakin tutkimuksissa. Esimerkiksi Yoshida ym. (2018) toteavat myös, että illalla tehty raskas harjoitus lisää sympaattisen hermoston aktiivisuutta yöunen aikana. Tämä näkyy harjoituksen jälkeisenä yönä kohonneena yöunen-aikaisena sykkeenä ja LF/HF-suhteena, sekä madaltuneena HF:n arvoina verratessa yöhön, jota edeltävänä iltana raskasta harjoitusta ei oltu tehty (Yoshida ym. 2018).

4.2 Hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta

Hormonit ovat sisäeritysrauhasten erittämiä molekyyliä, jotka kulkevat verenkierron mukana kohdesoluihin ja organeihin, joissa ne käynnistävät muutoksia aiheuttavia biokemiallisia reaktioita. Hormonit kontrolloivat kehon kasvua, kehitystä ja aineenvaihduntaa. (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998) Hormonit erittyvät eräänlaisina aaltona sirkadiaanisessa rytmissä (Hall & Hall 2021, 919–926; Kraemer & Ratamess 2005) ja hormonipitoisuuksia voidaan mitata verestä esimerkiksi immunomääritysmenetelmällä (Hall & Hall 2021, 919–926). Useiden hormonien määrittämisessä massaspektrometriaan perustuvaa määritysmenetelmää pidetään tarkimpana ja näin ollen parhaana. Immunomääritykseen perustuva menetelmä on kuitenkin usein helpompi ja edullisempi vaihtoehto hormonipitoisuuksien määrittämiselle. (Taylor ym. 2015)

Elimistön erilaisten proteiinien, elektrolyyttien ja muiden pienten molekyylien pitoisuuksien seurannalla voidaan seurata ja arvioida kuormituksen ja palautumisen tasoa. Huomioitavaa on,

että vain yhtä biomarkkeria seuraamalla ei voi tehdä laajoja päätelmiä esimerkiksi palautumisen tasosta. Sen sijaan, kun seurataan useampia markkereita, esimerkiksi testosteronia ja kortisolia, kehon tulehduksesta kertovia sytokiineja, sekä lihasvaurioista kertovia markkereita (esim. kreatiinikinaasi), voidaan tehdä parempia ja selkeämpiä arvioita kehon palautumisen tilasta ja mahdollisista yllärasitustiloista jne. Yhden muuttujan perusteella tehdyt johtopäätökset vaikkapa ylikuntotilasta voivatkin olla yksinkertaistettuja ja johtaa harhaan, koska useisiin muuttujiin vaikuttaa kehossa monet asiat. (Lee ym. 2017)

4.2.1 Testosteroni, sukupuolihormoneja sitova globuliini ja kortisoli

Hypotalamuksesta erittyvä gonadotropiinia vapauttava hormoni aiheuttaa aivolisäkkeessä luteinisoivan hormonin ja follikkelia stimuloivan hormonin tuottamisen ja erittymisen. Sukurauhasissa nämä hormonit saavat aikaan testosteronin (TES) tuottamisen ja erittymisen. (Terburg ym. 2009) Testosteronia erittyy enimmäkseen kiveksissä, mutta myös pieniä määriä lisämunuaisissa (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998). Testosteroni osallistuu kehossa anabolisiin prosesseihin, ja yksi sen tärkeimmistä tehtävistä on edistää lihasten kasvua (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998; Salonen ym. 2019). Kun keho kohtaa pitkällä aikavälillä kovaa fyysistä ja/tai psyykkistä kuormitusta, veren seerumista mitatun testosteronin konsentraatio voi laskea. Kun vielä samaan aikaan sukupuolihormoneja sitova globuliinipitoisuus (SHBG) nousee, kertoo tämä kehon ajautuneen katabolisempaan tilaan. (Salonen ym. 2019)

Testosteronipitoisuuden mittaamisessa massaspektrometriamittausmenetelmää pidetään kultaisena standardina. Testosteronipitoisuus voidaan kuitenkin mitata myös esimerkiksi immunomääritysmenetelmällä, jossa seurataan tietyn merkkiaineen pitoisuutta. Merkkiaineita voivat olla esimerkiksi radioisotooppi, entsyymi, fluoresoiva tai kemiluminesoiva yhdiste. Aamulla heräämisen jälkeen mitattu testosteronipitoisuus voi olla hyvä ajankohta mittaamiselle, jos seurataan testosteronipitoisuuden muutosta. (Kanakis ym. 2019) Testosteronin määrittämisessä haasteita tuottaa mm. se, että testosteronipitoisuus riippuu vuorokaudenajasta (Rosner ym. 2007). Testosteroni- ja SHBG-pitoisuus vaihtelee vuorokausirytmien mukaan (Plymate ym. 1989). Näin ollen voi olla tärkeää, että hormonien pitoisuudet mitattaisiin aina samaan aikaan vuorokaudesta. Tällöin arvot olisivat vertailukelpoisia keskenään, ja voidaan tehdä seuranta pidemmällä aikavälillä.

Hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaiskuoriakseli (HPA-akseli) yhdessä sympaattisen hermoston aktivoitumisen kanssa vastaa elimistön taistelee tai pakene -reaktiosta (Terburg ym. 2009). Kortisolia (COR) erittyy lisämunuaiskuoresta (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998, Salonen ym. 2019) HPA-akselin lopputuotteena (Salonen ym. 2019). Kortisoli osallistuu mm. energia-ai-neenvaihduntaan hiilihydraattien, proteiinien ja rasvojen hajottamisessa (El-Farhan ym. 2017, Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998), sekä elektrolyyttitasapainon säätelyyn ja verenpaineen kontrollointiin (El-Farhan ym. 2017). Kortisolin tiedetään suojelevan kehoa haitallisilta stressitekijöiltä. Kuitenkin, kun elimistö kohtaa räsitusta ja stressiä, kortisolipitoisuus verenkierrassa lisääntyy. (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998) Kortisolipitoisuutta nostava stressi voi olla joko fyysistä tai psyykkistä tai molempia. Epäsäännöllinen elämänrytmi ja univaje aiheuttavat heilahtelua kortisolin tuotannossa. (Blair ym. 2017) Kortisolin tiedetään inhihoivan eli rajoittavan muun muassa lihasten rakennusprosessia (El-Farhan ym. 2017). Kun kortisolipitoisuus lisääntyy seurantajaksolla, kehon voidaan arvioida ajautuvan katabolisempaan tilaan (Salonen ym. 2019).

Kortisolia voidaan mitata esimerkiksi laskimoveren seerumista ja syljestä (El-Farhan ym. 2017). Yleensä veren kortisolipitoisuus on suurin aamulla ja laskee päivän aikana iltaa kohti (Hall & Hall 2021, 968). Syljen kortisolipitoisuus käyttäytyy samantlaisesti kuin veren seerumin kortisolipitoisuus ollen korkeimmillaan aamulla ja matalimmillaan keskiyöllä (Turpeinen & Hämäläinen 2013). Kortisolia voidaan mitata esimerkiksi Immulite 2000 -laitteella (Lippi ym. 2009). Massaspektrometriamittauksella saadaan luotettavia tuloksia, kun kortisolia mitataan seerumista, syljestä ja virtsasta. Immunomääritysmenetelmään verrattuna sen tulokset ovat tarkempia ja sensitiivisempiä. (Turpeinen & Hämäläinen 2013) Immunomääritysmenetelmällä mitattu syljen kortisolipitoisuus ja veren seerumin kortisolipitoisuus vaikuttavat korreloivan hyvin keskenään (Lippi ym. 2009).

Veren testosteroni- ja kortisolipitoisuuden, sekä etenkin testosteronin ja kortisolin välisen suhteen (TES/COR) seuraaminen ovat potentiaalisia keinoja kehon anabolisen/katabolisen tilan arvioinnissa. Mikäli TES/COR laskee, se kertoisi kehon olevan katabolisemmassa tilassa. (Urhausen ym. 1995)

4.2.2 Insuliinin kaltainen kasvutekijä 1

Insuliinin kaltaista kasvutekijä 1:ä (IGF-1) muodostuu ja erittyy pääasiassa maksassa. IGF-1 osallistuu kehon anabolisiin prosesseihin. (Florini ym. 1996) Se vaikuttaa solujen kasvuprosesseihin, kuten lihaskasvuun (Florini ym. 1996) ja aivotoimintaan (Dyer ym. 2016). Veren korkeampi IGF-1-pitoisuus on yhteydessä myös luun terveyteen ja muodostukseen (Nicholls & Holt 2016). Nindlin ym. (2011) mukaan korkeammilla veren IGF-1 pitoisuuksilla on positiivinen yhteys aerobiseen kuntoon ja lihaskestävyyteen, sekä negatiivinen kehon rasvamassan määrään. Fyysisesti raskaissa sotilaallisissa harjoituksissa Friedlin ym. (2000) mukaan verestä mitattu IGF-1 voi laskea ravitsemuksellisen energiavajeen takia ja Nindlin ym. (2003) mukaan energiavajeen lisäksi univajeen takia. Tiedetään myös, että jo pelkkä sotilaallinen fyysisesti kuormittavampi harjoitus voi saada aikaan IGF-1:n laskua (Ojanen ym. 2018b). IGF-1-pitoisuuden lasku on haitallista, koska silloin lihasvaurioiden korjaaminen heikentyy ja palautuminen pitkittyy. Tällöin vaarana on ajautua myös ylikuormitustilaan. (Ojanen ym. 2018b)

4.2.3 Kreatiinikinaasi

Veren seerumista mitattu kreatiinikinaasipitoisuus (CK) voi nousta lihaskudoksen vaurioiden yhteydessä pitkäkestoisessa rasituksessa. CK voi myös kohota raskaan harjoitusjakson aiheuttaman metabolisen ja/tai mekaanisen stressin seurauksena. Tämä näkyy kohonneena CK-pitoisuutena levossa. CK-pitoisuuden muutos on riippuvainen mm. iästä, sukupuolesta, etnisyydestä, lihasmassan määrästä, lämpötilasta ja fyysisestä aktiivisuudesta. Tarkemmin fyysisen aktiivisuuden tyyppi, intensiteetti ja kesto, sekä harjoitusten tiheys määrittävät, minkä verran CK:ta vapautuu verenkiertoon ja millä aikataululla sitä poistuu verenkierrosta. (Brancaccio ym. 2007)

5 KUORMITUKSEN JA STRESSIN SEURANNAN SUBJEKTIIVISET MITTARIT

Subjektiiiviset rasittuneisuuden ja stressin tasosta kertovat mittarit on todettu hyödyllisiksi, kun määritetään jonkin tietyn kuormituksen rasittavuuden tasoa tietyllä yksilöllä (O’Sullivan 1984). Yksilön kokemaa kuormituksen ja stressin määrää akuuteissa tehtävissä ja pitemmällä seurantaajaksolla voidaan arvioida mm. Borgin RPE -kyselyllä ja NASA-TLX-kyselyllä. Esimerkiksi Ojanen ym. (2018a) käyttivät edellä mainittuja menetelmiä määrittäessään, millä tavalla kolmen viikon mittainen sotaharjoitus vaikutti nuoriin suomalaisiin miehiin.

Borgin RPE -kysely on varsin helposti käytettävä ja ymmärrettävä. Borgin 6–20-portaisessa RPE-kyselyssä 6 on täydellinen lepo ja 20 suurin mahdollinen rasitus, jossa ei jaksakaan tehdä enää mitään. Koetun rasittuneisuuden arvioinnissa luotettavuutta laskee se, että kokemus jonkin työn kuormittavuudesta on aina yksilöllinen. Näin ollen arviointiin liittyy epävarmuutta. (Borg 1998) Borg (1998) painottaa, että luotettavuutta laskee esimerkiksi huonosti annettu ohjeistus. Vaikuttaakin siltä, että yksilö hyötyisi hyvästä itsetuntemuksesta ja siitä, että hänelle on kerrottu ymmärrettävästi ja tarkasti Borgin RPE -kyselyn mittarin eri arvoja vastaavat tuntemukset.

NASA-TLX arvioi yksilön kokemaa kuormituksen suuruutta jonkin tehtävän suorittamiseen liittyen kuudella eri osa-alueella, joihin kuuluu painotettu pisteytys. Osa-alueita ovat psyykinen vaativuus, fyysinen vaativuus, ajankäytöllinen vaativuus, suorituskykyisyys, vaivannäkö ja turhautuneisuus. NASA-TLX-kyselyn tulokset pisteytetään asteikolla 0–100. (Hart & Staveland 1988)

6 SOTATEHTÄVIEN KUORMITTAVUUS

6.1 Sotilailta vaaditut ominaisuudet

Sotilaille tulee olla kykyä kantaa suuria kuormia ja liikkua paikasta toiseen pitkiäkin välimatkoja (Kyröläinen ym. 2021, 11). Hyvä aerobinen kunto ja voimatasot ovat siis tarpeellisia (Pihlainen ym. 2018a). Lisäksi mahdollisuuksien mukaan on kyettävä tekemään nopeasti lyhyitäkin suorituksia (Kyröläinen ym. 2021, 11; Pihlainen ym. 2018a), eli hyvä anaerobinen kapasiteettikin on tarpeellinen (Pihlainen ym. 2018a). Hyvät voima- ja kestävyysominaisuudet, sekä tietyissä määrin nopeusominaisuudet, ovat siis tarpeellisia erilaisissa tehtävissä (Kyröläinen ym. 2021, 12). Sotilaan fyysisten ominaisuuksien vaatimukset määräytyvät sotilaan tehtävien mukaan. Yleisesti hyvällä tasolla olevat alaraajojen räjähtävä voimantuotto, kehon rasvaton massa, anaerobinen teho ja kestävyyskunto ovat tärkeässä osassa sotilaan tehtävien onnistumisen kannalta. (Kyröläinen ym. 2021, 52–53) Esimerkiksi operaatioiden aikana yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu 2–4 kertaa viikossa painottaen harjoitusten sisältöä tehtävien mukaan voisi turvata ominaisuuksien säilymistä ja/tai kehittymistä. (Kyröläinen ym. 2021, 76)

Sotilas tarvitsee maksimivoimaa ja nopeusvoimaa. Näitä onkin hyvä harjoitella, sillä pääasiassa sotilastehtävät ovat matalaintensiteettisempiä. Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelulla pidetään huolta siitä, että sotilas kykenee nopeisiin suorituksiin ja kantamaan raskaitakin taakkoja. Alaraajojen nopeasta voimantuotosta ja ylävartalon maksimivoimasta on hyötyä monissa sotilaan tehtävissä. Voimaharjoittelu yhdistettynä hyvään lihaskuntoon ehkäisee tuki- ja liikuntaelinvammoja. (Kyröläinen ym. 2021, 52–53)

Kestävyys on olennainen ominaisuus sotilaille. Hyvästä kestävyydestä on hyötyä pitkään jatkuvien yhtäjaksoisten marssien ja tehtävien aikana, sekä tehtävien välissä olevien mahdollisten lyhyiden palautusten takia. (Santtila ym. 2015) Kun sotilaan kestävyyskunto on hyvä, sotilas jaksaa pitempään väsymättä, palautuu nopeammin ja omaa suuremman suorituskykyreservin. Hyvä kestävyyskunto on myös ennaltaehkäisevä tekijä tuki- ja liikuntaelinvammoille, ja on hyvää terveyttä ylläpitävä tekijä. (Kyröläinen ym. 2021, 52) Aerobista kuntoa voidaan mitata esimerkiksi 12 minuutin juoksutestillä, jonka tulos korreloi Cooperin (1968) mukaan vahvasti maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa.

Hyvä fyysinen kunto edesauttaa sotilaita myös selviytymään hyvin erilaisten ympäristöolosuhteiden vallitessa. Hyvällä tasolla oleva fyysinen toimintakyky yhdistettynä psyykkiseen vahvuuteen mahdollistavat esimerkiksi erilaisten pelkotilojen, epävarmuuden ja väsymyksen paremman hallinnan. (Kyröläinen ym. 2021, 12) Hyvä fyysinen kunto voikin olla ehkäisevä tekijä sotaharjoitusten aiheuttaman stressin kumuloitumiselle. Paremmassa fyysisessä kunnossa olevilla palautuminen voi olla parempaa ja heillä voi olla enemmän resilienssiä stressille kuin huonommassa fyysisessä kunnossa olevilla. (Szivak ym. 2018)

Yleisesti erilaiset sotilaan tehtävät ovat fyysisiltä vaatimuksiltaan sellaisia, että optimaalisesta kehonkoostumuksesta on hyötyä. Alhaisemmasta kehon rasvamassasta on hyötyä fyysisissä tehtävissä (Kusano ym. 1997). Pierce ym. (2017) tutkivat, kuinka kehon painoindeksi (BMI) vaikuttaa sotilaiden fyysiseen suorituskyykyyn ja tehtävistä suoriutumiseen. Tuloksiksi he saivat, ettei BMI vaikuttanut sotilastehtäviin. He tekivätkin johtopäätöksen, että BMI:ä ei voi yksikseen tarkastella tehtävistä suoriutumisen mittarina. BMI:llä toki on vaikutusta terveyden, loukkaantumisriskin ja tautien kannalta, mutta tehtävistä suoriutumiseen vaikuttaa monet muutkin asiat. Korkeammankin BMI:n omaava voi selvitä sotilastehtävistä hyvin, jos sotilaalla on hyvät voimaominaisuudet. (Pierce ym. 2017) Voisi ajatella, että sotilaan optimaalinen kehonkoostumus on tehtävisidonnaista. Yleisesti tehtävien ollessa monipuolisia lienee kuitenkin optimaalista, että lihasmassaa on riittävästi voimaa vaativia toimia varten ja rasvamassa kohtuu alhainen.

6.2 Sotilaan tehtävien kuormittavuus stressin seurannan mittareissa

Sotilaan tehtävät ovat hyvin monipuolisia (Pihlainen ym. 2018a) sisältäen kuitenkin pääasiassa matalaintensiteettistä fyysistä aktiivisuutta (Kyröläinen ym. 2021, 13), jossa palautumisajat voivat vaihdella eri tehtävien ja marssien välissä ja jälkeen (Santtila ym. 2015). Sotaharjoituksissa varusmiehet kohtaavat tehtävissään erilaisia stressin aiheuttajia eli stressoreita. Tällaisia ovat esimerkiksi fyysinen rasitus, kognitiiviset tehtävät, ympäristölliset tekijät, univaje, energiavaje ja psyykkiset tekijät. (Ojanen ym. 2018a ja 2018c). Suorituskyykyyn eri tehtävissä vaikuttavat lisäksi mm. ikä, kehonkoostumus, fyysinen kunto, ravitsemustavat, kuorman kantaminen, fyysisen aktiivisuuden tyyppi, kehon energiatasapaino, heikentynyt palautuminen ja motivaatio (Kyröläinen ym. 2018). Näin ollen stressin ilmenemiseen ja määrään elimistössä tuntuvat

vaikuttavan yksilön omat ominaisuudet, yksilön kohtaamat tehtävät ja ympäristö, sekä niihin liittyvät asiat.

Sotilaan on kyettävä suoriutumaan tehtävistään optimaalisella tavalla elimistölle stressiä aiheuttavista tekijöistä huolimatta (Giles ym. 2019). Sotaharjoitukset voivat aiheuttaa ylirasitustiloja varusmiehille monien eri stressoreiden takia riippuen harjoitusten fyysisestä ja psyykkisestä rasituksesta. Etenkin huonokuntoisemmat voivat ajautua ylirasitustilaan helpommin. (Tanskanen ym. 2011) Kehon ylirasitustiloja onkin jonkin verran tutkittu armeijaympäristöissä (Salonen ym. 2019). Ylirasitustilojen tiedetään aiheuttavan mahdollisesti myös kognitiivisia häiriöitä (Giles ym. 2019).

Tyyskä ym. (2010) selvittivät sotilaan fyysisen kuntoindeksin, unen määrän ja hormonitoiminnan välisiä yhteyksiä noin kahden viikon mittaisessa sotaharjoituksessa. Sotilaan fyysinen kuntoindeksi koostui 12 minuutin juoksuprotestistä, lihasvoimatesteistä, suunnistuksesta, marssista ja ammunnoista. Harjoituksessa edetessä testosteronipitoisuus ei käytännössä muuttunut, kuten ei kortisolipitoisuuskaan. Sen sijaan SHBG-pitoisuus nousi harjoituksen aikana, ja testosteronin ja SHBG:n suhteella oli vahva positiivinen yhteys fyysisen kuntoindeksin kanssa. Lisäksi TES/COR:lla oli yhteys unen määrän kanssa. Tutkittavat eivät olleet kovassa fyysisessä rasituksessa tai energiavajeessa harjoituksen aikana. Tähän nojaten tutkijat tekivät johtopäätöksen, että hormonitoiminnan muutokset johtuivat pääasiassa sotaharjoituksen aiheuttamasta univajeesta ja heikosta fyysisestä kunnosta. (Tyyskä ym. 2010)

Jopa kolmasosan varusmiehistä on todettu ylikuormittuvan jossain vaiheessa palveluksen aikana, etenkin alkuvaiheessa. Heikompikuntoisten ja ylipainoisten varusmiesten fyysinen kunto nousee selvemmin kuin muiden palveluksen alkuvaiheessa. Lisäksi hyväkuntoisilla varusmiehillä kuntotason kehitys pysähtyy jossain vaiheessa ja aikaisemmin palveluksen edetessä verrattuna huonompikuntoisiin. (Tanskanen 2012) Huomattavaa on kuitenkin myös, että vähemmän liikuntaa harrastavat varusmiehet ylikuormittuvat helpommin kuin liikuntaa säännöllisemmin harrastavat (Kyröläinen ym. 2021, 33). Kokonaistoimintakyvyn ylläpidon kannalta lepo ja ravinto ovat merkittäviä tekijöitä varusmiespalveluksessa (Kyröläinen ym. 2021, 53). Riittäväällä levolla voitaisiin mahdollisesti vähentää ylirasitukseen ajautuneiden määrää. Tämä ei liene kuitenkaan ole helppoa, koska samoja tehtäviä tekevät voivat olla niin erilaisessa fyysisessä kunnossa.

Sotilaallinen tehtävä, johon liittyy ainakin kohtalaista fyysistä rasitusta ja energiavajetta, voi aiheuttaa akuuttia ja kroonista stressiä (Lieberman ym. 2016). Selkeä energiavaje häiritsee endokriinisen järjestelmän homeostaasia. Tämä tarkoittaa sitä, että hormonitoiminnassa voi tapahtua muutoksia. (Henning ym. 2014) Tällöin HPA-akseli voi aktivoitua lisäten kortisolintuotantoa samalla heikentäen testosteronin tuotantoa, sekä lisätä sympaattisen hermoston toimintaa, joka näkyy mm. sydämen sykkeen nousuna. (Lieberman ym. 2016) Myös univaje voi aiheuttaa fysiologisen stressireaktion, mikä johtaa veren kortisolipitoisuuden lisääntymiseen elimistössä HPA-akselin aktivoitumisen myötä (Reynolds ym. 2012) ja veren testosteronipitoisuuden vähenemiseen (Leproult & Van Caeter 2011). Hormonitoiminnan palautuminen tehtävän/harjoituksen jälkeen voi vaatia pitkän ajanjakson, riippuen kuormituksesta jopa viikkoja (Henning ym. 2014).

Sotaharjoitusten aiheuttamista muutoksista nuorten miespuolisten varusmiesten kehonkoostumukseen, suorituskyvystä kertoviin testeihin ja hormonitoimintaan on tutkittu aiemmin. Esimerkiksi Ojanen ym. (2018a, 2018b ja 2018c) tutkimuksissa seurattiin, kuinka tietyt markerit muuttuivat kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana.

Ojanen ym. (2018a) selvittivät, kuinka fyysinen aktiivisuus ja neuromuskulaarinen suorituskyky ja kehonkoostumus muuttuivat kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana asepalvelustaan suorittavilla nuorilla suomalaisilla miehillä, sekä kuinka 4 päivän mittainen palautusjakso vaikutti suorituskykyyn. Suorituskykyä mitattiin 3,2 km:n mittaisessa taisteluvartuksessa suoritetun marssin ajassa, vauhdittomassa pituushypyssä ja lihaskestävyydessä (istumaannousuissa ja punnerruksissa). Fyysistä aktiivisuutta mitattiin askelten määrinä ja aikana eri energiankulutuksen intensiteettitasoilla (MET-alueet). Lisäksi tutkittavien subjektiivisesti kokemaa stressin ja kuormittumisen määrää selvitettiin kyselyillä. Tulokset osoittivat, että sotaharjoitus heikensi hieman fyysistä suorituskykyä. Tämä näkyi heikompana suorittamisena vauhdittomassa pituushypyssä, istumaannousuissa ja punnerruksissa sotaharjoituksen jälkeen. 3,2 km marssin tuloksessa ei puolestaan tapahtunut muutosta. Tutkijat tekivätkin johtopäätöksen, että sotaharjoitus aiheutti neuromuskulaarista kuormittumista. 4 päivän palautusjakso ei auttanut palauttamaan heikentyneitä tuloksia ennalleen. Sotaharjoituksen sisältämä korkea fyysisen aktiivisuuden taso aiheutti myös kehonpainon, lihassmassan ja rasvamassan vähentymistä. Tämän voidaan ajatella johtuvan energiavajeesta. (Ojanen ym. 2018a)

Ojanen ym. (2018b) tutkivat, kuinka fyysinen kunto ja hormonaaliset ja immunologiset markerit muuttuivat kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana asepalvelustaan suorittavilla suomalaisilla nuorilla miehillä. Harjoituksen aikana merkittävästi laskivat mm. kehonmassa, rasvamassa, lihasmassa ja IGF-1-pitoisuus. Edellä mainitut muuttujat palautuivat kuitenkin lähtötasolleen 4 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen. CK-pitoisuus puolestaan nousi mutta laski palautuksen jälkeen. CK-pitoisuutta pidetään yhtenä varteenotettavana markerina fyysisen kuormittumisen seurannassa sotaharjoituksessa. Kun raskaus tulee, veren CK-pitoisuus kohoaa. Varusmiesten fysiologisen stressin todettiin edellä mainittujen muutosten myötä olevan korkealla sotaharjoituksen aikana, mutta näin lyhyestä harjoituksesta palautui nopeasti. Koska kehonkoostumuksen muutokset palautuivat nopeasti ennalleen harjoituksen jälkeen, tutkijat arvelivat dehydraation olleen syynä kehonkoostumuksen muutoksiin. Toisaalta veren IGF-1-pitoisuus laski. Tiedetään, että IGF-1:n konsentraation lasku voi olla yhteydessä lihasmassan vähentymiseen. Tutkijat kertovat, että koska bioimpedanssilla mitattu kehonkoostumus voi vääristää arvoja, jos eri mittauskerroilla kehossa on eri määrä nestettä, mittaus tuloksiin voi tulla virhettä. (Ojanen ym. 2018b)

Ojanen ym. (2018c) tutkivat asepalvelusta suorittavien kolmen viikon sotaharjoituksen ajalta kehonkoostumuksen, ylä- ja alaraajojen voimantuoton ja veren testosteronin, kortisolin, SHBG:n, sekä IGF-1:n pitoisuuksien muutoksia. Lisäksi ampumatarkkuutta mitattiin. Laskimoverestä mitatut testosteroni- ja IGF-1-pitoisuudet laskivat merkitsevästi. Sen sijaan kortisoli- ja SHBG-pitoisuudet nousivat merkitsevästi. IGF-1-pitoisuuden laskun on todettu heikentävän sotaharjoituksesta palautumista ja lihasvaurioiden korjaamista. Tämä voi seurauksena johtaa heikentyneeseen fyysiseen suorituskykyyn. (Ojanen ym. 2018c)

Ojasen ym. (2018b, 2018c) tutkimusten lisäksi mm. Ponce ym. (2023) tutkivat sotaharjoituksen aiheuttamia vaikutuksia hormonitoimintaan. Tutkijat totesivat, että sotaharjoitus laskee veren testosteroni- ja IGF-1-pitoisuuksien määrää, sekä nostaa kortisolipitoisuuden määrää (Ponce ym. 2023). Myös Salosen ym. (2019) tutkimuksessa 12 päivän mittainen sotaharjoitusjakso laski mm. testosteronipitoisuutta, joka kuitenkin palautui kolmen päivän kuluessa normaalitasolleen.

