

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**ILMAVOIMIEN KULJETUS- JA YHTEYSKONEKALUSTON OHJAAJIEN TYÖN
KUORMITTAVUUDEN JA PALAUTUMISEN ARVIOINTI SYKEVÄLIVAIHTELUN
PERUSTEELLA**

Pro Gradu

Yliluutnantti
Martti Manner

Maisterikurssi 7
Ilmasotalinja

Huhtikuu 2018

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 7	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Martti Manner	
Tutkielman nimi Ilmavoimien kuljetus- ja yhteyskonekaluston ohjaajien työn kuormittavuuden ja palautumisen arviointi sykevälivaihtelun perusteella	
Oppiaine johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2018	Tekstisivuja 68 Liitesivuja 8
TIIVISTELMÄ <p>Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Ilmavoimissa palvelevien kuljetus- ja yhteyskoneohjaajien työn kuormittavuutta ja palautumista normaaliolojen toimintaympäristössä sykevälimittauksen avulla. Kerätyn sykevälivaihteludatan perusteella voitiin arvioida sydämen autonomisen säätelyn muutoksia, jotka kuvastavat autonomisen hermoston toimintaa ja elimistön kuormittumista sekä palautumista.</p> <p>Tarkempi tutkimusasetelma tehtiin siten, että mittauksilla kyettiin selvittämään normaaliolojen laivue- ja lentopalveluspäivien kokonaiskuormitusta, pelkkien lentotehtävien aiheuttamaa kuormitusta sekä työvuoron aikana suoritetun palautumismenetelmän vaikutuksia seuraavan yön aikaiseen sydämen autonomiseen säätelyyn. Tutkimukseen osallistui 12 Tukilentolaivueessa työskentelevää ohjaajaa, joilta kerättiin sykevälivaihteludataa noin vuorokauden mittaisissa jaksoissa päivittäisten työvuorojen yhteydessä.</p> <p>Mittausten perusteella laivuepalveluspäivinä keskisyke oli 77 ± 9 bpm, sykevälivaihtelua kuvaava RMSSD 34 ± 8 ms, hapenkulutus 6.1 ± 1.4 ml/kg/min ja energiankulutus 1197 ± 332 kcal. Lentopalveluspäivinä vastaavat arvot olivat keskisyke 83 ± 10 bpm, RMSSD 30 ± 10 ms, hapenkulutus 6.5 ± 1.7 ml/kg/min ja energiankulutus 1441 ± 541 kcal. Työvuorojen aikana suoritetuilla palautumismenetelmillä ei havaittu yhteyksiä seuraavan yön aikaiseen sydämen autonomiseen säätelyyn.</p> <p>Lentojen aikaisten sykevälivaihtelumuuttujien perusteella LF/HF -suhde laski merkitsevästi lentoajan kasvaessa ($p < 0.01$). LF -arvoissa ei havaittu muutoksia, joten havainto kertonee suuremmasta parasympaattisesta aktivaatiosta pidempikestoisten lentojen aikana. Lento-ohjelmien perusteella tehdyissä tarkasteluissa ei havaittu merkittäviä muutoksia sykevälivaihtelussa.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kuljetus- ja yhteyskoneohjaajien työ ei normaalioloissa aiheuta merkittävää kuormitusta. Tilannetta edesauttaa myös ohjaajien suhteellisen hyvä kuntotaso, mikä osaltaan tasannee kuormituksen vaikutuksia. Toisaalta etenkin lentopalveluspäivien kohdalla työajoissa on suurta ajallista hajontaa ja epäsäännöllisyyttä sekä kokonaiskeston että alkamisajankohdan suhteen.</p>	
AVAINSANAT Työn kuormittavuus, palautuminen, sykevälivaihtelu, ilmailufysiologia, Tukilentolaivue	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KULJETUSKONEOHJAAJAN TYÖ, TOIMINTAYMPÄRISTÖ JA TOIMINTAKYKY	4
2.1	LAIVUE- JA LENTOPALVELUS	5
2.2	TUKILENTOLAIVUE TYÖYMPÄRISTÖNÄ	7
2.3	LENTOKONE TYÖYMPÄRISTÖNÄ	8
2.4	TOIMINTAKYKYYN LIITTYVÄT VAATIMUKSET	10
3	ELIMISTÖN KUORMITUS JA PALAUTUMINEN	12
3.1	FYYSINEN KUORMITTUMINEN	13
3.2	PSYKOSOSIAALINEN KUORMITTUMINEN	15
3.3	LENTOTYÖHÖN LIITTYVIÄ KUORMITUSTEKIJÖITÄ	16
3.4	STRESSIN MÄÄRITELMÄ	18
3.5	VAIKUTUSMEKANISMIT	19
3.6	STRESSITEKIJÄT	21
3.7	PALAUTUMINEN	22
3.8	MATALATAAJUUSHOITO PALAUTUMISEN TUKENA	23
3.9	AIEMPI TUTKIMUS	24
4	AUTONOMINEN HERMOSTO, SYDÄMEN TOIMINTA JA SYKEVÄLIVAIHTELU	26
4.1	ELIMISTÖN TASAPAINOTILA - HOMEOSTAASI	26
4.2	AUTONOMINEN HERMOSTO	27
4.3	SYDÄMEN RAKENNE JA TOIMINTA	28
4.4	SYDÄMEN SÄÄTELYMEKANISMIT	30
4.5	SYKE JA SYKEVÄLIVAIHTELU	31
4.6	AIKAKENTTÄANALYYSI	34
4.7	TAAJUUSKENTTÄANALYYSI	35
4.8	AIEMPI TUTKIMUS	36
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	38
5.1	TUTKIMUSAIHEEN RAJAUS	38
5.2	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	39
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	40
6.1	TUTKITTAVAT	40
6.2	TUTKIMUSASETELMA	41
6.3	TUTKIMUSMENETELMÄT	43
6.4	MITTAUSTEN TOTEUTUS	45
6.5	TILASTOLLISET MENETELMÄT	46
7	TULOKSET	48
7.1	TYÖN AIKAINEN KUORMITTUMINEN	48
7.2	LENTOJEN AIKAINEN KUORMITTUMINEN	51
7.3	UNI JA PALAUTUMINEN	58
8	POHDINTA	59
8.1	TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUS	59
8.2	TULOSTEN ARVIOINTI	61
8.3	MUUT HAVAINNOT	64
8.4	JOHTOPÄÄTÖKSET	64
8.5	JATKOTUTKIMUSMAHDOLLISUUDET	67
9	LÄHTEET	69
10	LIITTEET	79