Sotaharjoitusten aiheuttama stressi voi heikentää kognitiivista suorituskykyä ja mielialaa (Giles ym. 2019, Lieberman ym. 2016). Tämä voi näkyä kyselymittauksissa suurempana koettuna ra-

situksena (Giles ym. 2019). Koettu rasitus voi nousta mm. heikon ravitsemuksen ja muodostuneen kalorivajeen myötä. Giles ym. (2019) selvittivät, kuinka jatkuva fyysinen rasitus yhdistettynä vakavaan kalorivajeeseen vaikutti etuaivolohkon ohjailemaan kognitiiviseen suorituskyykyyn, mielialaan ja koettuun rasitukseen. Tutkimus koostui yksittäisistä sotaharjoituspäivistä, joissa verrattiin sokkoutetulla ja satunnaistetulla tutkimusasetelmalla kulutusta vastaavan ravinnon saaneita sotilaita kalorivajeessa oleviin sotilaisiin. Kalorivaje näytti heikentävän etenkin mielialaa. Lisäksi jännittyneisyyttä, ahdistuneisuutta, väsymyksen tunnetta, voimattomuutta, hämmentyneisyyttä ja kokonaisvaltaista mielialan häiriötä havaittiin kalorivajeen myötä. (Giles ym. 2019)

6.3 Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden yhteys toisiinsa

Sykevälivaihtelun ja hormonitoiminnan yhteyksiä on tutkittu hieman sotaympäristöissä. Johnsen ym. (2012) tutkivat, oliko sykevälivaihtelulla ja kortisolilla yhteyttä toisiinsa kognitiivisesti haastavissa merivoimien tehtävissä. Tutkijat saivat selville, että RMSSD:llä ja syljen kortisolipitoisuudella oli negatiivinen yhteys toisiinsa. Henkilöt, joilla oli matalampi RMSSD, havaittiin suurempi kortisolipitoisuus. Tällaiset henkilöt suoriutuivat tehtävistä huonommin. (Johnsen ym. 2012) Huovinen ym. (2009) puolestaan havaitsivat, että varusmiesten ensimmäisen palvelusviikon aikaisen HFP:n muutoksella (muutos parasympaattisen hermoston aktiivisuudessa) oli yhteys palvelusviikon päätteeksi mitatun TES/COR:n kanssa. Tutkijat päättelivät varovaisesti tästä, että kehon anabolista ja katabolista tilaa voitaisiin arvioida sykevälivaihtelumuutosten kautta. Tutkijat painottivat suhtautumaan johtopäätöksiin varauksella, koska sykevälivaihtelussa tapahtuneet muutokset olivat hyvin yksilöllisiä ja TES/COR:n mittaaminen jakson päätteeksi voi johtaa vääriin tulkintoihin. (Huovinen ym. 2009) Lisäksi Huovinen ym. (2011) havaitsivat, että parasympaattisen hermoston aktiivisuuden (HFP) muutoksilla oli yhteys aerobisen kunnon ja anabolisen hormonitoiminnan (testosteronipitoisuus) muutoksiin neljän kuormittavamman sotaharjoitusviikon aikana.

Sykevälivaihtelun ja hormonitoiminnan yhteyksiä on tutkittu myös esimerkiksi kuntoilijoiden harjoitteluun liittyen. DeBlauw ym. (2021) tutkivat HRV:n (mitattu RMSSD:tä) ja TES/COR:n yhteyttä toisiinsa 9 viikon mittaisen korkeatehoista toiminnallista harjoittelua sisältävän jakson aikana fyysisesti aktiivisilla yksilöillä. Tutkijat totesivat, että autonomisen hermoston toiminnalla ja HPA-akselilla on yhteys toisiinsa fysiologisen stressin ilmenemisessä, kun keho kohtaa

fyysistä rasitusta. Harjoittelun aikaansaamissa muutoksissa hormonitoiminnassa todettiin kuitenkin paljon yksilöllisiä eroja, minkä takia tutkijat peräänkuuluttivat, että HRV:n muutoksista ei voi sellaisenaan vetää johtopäätöksiä, kuinka TES/COR mahdollisesti käyttäytyisi. (DeBlauw ym. 2021)

Sykevälivaihtelun ja koetun rasittuneisuuden yhteyksiä on myös hieman tutkittu stressin ilmenemisen arviointitutkimuksissa. Gibson ym. (2023) löysivät yhteyden objektiivisesti mitatun kuormituksen seurannan (sykkeen seuranta) ja subjektiivisesti arvioidun RPE-kyselyn väliltä nuorilla australialaisilla armeijan alokkailta. O'Sullivan (1984) toteaa, että yksilön kokema rasituksen taso antaa arvion fyysisen rasituksen määrästä, mutta se ei aina kulje käsi kädessä todellisen fysiologisen rasituksen kanssa. Etenkin nuorilla ja terveillä yksilöillä yhteys voi kuitenkin olla parempi (O'Sullivan 1984). Lisäksi esimerkiksi Föhrin ym. (2015) tutkimuksessa töistä palautumiseen liittyen saatiin selville, että mitä korkeampi yksilön subjektiivisesti kokema stressi oli, sitä korkeampi oli objektiivisesti HRV:n avulla mitattu stressin määrä ja sitä huonommin HRV palautui. Unenaikainen palautuminen oli myös heikompi niillä, jotka kokivat stressin suurempana. Niillä, jotka olivat taustaltaan fyysisesti aktiivisempia, koettu stressi oli vähäisempää. (Föhr ym. 2015)

7 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka kuormituksen ja stressin seurannan mittarit (sykevälivaihtelu, hormonit ja aineenvaihdunnalliset vasteet ja koettu rasittuneisuus) muuttivat harjoituksessa. Lisäksi selvitettiin, kuinka muutokset olivat yhteydessä toisiinsa, ja oliko kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä muutoksiin. Näin saatiin muodostettua kattava kokonaisuus sotaharjoituksen aiheuttamasta stressistä ja kuormittumisesta varusmiespalvelustaan suorittavilla nuorilla miehillä yksilöidymmälläkin tasolla.

Tutkimuskysymys 1: Kuinka sykevälivaihtelu, hormonaaliset ja aineenvaihdunnalliset vasteet, sekä koettu rasittuneisuus muuttuvat kolmen viikon mittaisessa sotaharjoituksessa?

Hypoteesi 1: Sotaharjoituksissa esimerkiksi fyysinen rasitus, kognitiiviset tehtävät ja vähäinen nukkuminen, sekä vähäinen ravinnon saanti aiheuttavat elimistölle stressiä (Ojanen ym. 2018a). HRV:n avulla voidaan arvioida kehon kohtaaman stressin määrää ja seurata kuormittuneisuutta ja palautumista (Tomes ym. 2020). Lisäksi voidaan ennustaa ylikuntotilojen syntymistä. HRV voi laskea, kun yksilö altistuu stressoreille sympaattisen hermoston aktivoituessa tällöin enemmän parasympaattiseen hermostoon verrattuna. (Hernando ym. 2018b) Stressitilanteissa RMSSD ja HFP voivat laskea ja LFP/HFP-suhde nousta, kun stressiä on paljon (Järvelin-Pasanen ym. 2018). Ojanen ym. (2018c) tutkivat, kuinka kolmen viikon mittainen sotaharjoitus vaikutti muiden muassa asepalvelusta suorittavien laskimoverestä mitattuihin testosteroni-, kortisoli-, SHBG-, IGF-1-pitoisuuksiin. Testosteroni- ja IGF-1-pitoisuudet laskivat merkitsevästi. Sen sijaan kortisoli- ja SHBG-pitoisuudet nousivat merkitsevästi. IGF-1-pitoisuuden on todettu heikentävän sotaharjoituksesta palautumista ja lihasvaurioiden korjaantumista. Tämä voi seurauksena johtaa heikentyneeseen fyysiseen suorituskyykyyn. (Ojanen ym. 2018c) Ojanen ym. (2018b) tutkivat, kuinka fyysinen kunto, hormonaaliset ja immunologiset markerit muuttuivat kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana asepalvelustaan suorittavilla suomalaisilla nuorilla miehillä. Harjoituksen aikana muiden muassa IGF-1-pitoisuus laski merkitsevästi, kun taas CK-pitoisuus nousi. Edellä mainitut muuttujat palautuivat kuitenkin lähtötasolleen neljä vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen. Edellä mainitut muutokset kertovat sotaharjoituksen aiheuttaneen negatiivisia asioita keholle, mutta että näin lyhyestä harjoituksesta palautuu nopeasti. Fysiologinen stressi oli korkealla sotaharjoituksen aikana. (Ojanen ym. 2018b) Kuormitus nostaa subjektiivisesti koettua rasitusta. (Giles ym. 2019)

Tutkimuskysymys 2: Onko sykevälivaihtelun, hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten vasteiden, sekä koetun rasittuneisuuden muutoksilla yhteyttä toisiinsa?

Hypoteesi 2: Kyllä on. Armeijaympäristössä Johnsen ym. (2012) havaitsivat sykevälivaihtelun (RMSSD) negatiivisen yhteyden kortisolin kanssa kognitiivisesti haastavissa tehtävissä. Henkilöt, joilla oli pienempi RMSSD, havaittiin suurempi syljen kortisolipitoisuus ja he suoriutuivat tehtävistä huonommin. (Johnsen ym. 2012) Huovinen ym. (2009) puolestaan havaitsivat, että varusmiesten ensimmäisen palvelusviikon aikaisen HFP:n muutoksella (muutos parasympaattisen hermoston aktiivisuudessa) oli yhteys palvelusviikon päätteeksi mitatun TES/COR:n kanssa. Tutkijat painottivat suhtautumaan johtopäätöksiin varauksella, koska sykevälivaihtelussa tapahtuneet muutokset olivat hyvin yksilöllisiä ja TES/COR:n mittaaminen jakson päätteeksi voi johtaa vääriin tulkintoihin. (Huovinen ym. 2009) Huovinen ym. (2011) puolestaan havaitsivat, että parasympaattisen hermoston aktiivisuuden (HFP) muutoksilla oli yhteys aerobisen kunnon ja anabolisen hormonitoiminnan (testosteroni) muutoksiin neljän kuormittavamman sotaharjoitusviikon aikana. DeBlauw ym. (2021) havaitsivat että kuntoilijoiden autonomisen hermoston (RMSSD) ja HPA-akselin (TES/COR) toiminnalla oli yhteys 9 viikon mittaisen korkeatehoista toiminnallista harjoittelua sisältävän jakson aikana. Harjoittelun aikaansaamissa muutoksissa hormonitoiminnassa todettiin kuitenkin paljon yksilöllisiä eroja, minkä takia tutkijat peräänkuuluttivat, että HRV:n muutoksista ei voi sellaisenaan vetää johtopäätöksiä, kuinka TES/COR mahdollisesti käyttäytyisi. (DeBlauw ym. 2021) Föhrin ym. (2015) tutkimuksessa töistä palautumiseen liittyen saatiin selville, että mitä korkeampi yksilön subjektiivisesti kokema stressi oli, sitä korkeampi oli objektiivisesti HRV:n avulla mitattu stressin määrä ja sitä huonommin HRV palautui. Gibson ym. (2023) löysivät yhteyden objektiivisesti mitatun kuormituksen ja RPE-kyselyn väliltä seurantajaksolla.

Tutkimuskysymys 3: Onko kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä sykevälivaihtelun, hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten vasteiden, sekä koetun rasittuneisuuden muutosten kanssa?

Hypoteesi 3: Kyllä on. Kun sotilaan kestävyyskunto on hyvä, sotilas jaksaa pitempään väsymättä, palautuu nopeammin ja omaa suuremman suorituskykyreservin (Kyröläinen ym. 2021, 52). Etenkin vähän liikuntaa harrastavat ylikuormittuvat helpommin (Kyröläinen ym. 2021, 33). Taustaltaan fyysisesti aktiivisemmilla yksilöillä koettu stressi voi olla vähäisempää (Föhr

ym. 2015). Föhr ym. (2016) tutkivat HRV:n käyttäytymistä tavallisella työssäkäyvällä populaatiolla. Fyysisen aktiivisuuden suuremmalla määrällä ja matalammalla kehon painoindexillä (BMI) oli yhteys vähäisempään stressin määrään työpäivän aikana. Alhaisempi BMI oli yhteydessä myös parempaan palautumiseen yöunen aikana. Fyysisesti paremmassa kunnossa olevat yksilöt palautuvat paremmin yöunien aikana, vaikka liiallinen aktiivisuus heikentääkin palautumista ja yöunen laatua. (Föhr ym. 2016) HRV-muuttujien käyttäytyminen vaikuttaa olevan hyvin yksilöllistä riippuen yksilön ominaisuuksista ja tehtävästä. Mehtan (2015) käden puristusvoimatutkimuksessa psyykkisen stressin ollessa läsnä ylipainoiset väsyivät nopeammin, kokivat fyysisen rasituksen suurempana ja HRV-muuttujista RMSSD laski ja LF/HF-suhde nousi, kun verrattiin väsytykseen ilman psyykkistä häiriötekijää. Normaalipainoisten ryhmällä eroja ei puolestaan edellä mainituissa muuttujissa tapahtunut, oli psyykinen häiriötekijä olemassa tai ei. Ylipainoiset vaikuttavatkin väsyvän nopeammin kuin normaalipainoiset stressitilanteissa. Ylipainoiset saattavat lisäksi kokea rasituksen todennäköisemmin suurempana kuin normaalipainoiset. Ylipainoisilla lisäksi HRV heikkeni enemmän. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että korkeamman BMI:n omaavat voivat todennäköisesti väsyä nopeammin, etenkin kun stressiä aiheuttavia tekijöitä on paljon ympärillä. (Mehta 2015) Paremmalla aerobisella kunnolla ja alhaisemmalla BMI:llä vaikuttaa olevan yhteyttä vähäisempään stressin määrään (pienempiä muutoksia HRV:ssä) ja nopeampaan palautumiseen.

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän opinnäytetyön lähes kaikki aineisto saatiin valmiina vuoden 2015 keväällä suoritetuista mittauksista. Tuolloin mittauksen jälkeen data oli arkistoitu Microsoft Excel -tiedostolle. Syke-data oli toistaiseksi vielä analysoimaton, ja tätä työtä varten HRV-muuttujat analysoitiin sykekäyristä. Keski-Suomen sairaanhoitopiiri ja Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoivat puoltavan eettisen lausunnon tutkimuksen toteuttamiselle, ja puolustusvoimilta oli myönnetty tutkimuslupa (tutkimuslupanumero AK9935). Tässä työssä tutkittiin nuorten suomalaisten varusmiesten kuormittumista kolmen viikon mittaisessa sotaharjoituksessa jokseenkin samantyyllisesti kuten Ojasen ym. (2018a, 2018b, 2018c) tutkimuksissa.

8.1 Tutkittavat

Tähän tutkimukseen osallistui kaikkiaan 49 tutkittavaa. Tutkittavat olivat perusterveitä, varusmiespalvelustaan suorittavia nuoria miehiä. Tutkittavat ottivat osaa tutkimukseen vapaaehtoisesti. Taulukossa 2 on nähtävillä tutkittavien taustamuuttujia.

TAULUKKO 2. Tutkittavien taustamuuttujia keskiarvoistettuina (\pm keskihajonta) ennen harjoitusta.

Taustamuuttujat	
Ikä (v)	20 ± 1 (N = 49)
Pituus (cm)	$179,1 \pm 7,2$ (N = 49)
Paino (kg)	$73,0 \pm 8,8$ (N = 45)
12 minuutin juoksutesti (m)	2706 ± 214 (N = 49)

N = tutkittavien määrä.

8.2 Tutkimusasetelma

Tutkimusjakson kesto ensimmäisestä mittauspäivästä viimeiseen mittauspäivään oli 37 vuorokautta (taulukko 3). Tutkimusjakso sisälsi kolme viikkoa kestävä sotaharjoituksen ja erilaisia

mittauksia ennen, sen aikana ja sen jälkeen. Ennen harjoituksen alkua suoritettiin alkumittaukset PRE-jaksolla (PRE-jakso, 4 vuorokautta). Tätä seurasi kolmen viikon mittainen sotaharjoitus, joka koostui järjestyksessään ampumaharjoituksesta (AH-jakso, 5 vuorokautta), ensimmäisestä taisteluharjoituksesta (TH1-jakso, 8 vuorokautta) ja toisesta taisteluharjoituksesta (TH2-jakso, 7 vuorokautta). Ampumaharjoitusjakson tavoitteena oli kehittää varusmiesten aseensa käsittelyä, ja se koostui erilaisista tehtäväradoista ja kovapanosammunnoista. Ampumaharjoitusjakson aikana pyrittiin turvaamaan varusmiesten riittävä levonsaanti. Taisteluharjoitusjaksot koostuivat erilaisista hyökkäysharjoituksista, taistelutehtävistä, partioehtävistä, sekä marseista. Harjoituksen aikana oli käytössä myös vuorotteleva yövartiointi. Tutkimuksen päätti 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen toteutetut palautumistestit (RECO-jakso, 2 vuorokautta).

Tutkittavien kehonkoostumusta, HRV:tä, hormoneja ja aineenvaihduntatuotteita (verinäytteet ja sylkinäytteet), fyysistä aktiivisuutta, unen määrää, sekä koettua rasittuneisuutta seurattiin tiettyinä tutkimuspäivinä (taulukko 3). Jokainen mitattu muuttuja keskiarvoistettiin kullekin jaksolle (PRE, AH, TH1, TH2 ja RECO) niin, että jos tiettyä muuttujaa oli tutkittavalta mitattu jakson aikana esimerkiksi viiden päivän ajalta, niiden viiden päivän keskiarvo kuvasti koko jaksoa tutkittavan osalta.

Tutkimuksessa tarkastelun kohteena oli myös joukkokoulutuskaudella juostu 12 minuutin juoksumatka (Cooper 1968), joka kertoo tutkittavien kestävyyskunnosta. Tutkimukseen kuului myös muita fyysistä kuntoa määrittäviä muuttujia, ja kyseisten muuttujien muutosta seurattiin. Jalkojen ja käsien isometrinen maksimivoima, vauhditon pituushyppy, vatsalihasteesti ja punnerrusteesti mitattiin 12.5. (PRE), 2.6. (TH1), 11.6. (TH2) ja 16.6. (RECO). Taisteluvälinevarustuksessa tehty 3,2 km mittainen pikamarssi toteutettiin 20.5. (PRE) ja 11.6. (TH2). Lisäksi ammuntestit olivat 11.5. (PRE), 27.5. ja 2.6. (TH1), 11.6. (TH2) ja 16.6. (RECO). Edellä luetellut fyysistä kuntoa mittaavat testit ja ammuntestit eivät kuulu tähän tutkimukseen muuten kuin, että niiden aiheuttama kuormitus huomioidaan luonnollisesti osaksi harjoituksen kokonaisrasitusta.

HRV:n mittaaminen toteutettiin 1–3 vuorokauden mittaisilla sykekeräyksillä, joista määritettiin yöunen- ja aamunaikainen HRV. Kehonkoostumuksen mittaaminen, verinäytteiden ottaminen ja fyysistä kuntoa mittaavat testit toteutettiin samalla kaavalla harjoituksen eri vaiheissa (PRE, AH, TH1, TH2 ja RECO). Herätyksen jälkeen tehtiin kehonkoostumusmittaus, jota seurasi ve-

rinäytteenotto klo 6:00 ja klo 7:00 välillä. Tätä seurasi aamupala, jonka jälkeen toteutettiin fyysistä kuntoa mittaavat testit klo 8:30 ja klo 11:00 välillä. Sylkinäytteenottopäivinä kerättiin kaikkiaan kuusi näytettä kellonaikoina 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 ja 21:00.

TAULUKKO 3. Tutkimuksen kulku mittauksineen ja mittauspäivineen.

Jakso	PVM	KK	FA	HRV-YÖ	HRV-AAMU	VN	SN	Kyselyt
PRE	12.5.	X					X	
	13.5.							
	19.5.		X					X
	20.5.		X	X	X	X		X
AH	22.5.		X					X
	23.5.		X					X
	24.5.		X					X
	25.5.		X	X				X
	26.5.	X (27.5.)	X	X			X (27.5.)	X
TH1	27.5.		X					X
	28.5.		X					X
	29.5.		X					X
	30.5.		X					X
	31.5.		X	X	X		X	X
	1.6.		X	X	X			X
	2.6.		X			X		X
	3.6.		X					X
TH2	4.6.		X					X
	5.6.		X					X
	6.6.		X					X
	7.6.		X	X				X
	8.6.		X	X	X		X	X
	9.6.		X					X
	10.6.	X (11.6.)	X				X (11.6.)	X
RECO	15.6.							X
	16.6.	X		X	X	X		X

PVM = päivämäärä, KK = kehonkoostumus, FA = fyysinen aktiivisuus, HRV-YÖ = yöunen aikainen sykevälivaihtelu, HRV-AAMU = aamunaikainen sykevälivaihtelu, VN = verinäytteet, SN = sylkinäytteet, PRE = ennen harjoitusta, AH = ampumaharjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen.

Tässä tutkimuksessa muuttujien käyttäytymistä harjoituksen aikana tarkasteltiin eri jaksojen (PRE, AH, TH1, TH2 ja RECO) kesken. Muuttujien prosentuaalisten muutosten välisiä yhteyksiä toisiinsa, sekä kestävyyskuntoon, painoindeksiin ja rasvaprosenttiin, tarkasteltiin aikaväleillä PRE–AH/TH1/TH2/RECO. Kestävyyskunto (12 minuutin juoksutesti), sekä rasvaprosentti ja painoindeksi (saadaan laskennallisesti pituudesta ja painosta) oli mitattu ennen harjoitusta. PRE-jakson arvojen ajateltiin olevan lähtötaso, johon harjoituksen aiheuttamaa kuormitusta verrattiin.

8.3 Mittausmenetelmät

Painoindeksin ja rasvaprosentin mittaaminen. Kehonpaino ja rasvaprosentti mitattiin bioimpedanssi-laitteella (InBody 720, Biospace Co Ltd, Seoul, Etelä-Korea) tiettyinä mittauspäivinä yöpaaston jälkeen aamuisin klo 6:00 ja klo 7:00 välillä. Pituus oli mitattu ennen harjoitusta mittanauhalla. Painoindeksi saatiin kaavasta:

$$\text{BMI} = \frac{m}{s^2}, \text{ jossa}$$

$$\text{BMI} = \text{painoindeksi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

m = tutkittavan massa (kg)

s = tutkittavan pituus (m)

Sykkeen ja sykevälivaihtelun mittaaminen. HRV:n mittaaminen toteutettiin sykemittarilla (BodyGuard 2, Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi). Tutkittavat saivat laitteen ja tarra kiinnitettäviä elektrodeja. Tutkittavia ohjeistettiin puhdistamaan iho liasta ja rasvasta, sekä karvoitusta, jotta elektrodit pysyisivät kiinni ihossa. Laite kiinnitettiin kehon oikealle puolelle solisluun alle, ja laitteesta lähtevän johdon toinen pää vasemmalle puolelle kylkikaareen. Tutkittavia ohjeistettiin myös käyttämään urheiluteippiä paremman kiinnityksen takaamiseksi. Mittaus käynnistyi aina automaattisesti, kun laite elektrodeineen kiinnitettiin rintakehälle (laitteessa oleva vihreä valo alkoi vilkkua), ja päättyi, kun laite irrotettiin rintakehältä.

BodyGuard 2 -mittauslaitteelta SDF-tiedostomuotoihin tallennettu raaka sykedata analysoitiin Kubios HRV Standard 3.5 -ohjelmalla (Kubios Oy, Kuopio, 2016). Kubios määrittä tarkastelun

kohteena olevilta ajanhetkeltä sykkeen (HR) ja HRV-muuttujat (SDNN, RMSSD, LFP, HFP ja LFP/HFP), ja sykehäiriöiden korjausalgoritmina käytettiin matalan kynnyksen filteriä. Matalan kynnyksen filteri korjaa datan häiriöt 0,35 sekunnin tarkkuudella. Taajuusmuuttujat (LFP ja HFP) määritettiin ”fast Fourier transform” -menetelmällä. Korjausalgoritmin korjaamien virheiden määrä ja virheiden korjausprosentti merkattiin muistiin tarkastelun kohteena olevilta ajanhetkiltä. Korjausprosentti ei saanut ylittää 5 %:a. Jos näin kävi, dataa ei hyväksytty mukaan lopullisiin tuloksiin. Sykedata kerättiin tiettyinä vuorokausina yöunen ajalta 3 tunnin mittaisina keräyksinä puoli tuntia nukahtamisen jälkeen, sekä aamumittauksina heräämisen jälkeen 5 minuutin mittaisina lepokeräyksinä. Tutkittavat pitivät tutkimuksen ajan kirjaa yöunen määrästäan päivittäin. Lisäksi tutkimukseen kuului aamulla tehtyjä ortostaattisia testejä. Näitä tietoja käytettiin hyväksi määrittäessä tarkasteltavina olevia ajankohtia yöunen ajalta ja aamun lepoaikalta.

Yöunenaikainen HRV-keräys asetettiin alkavaksi sykedatan siitä kohdasta, kun tutkittava oli ollut yhtäjaksoisesti levossa. Tämän oletettiin tapahtuvan silloin, kun syke oli alhaisimmillaan pitemmän ajanjakson. Tutkittava oli lisäksi voinut merkata yöunensa pituudeksi 7 tuntia. Jos tällaisessa tapauksessa tutkittavan data näytti hyvältä ja sykkeen perusteella tutkittava oli selvästi unessa, tarkasteltava ajankohta aloitettiin puoli tuntia nukahtamisen jälkeen ja tästä yhtäjaksoisesti kerättiin 3 tunnin kestoinen aikajakso. Mikäli tutkittavalla oli ollut esimerkiksi yövartiovuoro tai data oli muuten huonoa niin, että tutkittava oli ensin nukkunut 2 tuntia, valvonut/data huonoa 2 tuntia ja nukkunut jälleen 3 tuntia ennen heräämistä aamulla, yöunen aikaisen HRV-datan keräykseksi valittiin ensimmäisen 2 nukutun tunnin ajalta lepoaika/unihetki 1,5 tuntia ja viimeisen 3 tunnin jälkeiseltä uniajalta 1,5 tuntia. Näin saadaan yhteensä 3 tunnin mittainen unijakso. Lyhyet ajanjaksot yhdistettiin 3 tunnin mittaiseksi aikaikkunaksi käyttämällä painotettua keskiarvoa ajan suhteen. Näin tehtiin myös, vaikka ei saatu aivan 3 tunnin mittaista aikaa täyteen. Jos esimerkiksi 5 tunnin yhtäjaksoisesta unesta datassa havaittiin suurta virhettä pitemmän jakson ajan, siitä puuttui osia tai siinä oli paljon häiriötä, valittiin lyhyempiä pätkiä sieltä täältä dataa niin, että 3 tuntia saatiin täyteen. Aina 3 tunnin kestoista yökeräystä ei saatu muodostettua huonolaatuisen datan takia edes yhdistelemällä pieniä paloja. Lyhyemmätkin, esimerkiksi 1,5 tunnin mittaiset yökeräykset lopulta hyväksyttiin lopullisten tulosten analysointivaiheeseen mukaan. Tämä aiheuttaa virhettä tuloksiin, kun pääasiassa yödata on 3 tunnin mittaista, mutta välillä on lyhyempiä, jopa noin 1,5 tunnin mittaisia pätkiä. Jos sykekäyrästä ei voinut päätellä unen alkamishetkeä, datasta ei analysoitu mitään. Yöunen ajalta kerätyissä datan

puolesta hyväksytyissä mittauksissa alle 3 tunnin mittaisia ajanjaksoja oli 6,1 % kaikista mittauksista ja sellaisia vuorokausia, joissa lyhyempiä pätkiä yhdisteltiin pyrkien muodostamaan 3 tunnin mittainen yökeräys, oli 16,7 % kaikista vuorokausista.

Aamulla heräämisen jälkeen yleensä noin 10–15 minuutin mittaisen lepoetken ajalta otettiin 5 minuutin mittaiset pätkät. Tarkkaa vakiointia ei oltu tehty noille ajanhetkille, joten sykedataa tarkastellessa tehtiin oletus, että tutkittavat olivat maanneet paikoillaan. Ajankohdat lepomittaukselle oli kuitenkin merkattu mittaushetkillä ylös. Sykekäyrästä analysointi tehtiin sellaisesta 5 minuutin mittaisesta aikajaksosta, jonka aikana sykekäyrässä ei ollut nähtävissä isoja muutoksia tai huippuja/piikkejä, sekä mahdollisimman vähän virhettä. Jos datassa olisi ollut isoja piikkejä, todennäköisesti tutkittava ei ollut tuolloin paikallaan mittauksen aikana tai mitauslaite oli aiheuttanut virhettä. Tämä 5 minuutin mittainen keräys oli hyvin altis virheille. Tarkasteltavan alueen rajaus sykedatasta tulikin tehdä huolella. Muutamilta tutkittavilta hyväksyttiin myös 3 minuutin mittaiset aamukeräykset mukaan lopullisiin tuloksiin, koska 5 minuutin mittaista keräystä ei voinut datan epäselvyyden takia saada.

Tulosten tarkasteluun ja jaksoittaiseen keskimääräiseen päiväkohtaiseen HRV:hen hyväksyttiin yöunenaikaisen HRV:n tarkastelussa lopulta 8 vuorokautta (PRE-jaksolla 1 vuorokausi, AH-jaksolla 2 vuorokautta, TH1-jaksolla 2 vuorokautta, TH2-jaksolla 2 vuorokautta, RECO-jaksolla 1 vuorokausi). Vastaavat olivat aamunaikaisessa HRV:ssä PRE-jaksolla 1 vuorokausi, TH1-jaksolla 2 vuorokautta, TH2-jaksolla 1 vuorokausi ja RECO-jaksolla 1 vuorokausi. AH-jaksolle ei siis saatu kerättyä HRV-AAMU-dataa.

Hormonien ja aineenvaihduntatuotteiden mittaaminen. Verinäytteet otettiin mittauspäivinä klo 6:00 ja klo 7:00 välillä kyynärtaipeen laskimosuonesta, ihon pinnan desinfioinnin jälkeen, putkiloon (Vacutainer gel tube). Sylkinäytteet otettiin 6 kertaa vuorokauden aikana mittauspäivinä (kellonajat 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 ja 21:00). Verinäytteet ja sylkinäytteet sentrifugoitiin (Megaforce 1.0 R Heraeus, DJB, Lab Care, Saksa) RCF-arvolla (suhteellinen keskipakoisvoima) 2000g 10 minuutin ajan, ja näytteistä eriteltiin analysointeja varten tarvittava määrä veren seerumia. Veren seeruminäytteistä testosteroni, kortisoli, SHBG ja IGF-1 analysoitiin immunomääritysanalysointorilla (Siemens Immulite 2000 XPI, Siemens Healthcare, USA) ja CK spektrofotometrisellä analysointorilla (Konelab 20 XTi, Thermo Electron Corporation, Vantaa, Suomi). Verestä mitatuista testosteronista ja kortisolistä laskettiin arvot testosteronin

ja kortisolin suhteelle (TES/COR). Sylkinäytteistä määritettiin kortisolipitoisuus spektrofotometrisellä analysaattorilla (Konelab 20 XTi, Thermo Electron Corporation, Vantaa, Suomi). Sensitiivisyys ja samasta näytteestä otettujen tulosten vaihtelu (interassay coefficient of variance) oli TES 0,5 nmol/l ja 7,8 %, COR 5,5 nmol/l ja 6,5 %, SHBG 0,02 nmol/l ja 5,7 %, IGF-1 2,6 nmol/l ja 7,8 %, CK 7 U/l ja 7,1 %.

Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen. Fyysistä aktiivisuutta mitattiin kiihtyvyyssantureilla (Hookie AM20, Traxmeet Ltd, Espoo, Suomi), jotka ohjeistettiin kiinnittämään vyötärölle vyöllä. Kiihtyvyyssanturi määritti fyysistä aktiivisuutta 100 Hz keräystaajuudella kolmessa suunnassa (x,y,z-koordinaatisto). Tässä työssä fyysinen aktiivisuus ilmoitettiin intensiteetin määrän mukaan ajallisesti eri MET-tasoilla (inaktiivisuus < 1,5 MET; kevyt fyysinen aktiivisuus 1,5–3 MET; keskiraskas fyysinen aktiivisuus 3–6 MET; raskas fyysinen aktiivisuus > 6 MET), sekä askelten kokonaismäärän ja juoksuaskelten mukaan vuorokauden aikana. Kiihtyvyyssanturi mitasi fyysistä aktiivisuutta jatkuvasti tutkimusjakson ajan.

Koettu rasittuneisuus ja uni. Kyselylomakkeilla kerättiin tietoa tutkittavien subjektiivisesti kokemasta rasituksesta ja yönen määrästä koko tutkimusjakson ajan. Koettua rasitusta mitattiin RPE-kyselyllä ja NASA-TLX-kyselyllä. Borgin 6–20-portaisessa RPE-kyselyssä 6 on täydellinen lepo ja 20 suurin mahdollinen rasitus, jossa ei jaksakaan enää mitään (Borg 1998). NASA-TLX kysely (asteikko 0–100) on tehtäväkohtainen työn haastavuutta arvioiva työkalu, jossa suuremmat lukemat kertovat haastavammasta/vaikeammasta tehtävästä. Tutkimusjakson ajan joka aamu tutkittavat saivat uutta päivää varten kirjattavaksi kyselylomakkeen, ja edellisen päivän kyselylomake kerättiin pois. Tutkittavien tuli ilmoittaa yönen määrä tunteina puolen tunnin tarkkuudella ja ilmoittaa RPE ja NASA-TLX koko edellispäivältä.

Kestävyyskunto. Kestävyysuorituskykyä mitattiin ennen harjoitusta 12 minuutin juoksutestillä, jossa juostaan 12 minuuttia mahdollisimman lujaa. Tämän niin sanotun Cooperin testin tuloksen on Cooperin (1968) mukaan vahva korrelaatio maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa, joka on olennaisin kestävyysuorituskykyä määrittävä tekijä.

8.4 Tilastollinen analyysi

Mittaustulokset käsiteltiin ja taulukoitiin Microsoft Excel -ohjelmalla (Microsoft Corp. Redmond, USA). Tilastoanalyysit suoritettiin R-ohjelmistolla (versio 4.2.0) (R Core Team, Australia). Tulosten normaalijakautuneisuus tarkistettiin Shapiro-Wilkin-testillä. Jos mitattava muuttuja ei ollut normaalisti jakautunut, muuttujalle tehtiin muunnos luonnolliseen logaritmiin. Ajan vaikutusta muuttujiin tarkasteltiin lineaarisella sekamallilla. TES/COR, CK, LFP-AAMU, HFP-AAMU sekä JUOKSUASKELEET muunnettiin luonnolliseen logaritmiin ennen sekamallin tilastoajoja, jotta lineaarisen sekamallin oletukset täyttyivät. Tilastoajojen jälkeen edellä mainitut muuttujat muunnettiin logaritmimuunnoksesta takaisin normaaleiksi arvoikseen. Muuttujien välisten prosentuaalisten muutosten korrelaatiota keskenään eri aikaväleillä analysoitiin Pearsonin korrelaatiotestin avulla. Myös ennen harjoitusta mitattujen 12 minuutin juokсутestin, rasvaprosentin ja painoindeksin korrelaatiota muuttujien prosentuaalisiin muutoksiin analysoitiin Pearsonin korrelaatiotestin avulla. Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin $p < 0.05$ merkitsevyytstasoa.

9 TULOKSET

9.1 Kehonkoostumuksen ja unen muutokset

Kehonkoostumus. Sekä paino, että rasvaprosentti laskivat PRE-jaksolta harjoituksen edetessä AH- ja TH2-jaksoille, mutta tilastollisesti merkitsevät ($p < 0.05$) laskut olivat PRE- ja AH-jaksoilta TH2-jaksolle. Esimerkiksi paino laski PRE-jaksolta TH2-jaksolle 2,3 % ja rasvaprosentti 7,9 %. TH2-jaksolta paino nousi 1,8 % ja rasvaprosentti 11,1 % tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) RECO-jaksolle. RECO-jaksolla paino oli matalampi ja rasvaprosentti korkeampi kuin PRE-jaksolla, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. (Taulukko 4)

Unen määrä oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) suurempi TH1-jaksolla verrattuna muihin jaksoihin (PRE, AH, TH2 ja RECO). Muiden jaksojen välillä erot olivat hyvin pieniä ja tilastollista merkitsevyyttä ei ollut. (Taulukko 4)

TAULUKKO 4. Tutkittavien kehonkoostumus ja unen määrä sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta).

Muuttuja	PRE	AH	TH1	TH2	RECO
Paino (kg)	74,0 \pm 8,5	73,7 \pm 9,5		72,3 \pm 9,5 *‡	73,6 \pm 9,5 †
Rasva%	12,6 \pm 4,5	12,4 \pm 4,3		11,6 \pm 4,3 **	12,9 \pm 4,3 †
Uni (h)	5,5 \pm 0,3	5,6 \pm 0,3	6,5 \pm 0,3 **	5,6 \pm 0,3 †	5,6 \pm 0,3 †

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumaharjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, Rasva% = rasvaprosentti. (*, †, ‡, †) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon, † = verrataan AH-arvoon, ‡ = verrataan TH1-arvoon, † = verrataan TH2-arvoon.

9.2 Fyysisen aktiivisuuden muutokset

Fyysistä aktiivisuutta oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) enemmän jokaisessa harjoituksen vaiheessa (AH, TH1 ja TH2) kuin ennen harjoitusta (PRE) lukuun ottamatta raskaan aktiivisuuden ja juoksuaskeleiden määrää, jotka olivat PRE-jaksolla suuremmat kuin TH-jaksoilla.

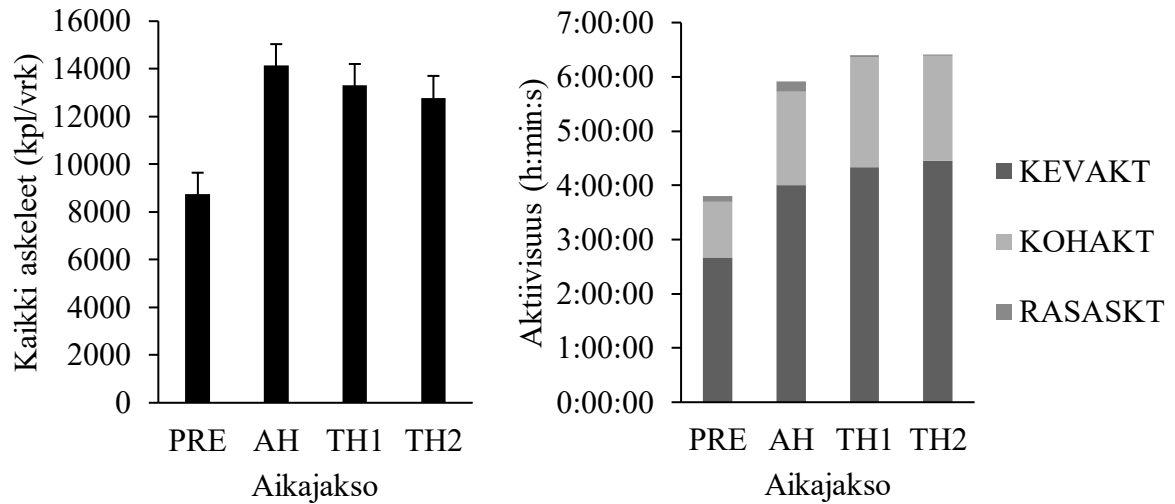
Kaikkien askelten määrä, sekä kevyen ja kohtalaisen fyysisen aktiivisuuden määrä olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia koko harjoituksen ajan. Esimerkiksi AH-jaksolle kaikkien askelten määrä (KAIKASK) nousi 61,6 %, juoksuaskelten määrä (JUOKASK) 222,3 %, kevyen aktiivisuuden määrä (KEVAKT) 50,2 %, kohtalaisen aktiivisuuden määrä (KOHAKT) 68,1 % ja raskaan aktiivisuuden määrä (RASAKT) 75,3 % PRE-jaksolta. Yhdelläkään fyysisen aktiivisuuden muuttujalla TH-jaksojen välillä ei ollut tilastollista merkitsevää muutosta. Kaikkien askelten, juoksuaskelten ja raskaan aktiivisuuden määrät olivat suurimmillaan AH-jaksolla, kevyen aktiivisuuden määrä oli suurinta TH2-jaksolla ja kohtalaisen aktiivisuuden määrä oli suurinta TH1-jaksolla. Inaktiivisuus oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) suurempaa PRE-jaksolla kuin missään vaiheessa harjoitusta. Esimerkiksi PRE-jaksolta AH-jaksolle inaktiivisuuden määrä väheni 10,5 %. Lisäksi AH-jaksolla inaktiivisuuden määrä oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) keskimäärin päivittäin suurempaa kuin kummallakaan TH-jaksolla. TH-jaksojen välillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Inaktiivisuuden määrä oli pienintä TH2-jaksolla. (Taulukko 5)

TAULUKKO 5. Tutkittavien fyysinen aktiivisuus sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta) vuorokautta kohti.

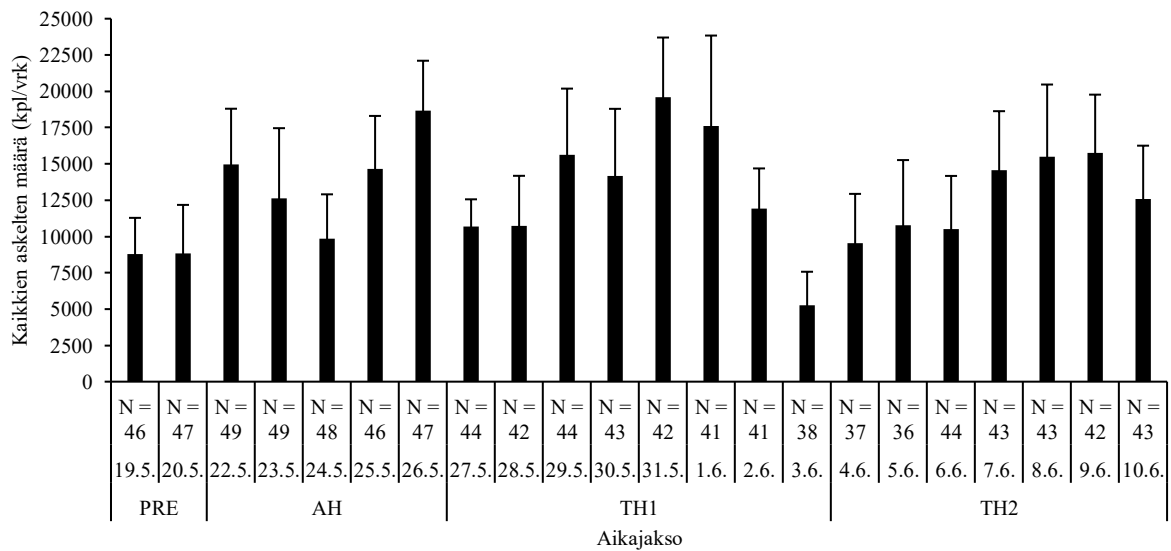
Muuttuja	PRE	AH	TH1	TH2
KAIKASK (kpl)	8750 \pm 896	14137 \pm 901 *	13302 \pm 903 *	12784 \pm 922 **
JUOKASK (kpl)	409 \pm 123	1319 \pm 391 *	343 \pm 104 †	290 \pm 90 **
INAKT (h:min:s)	20:12:06 \pm 0:18:31	18:05:09 \pm 0:18:37 *	17:36:19 \pm 0:19:28 **	17:35:11 \pm 0:19:29 **
KEVAKT (h:min:s)	2:40:04 \pm 0:15:50	4:00:23 \pm 0:16:00 *	4:19:59 \pm 0:16:31 **	4:26:59 \pm 0:16:32 **
KOHAKT (h:min:s)	1:01:33 \pm 0:08:22	1:43:26 \pm 0:08:20 *	2:01:50 \pm 0:08:32 **	1:56:28 \pm 0:08:45 **
RASAKT (h:min:s)	0:06:17 \pm 0:01:33	0:11:01 \pm 0:01:34 *	0:01:58 \pm 0:01:31 **	0:01:28 \pm 0:01:33 **

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, KAIKASK = kaikki askeleet, JUOKASK = juoksuaskeleet, INAKT = inaktiivisuus, KEVAKT = kevyt aktiivisuus, KOHAKT = kohtalainen aktiivisuus, RASAKT = raskaan aktiivisuus. (*, †, **) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon, † = verrataan AH-arvoon.

Kuvassa 1 on havainnollistettu kaikkien askelten ja aktiivisuuden määrän jakautumista jaksoittain harjoituksen aikana. Lisäksi kuvassa 2 on nähtävillä, kuinka kaikkien askelten määrä vaihteli keskimäärin päivittäin harjoituksen aikana.



KUVA 1. Kaikkien askelten määrä (\pm keskihajonta) ja aktiivisuuden määrä ($> 1,5$ MET) eri MET-alueilla keskiarvoina vuorokautta kohti sotaharjoituksessa. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, KEVAKT = kevyt aktiivisuus, KOHAKT = kohtalainen aktiivisuus, RASAKT = raskas aktiivisuus.



KUVA 2. Kaikkien askelten määrä harjoituksen eri vaiheiden aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta) vuorokautta kohti. N = tutkittavien määrä, PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso.

9.3 Sykevälivaihtelun muutokset

9.3.1 Yöunenaikainen sykevälivaihtelu

Yöunenaikainen sykevälivaihtelu. Yöunenaikainen syke oli harjoituksen aikana (AH, TH1, TH2) korkeammalla kuin ennen harjoitusta (PRE), mutta ainoastaan AH-jaksolla syke oli tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) korkeammalla kuin PRE-jaksolla (nousi 5,5 %). Syke laski AH-jaksolta eteenpäin jatkuvasti seuraaville mittaushetkille, ja erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.05$) AH-jaksolta TH2- ja RECO-jaksoille, sekä TH1-jaksolta RECO-jaksolle. Lisäksi RECO-jaksolla syke oli matalammalla kuin PRE-jaksolla, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Korkeimmillaan syke oli AH-jaksolla. Yöunenaikainen sykevälivaihtelu (SDNN, RMSSD, LFP ja HFP) kasvoi jatkuvasti harjoituksen edetessä PRE-jaksolta RECO-jaksolle saakka. Ainoastaan SDNN:n nousu 11,5 % PRE-jaksolta RECO-jaksolle ja RMSSD:n nousu PRE- ja AH-jaksoilta RECO-jaksolle (15,5 % ja 15,6 %) olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.05$) eroja. LFP/HFP oli yön aikana korkeimmillaan AH-jaksolla. Eri jaksojen välillä LFP/HFP:lla ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. (Taulukko 6)

TAULUKKO 6. Tutkittavien yöunenaikainen sykevälivaihtelu sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta) vuorokautta kohti.

Muuttuja	PRE	AH	TH1	TH2	RECO
HR (lyöntiä/min)	56 \pm 5	59 \pm 5 *	58 \pm 5	57 \pm 5 ‡	55 \pm 5 ‡†
SDNN (ms)	74 \pm 19	75 \pm 19	76 \pm 18	78 \pm 18	83 \pm 20 *
RMSSD (ms)	84 \pm 27	84 \pm 27	88 \pm 26	91 \pm 27	97 \pm 29 **
LFP (ms ²)	2544 \pm 1326	2620 \pm 1204	2674 \pm 1158	2730 \pm 1177	2915 \pm 1366
HFP (ms ²)	2731 \pm 1977	2982 \pm 1913	3102 \pm 1852	3234 \pm 1804	3529 \pm 2062
LFP/HFP	1,15 \pm 0,52	1,25 \pm 0,54	1,10 \pm 0,55	1,11 \pm 0,57	1,08 \pm 0,60

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumaharjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, HR = syke, SDNN = N-N-intervallien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, LFP = matalan taajuuden teho, HFP = korkean taajuuden teho, LFP/HFP = matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde. (*, ‡, †) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon, ‡ = verrataan AH-arvoon, † = verrataan TH1-arvoon.

Yöunenaikaisen sykevälivaihtelun muutosten yhteydet toisiinsa. Yöunen aikana mitattujen SDNN:n, RMSSD:n, LFP:n ja HFP:n muutoksilla oli positiivista, useilla aikaväleillä vahvaakin, yhteyttä keskenään, kun tarkasteltiin muuttujien muutoksia PRE-jaksolta muille jaksoille (AH, TH1, TH2 ja RECO). Yöunenaikaisen sykkeen muutoksella oli negatiivinen yhteys edellä mainittujen muuttujien muutoksiin jokaisella aikavälillä, mutta positiivinen LFP/HFP:n muutokseen. Kyseiset yhteydet olivat kohtalaisia tai vahvoja. (Taulukko 7)

TAULUKKO 7. Tutkittavien yöunenaikaisen sykevälivaihtelun prosentuaalisten muutosten yhteydet toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE–AH N = 34	PRE–TH1 N = 38	PRE–TH2 N = 31	PRE–RECO N = 26
SDNN	HR	–0.56**	–0.63***	–0.71***	–0.65**
RMSSD	HR	–0.64***	–0.67***	–0.76***	–0.66**
RMSSD	SDNN	0.94***	0.97***	0.95***	0.92***
LFP	HR	–0.40*	–0.47**	–0.52**	–0.39*
LFP	SDNN	0.92***	0.91***	0.86***	0.73***
LFP	RMSSD	0.80***	0.83***	0.73***	0.48*
HFP	HR	–0.57***	–0.57***	–0.65***	–0.50**
HFP	SDNN	0.90***	0.94***	0.92***	0.85***
HFP	RMSSD	0.97***	0.96***	0.94***	0.93***
HFP	LFP	0.76***	0.81***	0.68***	0.40*
LFP/HFP	RMSSD	–0.51**	–0.68***	–0.55**	–0.47*
LFP/HFP	HR		0.57***	0.46*	
LFP/HFP	SDNN		–0.63**	–0.41*	

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, HR = syke, SDNN = N-N-intervallien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, LFP = matalan taajuuden teho, HFP = korkean taajuuden teho, LFP/HFP = matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

9.3.2 Aamunaikainen sykevälivaihtelu

Aamunaikainen sykevälivaihtelu. Aamulla mitattu syke oli harjoituksen aikana (TH1 ja TH2) tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) korkeammalla kuin ennen harjoitusta (PRE) ja 4–5 päivää harjoituksen päättymisen jälkeen (RECO). Syke esimerkiksi nousi 12,4 % PRE-jaksolta TH1-jaksolle ja laski 12,1 % TH2-jaksolta RECO-jaksolle. Syke oli korkeimmillaan TH1-jaksolla (ei tilastollisesti merkitsevää eroa TH2-jaksoon). PRE-jaksolla syke oli korkeammalla kuin RECO-jaksolla, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Aamunaikainen sykevälivaihtelu (SDNN, RMSSD, LFP, HFP ja LFP/HFP) laski harjoituksen edetessä (matalimmat arvot TH2-jaksolla), mutta tilastollisesti merkitseviä eroja ei juurikaan ollut (ainoa tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$) muutos oli LFP:n 45,7 %:n lasku PRE-jaksolta TH2-jaksolle). Harjoituksen jälkeen sykevälivaihtelu lisääntyi selvästi harjoituksen ajalta, mutta tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) lähinnä TH2-jaksolta RECO-jaksolle (lukuunottamatta RMSSD). TH2-jaksolta SDNN nousi 25,3 %, LFP 130,8 %, HFP 57,7 % ja LFP/HFP 52,5 % RECO-jaksolle. (Taulukko 8)

TAULUKKO 8. Tutkittavien aamunaikainen sykevälivaihtelu sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta) vuorokautta kohti.

Muuttuja	PRE	TH1	TH2	RECO
HR (lyöntiä/min)	54 \pm 6	61 \pm 6 *	60 \pm 6 *	53 \pm 6 †‡
SDNN (ms)	80 \pm 22	74 \pm 22	71 \pm 21	88 \pm 19 †‡
RMSSD (ms)	96 \pm 33	89 \pm 33	87 \pm 31	107 \pm 28
LFP (ms ²)	2099 \pm 1002	1587 \pm 755	1140 \pm 589 *	2630 \pm 1144 †‡
HFP (ms ²)	2420 \pm 2264	1970 \pm 1825	1770 \pm 1516	2791 \pm 1925 ‡
LFP/HFP	1,10 \pm 0,45	1,02 \pm 0,39	0,81 \pm 0,46	1,23 \pm 0,45 ‡

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, HR = syke, SDNN = N-N-intervallien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, LFP = matalan taajuuden teho, HFP = korkean taajuuden teho, LFP/HFP = matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde. (*, †, ‡) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon, † = verrataan TH1-arvoon, ‡ = verrataan TH2-arvoon.

Aamunaikaisen sykevälivaihtelun muutosten yhteydet toisiinsa. Aamunaikaisten SDNN:n, RMSSD:n, LFP:n ja HFP:n muutoksilla oli positiivista, joillain aikaväleillä vahvaakin, yhteyttä keskenään, kun tarkasteltiin muutoksia PRE-jaksolta muille jaksoille (TH1, TH2 ja RECO). Aamulla mitatun sykkeen muutoksella oli negatiivinen yhteys edellä mainittuihin muutoksiin (lukuunottamatta LFP) jokaisella aikavälillä. Kyseiset yhteydet olivat lähinnä kohtalaisia. (Taulukko 9)

TAULUKKO 9. Tutkittavien aamunaikaisen sykevälivaihtelun prosentuaalisten muutosten yhteydet toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE-TH1 N = 38	PRE-TH2 N = 25	PRE-RECO N = 32
SDNN	HR		-0.46*	-0.45*
RMSSD	HR	-0.45**	-0.57**	-0.62***
RMSSD	SDNN	0.89***	0.91***	0.88***
LFP	SDNN	0.86***	0.86***	0.76***
LFP	RMSSD	0.72***	0.68***	0.47**
HFP	HR	-0.43**	-0.40*	-0.47**
HFP	SDNN	0.80***	0.84***	0.79***
HFP	RMSSD	0.92***	0.85***	0.88***
HFP	LFP	0.64***	0.58**	0.40*
LFP/HFP	SDNN	0.36*		
LFP/HFP	RMSSD			-0.36*

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, HR = syke, SDNN = N-N-intervallien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, LFP = matalan taajuuden teho, HFP = korkean taajuuden teho, LFP/HFP = matalan ja korkean taajuuden tehon suhde. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

9.3.3 Yöunen- ja aamunaikaisen sykevälivaihtelun yhteydet toisiinsa

Yöunen- ja aamunaikaisen sykkeen muutoksilla oli positiivinen yhteys keskenään PRE-jaksolta TH1- ja RECO-jaksolle. HR-YÖ:n muutoksella oli lisäksi negatiivinen yhteys RMSSD-

AAMU:n muutokseen TH1-jaksolle mentäessä ja positiivinen yhteys HFP-AAMU:n muutokseen TH2-jaksolle mentäessä. (Taulukko 10)

TAULUKKO 10. Yöunen- ja aamunaikaisen sykevälivaihtelun prosentuaalisten muutosten yhteydet toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE-TH1 N = 32	PRE-TH2 N = 24	PRE-RECO N = 22
HR-AAMU	HR-YÖ	0.59***		0.76*
RMSSD-AAMU	HR-YÖ	-0.35*		
HFP-AAMU	HR-YÖ		0.46*	

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, HR-YÖ = yöunenaikainen syke, HR-AAMU = aamunaikainen syke, RMSSD-AAMU = aamunaikainen peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, HFP-AAMU = aamunaikainen korkean taajuuden teho. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

9.4 Hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutokset

Hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta. Veren seerumin testosteronipitoisuus, TES/COR ja IGF-1-pitoisuus laskivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) PRE-jaksolta harjoituksen eri vaiheisiin (AH, TH1 ja TH2) ja kohosivat harjoituksen eri vaiheista tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) RECO-jaksolle. PRE-jaksolta AH-jaksolle testosteronipitoisuus laski 18,7 %, TES/COR 28,8 % ja IGF-1-pitoisuus 15,5 %. TH2-jaksolta RECO-jaksolle testosteronipitoisuus nousi 24,5 %, TES/COR 33,4 % ja IGF-1-pitoisuus 21,1 %. Testosteronilla oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$) ero PRE-jaksolta RECO-jaksolle (kasvoi 10,5 %) ja TH1-jaksolta TH2-jaksolle. IGF-1-pitoisuus laski AH-jaksolta jatkuvasti TH2-jaksolle saakka (tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$) ero AH-jaksolta TH2-jaksolle). TES/COR:illa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja harjoituksen eri vaiheiden välillä. Veren seerumista mitattu kortisolipitoisuus (COR-V), SHBG-pitoisuus ja kreatiini-kinaasipitoisuus (CK) nousivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) PRE-jaksolta molemmille TH-jaksoille, ja lisäksi CK AH-jaksolle. Esimerkiksi PRE-jaksolta TH1-jaksolle COR-V-pitoisuus nousi 19,1 %, SHBG-pitoisuus 11,1

% ja kreatiinikinaasipitoisuus 94,4 %. Kyseiset muuttujat vastaavasti laskivat TH2-jaksolta RECO-jaksolle (tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) SHBG 8,0 % ja CK 22,4 %). COR-V-pitoisuus ja SHBG-pitoisuus nousivat AH-jaksolta TH-jaksoille (jotkin erot tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.05$)). Sen sijaan, CK-pitoisuus laski TH2-jaksolle tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) AH- ja TH1-jaksoilta (28,9 %:n lasku). RECO-jaksolla COR-V- ja SHBG-pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) korkeammalla kuin PRE-jaksolla (esimerkiksi COR-V-pitoisuuden nousu 26,6 %). CK-pitoisuus oli myös RECO-jaksolla korkeammalla kuin PRE-jaksolla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Syljestä mitattu kortisolipitoisuus (COR-S) oli TH2-jaksolla tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) suurempi kuin edeltävillä jaksoilla. Esimerkiksi PRE-jaksolta TH2-jaksolle COR-S-pitoisuus nousi 26,1 %. Muiden jaksojen välillä eri ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Harjoituksen aikana matalin testosteronipitoisuus ja TES/COR mitattiin TH1-jaksolla ja matalin IGF-1 TH2-jaksolla. Harjoituksen aikana korkein COR-V-, COR-S- ja SHBG-pitoisuus mitattiin TH2-jaksolla ja korkein CK-pitoisuus TH1-jaksolla. (Taulukko 11)

TAULUKKO 11. Tutkittavien hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta).

Muuttuja	PRE	AH	TH1	TH2	RECO
TES (nmol/l)	18,0 \pm 3,2	14,7 \pm 3,2 *	14,2 \pm 3,0 *	16,0 \pm 3,2 *†	19,9 \pm 3,2 **†‡
COR-V (nmol/l)	301 \pm 27	331 \pm 27	358 \pm 27 *	397 \pm 27 **†	381 \pm 27 **
TES/COR	0,061 \pm 0,014	0,043 \pm 0,010 *	0,037 \pm 0,008 *	0,040 \pm 0,009 *	0,053 \pm 0,012 **†‡
COR-S (nmol/l)	11,4 \pm 0,1	11,9 \pm 0,1	11,1 \pm 0,1	14,4 \pm 0,1 **†	
IGF-1 (nmol/l)	41,5 \pm 6,5	35,1 \pm 6,7 *	32,8 \pm 6,7 *	32,5 \pm 6,7 **	39,4 \pm 6,7 **†‡
SHBG (nmol/l)	29,0 \pm 7,5	29,5 \pm 7,5	32,2 \pm 7,3 **	34,0 \pm 7,6 **	31,3 \pm 7,7 *‡
CK (U/l)	93 \pm 34	172 \pm 63 *	180 \pm 70 *	128 \pm 48 **†	100 \pm 38 **†‡

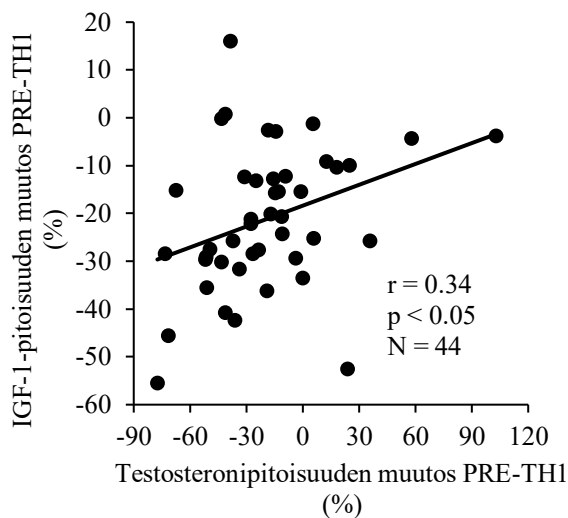
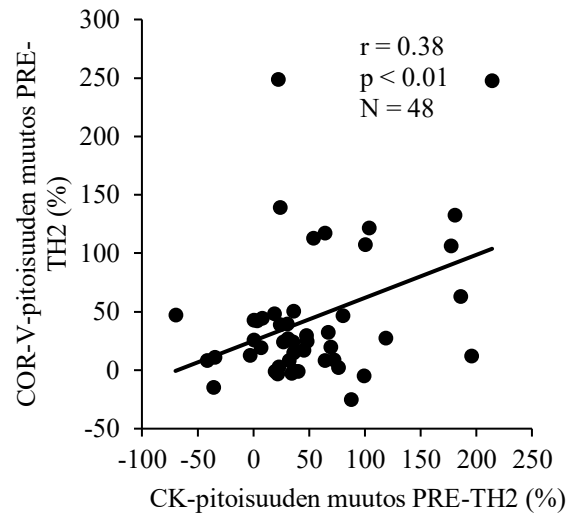
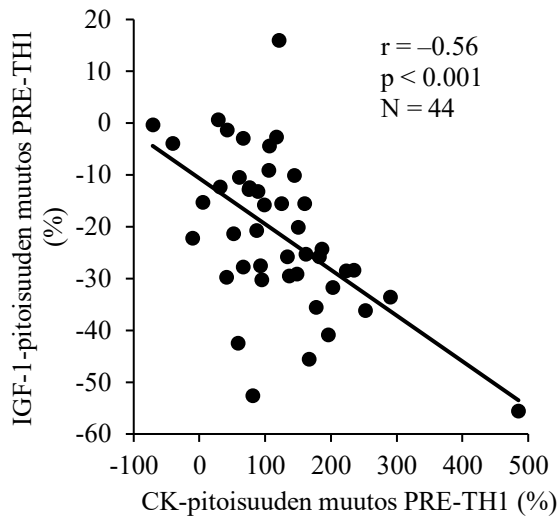
PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, TES = testosteroni, COR-V = verestä mitattu kortisoli, TES/COR = verestä mitattujen testosteronin ja kortisolien suhde, COR-S = syljestä mitattu kortisoli, IGF-1 = insuliinin kaltainen kasvutekijä 1, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiinikinaasi. (*, **, †, ‡) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon, ** = verrataan AH-arvoon, † = verrataan TH1-arvoon, ‡ = verrataan TH2-arvoon.

Hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutosten yhteydet toisiinsa. Hormonaalisilla ja aineenvaihdunnallisilla muutoksilla PRE-jaksolta muihin jaksoihin oli muutamia yhteyksiä. Yhteydet olivat pääasiassa heikkoja, mutta kohtalaisia oli muutamia (taulukko 12). Yhteyksiä oli havaittavissa eniten aikavälillä PRE–TH1. Selkeämpiä yhteyksiä (hajonta verrattain keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutosten suunta yhteneväisempää tutkittavien kesken) olivat IGF-1-pitoisuuden muutoksen positiivinen yhteys testosteronipitoisuuden ja TES/COR:n muutosten kanssa, ja negatiivinen yhteys SHBG- ja CK-pitoisuuksien muutosten kanssa. Lisäksi COR-V-pitoisuuden ja CK-pitoisuuden muutoksilla oli positiivista yhteyttä keskenään, ja se oli selkeää aikavälillä PRE–TH2. Edellä mainitusta yhteyksistä muutamia ovat esiteltyinä kuvassa 3.

TAULUKKO 12. Hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan prosentuaalisten muutosten yhteys toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE–AH N = 47	PRE–TH1 N = 44	PRE–TH2 N = 46	PRE–RECO N = 47
TES	COR-V	-0.35*	-0.31*		
SHBG	IGF-1	-0.36*		-0.41**	
CK	IGF-1		-0.56***	-0.32*	
IGF-1	COR-V		-0.36*		
IGF-1	TES/COR		0.32*	0.38*	
TES/COR	SHBG		0.41**		
COR-V	CK		0.54*** (N = 45)	0.38** (N = 48)	
TES	COR-S		0.37* (N = 36)		
IGF-1	TES		0.34*		
TES	CK				0.40**

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, TES = testosteroni, COR-V = verestä mitattu kortisoli, TES/COR = testosteronin ja kortisolin suhde, COR-S = syljestä mitattu kortisoli, IGF-1 = insuliinin kaltainen kasvutekijä 1, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiinikinaasi. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.



KUVA 3. Esimerkkikuva hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten muuttujien muutosten välistä yhteyksistä. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä, CK = kreatiinikinaasi, COR-V = verestä mitattu kortisoli, IGF-1 = insuliinin kaltainen kasvutekijä 1.

9.5 Koetun rasittuneisuuden muutokset

Koettu rasittuneisuus. RPE ja NASA-TLX nousivat PRE-jaksolta harjoituksen eri vaiheisiin (AH, TH1 ja TH2) tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$). Esimerkiksi AH-jaksolle RPE nousi 44,3 % ja NASA-TLX 66,2 % PRE-jaksolta. TH2-jaksolta RPE laski 26,9 % ja NASA-TLX laski 40,7 % RECO-jaksolle (molemmat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$)). Harjoituksen

aikana korkein RPE ja NASA-TLX mitattiin AH-jakson aikana, ja erot olivat tilastollisesti merkitseviä TH1-jaksoon verrattuna. PRE- ja RECO-jaksoilla RPE oli lähes samansuuruinen, ja jaksojen välillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. NASA-LTX käyttäytyi samalla tavalla edellä mainitulla aikavälillä. (Taulukko 13)

TAULUKKO 13. Tutkittavien koettu rasittuneisuus sotaharjoituksen aikana keskiarvoina (\pm keskihajonta) vuorokautta kohti.

Muuttuja	PRE	AH	TH1	TH2	RECO
RPE (6–20)	7 \pm 1	10 \pm 1 *	9 \pm 1 **	10 \pm 1 *	7 \pm 1 **†‡
NASA-TLX (0–100)	27 \pm 10	45 \pm 9 *	38 \pm 9 **	43 \pm 9 *	26 \pm 9 **†‡

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, RPE = koetun rasituksen taso, NASA-TLX = kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus. (*, **, †, ‡) $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero. * = verrataan PRE-arvoon; ** = verrataan AH-arvoon; † = verrataan TH1-arvoon; ‡ = verrataan TH2-arvoon.

Koetun rasittuneisuuden muutosten yhteydet toisiinsa. RPE:n ja NASA-TLX:n muutoksilla PRE-jaksolta harjoituksen eri vaiheisiin (AH, TH1 ja TH2) ja RECO-jaksolle oli positiivinen yhteys. Yhteydet olivat kohtalaisia tai heikkoja, mutta selkeitä (hajonta verrattain keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutosten suunta yhteneväisempää tutkittavien kesken). (Taulukko 14)

TAULUKKO 14. Koetun rasittuneisuuden prosentuaalisten muutosten yhteys toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE–AH N = 46	PRE–TH1 N = 46	PRE–TH2 N = 44	PRE–RECO N = 44
NASA-TLX	RPE	0.45**	0.55***	0.39**	0.45**

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, RPE = koetun rasituksen taso, NASA-TLX = kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

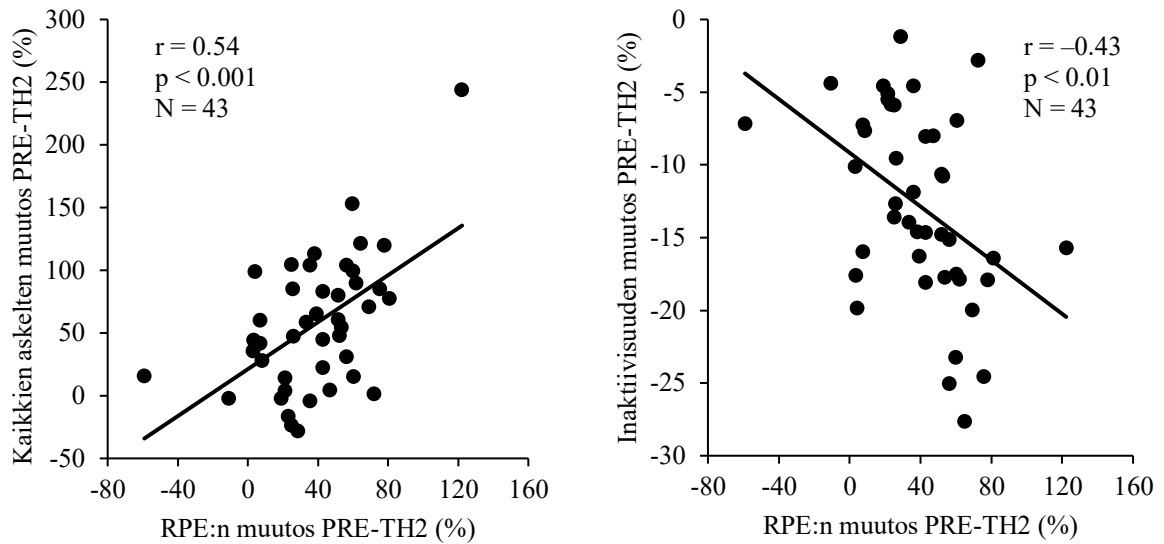
9.6 Fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteydet sykevälivaihtelun, hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan ja koetun rasittuneisuuden muutoksiin

Matalampitehoisen fyysisen aktiivisuuden (kaikki askeleet, kevyt ja kohtalainen aktiivisuus) kasvulla oli positiivista yhteyttä ja inaktiivisuuden vähenemisellä negatiivista yhteyttä koetun rasittuneisuuden (RPE ja NASA-TLX) kasvun kanssa (taulukko 15). Yhteydet olivat selkeämpiä (hajonta keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutossuunta yhteneväisempää tutkittavilla) (kuva 4).

TAULUKKO 15. Fyysisen aktiivisuuden ja kuormittuneisuuden prosentuaalisten muutosten yhteys toisiinsa eri jaksojen välillä.

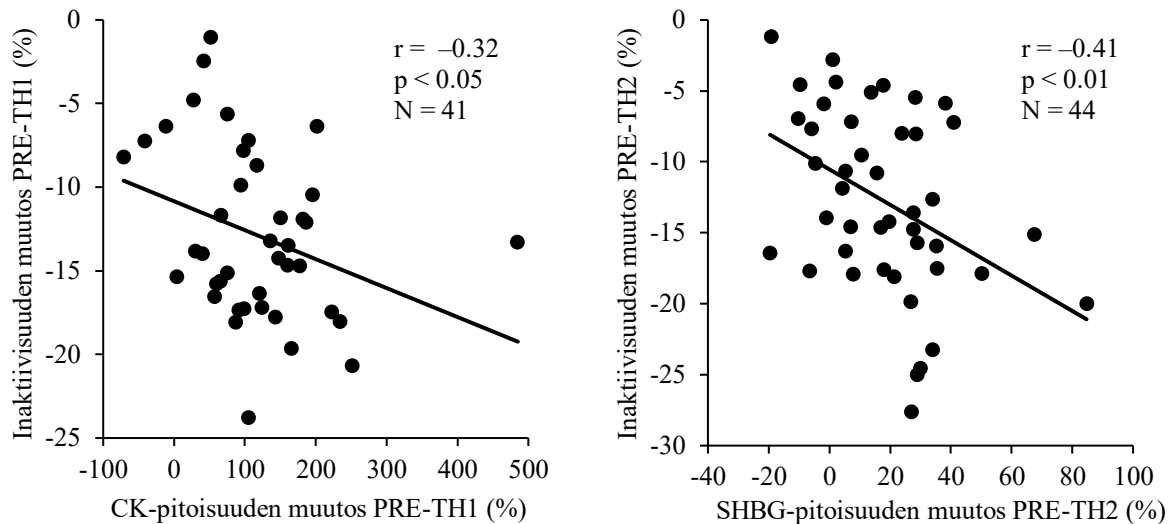
	Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE-AH	PRE-TH1	PRE-TH2
Sykevälivaihtelu	JUOKASK	HR-YÖ	-0.34* (N = 34)		
Hormonaaliset ja aineenvaihdunnalliset muuttujat	KEVAKT	TES			0.30* (N = 44)
	INAKT	CK		-0.32* (N = 41)	-0.33* (N = 44)
	RASAKT	CK	0.30* (N = 46)		
	INAKT	IGF-1			0.44** (N = 42)
Koettu rasittuneisuus	INAKT	SHBG			-0.41** (N = 44)
	KAIKASK	RPE	0.44** (N = 47)	0.49** (N = 43)	0.54*** (N = 43)
	KAIKASK	NASA-TLX		0.38* (N = 41)	0.33* (N = 41)
	KEVAKT	RPE	0.42** (N = 47)	0.31* (N = 43)	0.46** (N = 43)
	KEVAKT	NASA-TLX		0.37* (N = 41)	0.37* (N = 41)
	KOHAKT	RPE	0.41** (N = 47)	0.54*** (N = 43)	0.50** (N = 43)
	KOHAKT	NASA-TLX			0.33* (N = 41)
	INAKT	RPE	-0.37* (N = 47)	-0.41** (N = 43)	-0.43** (N = 43)
INAKT	NASA-TLX		-0.32* (N = 41)	-0.40* (N = 41)	

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, KAIKASK = kaikki askeleet, JUOKASK = juoksuaskeleet, INAKT = inaktiivisuus, KEVAKT = kevyt aktiivisuus, KOHAKT = kohtalainen aktiivisuus, HR-YÖ = yöunenaikainen syke, TES = testosteroni, IGF-1 = insuliinin kaltainen kasvutekijä 1, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiinikinaasi, RPE = koetun rasituksen taso, NASA-TLX = kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.



KUVA 4. Esimerkkikuva fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteyksistä koetun rasittuneisuuden muutoksiin. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä, RPE = koetun rasituksen taso.

Fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteydet hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin muutoksiin olivat vähäisiä (taulukko 15). Selkeimmät yhteydet (hajonta keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutossuunta yhteneväisempää tutkittavilla) olivat inaktiivisuuden vähenemisen positiivinen yhteys IGF-1-pitoisuuden vähenemisen kanssa ja negatiivinen yhteys SHBG- ja CK-pitoisuuksien nousujen kanssa. Näistä yhteyksistä pari on esitelty kuvassa 5. Testosteronipitoisuuden pääasiallisella laskulla puolestaan oli positiivinen yhteys kevyen aktiivisuuden nousun kanssa. Raskaan aktiivisuuden määrän lisääntyminen PRE-jaksolta AH-jaksolle oli puolestaan yhteydessä CK-pitoisuuden nousun kanssa. Fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteyksistä HRV:n muutoksiin ainoastaan juoksuaskeleiden määrän muutoksella oli negatiivinen yhteys HR-YÖ:n muutokseen PRE-jaksolta AH-jaksolle mentäessä. Kaikki fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteydet kuormittuneisuuden muutoksiin olivat heikkoja tai korkeintaan kohtalaisia. (Taulukko 15)



KUVA 5. Esimerkkikuva fyysisen aktiivisuuden muutosten yhteyksistä hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä, CK = kreatiinikinaasi, SHBG = sukupuoli-hormoneja sitova globuliini.

9.7 Sykevälivaihtelun muutosten yhteydet hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin

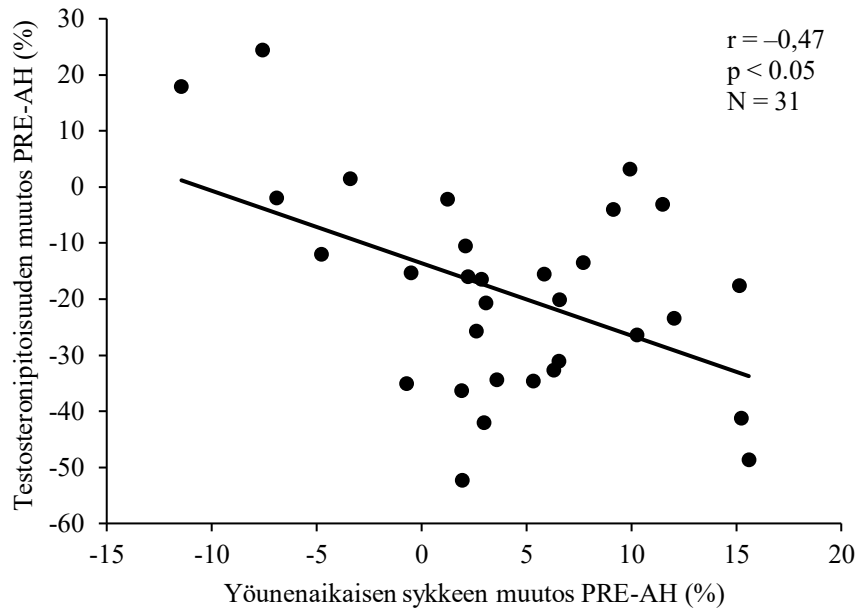
Sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksilla PRE-jaksolta muille jaksoille oli joitain yhteyksiä keskenään. Esimerkiksi verestä mitatun kortisolipitoisuuden (COR-V) nousulla oli positiivinen yhteys sekä yöunenaikaisen (HR-YÖ), että aamulla mitatun sykkeen (HR-AAMU) nousun kanssa useammalla aikavälillä. Yöunenaikaisista mittauksista ainoastaan HR-YÖ:n muutoksella havaittiin olevan joitain yhteyksiä hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin, ja nämäkin olivat pääasiassa vain kohtalaisia yhteyksiä. Esimerkiksi testosteronipitoisuuden muutoksella (keskimääräisesti laski) ja syljestä mitatulla kortisolipitoisuudella (COR-S) oli negatiivinen yhteys HR-YÖ:n (keskimääräisesti nousi) muutokseen tietyllä aikavälillä. Sen sijaan CK-pitoisuuden (keskimääräisesti nousi) muutoksella oli positiivinen yhteys HR-YÖ:n muutokseen. Aamulla mitattujen HRV-muuttujien muutoksilla oli enemmän yhteyksiä hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin. Esimerkiksi TES/COR:n ja SHBG-pitoisuuden muutoksilla oli positiivi-

nen yhteys RMSSD-AAMU:n ja HFP-AAMU:n muutoksiin. Sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutosten väliset yhteydet olivat kohtalaisia tai heikkoja. (Taulukko 16) Ainoa selkeä (hajonta keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutossuunta yhteneväisempää tutkittavilla) yhteys oli HR-YÖ:n muutoksen yhteys testosteronin muutokseen PRE-jaksolta AH-jaksolle (kuva 6).

TAULUKKO 16. Sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan prosentuaalisten muutosten yhteys toisiinsa eri jaksojen välillä.

Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE-AH	PRE-TH1	PRE-TH2	PRE-RECO
HR-YÖ	TES	-0.47* (N = 31)			
	COR-V		0.43** (N = 36)	0.43* (N = 31)	0.75*** (N = 25)
	TES/COR				-0.47* (N = 25)
	COR-S	-0.40* (N = 25)			
HR-AAMU	CK		0.40* (N = 36)		
	COR-V		0.54*** (N = 37)	0.46* (N = 25)	0.67*** (N = 31)
	SHBG		-0.52** (N = 37)		-0.47** (N = 31)
RMSSD-AAMU	CK		0.44** (N = 37)	0.42* (N = 25)	
	COR-V				-0.38* (N = 31)
	TES/COR		0.33* (N = 36)		
HFP-AAMU	SHBG		0.34* (N = 37)		0.41* (N = 31)
	TES/COR		0.42* (N = 36)		
	SHBG		0.41* (N = 37)		

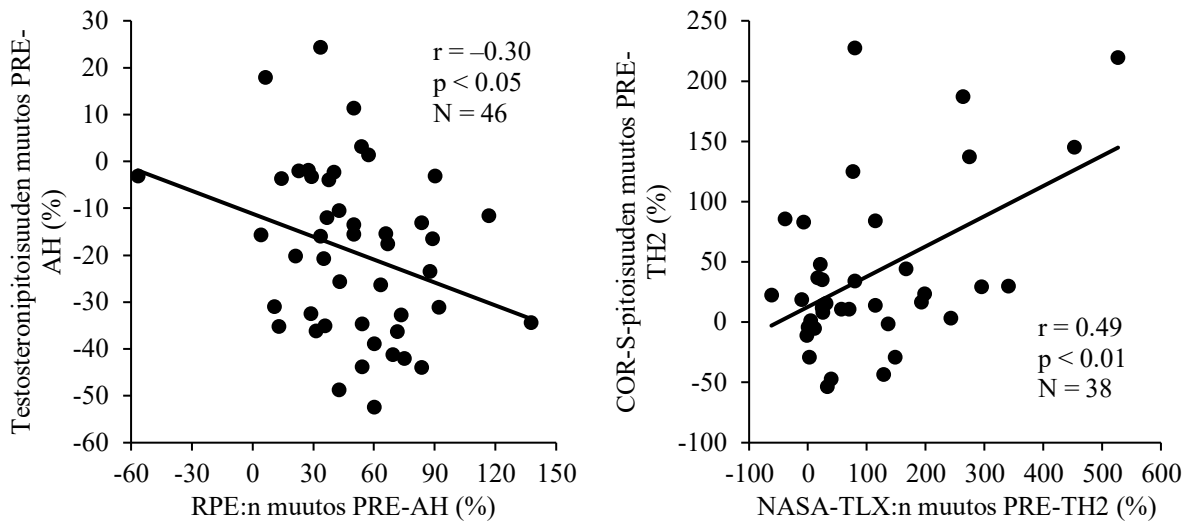
PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, HR-YÖ = yöunenaikainen syke, HR-AAMU = aamunaikainen syke, RMSSD-AAMU = aamunaikainen peräkkäisten sykevälien neliöllinen keskiarvo, HFP-AAMU = aamunaikaisen korkean taajuuden teho, TES = testosteroni, COR-V = verestä mitattu kortisoli, TES/COR = testosteronin ja kortisolin suhde, COR-S = syljestä mitattu kortisoli, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiinikinaasi. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.



KUVA 6. Yöunenaikaisen sykkeen muutoksen yhteys testosteronipitoisuuden muutokseen PRE-jaksolta AH-jaksolle. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumaharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä.

9.8 Koetun rasittuneisuuden muutosten yhteydet sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin

Koetun rasittuneisuuden muutokset korreloivat erittäin vähän oli sykevälivaihtelun ja hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin. Sykevälivaihtelun muuttujista LFP/HFP-YÖ:n muutoksella (keskimäärin nousi) oli positiivinen yhteys RPE:n muutoksen kanssa PRE-jaksolta AH-jaksolle mentäessä ($r = 0.36$, $p < 0.05$, $N = 34$). Selkeämpiä (hajonta keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutossuunta yhteneväisempää tutkittavilla) olivat yhteydet hormonitoimintaan. Testosteronipitoisuuden muutoksella (keskimäärin laski) oli negatiivinen heikko yhteys RPE:n muutoksen kanssa PRE-jaksolta AH-jaksolle ja COR-S-pitoisuuden muutoksella (keskimäärin nousi) oli positiivinen kohtalainen yhteys NASA-TLX:n muutoksen (keskimäärin nousi) kanssa PRE-jaksolta TH2-jaksolle (kuva 7).



KUVA 7. Koetun rasittuneisuuden muutosten yhteydet hormonitoiminnan muutoksiin. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumaharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä, COR-S = syljestä mitattu kortisoli, RPE = koetun rasituksen taso, NASA-TLX = kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus.

9.9 Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet kuormittuneisuuteen

Kestävyyskunnolla (12 minuutin juoksutesti), painoindeksillä ja rasvaprosentilla oli joitain yhteyksiä etenkin hormonitasojen ja aineenvaihdunnan muutoksiin. Esimerkiksi painoindeksillä ja rasvaprosentilla oli positiivinen yhteys testosteronipitoisuuden ja TES/COR:n muutoksiin joillain aikaväleillä. Sen sijaan, 12 minuutin juoksutestin tuloksella oli negatiivinen yhteys TES/COR:n muutokseen joillain aikaväleillä. Kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella oli hyvin vähän yhteyttä sykevälivaihtelumuuttujiin. Esimerkiksi LFP/HFP-AAMU:n muutoksella PRE-jaksolta TH1-jaksolle oli positiivinen yhteys 12 minuutin juoksutestin tulokseen ja negatiivinen rasvaprosenttiin. Kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella ei ollut yhteyttä koettuun rasittuneisuuteen (RPE ja NASA-TLX) AH- tai TH-jaksoille. Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet kuormittuneisuuteen olivat pääasiassa heikkoja ja enintään kohtalaisia. (Taulukko 17) Ainoa selkeämpi yhteys (hajonta keskittyneempää, ei suuresti poikkeavia tuloksia, muutossuunta yhteneväisempää tutkittavilla) oli 12 minuutin juoksutestin tuloksen yhteys

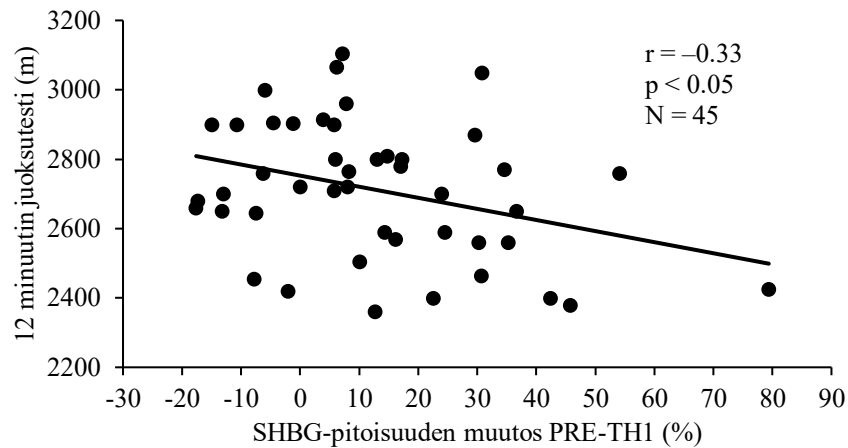
SHBG-pitoisuuden muutokseen PRE-jaksolta TH1-jaksolle (kuva 8). Tämän mukaan mitä huonompi 12 minuutin juoksutestin tulos oli, sitä enemmän SHBG-pitoisuus nousi harjoituksen aikana kyseisellä aikavälillä.

TAULUKKO 17. Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteys kuormittuneisuuteen.

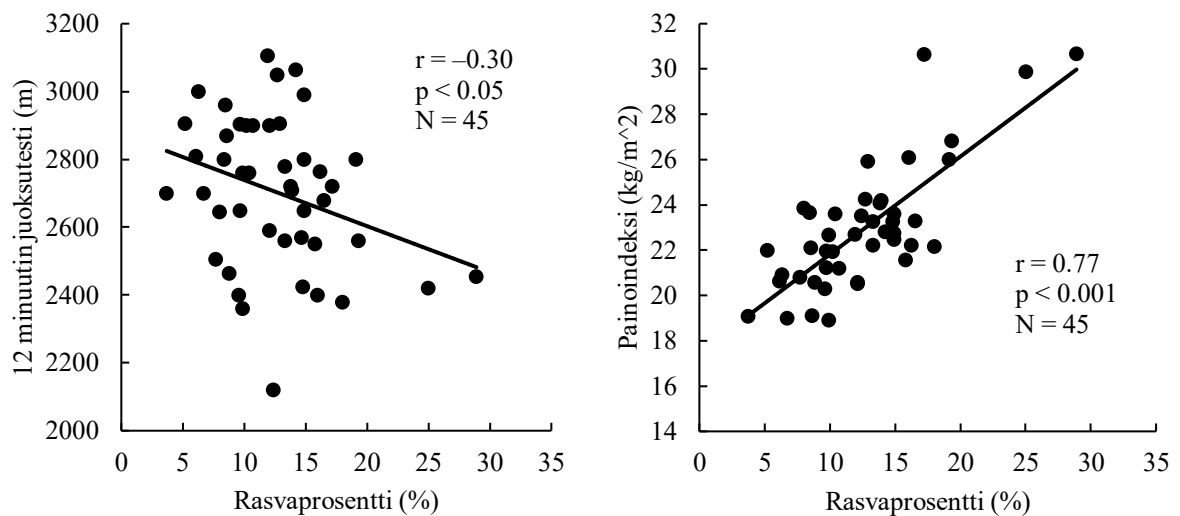
Muuttuja 1 (m-%)	Muuttuja 2 (m-%)	PRE-AH	PRE-TH1	PRE-TH2	PRE-RECO
BMI	TES		0.40** (N = 41)	0.46** (N = 44)	0.42** (N = 43)
	TES/COR		0.34* (N = 41)		
	CK				0.34* (N = 43)
	NASA-TLX				0.33* (N = 41)
Rasva%	TES		0.42** (N = 41)		0.41** (N = 43)
	TES/COR		0.34* (N = 41)		
	LFP/HFP-AAMU		-0.38* (N = 34)		
12 minuutin juoksutesti	LFP/HFP-YÖ	-0.36* (N = 34)			
	LFP/HFP-AAMU		0.37* (N = 38)		0.47** (N = 32)
	SHBG		-0.33* (N = 45)		
	TES/COR			-0.34* (N = 48)	-0.37* (N = 47)
	HR-AAMU				0.39* (N = 32)

PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, N = tutkittavien määrä, m-% = prosentuaalinen muutos, BMI = painoindeksi, Rasva% = rasvaprosentti, LFP/HFP-YÖ = yöunenaikainen matalan ja korkean taajuuden tehojen suhde, LFP/HFP-AAMU = aamunaikainen matalan ja korkean taajuuden suhde, HR-AAMU = aamunaikainen syke, TES = testosteroni, TES/COR = testosteronin ja kortisolien suhde, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiiniini, NASA-TLX = Kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

Kestävyyskunnan yhteys kehonkoostumukseen. Rasvaprosentilla oli yhteys kehon painoindeksiin ja kestävyyskuntoa arvioivaan 12 minuutin juoksutestiin. 12 minuutin juoksutestin tulos oli keskimäärin sitä parempi, mitä pienempi oli rasvaprosentti ($r = -0.30$, $p < 0.05$, $N = 45$). Rasvaprosentti puolestaan oli sitä suurempi, mitä suurempi oli painoindeksi ($r = 0.77$, $p < 0.001$, $N = 45$). (Kuva 9) 12 minuutin juoksutestillä ja kehon painoindeksillä ei ollut yhteyttä toisiinsa.



KUVA 8. 12 minuutin juoksumatkan tuloksen yhteys SHBG-pitoisuuden muutokseen PRE-jaksolta TH1-jaksolle. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini.

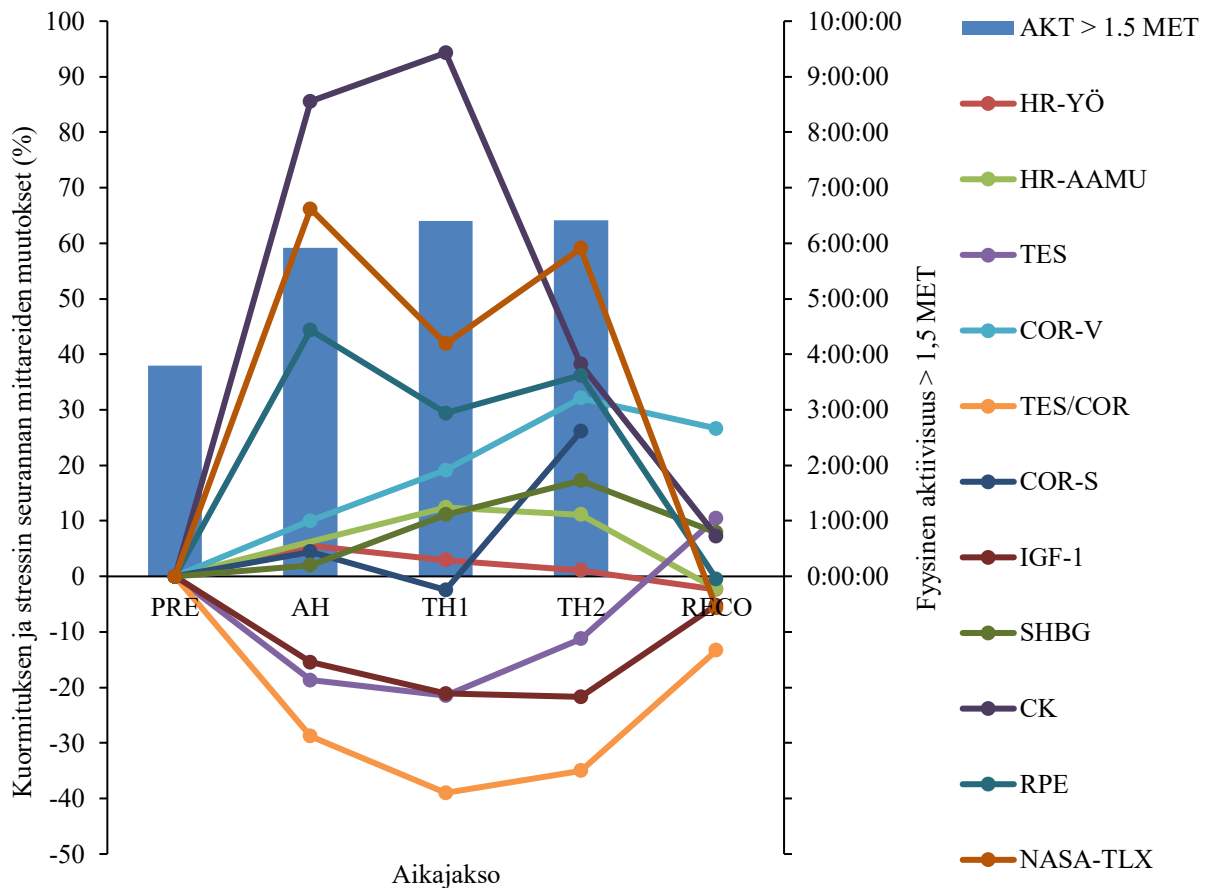


KUVA 9. Rasvaprosentin yhteys Cooperin testin tulokseen ja kehon painoindeksiin. r = Pearsonin korrelaatiokerroin, p = tilastollinen merkitsevyys, N = tutkittavien määrä.

9.10 Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutokset tiivistetysti

Kuormittuneisuus sotaharjoituksessa on kuvattu kuvassa 10 sellaisten muuttujien osalta (yöunen- ja aamunaikainen syke, hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta, sekä koettu

rasittuneisuus), joilla oli useampia tilastollisesti merkitseviä eroja PRE-jaksolta harjoituksen eri vaiheisiin (AH, TH1 ja TH2). Kuvassa 10 on esitetty prosentuaaliset muutokset lähtötasosta eli PRE-jaksosta harjoituksen muihin jaksoihin (AH, TH1, TH2 ja RECO), sekä fyysisen aktiivisuuden (yli 1,5 MET) konkreettiset arvot jaksoittain.



KUVA 10. Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutokset sotaharjoituksen aikana. PRE = 1–2 vuorokautta ennen harjoitusta, AH = ampumarjoitusjakso, TH1 = 1. taisteluharjoitusjakso, TH2 = 2. taisteluharjoitusjakso, RECO = 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen, AKT > 1,5 MET = fyysinen aktiivisuus yli 1,5 MET:n aktiivisuusalueella, HR-YÖ = yöunenaikainen syke, HR-AAMU = aamunaikainen syke, TES = testosteroni, COR-V = verestä mitattu kortisoli, TES/COR = testosteronin ja kortisolin suhde, COR-S = syljestä mitattu kortisoli, IGF-1 = insuliinin kaltainen kasvutekijä 1, SHBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, CK = kreatiinkinaasi, RPE = koetun rasituksen taso, NASA-TLX = Kuormittuneisuuden tuntemuksen voimakkuus.

10 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia muutoksia kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aiheuttama stressi aiheutti sykevälivaihteluun, hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin vasteisiin ja koettuun rasittuneisuuteen varusmiespalvelustaan suorittavilla nuorilla suomalaisilla miehillä. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, kuinka muutokset olivat yhteydessä toisiinsa, ja oliko kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä muutoksiin.

10.1 Kuormituksen ja stressin lisääntyminen harjoituksen aikana ja palautuminen harjoituksesta

Sotaharjoituksen aikana yöunen- ja aamunaikainen syke, kortisoli, SHBG, CK, RPE ja NASA-TLX nousivat, kun taas testosteroni, TES/COR ja IGF-1 laskivat (kuva 10). Huomioitavaa oli, että edellä mainituissa muuttujissa muutokset PRE-jaksolta muille harjoitusjaksoille (AH, TH1 ja TH2) eivät aina olleet tilastollisesti merkitseviä. Harjoituksen edetessä osa muuttujista nousi jatkuvasti ja sai vasta TH-jaksojen aikana tilastollisen merkitsevyyden, kun taas joissain ero oli merkitsevä jo AH-jaksoon.

Sotaharjoituksen tiedetään aiheuttavan akuuttia ja/tai kroonista stressiä (Lieberman ym. 2016). Stressiä aiheuttavia tekijöitä sotaharjoituksessa ovat esimerkiksi fyysinen rasitus, kognitiiviset tehtävät, ympäristölliset tekijät, univaje, energiavaje ja psyykkiset tekijät (Ojanen ym. 2018a ja 2018c). Sotaharjoituksen aiheuttaman stressin tiedetään näkyvän muutoksina kehon hormoni-toiminnassa (Ojanen ym. 2018c, Ponce ym. 2023, Salosen ym. 2019) ja aineenvaihdunnallisessa toiminnassa (Ojanen ym. 2018b, Ponce ym. 2023). Esimerkiksi selkeä energiavaje häiritsee endokriinisen järjestelmän homeostaasia voiden aiheuttaa muutoksia hormonitoimintaan. (Henning ym. 2014) Tässä tutkimuksessa tehdyt löydökset hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan (taulukko 11), koetun rasittuneisuuden (taulukko 13) ja fyysisen aktiivisuuden (taulukko 5) muutosten puolesta olivat samansuuntaisia kuin Ojasen ym. (2018a, 2018b ja 2018c) tekemissä tutkimuksissa samankaltaiseen sotaharjoitukseen liittyen. Tuolloinkin veren testosteronipitoisuus laski (Ojanen ym. 2018c) ja IGF-1-pitoisuus laski (Ojanen ym. 2018b ja Ojanen 2018c), kun taas kortisolipitoisuus nousi (Ojanen ym. 2018c), SHBG-pitoisuus nousi (Ojanen ym. 2018c), CK-pitoisuus nousi (Ojanen ym. 2018b) ja RPE nousi (Ojanen ym. 2018a).

Hormonitasojen ja aineenvaihdunnan muutokset ovat myös linjassa Poncen ym. (2023) ja Salosen ym. (2019) sotaharjoituksiin liittyvien tutkimusten tulosten kanssa.

Tässä tutkimuksessa kolmen viikon mittainen sotaharjoitus nosti etenkin kevyttehoisen fyysisen aktiivisuuden (1,5–3 MET) ja kohtalaisen raskaan fyysisen aktiivisuuden (3–6 MET) määrää muuhun varusmiespalvelukseen nähden (taulukko 5). Samankaltaisessa sotaharjoituksessa vastaavaa havaittiin myös Ojasen ym. (2018a) tutkimuksessa. Sotilaan tehtävien tiedetään olevan monipuolisia (Pihlainen ym. 2018a) sisältäen kuitenkin pääasiassa matalaintensiteettistä fyysistä aktiivisuutta (Kyröläinen ym. 2021, 13), jossa palautumisajat voivat vaihdella eri tehtävien ja marssien välissä ja jälkeen (Santtila ym. 2015). Esimerkiksi noin 7 km/h kävelynopeuden arvioidaan nostavan MET-arvon reiluun 5:een (Jetté ym. 1990). Sotaharjoituksessa oli hyvin vähän raskasta fyysistä aktiivisuutta, jolloin MET-arvo on yli 6. Esimerkiksi Jettén ym. (1990) mukaan hölkkääminen nopeudella 9 km/h nostaisi MET-arvon noin 9:ään. Retkeillä puolestaan käveleminen reilun 6 km/h:n nopeudella 5 %:n nousukulmaan 20 kg:n painoista kuormaa kantaen nostaisi MET-arvon noin 8:aan (Jetté ym. 1990). Fyysisen aktiivisuuden nousulla havaittiin yhteys etenkin koettuun rasittuneisuuteen (taulukko 15 ja kuva 4), mikä tuntui loogiselta. Kokonaiskuormituksen nousulla eli inaktiivisuuden vähenemisellä (> 1,5 MET) oli selkeämpää yhteyttä veren CK-, IGF-1- ja SHBG-pitoisuuksien muutosten kanssa (kuva 5), mutta vasta harjoituksen loppuvaiheelle eli välillä PRE-TH2. Tämä voisi kieliä siitä, että harjoituksen edetessä fysiologinen stressi alkoi näyttäytyä tutkittavilla keskimäärin enemmän ja enemmän. Yhteydet olivat odotettuja, sillä esim. Ojanen ym. (2018b) totesi veren IGF-1-pitoisuuden lisääntyvän ja Brancaccio ym. (2007) CK-pitoisuuden lisääntyvän jo pelkän fyysisen kuormituksen takia. HRV-muuttujiin ei sen sijaan löytynyt yhteyttä, mikä herättää kysymysmerkkejä mm. HRV-mittausten onnistumisen suhteen. Tämän tutkimuksen perusteella fyysisen kuormituksen lisääntyminen yksittäisenä tekijänä ei heikentäisi HRV:tä.

Tudor-Locken ym. (2008) mukaan yksilön voidaan luokitella olevan fyysisesti aktiivinen, kun hänelle kertyy 10000 askelta vuorokaudessa. Kuvassa 1 on havainnollistettu kaikkien askelten määrän, sekä aktiivisuuden määrän jakautuminen jaksoittain harjoituksen aikana. Lisäksi kuvassa 2 on nähtävillä, kuinka askelten määrä vaihteli keskimäärin päivittäin harjoituksen aikana. Voidaan havaita, että useana vuorokautena kaikkien askelten määrä oli ollut keskimäärin alle 10000 askelta. Toki tämä sisälsi paljon vaihtelua riippuen tutkittavasta. Suuri hajonta voi selittyä esimerkiksi erilaisilla sotatehtävillä ja/tai mittaukseen liittyvillä virheillä. Askelten

määrän puolesta harjoitus ei vaikuttanut olevan joka päivä fyysisesti kovinkaan raskas. Huomiointavaa on kuitenkin se, että sotaharjoitukseen kuuluvat kuormien kantamiset ym. toiminta lisää kuormituksen määrää. Lisäksi voidaan arvioida, että esimerkiksi kovapanosammunnat nostanevat etenkin psyykkisen stressin määrää, kun taas harjoituksen aikana toteutetut fyysisen kunnon testit voivat nostaa fyysisen stressin määrää. Joka tapauksessa harjoituspäivä voi olla fyysisesti ja psyykkisesti selvästi kuormittava, vaikka tuota mainittua 10000 askelta ei vuorokaudessa ylitettäisikään.

Sotaharjoituksen voidaan todeta lisänneen tutkittavien fysiologista stressiä tässä tutkimuksessa. Tiedetään, että stressiä aiheuttavien tekijöiden läsnäolo voi johtaa HPA-akselin aktivoitumiseen (Lieberman ym. 2016). HPA-akselin aktivoituminen johtaa kortisolin tuotantoon ja testosteronin tuotannon heikkenemiseen, sekä sympaattisen hermoston toiminnan lisääntymiseen, joka näkyy mm. sydämen sykkeen nousuna (Lieberman ym. 2016). Testosteronin tiedetään osallistuvan kehossa anabolisiin prosesseihin, joista tärkeimpänä on edistää lihasten kasvua (Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998; Salonen ym. 2019). Myös IGF-1 osallistuu anabolisiin prosesseihin, esimerkiksi lihasten kasvuun (Florini ym. 1996), luun terveyteen (Nicholls & Holt 2016) ja aivotoimintaan (Dyer ym. 2016). Kortisolin puolestaan tiedetään osallistuvan kehossa mm. erilaisiin hajotusprosesseihin esimerkiksi inhiboimalla lihasten rakennusprosessia (El-Farhan ym. 2017, Hiller-Sturmhöfel & Bartke 1998) ja CK-pitoisuuden tiedetään kasvavan verenkierrossa mm. lihaskudoksen vaurioissa raskaan harjoitusjakson aiheuttaman metabolisen ja/tai mekaanisen stressin seurauksena (Brancaccio ym. 2007). Kun keho kohtaa pitemmällä aikavälillä kovaa fyysistä ja/tai psyykkistä kuormitusta, veren testosteronipitoisuus voi laskea johtaen samalla SHBG-pitoisuuden nousuun. Kun samaan aikaan veren kortisolipitoisuus nousee, kehon voidaan arvioida ajautuneen katabolisempaan tilaan. (Salonen ym. 2019) Edellä mainittujen muutosten mukaan luonnollisesti TES/COR laskee myös, ja tämän tiedetään myös kertovan kataboliasta (Urhausen ym. 1995). CK-pitoisuuden nousu ja IGF-1-pitoisuuden lasku kielivät myös kehon ajautuneen katabolisempaan tilaan. Tässä tutkimuksessa kävi juuri edellä mainitun kaltaisesti. Voidaankin arvioida, että sotaharjoituksen aiheuttama fyysinen ja/tai psyykkinen stressi ja kuormitus ajoi tutkittavia katabolisempaan suuntaan. Lisäksi joidenkin hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten muuttujien muutoksilla havaittiin joillain aikaväleillä yhteyksiä keskenään (taulukko 12). Monet yhteydet olivat kuitenkin epäselviä. Selkeämpiä olivat CK-pitoisuuden muutoksen yhteys kortisoli- ja IGF-1-pitoisuuksien muutoksiin, sekä testosteronipitoisuuden muutoksen yhteys ja IGF-1-pitoisuuden muutokseen (kuva 3). Nämä yhteydet olivat hyvin odotettuja.

Tässä tutkimuksessa sykkeen käyttäytymisestä voidaan tehdä jonkinlaisia päätelmiä siihen suuntaan, että tutkittavien fysiologinen stressi kohosi sotaharjoituksen aikana (taulukot 6 ja 8). Tiedetään, että sykkeen nousu kertoo sympaattisen hermoston aktiivisuuden lisääntymisestä suhteessa parasympaattiseen hermostoon (esimerkiksi Yamanaka 2015, Yoshida 2018), koska sympaattinen hermosto kiihdyttää toimintoja ja parasympaattinen hermosto rauhoittaa toimintoja (Schuurmans ym. 2020). Vaikuttaa siis siltä, että autonomisen hermoston tasapainossa tapahtui muutos. Koska tiedetään, että stressi aiheuttaa sympaattisen hermoston aktivoitumisen (Schuurmans ym. 2020) ja sykkeen nousun, vahvistuu käsitys, että tässä tutkimuksessa fysiologinen stressi näkyi hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutosten lisäksi myös autonomisen hermoston toiminnassa. Nämä tukevat toisiaan, sillä tiedetään, että HPA-akselin aktivoituminen johtaa kortisolien tuotantoon ja testosteronin tuotannon heikkenemiseen, sekä sympaattisen hermoston toiminnan lisääntymiseen, joka näkyy mm. sydämen sykkeen nousuna (Lieberman ym. 2016). HPA-akseli yhdessä sympaattisen hermoston aktivoitumisen kanssa vastaa elimistön taistele tai pakene -reaktiosta (Terburg ym. 2009).

Autonomisen hermoston toiminnan muutoksilla havaittiin joitain yhteyksiä hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan muutoksiin (taulukko 16) sotaharjoituksessa. Ainoa selkeä yhteys kuitenkin oli testosteronipitoisuuden muutoksen yhteys yöunenaikaisen sykkeen muutokseen, ja tämäkin koski ainoastaan aikaväliä PRE–AH. Esimerkiksi kortisoli- ja CK-pitoisuuksien yhteydet aamulla mitatun HRV:n aikamuuttujiin sisälsivät poikkeavan tuloksen, joka mahdollisti yhteyden, joten niistä ei vedetty sen suurempia johtopäätöksiä tässä tutkimuksessa. Aiemmin on löydetty negatiivinen yhteys syljen kortisolipitoisuuden ja RMSSD:n väliltä armeijaympäristön kognitiivisissa tehtävissä (Johnsen ym. 2012), mutta tuolloin tarkasteltiin absoluuttisia arvoja, ei muutoksia. Aamulla mitattujen RMSSD:n ja HFP:n muutosten yhteydet olivat tilastollisesti merkitseviä joidenkin aikavälien kohdalla TES/COR:n ja SHBG-pitoisuuden muutoksiin, mutta koska muutosten suunta tutkittavien kesken oli erittäin hajallaan, näistäkään ei lähdetä vetämään johtopäätöksiä. RMSSD:n ja TES/COR:n yhteys on todettu aiemmin (DeBlauw ym. 2012). Tuolloin yksilöllisten erojen takia tutkijat peräänkuuluttivat, että autonomisen hermoston toiminnan muuttumisella ei suoraan voida päätellä, millaisia muutoksia hormonitoiminnassa samanaikaisesti tapahtuu. Myös HFP:n ja TES/COR:n välinen yhteys on löydetty aiemmin (Huovinen ym. 2009).

HRV-muuttujien käyttäytymisestä ei voida tehdä johtopäätöksiä stressin lisääntymiseen liittyen, koska tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei juurikaan tapahtunut harjoituksen aikana ja

koska muutokset menivät ristiin (taulukot 6 ja 8). Elimistön kohdatessa stressiä aiemman tiedon perusteella esimerkiksi RMSSD:n ja HFP:n tulisi laskea ja LFP/HFP:n nousta (Järvelin-Pasanen ym. 2018). Aamulla tehdyissä mittauksissa HRV-muuttujien muutosten suunta oli hypoteesin kaltainen (lukuunottamatta LFP:n laskua), mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Yöunenaikaisissa mittauksissa puolestaan kaikki muuttujat kasvoivat (eivät kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi), mikä on ristiriidassa sen kanssa, miten stressitekijät vaikuttavat HRV-muuttujiin. HRV-muuttujien tuloksiin voi tässä tutkimuksessa vaikuttaa heikkolaatuinen sykedata, joka on suuri virhettä aiheuttava tutkimuksen kannalta. Yöunenaikaisten HRV-muuttujien muutoksilla oli selkeää ja paikoittain vahvaa yhteyttä keskenään, samoin aamulla mitatuissa HRV-muuttujissa, kuten oletettua oli mm. Task Forcen (1996) mukaan. Yöunen- ja aamunaikaisilla HRV-muuttujilla ei puolestaan ollut lainkaan yhteyttä keskenään, ja ainoastaan yöunen- ja aamunaikaisten sykkeiden muutoksilla tietyillä aikaväleillä oli yhteys. Tämä voisi kieliä joko siitä, autonomisen hermoston tila on ollut hyvin erilainen yöunen aikana kuin aamulla tai siitä, että sykedatoissa on selviä virheitä.

Tutkittavien kokeman rasittuneisuuden tason (RPE:n ja NASA-TLX:n nousu) seuraaminen (taulukko 13) sotaharjoituksen aikana tarjosi tietoa siitä, kuinka subjektiivinen stressi voi kulkea käsi kädessä objektiivisesti mitattujen stressin seurannan markkereiden kanssa. RPE ja NASA-TLX olivat lisäksi kohtalaisesti yhteydessä keskenään (taulukko 14). Tutkittavien itse arvioiman kuormituksen, RPE:n, muutoksella oli yhteys yöunenaikaisen LFP/HFP:n muutokseen ja testosteronipitoisuuden muutokseen, ja NASA-TLX:n muutoksella oli yhteys COR-S-pitoisuuden muutokseen (kuva 7). Huomioitavaa oli, että yhteydet olivat heikohkoja. Aiemmin on myös löydetty yhteys objektiivisesti mitatun kuormituksen (sykkeen muutokset) ja RPE-kyselyn väliltä seurantajaksolla (Gibson ym. 2023). Löydökset voinevat vahvistaa käsitystä siitä, että koetulla rasittuneisuudella voidaan arvioida hieman fysiologisen stressin määrää. Huomattavaa kuitenkin on, että yhteydet olivat heikkoja tai kohtalaisia. Varmasti oleelliseen asemaan nousee se, että tutkittavat osaavat arvioida rasittuneisuutensa mahdollisimman hyvin. Tämä vaatinee hyvää itsetuntemusta. Tutkimusta on myös sen puolesta, että korkeampi yksilön kokema stressi on ollut sitä korkeampaa, mitä korkeampaa oli ollut objektiivisesti HRV:n avulla mitattu stressin määrä, ja sitä huonommin HRV palautui (Föhr ym. 2015). Esimerkiksi Gilesin ym. (2019) mukaan sotaharjoituksessa koetun rasituksen nousu voi johtua heikon ravitsemuksen muodostaman kalorivajeen myötä, kun mieliala heikkenee. Todennäköistä tässä tutkimuksessa oli, että koettu rasittuneisuus nousi vähäisen unen, fyysisen kuormituksen ja sotatehtävän eri stressoreiden seurauksena.

Tässä tutkimuksessa sotaharjoituksen sisältämä fyysisen kuormituksen lisääntyminen (taulukko 5) yhdistettynä vähäiseen unen määrään (taulukko 4) ja sotatehtävien kuormittavaan psyykkiseen luonteeseen olivat selkeitä stressiä aiheuttavia tekijöitä. Esimerkiksi veren IGF-1-pitoisuus voi laskea fyysisesti raskaissa sotilaallisissa harjoituksissa Friedlin ym. (2000) mukaan ravitsemuksellisen energiavajeen takia ja Nindlin ym. (2003) mukaan energiavajeen lisäksi univajeen takia. Tässä tutkimuksessa tutkittavat nukkuivat varsin vähän. Tämä voi aiheuttaa veren IGF-1-pitoisuuden laskua, mutta myös esimerkiksi kortisolipitoisuuden tiedetään nousevan (Reynolds ym. 2012) ja testosteronipitoisuuden laskevan (Leproult & Van Cauter 2011) univajeen takia, kun se aiheuttaa fysiologisen stressireaktion johtaen HPA-akselin aktivoitumiseen (Reynolds ym. 2012). Univajeella on siis vaikutuksensa hormonitoimintaan. Univaje vaikuttaa myös luonnollisesti autonomiseen hermoston toimintaan lisäten sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja toisaalta vaimentaen parasympaattisen hermoston aktiivisuutta (Bourdillon ym. 2021). Tällöin voidaan havaita muutoksia taajuusmuuttujissa ja RMSSD:n pienenemistä (Bourdillon ym. 2021). Vähäinen yöunen määrä voi siis aiheuttaa selvästi stressiä, mikä voi näkyä sekä hormonaalisessa ja aineenvaihdunnallisessa toiminnassa, että autonomisessa hermostossa HRV-muuttujissa. Tässä tutkimuksessa univajeella voidaan ajatella olevan jonkinlainen vaikutus fysiologisen stressi ilmenemiseen.

Kuitenkin pohdittavaksi jää, lisäsikö vähäisen unen määrä tässä tutkimuksessa fysiologista stressiä. Tutkittavat nimittäin nukkuivat ennen harjoitusta ja harjoituksen jälkeen vähintään saman verran kuin keskimäärin harjoituksen aikana (taulukko 4). TH1-jakson suurempi unen määrä selittyy käytännössä kahdella yöllä (28.5. ja 3.6.), joina tutkittavat saivat nukkua pitempään. Ensimmäinen yö ajoittui ammutestien jälkeiselle yölle ja jälkimmäinen yö ammutestien ja fyysisen kunnon testien jälkeiselle yölle. Edellä mainittuina vuorokausina harjoitus oli kevyempää, koska sai nukkua enemmän ja muutenkin fyysistä aktiivisuutta ei ollut niin paljoa, kuten esimerkiksi kuvasta 2 nähdään.

Kuormituksen ja stressin määrä vaikuttivat paikoitellen kasaantuvan jatkuvasti suuremmaksi harjoituksen edetessä, sillä esimerkiksi verestä mitattu kortisolipitoisuus nousi harjoituksen edetessä jatkuvasti TH2-jaksolle. Myös syljen kortisolipitoisuus nousi TH2-jaksolle selvästi. Lisäksi SDNN-AAMU ja RMSSD-AAMU ja veren IGF-1-pitoisuus laskivat jatkuvasti harjoituksen edetessä (ei kuitenkaan aina tilastollisesti merkitsevää laskua), mikä vahvistaisi käsityksen stressin kasaantumisesta. Sen sijaan, yöunen ja aamun sykkeiden perusteella tällaista ku-

muloitumista ei ollut nähtävissä, eikä liioin HRV-YÖ:n muuttujilla, tai HRV-AAMU:n taajuusmuuttujilla. Lisäksi kreatiinikinaasipitoisuus laski harjoituksen loppua kohden harjoituksen aloituksesta. Lopulta onkin vaikea arvioida, kasvoiko kuormituksen ja stressin määrä jatkuvasti harjoituksen edetessä. Tutkittavat kokivat harjoituksen kuormituksen varsin samankaltaiseksi harjoituksen edetessä.

Aiemmin mainittiin, että TH1-jakson aikana tutkittavilla oli kaksi selvästi kevyempää vuorokautta. Kyseisinä vuorokausina tutkittavat nukkuivat enemmän, eivät olleet fyysisesti niin aktiivisia ja myös koettu rasittuneisuus oli alhaisimmillaan. Tällä voinee olla vaikutuksensa siihen, miksi stressin määrä ei päässyt kumuloitumaan niin paljon mitä olisi silloin, jos kyseisiä kahta kevyempää vuorokautta ei olisi sotaharjoituksessa ollut. TH1-jakson kevyemmät vuorokaudet aiheuttivat sen, että RPE ja NASA-TLX olivat tuolla jaksolla tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) alhaisempia kuin AH-jaksolla (taulukko 13). Tämä nähdään myös kuvasta 10. Ensimmäisen kevyemmän vuorokauden jälkeen seurasi kaksi raskaampaa vuorokautta, ja kolmantena ja neljäntenä vuorokautena tehtiin HRV-mittaukset, sekä viidentenä vuorokautena otettiin verinäytteet. Jälkimmäisen kevyemmän vuorokauden jälkeen seurasi kolme raskaampaa vuorokautta, ja neljäntenä ja viidentenä vuorokautena tehtiin HRV-mittaukset, sekä kahdeksantena vuorokautena otettiin verinäytteet. Tiedetään esimerkiksi, että raju fyysinen harjoitus illalla voi pitää harjoituksen jälkeen yöunenkin aikana sympaattisen hermoston aktiivisuuden ja sykkeen korkealla (Yamanaka ym. 2015, Yoshida ym. 2018), sekä HF:n matalampana (Yoshida ym. 2018). Myllymäen ym. (2012) mukaan illalla tehty lyhyt monipuolisella intensiteetillä toteutettu harjoitus ei välttämättä vaikuta seuraavan yön unen laatuun ja johda korkeampaan sympaattisen hermoston aktiivisuuteen yöunen aikana, mutta hyvin pitkä ja yksilölle epätavallisen raskas harjoitus voi johtaa. HRV-mittauksia ja verinäytteiden ottoa edeltävinä vuorokausina unen määrä oli ollut jälleen vähäisempää, fyysinen aktiivisuus oli ollut suurempaa, ja koettu rasittuneisuus suurempaa. Voi siis olla, että kuormituksen ja stressin seurannan mittareihin kevyet päivät eivät niinkään ole vaikuttaneet häiritsevästi. On haastavaa arvioida, miten olisi käynyt, jos esimerkiksi kevyen päivän jälkeen olisi ollut HRV-mittauksia. Olisiko sympaattisen hermoston toiminta ollut silloin vaimeampaa, jolloin syke ja HRV-muuttujat olisivat kielineet entistä palautuneemmista arvoista?

Kuormituksen kasautumisessa sotaharjoituksen aikana on huomioitava, että harjoituksessa tehtiin sotaharjoituksen sisältämien tehtävien lisäksi fyysistä kuntoa mittaavia testejä. Jalkojen ja

käsien isometrinen maksimivoima, vauhditon pituushyppy, vatsalihastesti ja punnerrustesti mitattiin 12.5. (PRE), 2.6. (TH1), 11.6. (TH2) ja 16.6. (RECO). Taisteluvarustuksessa tehty 3,2 km mittainen pikamarssi toteutettiin 20.5. (PRE) ja 11.6. (TH2). Edellä mainittujen testien kuormalla voi olla vaikutuksensa tuloksiin. Kun tarkastellaan sitä, voisiko testit vaikuttaa kuormitusmuuttujiin, voidaan poissulkea PRE-mittaukset, koska silloin ei ole mitattu vielä mitään. Lisäksi voidaan poissulkea RECO-mittaukset, koska silloin harjoitus oli jo päättynyt. TH2-jaksolla tehty testipäivä oli fyysisesti raskain. TH2-jakson testipäivästä oli useita päiviä aikaa palautua RECO-mittauksiin, mutta on vaikea arvioida, onko se vaikuttanut RECO-mittausten tuloksiin.

Energiavajeen kehittymisestä harjoituksen aikana voidaan esittää vain arvioita, koska esimerkiksi tutkittavien ravitsemuksen määrästä ja laadusta ei ole tietoa. Eri tutkimukset antavat kuitenkin ymmärtää varsin selkeästi, että usein sotaharjoitukset aiheuttavat energiavajetta (Friedl ym. 2000, Liebermann ym. 2016, Nindl ym. 2003, Ojanen ym. 2018a, Ojanen ym. 2018c). Tässä tutkimuksessa arvioita energiavajeen kehittymiselle puoltavat hormonitoiminnan muutokset ja kehonpainon putoaminen harjoituksen aikana. Esimerkiksi Ojanen ym. (2018a ja 2018b) tutkimuksissa samankaltaiseen kolmen viikon mittaiseen sotaharjoitukseen liittyen kehonpaino, lihasmassa ja rasvamassa laskivat tutkittavilla. Tässä tutkimuksessa kehonpaino ja rasvaprosentti putosivat (taulukko 4). Ojanen ym. (2018a) arvioivat, että sotaharjoituksen aiheuttama korkea fyysisen aktiivisuuden taso aiheutti energiavajeen, mikä johti kehokoostumuksen muutoksiin. Toisaalta Ojanen ym. (2018b) totesivat, että dehydraatio saattoi olla syynä kehonkoostumuksen muutoksille, koska kehokoostumuksen muutokset palautuivat ennalleen 4–5 vuorokautta harjoituksen jälkeen tehdyissä palautumismittauksissa. Tässä tutkimuksessa kehonkoostumuksen muutokset palautuivat myös ennalleen 4–5 vuorokautta harjoituksen jälkeen tehdyissä mittauksissa. Voimme siis arvioida, että tässäkin tapauksessa kyse voi olla dehydraatiosta. Varmoa ei kuitenkaan voida toki olla. Voi olla myös, että kehonkoostumuksen muutokset aiheutuvat osittain energiavajeesta.

Ylirasitustilaksi kuvaillaan lyhyemmällä aikavälillä kuormituksen aiheuttamaa kumuloitunutta stressiä, joka näkyy mm. suorituskyvyn laskuna ja fysiologisina ja psykologisina muutoksina (Meeusen ym. 2013). Ylirasitukseen johtava krooninen stressitila voi näkyä esimerkiksi HPA-akselin, autonomisen hermoston, endokriinisen järjestelmän, aineenvaihdunnallisen järjestelmän ja fysiologisissa biomarkkereissa. (Noushad ym. 2021) Ylirasitustilalle tyypillisten oireiden ja löydösten palautuminen normaalille tasolle voi kestää päivistä viikkoihin. (Meeusen ym.

2013) Esimerkiksi veren IGF-1-pitoisuuden laskun tiedetään olevan haitallista, koska silloin lihasvaurioiden korjaaminen heikentyy ja palautuminen pitkittyy, jolloin on vaarana ajautua yliparasitustilaan. (Ojanen ym. 2018b) Tähän tietoon ja muuttujien muutoksiin nojaten voidaan todeta, että tämän tutkimuksen sisältämä sotaharjoitus aiheutti keskimäärin tutkittaville jonkinasteisen yliparasitustilan. Tiedetään, että kyseiset muuttujat muuttuvat esimerkiksi raskaan fyysisen rasituksen takia seurantajaksolla, jos ei ehdi palautua juuri missään vaiheessa.

Sotaharjoituksen aiheuttama stressi ei vaikuttanut olevan kaikki fysiologiset stressimarkkerit huomioiden kovinkaan pitkäkestoista, sillä useat muuttujat palautuivat joko lähtötasolleen tai lähelle sitä 4–5 vuorokautta harjoituksen päättymisen jälkeen (mm. yönen- ja aamunaikainen syke, IGF-1 ja CK). Huomioitava kuitenkin on, että veren kortisoli- ja SHBG-pitoisuudet jäivät korkeammalle ($p < 0.05$) kuin ennen harjoitusta (taulukko 11 ja kuva 10). Tämä voi kertoa siitä, että 4–5 vuorokauden aika ei riitä palauttamaan kehoa fysiologisesta stressistä ennalleen tämän tutkimuksen sotaharjoituksessa. Fyysisen ja psyykkisen kuormituksen määrästä ja intensiteetistä riippuen hormonitoiminnan palautuminen tehtävän/harjoituksen jälkeen voi todennäköisesti vaatia pitkän ajanjakson, Henningin ym. (2014) mukaan jopa viikkoja. Toisaalta testosteronipitoisuus nousi harjoitusta edeltävää aikaa korkeammalle ($p < 0.05$), ja TES/COR ei poikennut merkittävästi. Tiedetään, että vain yhtä biomarkkeria seuraamalla ei voida tehdä laajoja päätelmiä palautumisen tasosta ja mahdollisista yliparasitustiloista (Lee ym. 2017). Tässä tutkimuksessa voitaneen kuitenkin todeta, että harjoituksen aikana tutkittavat yliparasituivat. Koska kaikki muuttujat eivät palautuneet ennalleen, voidaan arvioida, että yliparasitustilasta ei oltu palautettu ainakaan täydellisesti.

Monet HRV-muuttujat käyttäytyivät hypoteesinkaltaisesti, mutta mukana oli myös hyvin paljon ristiriitoja. Aamumittauksissa esim. RMSSD nousi RECO-jaksolle selvästi TH-jaksoilta, mutta ero ei ollut silti tilastollisesti merkittävä. Sen sijaan SDNN nousi tilastollisesti merkittävästi. Tällainen käyttäytyminen kielisi stressin vähenemisestä tai elimistön palautumisesta 4–5 päivää harjoituksen jälkeiseen aikaan. Huomattavaa aamumittauksissa oli, että molemmat taajuusmuuttujat ja jopa LFP/HFP oli tilastollisesti merkittävästi suurempi palautuksen jälkeen kuin harjoituksen loppuvaiheessa. HFP:n nousu kielisi hypoteettisesti siitä, että palautumista on tapahtunut, mutta LFP:n ja LFP/HFP:n siitä, että stressiä olisi vain tullut lisää, vaikka harjoitus on jo loppunut. Osa aamulla mitattujen HRV-muuttujien muutoksista kuitenkin tukevat sitä, että 4–5 vuorokauden palautuksen jälkeen stressiä olisi poistunut. Yömittaukset puolestaan

ovat ristiriitaisempia. Yöunenaikaisista HRV-mittauksista useat muuttujat vain kasvoivat jatkuvasti jopa RECO-jaksolle saakka. Esim. SDNN:n ja RMSSD:n nouseminen ovat ristiriidassa sen kanssa, että elimistö kohtaisi rasitusta. Tällaiset löydökset entisestään heikentävät HRV-datan luotettavuutta tässä tutkimuksessa, kun muuttujien käyttäytyminen menee ristiin. Mahdollista oli, että tämän tutkimuksen sykedata sisälsi huomattavan paljon häiriöitä, jotka väärensivät tuloksia. Näin ollen, yöunenaikaisista HRV-mittauksista ei kaikkienensa tehdä tässä tutkimuksessa sen koommin johtopäätöksiä.

Erityisen huomioitava seikka on, että tutkittavat kohtasivat sotaharjoituksessa eri määrän fyysisistä rasitusta, ja todennäköisesti myös psyykkistä rasitusta. Tällainen hajonta kohdatun kuormituksen määrässä voi luonnollisesti vaikuttaa siihen, että kuormitusta mittaavissa muuttujissa ja niiden käyttäytymisessä harjoituksen aikana tulee eroja jo pelkästään tämän takia. Joitain yhteyksiä fyysisen aktiivisuuden määrän lisääntymiselle ja kuormituksen ja stressin seurannan mittareille löytyikin (taulukko 15). Voisikin olla mielenkiintoista tehdä jatkossa tutkimuksia sellaisilla mittausasetelmilla, joissa sotaharjoituksen fyysinen ja psyykinen rasitus vakioitaisiin tutkittavien kesken niin samanlaiseksi kuin mahdollista. Tällä tavalla voitaisiin mahdollisesti saada myös kuormituksen ja stressin seurannan mittareihin samansuuntaisempi muutos tiettyjen aikavälien tarkastelussa. Tässä tutkimuksessa hajonta tämän suhteen oli välillä hyvin suuri. Toisin sanoen joillain tutkittavilla esimerkiksi veren kortisolipitoisuus saattoi selvästi nousta PRE-jaksolta AH-jaksolle, kun taas toisilla laskea. Tämän takia yhteyksien löytäminen muihin kuormituksen ja stressin seurannan mittareihin lienee vaikeampaa.

Ongelmallista painoindeksin, rasvaprocentin ja 12 minuutin juoksutestin yhteyden tarkastelussa kuormitusmuuttujien muutoksiin oli, että kuormitusmuuttujissa oli suurta hajontaa niin, että joillain tutkittavilla muuttuja kasvoi, joillakin pieneni selvästi. Tämän takia johtopäätösten tekeminen oli vaikeaa. Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä löytyi (taulukko 17), mutta ainoa selkeämpi yhteys oli Cooperin testin tuloksen negatiivinen yhteys SHBG-pitoisuuden muutokseen PRE-jaksolta TH1-jaksolle (kuva 8). Kyseisessä korrelaatiossa ei ollut niin suuresti poikkeavia tuloksia, joten ei ollut yksittäisen tutkittavan tuloksesta kiinni, että yhteys olisi ollut merkitsevä. Tämän mukaan mitä huonompi Cooperin testin tulos oli, sitä enemmän veren SHBG-pitoisuus nousi harjoituksen aikana kyseisellä aikavälillä. Tämä oli tutkimuksen kannalta mielenkiintoinen löytö. Aiemmin Tyyskä ym. (2010) totesivat fyysisen kuntoindeksin (koostui 12 minuutin juoksutestistä, lihasvoimatesteistä, suunnistuksesta, marssista ja ammunnoista) olevan positiivisesti yhteydessä TES/SHBG-suhteen kanssa. Tyyskä ym. (2010) arvioivat hormonitoiminnan

muutosten johtuvan tuolloin pääasiassa sotaharjoituksen aiheuttamasta univajeesta ja heikosta fyysisestä kunnosta, koska tuolloin fyysistä kuormaa ei paljoa ollut ja energiavajetta ei arvioitusti ollut kertynyt. (Tyyskä ym. 2010) Aiemmin todettiin, että univajeella on vaikutuksensa hormonitoimintaan, jolloin mm. testosteroni voi laskea (Leproult & Van Caeter 2011). Mielenkiintoista kuitenkin olisi, jos fyysinen kunto, tämän tutkimuksen tapauksessa heikompi kestävyyskunto, vaikuttaisi siihen, minkä verran hormonitoiminnassa tulee muutoksia haitallisempaan, katabolisempaan suuntaan sotaharjoituksen aikana.

Tiedetään, että kun sotilaan kestävyyskunto on hyvä, sotilas jaksaa pitempään väsymättä ja palautuu nopeammin (Kyröläinen ym. 2021, 52). Tässä tutkimuksessa arvioitiin aiemmin, että tutkittavat yllirasittuivat harjoituksen aikana. Tiedetään, että etenkin vähän liikuntaa harrastavat saattavat ylikuormittua helpommin (Kyröläinen ym. 2021, 33). Fyysisesti aktiivisemmilla yksilöillä koettu stressi voi olla myös vähäisempää (Föhr ym. 2015). Alhaisemmalla painoindeksillä on todettu myös yhteys vähäisempään stressin määrään ja nopeampaan palautumiseen yöunen aikana (Föhr ym. 2016). Mehtan (2015) mukaan ylipainoiset saattavat väsyä nopeammin ja kokea rasituksen voimakkaampana akuutissa kuormituksessa kuin normaalipainoiset, kun on monia erilaisia häiriötekijöitä. Lisäksi ylipainoisilla HRV voisi heiketä todennäköisemmin (Mehta 2015). Useissa taulukon 17 korrelaatioissa yhteyden muuttujien välille aiheutti yksittäinen tutkittava hyvin poikkeuksellisella tuloksella. Lisäksi useat yhteydet olivat ristiriidassa keskenään tai muuttujan käyttäytymissuunta oli ristiriidassa sen kanssa, kuinka muuttuja käyttäytyi lineaarisen sekamallin mukaan. Voisikin todeta, että tässä tutkimuksessa kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet autonomisen hermoston toiminnan, hormonaalisen ja aineenvaihdunnallisen toiminnan, sekä koetun rasittuneisuuden muutoksiin olivat liian epäselviä, että niistä voisi vetää johtopäätöksiä. Sinällään tutkimuksen arvoa kuitenkin nostaa se, että yhteyksiä löytyi. Tällä voi olla jatkon kannalta mielenkiintoisia näkymiä. Tässä tutkimuksessa tutkittavien fyysinen ja psyykinen kuorma todennäköisesti vaihteli ainakin sotaharjoituksen tehtävien mukaan. Jos kuormitus olisi ollut kaikilla täsmälleen samanlaista, olisiko silloin kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella ollut selkeämpiä yhteyksiä kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutosten kanssa?

10.2 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tähän tutkimukseen voi liittyä useita tuloksia vääristäviä virhetekijöitä. Virhetekijät voivat olla systemaattisia tai satunnaisia. Tässä työssä mahdolliset mittausvirheet liittyvät HRV-mittaukseen, hormonitasojen ja aineenvaihduntatuotteiden mittaukseen, subjektiivisen rasittuneisuuden kyselytesteihin, kehonkoostumuksen mittaukseen ja fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen. Tulosten suuntaa määrittää muiden muassa se, milloin edellä mainitut mittaukset on suoritettu. Systemaattinen virhe voi olla esimerkiksi mittalaitteen antama virheellinen mittaus-tulos. Tällainen virhe pätee kuitenkin aina samalla tavalla. Satunnaiset virheet sen sijaan voivat aiheuttaa suurempia merkityksiä työn tulosten analysoinnin kannalta, mikäli virheet ovat riittä-vän suuria. Tällaisia satunnaisia virhelähteitä ovat muun muassa tutkija ja tutkittava. Tutkija voi aiheuttaa virhettä esimerkiksi HRV-muuttujien määrittämisessä, jos valikoitu sykealue on rajattu väärältä alueelta. Tutkittava voi esimerkiksi subjektiivisesti koetun rasittuneisuuden ky-selyssä arvioida rasittuneensa eri tavalla kuin todellisuudessa. Tutkimuksen vahvuuksia kuiten-kin ovat, että mittaushetket hormonitasojen ja aineenvaihduntatuotteiden mittaamisessa, sekä koetun rasittuneisuuden kyselyissä olivat vakioitu samoille vuorokaudenajoille aamuun. Li-säksi aamunaikainen sykemittaus oli vakioitu tietyn aikaa heräämisen jälkeen tapahtuvaksi va-kioidusti. Yöunenaikainen sykemittaus puolestaan vakioitiin alkavaksi datan laadun puitteissa aina noin 30 minuuttia nukahtamisen jälkeen. Nämä vakiointitavat lisäävät luotettavuutta, ja voitiin verrata yksittäisten tutkittavien seurantamuuttujien käyttäytymistä harjoituksen ede-ssä. Jokaiseen mittaukseen liittyy kuitenkin haasteensa, joista lisää alla olevissa kappaleissa.

Sotaharjoituksen aikana fyysistä aktiivisuutta mitattiin vyötärölle kiinnitetyllä Hooke AM20 -kiihtyvyysantureilla ja vertailtiin, kuinka eri jaksoilla fyysisen aktiivisuuden määrä vaihteli. Tutkittavien todellista fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta eri MET-alueilla ei voitu tie-tää, koska kiihtyvyysanturit eivät mm. huomioi sitä, jos fyysinen aktiivisuus on jotain muuta kuin kävelyä tai juoksua (Crouter ym. 2006). Jos metsässä harjoituksen aikana liikuttiin esi-merkiksi ylä- tai alamäkeen, Vähä-Ypyän ym. (2015) mukaan kiihtyvyysanturit eivät kerro to-tuutta, koska lihasten voimantuottotavat vaihtelevat. Lisäksi jos lantio pysyy paikallaan tai liik-kuu tasaisella nopeudella tiettyyn suuntaan fyysisestä kuormituksesta huolimatta, lantiolle kiin-nitetty kiihtyvyysanturi ei kerro totuutta kuormituksen määrästä (Vähä-Ypyä ym. 2015). Voi-han myös olla, että jotkin tehtävät ovat sisältäneet esimerkiksi ryömimistä, joka on heti erilaista energiankulutukseltaan. Sotaharjoitus on voinut sisältää paljon esimerkiksi erilaisten suojava-rusteiden ja muiden tavaroiden kantoa, ja Pihlaisen ym. (2018) mukaan tällainen voi nostaa

todellista energiakulutuksen määrää kiihtyvyyssantureiden arvioimaan energiankulutukseen nähden. Mittausvirheet saattavat olla tehtäväsidonniaisia, koska esimerkiksi kannettavan kuorman määrä ja liikkumistavat tutkittavien kesken ovat voineet vaihdella.

Tässä tutkimuksessa oli tärkeää, että kuormittuneisuutta voitiin peilata fyysisen aktiivisuuden ja energiankulutuksen muutokseen. Mitä enemmän tutkittavat energiaa kuluttivat, sitä enemmän he myös todennäköisesti kuormittuivat. Kiihtyvyyssanturit antoivat suuntaa siitä, minkä verran ja millaista kuormitusta intensiteetiltään harjoituksessa oli. Kysymykseksi kuitenkin nousi, olisiko jollain muulla tavalla fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta voinut arvioida paremmin. Esimerkiksi kaksielektrodisella rintakehälle kiinnitettävällä Actiheart-laitteella voidaan mitata sekä HRV:tä, fyysistä aktiivisuutta että energiankulutusta (Hinde ym. 2021). Hinde ym. (2021) painottavat, että monet kiinnitettävät laitteet eivät välttämättä sovellu armeijaympäristöön. Soveltumattomuutta voivat aiheuttaa sensorien huono kiinnitettävyyys, akun heikko kestävyys, matala keräystiheys ja kykenemättömyys huomioida olosuhteita. (Hinde ym. 2021) Useiden rintakehälle ja vyötärölle kiinnitettävien laitteiden validiteetti armeijaympäristössä voi olla heikko. Sen sijaan käsivarteen kiinnitetty laite voi olla joissain tapauksissa parempi. (Gilgen-Ammann ym. 2021)

Tässä tutkimuksessa HRV:tä mitattiin rintaan kiinnitetyllä kaksielektrodisella BodyGuard 2 -laitteella. Tutkimuksen kannalta ongelmallista oli, että sykemittauksissa virhettä esiintyi usein paljon ja satunnaisesti. Välillä sykedata sisälsi kohinaa ja virhepiikkejä enemmän, välillä vähemmän. Lisäksi joillakin tutkittavilla sykedatat sisälsivät enemmän virhettä kuin toisilla. Huolestuttavaa oli myös, että sykedatan korjauksessa käytetty korjausalgoritmi, matalan kynnyksen filtti, ei useinkaan vaikuttanut korjaavan dataa riittävästi. Jos virhepiikit olivat isoja, Kubios vaikutti arvioivan sykevälivaihtelun suureksi (SDNN, RMSSD, LFP ja HFP suuria). Isot virhepiikit ja virhealueet saattoivat vaikuttaa vähemmän sykevälivaihtelun aikamuuttujiin kuin taajuusmuuttujiin. Lisäksi, jos korjausalgoritmiksi olisi valittu vielä enemmän korjaava algoritmi, olisivat puolestaan sykedatan oikeat arvot voineet vääristyä, kuten esimerkiksi Plaza-Florido ym. (2021) olivat todenneet. Samalla tutkittavalla saatettiin havaita eri mittauspäivinä eri määrä virhettä datassa. Tämä luonnollisesti saattoi vääristää HRV-muuttujien muutosta tietyllä aikavälillä suuntaan tai toiseen heikentäen luotettavuutta. Mikäli virhe olisi ollut systemaattista eli virhe olisi koko ajan yhtä suurta, suurta haittaa ei välttämättä syntyisi. Tutkijalla oli suuri vastuu HRV-mittausten tulosten analysoinnissa ja tulkinnassa, sillä tutkija tietyin kriteerein valitsi yö-

unen- ja aamunaikaisista sykedatoista alueet, joilta HRV-muuttujat määritettiin. Lisäksi sellaiset sykedatat, jotka vaikuttivat antavan absurdeja tuloksia, hylättiin kokonaan mittauksista. Joillekin mittauspäiville näin ollen tutkittavien määrä laski selvästi.

Yöunenaikaisissa HRV-mittauksissa tutkijalähtöistä virhettä tuli mm. kohdissa, joissa tutkija päätti aloittaa yömittauksen (unen alkamisaika + 30 minuuttia). Tämä vaihteli todennäköisesti välillä joitain kymmeniä minuutteja. Kyse oli tutkijan arviosta. Välillä 3 tunnin keräys koostui lyhyemmistä pätkistä ja lopulta lyhyempiäkin, esimerkiksi noin 1,5 tunnin mittaisia pätkiä hyväksyttiin tutkimukseen. Yleisesti yöunen ajalta olisi hyvä saada kerättyä data aina samoilta unen vaiheilta, sillä HRV-muuttujat voivat muuttua yöunen aikana jo pelkän unen vaiheen aikana (Boudreau ym. 2013). Tässä tutkimuksessa unen eri vaiheita ei voitu huomioida, koska tutkimuksen koko mittausasetelma ja menetelmät asettivat omat rajansa sille, millä tavalla tulokset saatiin muodostettua sykekäyristä. Lyhyemmät mittaukset oli helpompi hyväksyä, kun havaittiin, että joissain sykedatoissa esimerkiksi ensimmäisen puolen tunnin aikana ja viimeisen puolen tunnin aikana 3 tunnin aikajaksosta HRV-muuttujien arvot saattoivat olla samat.

Aamumittauksessa lepohetken aikana datan laatu saattoi vaihdella selvästi. Esimerkiksi jonkin noin 15 minuutin mittaisen lepohetken aikana esimerkiksi RMSSD:n arvo saattoi muuttua paljon. 5 minuutin mittaisen keräyksen valinnalla pystyi vaikuttamaan lopullisiin tuloksiin toisinaan selvästi. Tällaisessa tapauksessa arvioitiin silmämääräisesti ja korjausalgoritmia (matalan kynnyksen filteri) hyödyntäen, missä kohdassa dataa oli vähiten virhettä ja valittiin virheettömin alue. Aamun sykemittauksissa pohdintaa herätti se, olivatko mittausasennot vakioituja. Sykekäyrien perusteella näin ei välttämättä aina ollut.

Vaikka sykedatoista valittiin tietyillä kriteereillä niin laadukasta dataa kuin mahdollista, tämän tutkimuksen sykedata oli niin häiriöistä, että luotettavia ja tarkkoja johtopäätöksiä sykeväli-vaihtelumuuttujien perusteella ei uskaltanut tehdä miettien stressin ilmenemistä. Voi olla, että tulokset vääristyivät jopa niin, että muutosten suunta oli eri mitä oikeasti. Tällainen mietintö syntyi ennen kaikkea siksi, että yöunenaikaiset HRV-muuttujat (SDNN, RMSSD, LFP ja HFP) kasvoivat jatkuvasti harjoituksen aikana. Aamunaikaisen HRV:n aikamuuttujat käyttäytyivät puolestaan hypoteesin kaltaisesti. Toisin sanoen, RMSSD ja SDNN vaikuttivat laskevan harjoituksen aikana verratessa ennen ja jälkeen harjoituksen. Tosin, muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, koska hajontaa muutoksissa oli niin paljon tutkittavien kesken. Kysy-

mykseksi nousi, olisiko jollain toisella mittauslaitteella voinut saada laadultaan parempaa syke-
kedataa. Kun tiedetään esimerkiksi Polar H10 -sykevyön mahdollisesti luotettava mittaus, ku-
ten Hinde ym. (2021) nostivat esiin, olisiko sykevyö maasto-olosuhteissa jopa parempi mittaa-
maan unenaikaista HRV:tä.

Hormonaaliset ja aineenvaihdunnalliset muuttujat analysoitiin veren ja syljen seeruminäyt-
teistä. Veren ja syljen seeruminäytteiden analysoinnissa virhettä voi tapahtua esimerkiksi sil-
loin, kun näytteenottovaiheessa veren mukaan pääsee jotain ulkopuolista ainetta ja/tai kun
sentrifugointi ja seerumin eriyttäminen pipetoimalla muusta veren materiasta ei ole onnistunut
tai seerumin näytteenottoanalysointori olisi kalibroitu väärin. Joillain tutkittavilla oli joidenkin
muuttujien kohdalla hyvin poikkeuksellisia arvoja verrattuna muihin tutkittaviin. Tällaisilla
poikkeavilla tuloksilla on vaikutuksensa lopputuloksiin. Olisiko esimerkiksi tämänkaltaisissa
tapauksissa voinut sattua joitain tuloksia väärentäviä virheitä jossain vaiheessa veri- ja sylki-
näytteenottoa? Tätä voidaan vain arvailla.

Tulosten käsittelytapa muovaa myös tuloksia. Tässä tutkimuksessa päädyttiin jakamaan mit-
tauspäivät harjoituksen teemojen mukaisille jaksoille. Näitä jaksoja olivat ampumarjoitus-
jakso (AH-jakso), jota seurasi kaksi taisteluharjoitusjaksoa (TH1- ja TH2-jakso). Näin voitiin
tutkia, kuinka kuormittuneisuus vaihteli eri jaksojen välillä. Huomioitavaa oli, että jakson si-
sällä tutkimuspäivien välillä saattoi olla selkeitä eroja käytännössä fyysisessä aktiivisuudessa
(kuvat 1 ja 2) ja koetussa rasittuneisuudessa. HRV:tä mitattiin aina jokaisen jakson loppupuol-
liskolla, ja verinäytteitä otettiin jokaisen jakson päätteeksi. Jaksojen valitsemisella oli oma vai-
kutuksensa tuloksiin. Voisiko olla, että jollain toisella jaksottamistavalla olisi saatu erilainen
yhteys esimerkiksi veren testosteronipitoisuuden ja RPE:n muutosten välille eri aikaväleillä?

Tässä tutkimuksessa mittauspäiviä ja -öitä edeltävien päivien ja etenkin iltojen kuormituksen
etenemisestä ei ollut tarkkaa tietoa. Tiedettiin vain esimerkiksi askelten määrä keskimäärin päi-
vittäin (kuva 2) ja jaksoittain (kuva 1), sekä kuinka fyysisen aktiivisuuden määrä eri MET-
tasoilla vaihteli. Mittausta edeltävien päivien fyysisen aktiivisuuden määrää ei oltu vakioitu
(kuva 2). Myllymäki ym. (2012) totesivat, että illalla toteutettu juuri tietylle yksilölle selvästi
raskaammaksi luokiteltu harjoitus voi heikentää yönun laatu. Yamanaka ym. (2015) ja
Yoshida ym. (2018) puolestaan totesivat, että illalla tehty kova fyysinen harjoitus voi nostaa
sympaattisen hermoston aktiivisuuden ja sitä myöten leposykkeen korkealle seuraavien tuntien

ja myös yöunen alkuvaiheeseen. Huomioitavaa on, että sotaharjoitus toteutettiin armeijan koulutuksen mukaisesti, jolloin tehtävät vaihtelivat tutkittavilla sotaharjoituksen aikana. Koska harjoitus oli osittain soveltavaa ja tutkittavien kesken oli vaihtelevuutta, ei vakiointi tullut luonnollisesti kyseeseen. Voisi olla mielenkiintoista toteuttaa vastaavan kaltaisia tutkimuksia sotaharjoituksesta, joissa tutkittavien kuormitus olisi vakioitu.

Tässä työssä muuttujien käyttäytymistä tarkasteltiin lineaarisen sekamallin kautta. Tähän ratkaisuun päädyttiin etenkin siksi, että suurelta osalta tutkittavia puuttui tuloksia joiltain mittausjaksoilta (PRE, AH, TH1, TH2 ja RECO). Etenkin yöllä ja aamulla kerättyjen HRV-mittausten tuloksia ei saatu läheskään kaikilta tutkittavilta joka jaksolle. Tätä haastetta pystyi hallitsemaan hyvin lineaarisella sekamallilla. Lineaarinen sekamalli käyttää tiettyjä algoritmeja muokaten dataa niin, että vaikka eri mittauspäivinä tutkittavien määrä olisikin erilainen, se ei haittaa, koska lineaarinen sekamalli huomioi kaikki yksittäiset mittaukset. Näin ollen sellaiset tutkittavat, joilla ei ole esimerkiksi yöunenaikaiselle RMSSD:lle jokaiselle jaksolle tulosta, eivät karsiudu pois, vaan nekin huomioidaan. Lineaarinen sekamalli pääasiassa ”tiivisti” mittaustuloksia niin, että keskihajonnat olivat usein pienempiä kuin todellisten mitatut keskihajonnat. Suuret keskihajonnat vaikuttivat siihen, että kuormittuneisuus ei välttämättä ollut tilastollisesti merkitsevää, vaikka keskiarvoja tarkastelemalla muutokset olivatkin välillä suuria.

Korrelaatiotarkastelu tehtiin Pearsonin järjestyskorrelaatiokertoimella. Tämä menetelmä poisti kaikki sellaiset tutkittavat pois, joilla ei ollut jollain tarkasteluajankohtana tuloksia kahden tarkastelun kohteena olevan muuttujan osalta. Tämä tarkoitti sitä, että esimerkiksi verestä mitatun kortisolipitoisuuden muutoksen ja yöunenaikaisen sykkeen muutoksen välisessä korrelaatiotarkastelussa aikavälillä PRE–TH1 oli mukana 36 tutkittavaa (taulukko 16). Aikavälillä PRE–RECO jäljellä oli enää 25 tutkittavaa kyseisellä muuttujaparilla. On myös selvää, että jos kaikki 49 tutkittavaa olisivat olleet jokaisessa korrelaatiotarkastelussa, tulokset olisivat erilaiset. Entistä ongelmallisemmaksi asian teki, että joissain tapauksissa muuttujien muutoksen suunta saattoi vaihtua, kun tutkittavien määrä vaihtui korrelaatiotarkastelua varten. Jos siis esimerkiksi aikavälillä PRE–TH1 jokin muuttuja olisi keskimääräisesti noussut lineaarisen sekamallin mukaan kaikkien tutkittavien ollessa mukana, kyseinen muuttuja saattoikin laskea, kun tutkittavia karsiutui pois. Tutkittavien määrän vaihtelu voi aiheuttaa harhaa korrelaatioajoihin. Korrelaatiotarkasteluissa käytettiin ikään kuin eri aineistoa kuin tutkittaessa yksittäisen muuttujan muutoksia.

Harjoituksen kuormittavuudessa on huomioitava, että monissa kuormituksen ja stressin seurannan mittareissa muutokset eivät olleet jokaisella tutkittavalla samansuuntaisia. Joillain tutkittavilla esimerkiksi veren testosteronipitoisuus kasvoi tietyllä aikavälillä, joillain puolestaan laski. Tällaista hajontaa oli usein paljon. Esimerkiksi kevyt aktiivisuus nousi aikavälillä PRE–TH2 kaikilla tutkittavilla. Kyseisellä aikavälillä testosteronipitoisuuden muutoksella (pääasiassa laski) oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen heikko yhteys kevyen aktiivisuuden muutoksen kanssa. Tämän mukaan, mitä enemmän kevyt aktiivisuus nousi, sitä enemmän testosteronipitoisuus nousi. Tai mitä vähemmän kevyt aktiivisuus nousi, sitä enemmän testosteronipitoisuus laski. Tämä vaikuttaa ristiriitaiselta. Tuloksia olikin haastavaa tulkita. Tilastollisesti merkitsevät muutosten väliset yhteydet olivat joissain tapauksissa ristiriidassa keskenään. Useimmiten kyseessä oli heikkoja tai kohtalaisia korrelaatioita. Lisäksi joillain yksittäisillä tutkittavilla tai muutamilla tutkittavilla oli joissain muuttujissa tapahtunut poikkeuksellisen isoa kasvua tai pienenemistä. Tällaisilla poikkeavilla tuloksilla saattoi olla suuri vaikutus muutoksen suuntaan ja muuttujien muutosten välisiin korrelaatioihin. Tässä työssä usein yksittäinen poikkeava tulos saattoi mahdollistaa tilastollisesti merkitsevän korrelaation. Esimerkiksi yöunenaikaisen sykkeen muutoksen tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot veren kortisolipitoisuuden, TES/COR:n ja CK-pitoisuuden muutoksiin (taulukko 16) olivat hyvin kyseenalaisia, koska ne sisälsivät poikkeavan tuloksen. Tällaisiin korrelaatioihin on suhtauduttava kriittisesti. Lopulta tässä työssä päädyttiin siihen, että poikkeavan tuloksen aiheuttamista korrelaatioista ei vedetty joihin päätöksiä, vaikka yhteydet olisivatkin olleet tilastollisesti merkitseviä. Sellaisia kuormituksen ja stressin seurannan mittareita, joissa suunta vaikutti tutkittavien kesken olevan selkeämpi jollain aikaväleillä, olivat HR-YÖ, HR-AAMU, testosteroni, kortisoli, SHBG, IGF-1, CK, RPE ja NASA-TLX.

10.3 Jatkotutkimukset

Jatkoa ajatellen tämä tutkimus voisi toimia hyödyllisenä välineenä erilaisten sotilaiden ja sotaharjoitusten suoritus- ja palautumiskykyä mittaavien tutkimusten tekemiseen. Tässä tutkimuksessa jotkin elimistön kuormituksen ja stressin seurannan mittareista muuttuivat selvästi, jotkin puolestaan vähemmän. Voisi olla antoisaa tutkia samoilla mittausmenetelmillä sotaharjoituksen aikaansaamaa stressiä, mutta erilaisilla kuormitusintensiteeteillä ja -kestolla. Olisi esimerkiksi mielenkiintoista tietää, kuinka muuttujat käyttäytyisivät, jos kuormitus olisi paljon suurempaa.

Jatkossa sotaharjoituksiin liittyviä tutkimuksia voisi olla hyvä tehdä niin, että tutkittavien fyysinen ja psyykkinen kuormitus olisi samanlaista. Tässä tutkimuksessa varusmiesten fyysisen aktiivisuuden määrät poikkesivat toisistaan luonnollisesti mm. erilaisien sotatehtävistä takia. Tällöin on luonnollistakin, että tulokset eriyvät tutkittavien kesken. Voisi olla mielenkiintoista selvittää, kuinka eri sotatehtävät ja -roolit kuormittavat eri tavalla varusmiehiä ja sotilaita.

Tässä työssä mittausmenetelmät aiheuttivat haasteensa koko tutkimukselle ja mittausten analysoinnille ja johtopäätösten tekemiselle. Ongelmana oli mm. sykemittauksen heikko luotettavuus suurien virhetekijöiden ja huonolaatuisen datan takia. Erilaiset sykemittausmenetelmät ja parempi vakiointi mittauksessa voisivat johtaa parempilaatuisen sykedatan taltioimiseen, jolloin tuloksista voisi vetää paremmin johtopäätöksiä. Tässä tutkimuksessa HRV-muuttujien käyttäytymiseen jouduttiin suhtautumaan varauksella, ja sen kummempia johtopäätöksiä ei voitu alkaa tekemään. Kun tiedetään, että esimerkiksi sykevyö voisi toimia myös EKG-datan keräämisessä hyvin (Hinde ym. 2021), jälkepäin ajateltuna olisi ollut mielenkiintoista verrata BodyGuard 2 -laitteen ja sykevyön (esim. Polar H10) mittaamaa HRV-dataa keskenään ja selvittää miten tulokset olisivat eronneet. Mittauslaitteistosta myös mm. energiankulutuksen tasoa ja arvioita eri MET-alueilla olisi mukava saada kattavammin eri laitteistolla tämänkaltaisessa tutkimuksessa. Tiedetään esimerkiksi, että joillain laitteilla (esim. Actiheart) voidaan mitata HRV:tä, fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta samaan aikaan (Hinde ym. 2021). Valittavien laitteiden tulisi olla valideja armeijaympäristöön, ja monet eivät välttämättä sitä ole (Gilgen-Ammann ym. 2021).

Tässä tutkimuksessa haasteeksi nousi HRV-datan huonolaatuisuus. Tulevissa tutkimuksissa olisi tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että saadaan taltioutua laadukasta dataa. Tässä tutkimuksessa oli kaikkiaan mukana 49 tutkittavaa, mutta käytännössä yhtenäkin mittauspäivänä ei saatu kasaan tuota määrää tutkittavia, koska huonon datan takia iso osa tuloksista jouduttiin hylkäämään. Parempaa sykedataa voisi käytännössä saada sillä, että sykekeräykset aloitetaan/tehdään valvotusti. Nyt ei voitu olla varmoja, että tutkittavat osasivat ohjeista huolimatta kiinnittää esimerkiksi elektrodit oikeisiin paikkoihin. Voisi olla luotettavuuden ja tutkimuksen toistettavuuden kannalta hyvä, että tutkittavien sykemittaus olisi hyvin valvottua ja tutkijaryhmä asentaisi tutkittaville laitteet.

10.4 Käytännön sovellutukset

Tällä tutkimuksella voi olla isoakin arvoa puolustusvoimille ja erilaisille kuormituksen seurannan tutkimuksille. Tutkimuksen tulokset auttavat ymmärtämään, miten juuri tutkimuksen sisältämä sotaharjoitus vaikuttaa varusmiesten autonomisen hermoston toimintaan, hormonaaliseen ja aineenvaihdunnalliseen toimintaan, sekä varusmiesten kokemaan rasitukseen. Yleisemmin tutkimus tarjoaa mielenkiintoista tietoa myös siitä, kuinka autonomisen hermoston toiminta, hormonaalinen ja aineenvaihdunnallinen toiminta, sekä koettu rasittuneisuus voivat olla yhteydessä toisiinsa, kun keho kohtaa kuormitusta. Vaikka tässä tutkimuksessa suurin osa yhteyksistä olivatkin epäselviä, ne voivat tarjota jatkotutkimuksia ajatellen mielenkiintoista pohjaa. Voi olla, että esimerkiksi erilaisilla tutkimusasetelmilla ja -välineillä, sekä vakioinneilla voisi saada erilaisia tuloksia, ja näin enemmän yhteyksiä edellä mainittujen asioiden kesken.

Sotaharjoituksen aiheuttaman kuormituksen ja stressin määrän lisääntymisen voivat tarjota tietoa esimerkiksi puolustusvoimille siitä, kuinka varusmiehet keskimäärin kuormittuvat. Näin puolustusvoimat voivat saada arvokasta tietoa siitä, mihin suuntaan sotaharjoituksia on tarpeen tullen hyvä kehittää. Aiempien tutkimusten perusteella tiedettiin, kuinka tämänkaltaisen sotaharjoitus vaikuttaa hormonaaliseen ja aineenvaihdunnalliseen toimintaan, sekä koettuun rasittuneisuuteen. Nyt edellä mainittujen muuttujien lisäksi saatiin tietää sykevälivaihtelun muuttumisesta harjoituksen aikana. Käytännön kannalta olikin hyvä asia, että autonomisen hermoston toimintaa, hormonaalista ja aineenvaihdunnallista toimintaa, että koettua rasittuneisuutta tarkasteltiin kuormituksen arvioimisen yhteydessä yhtenä suurena kokonaisuutena. Näin saatiin kattavampi kuva kuormituksen ja stressin ilmenemisestä elimistössä.

10.5 Johtopäätökset

Sotaharjoituksen aiheuttama kuormitus näkyi tutkittavilla muutoksina fysiologisissa objektiivisissä mittareissa (HRV ja hormonaaliset ja aineenvaihdunnalliset muuttujat) ja subjektiivisissä mittareissa (koettu rasittuneisuus). Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutokset kertoivat stressin lisääntymisestä kolmen viikon mittaisen sotaharjoituksen aikana lukuun ottamatta HRV-muuttujia. Useiden mittareiden muutosten välillä oli tilastollisesti merkitsevä yh-

teys. Yhteydet olivat kuitenkin pääasiassa vain kohtalaisia, ja ne olivat joissain tapauksissa ristiriitaisia. Kestävyyskunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet muutoksiin vaikuttivat epäselviltä.

Kolmen viikon mittainen sotaharjoitus nosti tutkittavilla etenkin kevyemmän fyysisen aktiivisuuden määrää. Kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden (autonomisen hermoston tilaa kuvaava syke, hormonit ja aineenvaihduntatuotteet, koettu rasittuneisuus) muutokset kielivät pääasiassa siitä, että sotaharjoitus kohotti stressiä ja ajoi kehoa katabolisempaan tilaan. Kun tällä tavalla voidaan tarkastella samassa kuormituksessa useita kuormitusmarkkereita (hermostollisia ja hormonaalisia ym.), voidaan tehdä vakuuttavampia johtopäätöksiä jonkinasteisen ylipainon todentamiseksi. Sotaharjoitus aiheutti tässä tutkimuksessa tutkittaville keskimäärin jonkinasteista ylipainotilaa. HRV-muuttujista ei kuitenkaan voitu vetää juurikaan johtopäätöksiä suureen hajontaan nähden liian pienien muutosten takia, vaikka välillä muutoksen suunta oli hypoteesin kaltainen. Usein näin ei kuitenkaan ollut. 4–5 vuorokautta harjoituksen jälkeen useimmat stressin seurannan mittarit palasivat ennen harjoitusta olevalle tasolle tai lähelle sitä. Jotkin mittarit palasivat sellaiselle tasolle, joka kertoisi suuremmasta stressin määrästä, kun taas jotkin sellaiselle, että stressiä olisi vähemmän. Koska kaikki mittarit eivät ehtineet tuossa ajassa palautua ennalleen, voitaisiin todeta, että noin lyhyt aika ei riittänyt palautumaan täydellisesti sotaharjoituksen aiheuttamasta ylipainotilasta.

Muutamia tässä tutkimuksessa havaitut muuttujien väliset yhteydet lisäsivät mielenkiintoa tutkimukseen, mutta toisaalta yhteydet vaikuttivat ristiriitaisilta tai vaikeasti tulkittavilta mm. suuren hajonnan takia. Tilastollisesti merkitsevistä yhteyksistä suurin osa oli vain heikkoja tai kohtalaisia, ja joissain tapauksissa poikkeavat tulokset mahdollistivat muuttujien muutosten välisen yhteyden. Sellaisista yhteyksistä, joissa tällaista esiintyy, ei vedetty johtopäätöksiä. Lisäksi useiden muuttujien välisten yhteyksien kohdalla ongelmaksi muodostui se, että useilla tutkittavilla muuttuja kasvoi, kun taas toisaalta useilla laski. Vaikka kyseessä oli tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä, tällaisista tapauksista ei vedetty johtopäätöksiä ristiriitojen takia. Viitteitä kuitenkin oli siitä, että harjoituksen aiheuttamat stressin lisääntymisestä kertovat muutokset autonomisen hermoston toiminnassa, sekä hormonaalisessa ja aineenvaihdunnallisessa toiminnassa olivat osittain yhteydessä toisiinsa. Lisäksi tutkittavien subjektiivisesti kokema rasittuneisuuden lisääntyminen harjoituksen aikana oli hieman yhteydessä hormonitoiminnan muutoksiin, vaikkakin heikosti/kohtalaisesti. Kehonkoostumuksella vaikutti olevan kohtalaisesti yhteyttä

kestävyyskuntoon. Kestävyyskunnolla ja kehonkoostumuksella vaikutti olevan heikkoa ja epäselvää yhteyttä muutamien kuormituksen ja stressin seurannan mittareiden muutosten kanssa, joten niistä ei vedetty sen koommin johtopäätöksiä.

Tämä tutkimus voi tarjota hyvin lisätietoa armeijaympäristössä tehtyihin tutkimuksiin. Jatkossa stressimittareita voisi seurata esimerkiksi samankaltaisessa sotaharjoituksessa kuormittavammalla intensiteetillä ja vakioida entistä paremmin tutkittavien fyysinen ja psyykkinen rasitus samanlaiseksi. Mahdollisesti tällä tavalla saataisiin stressimittareiden muutoksista yhdenmukaisempi suuntaus tutkittavien kesken ja myös selkeämpiä yhteyksiä eri stressimittareiden välille.

Tässä työssä käytetyt mittausmenetelmät haastoivat tutkimuksen luotettavuutta. Esimerkiksi HRV-data oli tässä työssä paikoitellen ja joillain tutkittavilla erittäin repaleista ja huonolaatuista. Virhettä ja harhaa alkoi kertyä jo mittauksista, ja tämä näkyi välillä joillakin tutkittavilla suurena kohinan määränä, virhepiikkeinä, tai puuttuvana datana niiltä aikaikkunoilta, joilta syke ja HRV-muuttujat olisi täytynyt saada tallennettua. Tämä aiheutti sen, että joiltakin tutkittavilta ei saatu läheskään kaikilta mittauspäiviltä tuloksia HRV:hen. Tutkittavien määrä tutkimuksessa oli kohtalainen, ja sen ansiosta tilastollisesti merkitseviä eroja ja yhteyksiä toisaalta saavutettiin. Lisää tutkimusta kuitenkin kaivataan. Erilaisia mittausmenetelmiä ja -välineitä tarvitaan samankaltaisessa sotaharjoituskuormituksessa, jotta saataisiin laadultaan parempaa dataa, ja tutkimuksen luotettavuus kasvaisi.

LÄHTEET

- Alcantara, J., Plaza-Florido, A., Amaro-Gahete, F., Acosta, F., Migueles, J., Molina-Garcia, P., Sacha, J., Sanchez-Delgado, G. & Martinez-Tellez, B. 2020. Impact of Using Different Levels of Threshold-Based Artefact Correction on the Quantification of Heart Rate Variability in Three Independent Human Cohorts. *Journal of Clinical Medicine* 9, 325.
- Blair, J., Adaway, J., Keevil, B. & Ross, R. 2017. Salivary cortisol and cortisone in the clinical setting. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity* 24, 161–168.
- Borg, G. 1998. Borg's Perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*.
- Boudreau, P., Yeh, W., Dumont, G. & Boivin, D. 2013. Circadian Variation of Heart Rate Variability Across Sleep Stages. *Sleep* 36 (12), 1919–1928.
- Bourdillon, N., Jeanneret, F., Nilchian, M., Albertoni, P., Ha, P. & Millet, G. 2021. Sleep Deprivation Deteriorates Heart Rate Variability and Photoplethysmography. *Frontiers in Neuroscience* 15, 642548.
- Brancaccio, P., Maffulli, N. & Limongelli, F. 2007. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin* 81–82 (1), 209–230.
- Caspersen, C., Powell, K. & Christenson, G. 1985. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports* 100 (2), 126–131.
- Chappel, S., Aisbett B., Vincent, G. & Ridgers, N. 2016. Firefighters' Physical Activity across Multiple Shifts of Planned Burn Work. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13 (10), 973.
- Cooper, K. 1968. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 203, 201–204.
- Crouter, S., Churilla, J. & Bassett Jr., D. 2006. Estimating energy expenditure using accelerometers. *European Journal of Applied Physiology* 98, 601–612.
- DeBlauw, J., Crawford, D., Kurtz, B., Drake, N. & Heinrich, K. 2021. Evaluating the Clinical Utility of Daily Heart Rate Variability Assessment for Classifying Meaningful Change in Testosterone-to-Cortisol Ratio: A Preliminary Study *International Journal of Exercise Science* 14 (3), 260–273.
- Dobbs, W., Fedewa, M., MacDonald, H., Holmes, C., Cicone, Z., Plews, D. & Esco, M. 2019. The Accuracy of Acquiring Heart Rate Variability from Portable Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine* 49 (3), 417–435.

- Dyer, A., Vahdatpour, C., Sanfeliu, A. & Tropea, D. 2016. The role of Insulin-Like Growth Factor 1 (IGF-1) in brain development, maturation and neuroplasticity. *Neuroscience* 325, 89–99.
- El-Farhan, N., Rees, D. & Evans, C. 2017. Measuring cortisol in serum, urine and saliva – are our assays good enough? *Annals of Clinical Biochemistry* 54 (3), 308–322.
- Estrela, C., McGrath, J., Booji, L. & Gouin, J. 2021. Heart Rate Variability, Sleep Quality, and Depression in the Context of Chronic Stress. *Annals of Behavioral Medicine* 55, 155–164.
- Florini, J., Ewton, D. & Coolican, S. 1996. Growth hormone and the insulin-like growth factor system in myogenesis. *Endocrine Reviews* 17 (5), 481–517.
- Freedson, P., Bowles, H., Troiano, R. & Haskell, W. 2012. Assessment of Physical Activity Using Wearable Monitors: Recommendations for Monitor Calibration and Use in the Field. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 44, 1–4.
- Friedl, K., Moore, R., Hoyt, R., Marchitelli, L., Martinez-Lopez, L. & Askew, E. 2000. Endocrine markers of semi-starvation in healthy lean men in a multistressor environment. *Journal of Applied Physiology* 88, 1820–1830.
- Forte, G., Favieri, F. & Casagrande, M. 2019. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience* 13, 710.
- Föhr, T., Pietilä, J., Helander, E., Myllymäki, T., Lindholm, H., Rusko, H. & Kujala, U. 2016. Physical activity, body mass index and heart rate variability-based stress and recovery in 16 275 Finnish employees: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 16, 701.
- Föhr, T., Tolvanen, A., Myllymäki, T., Järvelä-Reijonen, E., Rantala, S., Korpela, R., Peuhkuri, K., Kolehmainen, M., Puttonen, S., Lappalainen, R., Rusko, H. & Kujala, U. 2015. Subjective stress, objective heart rate variability-based stress, and recovery on workdays among overweight and psychologically distressed individuals: a cross-sectional study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 10, 39.
- Georgiou, K., Larentzakis, A., Khamis, N., Alsuhaibani, G., Alaska, Y. & Giallafos, E. 2018. Can Wearable Devices Accurately Measure Heart Rate Variability? A Systematic Review. *Folia Medica* 60.
- Gibson, N., Drain, J., Larsen, P., Williams, S., Groeller, H. & Sampson, J. 2023. Subjective Measures of Workload and Sleep in Australian Army Recruits; Potential Utility as Monitoring Tools. *Military Medicine* 188 (3–4), 670–677.

- Giles, G., Mahoney, C., Caruso, C., Bukhari, A., Smith, T., Pasiakos, S., McClung, J. & Lieberman, H. 2019. Two days of calorie deprivation impairs high level cognitive processes, mood, and self-reported exertion during aerobic exercise: A randomized double-blind, placebo-controlled study. *Brain and Cognition* 132, 33–40.
- Gilgen-Ammann, R., Roos, L., Wyss, T., Veenstra, B., Delves, S., Beeler, N., Buller, M., & Friedl, K. 2021. Validation of ambulatory monitoring devices to measure energy expenditure and heart rate in a military setting. *Physiological measurement*, 42 (8).
- Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T. & Wyss, T. 2019. RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 1525–1532.
- Hall, J. & Hall, M. 2021. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Elsevier, 14. painos.
- Hart, S. & Staveland, L. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology* 52, 139–183.
- Henning, P., Scofield, D., Spiering, B., Staab, J., Matheny, R., Smith, M., Bhasin, S. & Nindl, B. 2014. Recovery of endocrine and inflammatory mediators following an extended energy deficit. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 99 (3), 956–964.
- Hernández-Vicente, A., Hernando, D., Marín-Puyalto, J., Vicente-Rodríguez, G., Garatachea, N., Pueyo, E. & Bailón, R. 2021. Validity of the Polar H7 Heart Rate Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Exercise in Different Age, Body Composition and Fitness Level Groups. *Sensors* 21, 902.
- Hernando, D., Garatachea, N., Almeida, R., Casajús, J. & Bailón, R. 2018a. Validation of Heart Rate Monitor Polar RS800 for Heart Rate Variability Analysis During Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 32, 716–725.
- Hernando, D., Hernando, A., Casajús, J., Laguna, P., Garatachea, N. & Bailón, R. 2018b. Methodological framework for heart rate variability analysis during exercise: application to running and cycling stress testing. *Medical & Biological Engineering & Computing* 56 (5), 781–794.
- Hiller-Sturmhöfel, S. & Bartke, A. 1998. The endocrine system: an overview. *Alcohol Health & Research World* 22 (3), 153–164.
- Hinde, K., White, G. & Armstrong, N., 2021. Wearable Devices Suitable for Monitoring Twenty Four Hour Heart Rate Variability in Military Populations. *Sensors* 21, 1061.

- Huovinen, J., Kyröläinen, H., Linnamo, V., Tanskanen, M., Kinnunen, H., Häkkinen, K. & Tulppo, M. 2011. Cardiac autonomic function reveals adaptation to military training. *European Journal of Sport Science* 11 (4), 231–240.
- Huovinen, J., Tulppo, M., Hautala, A., Kiviniemi, A., 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 (5), 277–284.
- Husu, P., Suni, J., Vähä-Ypyä, H., Sievänen, H., Tokola, K., Valkeinen, H., Mäki-Opas, T. & Vasankari, T. 2016a. Objectively measured sedentary behavior and physical activity in a sample of Finnish adults: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 16, 920.
- Husu, P., Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T. 2016b. Objectively measured sedentary behavior and physical activity of Finnish 7- to 14-year-old children– associations with perceived health status: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 16, 338.
- Hynynen, E., Kontinen, N., Kinnunen, U., Kyröläinen, H. & Rusko, H. 2011. The incidence of stress symptoms and heart rate variability during sleep and orthostatic test. *European Journal of Applied Physiology* 111, 733–741.
- Iizuka, T., Kon, M., Maegawa, T., Yuda, J., Aoyanagi, T., Takahashi, H., Atomi, T., Shimizu, M. & Atomi, Y. 2020. Comparison of Morning Heart Rate Variability at the Beginning and End of a Competition Season in Elite Speed Skaters. *Sports* 8, 164.
- Jetté, M., Sidney, K. & Blumchen, G. 1990. Metabolic Equivalent (METs) in Exercise Testing, Exercise Prescription, and Evaluation of Functional Capacity. *Clinical Cardiology* 13, 555–565.
- Johnsen, B., Hansen, A., Murison, R., Eid, J. & Thayer, J. 2012. Heart rate variability and cortisol responses during attentional and working memory tasks in naval cadets. *International Maritime Health* 63, 181–187.
- Järvelin-Pasanen, S., Sinikallio, S. & Tarvainen, M. 2018. Heart rate variability and occupational stress-systematic review. *Industrial Health* 56 (6), 500–511.
- Kallus, K. & Kellmann, M. 2016. *The Recovery-Stress Questionnaires: User Manual*. Pearson Assessment & Information GmbH.
- Kanakis, G., Tsametis, C. & Goulis, D. 2019. Measuring testosterone in women and men. *Maturitas* 125, 41–44.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C.,

- Skorski, S., Venter, R. & Beckmann, J. 2018. Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 13 (2), 240–245.
- Kraemer, W. & Ratamess, N. 2005. Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine* 35, 339–361.
- Kusano, M., Vanderburgh, P. & Bishop, P. 1997. Impact of body size on women's military obstacle course performance. *Biomedical Sciences Instrumentation* 34, 357–362.
- Kyröläinen, H., Pihlainen, K., Santtila, M. & Torpo, L. 2021. Taistelijan fyysinen toimintakyky 2020: Tieteellinen katsaus. Pääesikunta, Punamusta Oy, Helsinki 2021.
- Kyröläinen, H., Pihlainen, K., Vaara, J., Ojanen, T., & Santtila, M. 2018. Optimising Training Adaptations and Performance in Military Environment. *Journal of Science and Medicine in Sport* 21 (11), 1131–1138.
- Lee, E., Fragala, M., Kavouras, S., Queen, R., Pryor, J. & Casa, D. 2017. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 31 (10), 2920–2937.
- Leproult, R. & Van Cauter, E. 2011. Effect of 1 week of sleep restriction on testosterone levels in young healthy men. *JAMA* 305 (21), 2173–2174.
- Li, R., Kling, S., Salata, M., Cupp, S., Sheehan, J. & Voos, J. 2015. Wearable Performance Devices in Sports Medicine. *Sports Health* 8 (1), 74–78.
- Lieberman, H., Farina, E., Caldwell, J., Williams, K., Thompson, L., Niro, P., Grohmann, K., McClung, J. 2016. Cognitive function, stress hormones, heart rate and nutritional status during simulated captivity in military survival training. *Physiology & Behavior* 165, 86–97.
- Lippi, G., De Vita, F., Salvagno, G., Gelati, M., Montagnana, M. & Guidi, G. 2009. Measurement of morning saliva cortisol in athletes. *Clinical Biochemistry* 42, 904–906.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2015. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. Wolters Kluwer Health. 8. painos.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. 2013. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45 (1), 186–205.
- Mehta, R. 2015. Impacts of obesity and stress on neuromuscular fatigue development and associated heart rate variability. *International Journal of Obesity* 39, 208–213.

- Migueles, J., Cadenas-Sanchez, C., Ekelund, U., Nyström, C., Mora-Gonzalez, J., Löf, M., Labayen, I., Ruiz, J. & Ortega, F. 2017. Accelerometer Data Collection and Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations. *Sports Medicine* 47 (9), 1821–1845.
- Mishica, C., Kyröläinen, H., Hynynen, E., Nummela, A., Holmberg, H. & Linnamo, V. 2021. Relationships between Heart Rate Variability, Sleep Duration, Cortisol and Physical Training in Young Athletes. *Journal of Sports Science and Medicine* 20, 778–788.
- Moran, D., Evans, R., Arbel, Y., Luria, O., Yanovich, R., Milgrom, C. & Finestone, A. 2013. Physical and psychological stressors linked with stress fractures in recruit training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 23 (4), 443–450.
- Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, M. & Kyröläinen, H. 2012. Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *European Journal of Applied Physiology* 112, 801–809.
- Nicholls, A. & Holt, R. 2016. Growth Hormone and Insulin-Like Growth Factor-1. *Frontiers of Hormone Research* 47, 101–114.
- Nindl, B., Castellani, J., Young, A., Patton, J., Khosravi, M., Diamandi, A. & Montain, S. 2003. Differential responses of IGF-I molecular complexes to military operational field training. *Journal of Applied Physiology* 1083–1089.
- Nindl, B., Santtila, M., Vaara, J., Häkkinen, K. & Kyröläinen, H. 2011. Circulating IGF-I is associated with fitness and health outcomes in a population of 846 young healthy men. *Growth Hormone & IGF Research* 21 (3), 124–128.
- Noushad, S., Ahmed, S., Ansari, B., Mustafa, U., Saleem, Y. & Hazrat, H. 2021. Physiological biomarkers of chronic stress: A systematic review. *International Journal of Health Sciences* 15 (5), 46–59.
- Nuutila, O.-P., Korhonen, E., Laukkanen, J., Kyröläinen, H. 2022. Validity of the Wrist-Worn Polar Vantage V2 to Measure Heart Rate and Heart Rate Variability at Rest. *Sensors* 22, 137.
- Ojanen, T., Häkkinen, K., Vasankari, T. & Kyröläinen, H. 2018a. Changes in Physical Performance During 21 d of Military Field Training in Warfighters. *Military Medicine* 183, e174–181.
- Ojanen, T., Jalanko, P. & Kyröläinen, H. 2018b. Physical fitness, hormonal, and immunological responses during prolonged military field training. *Physiological Reports* 6 (17), e13850, 1–10.

- Ojanen, T., Kyröläinen, H., Igendia, M. & Häkkinen, K. 2018c. Effect of Prolonged Military Field Training on Neuromuscular and Hormonal Responses and Shooting Performance in Warfighters. *Military Medicine* 183, e705–712.
- O’Sullivan, S. 1984. Perceived Exertion. A Review. *Physical Therapy* 64 (3), 343–346.
- Palmer, A., Distefano, R., Leneman, K. & Berry, D. 2021. Reliability of the BodyGuard2 (FirstBeat) in the Detection of Heart Rate Variability. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. Viitattu 14.5.2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10484-021-09510-6>.
- Parak, J. & Korhonen, I. 2013. Accuracy of Firstbeat Bodyguard 2 Beat-to-Beat Heart Rate Monitor; White Paper; Firstbeat Technology Ltd.: Tampere, Finland, 2013. Viitattu 10.5.2021. https://assets.firstbeat.com/firstbeat/uploads/2015/11/white_paper_bodyguard2_final.pdf.
- Pierce, J., DeGroot, D., Grier, T., Hauret, K., Nindl, B., East, W., McGurk, M. & Jones, B. 2017. Body mass index predicts selected physical fitness attributes but is not associated with performance on military relevant tasks in U.S. Army Soldiers *Journal of Science and Medicine in Sport* 20 (4), S79–S84.
- Pihlainen, K., Santtila, M., Häkkinen, K. & Kyröläinen, H. 2018a. Associations of physical fitness and body composition characteristics with simulated military task performance. *J Strength Cond Res* 32 (4), 1089–1098.
- Pihlainen, K., Santtila, M., Vasankari, T., Häkkinen, K. & Kyröläinen, H. 2018b. Evaluation of occupational physical load during 6-month international crisis management operation. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 31 (2), 185–197.
- Plaza-Florido, A., Alcantara, J., Amaro-Gahete, F., Sasca, J. & Ortega, F. 2021. Cardiovascular Risk Factors and Heart Rate Variability: Impact of the Level of the Threshold-Based Artefact Correction Used to Process the Heart Rate Variability Signal. *Journal of Medical Systems* 45, 2.
- Plymate, S., Tenover, J. & Bremner, W. 1989. Circadian variation in testosterone, sex hormone-binding globulin, and calculated non-sex hormone-binding globulin bound testosterone in healthy young and elderly men. *Journal of Andrology* 10 (5), 366–371.
- Ponce, T., Mainenti, M., Cardoso, E., de Barros, T., Salerno, V. & Vaisman, M. 2023. Military field training exercise with prolonged physical activity and sleep restriction causes hormonal imbalance in firefighter cadets. *Journal of Endocrinological Investigation* 46, 381–391.

- Reynolds, A., Dorrian, J., Liu, P., Van Dongen, H., Wittert, G., Harmer, L. & Banks, S. 2012. Impact of five nights of sleep restriction on glucose metabolism, leptin and testosterone in young adult men. *PLoS One* 7 (7), e41218.
- Rosner, W., Auchus, R., Azziz, R., Sluss, P. & Raff, H. 2007. POSITION STATEMENT: Utility, Limitations, and Pitfalls in Measuring Testosterone: An Endocrine Society Position Statement. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 92 (2), 405–413.
- Salonen, M., Huovinen, J., Kyröläinen, H., Piirainen, J. & Vaara, J. 2019. Neuromuscular Performance and Hormonal Profile During Military Training and Subsequent Recovery Period. *Military Medicine* 184, e113–119.
- Santtila, M., Pihlainen, K., Viskari, J., & Kyröläinen, H. 2015. Optimal physical training during military basic training period. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 29 (11), 154–157.
- Santtila, M., Pihlainen, K., Koski, H., Vasankari, T., Kyröläinen, H. 2018. Physical fitness in young men between 1975 and 2015 with a focus on the years 2005-2015. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 50 (2), 292–298.
- Schneiderman, N., Ironson, G. Siegel, S. 2005. Stress and health: psychological, behavioral, and biological determinants. *Annual Review of Clinical Psychology* 1, 607–628.
- Schuermans, A., de Loeff, P., Nijhof, K., Rosada, C., Scholte, R., Popma, A. & Otten, R. 2020. Validity of the Empatica E4 Wristband to Measure Heart Rate Variability (HRV) Parameters: A Comparison to Electrocardiography (ECG). *Journal of Medical Systems* 44, 190.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. 2017. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* 5, 258.
- Shah, A., Su, S., Veledar, E., Bremner, J., Goldstein, F., Lampert, R., Goldberg, J. & Vaccarino, V. 2011. Is heart rate variability related to memory performance in middle-aged men? *Psychosomatic Medicine* 73, 475–482.
- Singh, N., Moneghetti, K., Christle, J., Hadley, D., Froelicher, V. & Plews, D. 2018. Heart Rate Variability: An Old Metric with New Meaning in the Era of using mHealth Technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part One: Physiology and Methods. *Arrhythmia & Electrophysiology Review* 7, 193.
- Snyder, A. & Hackney, A. 2013. The endocrine system in overtraining. *Endocrinology of Physical Activity and Sport*. Springer, 2. painos.
- Somers, V., Dyken, M., Mark, A. & Abboud, F. 1993. Sympathetic-Nerve Activity during Sleep in Normal Subjects. *The New England Journal of Medicine* 328, 303–307.

- Szivak, T., Lee, E., Saenz, C., Flanagan, S., Focht, B., Volek, J., Maresh, C., Kraemer, W. 2018. Adrenal stress and physical performance during military survival training. *Aerospace medicine and human performance* 89 (2), 99–107.
- Tanskanen, M. 2012. Effects of military training on aerobic fitness, serum hormones, oxidative stress and energy balance, with special reference to overreaching. University of Jyväskylä. ISBN 978-951-39-4961-7.
- Tanskanen, M., Kyröläinen, H., Uusitalo, A., Huovinen, J., Nissilä, J., Kinnunen, H., Mustafa, A. & Häkkinen, K. 2011. Serum Sex Hormone–Binding Globulin and Cortisol Concentrations are Associated With Overreaching During Strenuous Military Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 25 (3), 787–797.
- Tarvainen, M., Lipponen, J., Niskanen, J. & Ranta-aho, P. 2021. Kubios HRV Software. User's Guide. 2016–2021 Kubios Oy. 41 s.
- Tarvainen, M., Niskanen, J.-P., Lipponen, J., Ranta-aho, P. & Karjalainen, P. 2014. Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 113 (1), 210–220.
- Task Force Report. 1996. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93, 1043–1065.
- Taylor, A., Keevil, B. & Huhtaniemi, I. 2015. Mass spectrometry and immunoassay: how to measure steroid hormones today and tomorrow. *European Journal of Endocrinology* 173 (2), D1–D12.
- Terburg, D., Morgan, B. & van Honk, J.. 2009. The testosterone–cortisol ratio: A hormonal marker for proneness to social aggression. *International Journal of Law and Psychiatry* 32 216–223.
- Tharion, W., Lieberman, H., Montain, S., Young, A., Baker-Fulco, C., DeLany, J. & Hoyt, R. 2005. Energy requirements of military personnel. *Appetite* 44, 47–65.
- Tomes, C., Schram, B. & Orr, R. 2020. Relationships Between Heart Rate Variability, Occupational Performance, and Fitness for Tactical Personnel: A Systematic Review. *Frontiers in Public Health* 8.
- Tudor-Locke, C., Hatana, Y., Pangrazi, R. & Kang, M. 2008. Revisiting "How Many Steps Are Enough?". *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (7), 537–543.
- Turpeinen, U. & Hämäläinen, E. 2013. Determination of cortisol in serum, saliva and urine. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* 27 (6), 795–801.

- Tyyskä, J., Kokko, J., Salonen, M., Koivu, M. & Kyröläinen, H. 2010. Association with physical fitness, serum hormones and sleep during a 15-day military field training. *Journal of Science and Medicine in Sport* 13 (3), 356–359.
- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. 1995. Blood Hormones as Markers of Training Stress and Overtraining. *Sports Medicine* 20 (4), 251–276.
- von Rosenberg, W., Chanwimalueang, T., Adjei, T., Jaffer, U., Goverdovsky, V. & Mandic, D. 2017. Resolving Ambiguities in the LF/HF Ratio: LF-HF Scatter Plots for the Categorization of Mental and Physical Stress from HRV. *Frontiers in Physiology* 8, 360.
- Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Suni, J. & Sievänen, H. 2015. A universal, accurate intensity-based classification of different physical activities using raw data of accelerometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 35, 64–70.
- Wyss, T., Scheffler, J. & Mäder, U. 2012. Ambulatory Physical Activity in Swiss Army Recruits. *International Journal of Sports Medicine* 33, 716–722.
- Yamanaka, Y., Hashimoto, S., Takasu, N., Tanahashi, Y., Nishide, S., Honma, S. & Honma, K. 2015. Morning and evening physical exercise differentially regulate the autonomic nervous system during nocturnal sleep in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 309 (9), R1112–1121.
- Yaribeygi, H., Panahi, Y., Sahraei, H., Johnston, T. & Sahebkar, A. 2017. The impact of stress on body function: A review. *EXCLI Journal* 16, 1057–1072.
- Yoshida, Y., Yuda, E., Yokoyama, K. & Hayano, J. 2018. Evaluation of nocturnal heart rate variability for strenuous exercise day using wearable photoelectric pulse wave sensor. *Journal of Exercise Rehabilitation* 14 (4), 633–637.