ILMAVOIMIEN KULJETUS- JA YHTEYSKONEKALUSTON OHJAAJIEN TYÖN KUORMITTAVUUDEN JA PALAUTUMISEN ARVIOINTI SYKEVÄLIVAIHTELUN PERUSTEELLA

1 JOHDANTO

Työn tekeminen on useimpien aikuisten ihmisten elämässä merkittävässä roolissa ja suurin osa työikäisestä väestöstä viettääkin noin puolet valveillaoloajastaan töissä. Työ ja siihen liittyvät tekijät vaikuttavat vahvasti ihmisen elämiseen ja toimintaan. Joissain tilanteissa työ saattaa olla jopa niin kuormittavaa, että ihminen uupuu ja sairastuu. (Föhr 2016, 30) Näin ollen työn tekeminen ja työkyky liittyvät läheisesti ihmisen toimintakykyyn, jonka tutkimuksen juurien voidaan nähdä ulottuvan pitkälle historiaan (Kangas 2000, 45). Tutkimustyötä on tehty lähes kaikilla tieteenaloilla, mikä on avannut uusia näkökulmia sekä tutkimusmenetelmien että -asetelmien osalta. Kiinnostuksen kohteena on ollut selvittää, miten ihmiset suoriutuvat erilaisissa tilanteissa ja tehtävissä; toisin sanoen missä kulkevat ihmisen toimintakyvyn rajat?

Sotatieteiden näkökulmasta toimintakyvyn käsite on määritelty Toiskallion (1998a, 9) mukaan seuraavasti: ”*Toimintakyky tarkoittaa pikemmin valmiutta kuin suoritusta. Tehokkaiden suoritusten edellytyksenä on hyvä toimintakyky - vahva perusta, kyky soveltaa jo hallittua ja taito oppia kokemuksista.*”. Se voidaan edelleen jakaa neljään yhdessä toimivaan osa-alueeseen: fyysiseen, psyykkiseen, sosiaaliseen ja eettiseen toimintakykyyn (Toiskallio 1998b, 161). Suomen väestön työkykyä tutkineessa Terveys 2000 -selvityksessä toimintakyky taas jaetaan fyysisen, psyykkisen, ja sosiaalisen ulottuvuuksiin, jotka muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden ja luovat pohjan ihmisen hyvälle työkyvylle. Työkyky taas kytkeytyy lähes kaikkiin työelämään liittyviin tekijöihin ja sen voidaan nähdä olevan yhteydessä myös työn kuormittavuuteen. (Gould, Ilmarinen, Järvisalo & Koskinen 2006, 17–21)

Tätä taustaa vasten tarkasteltuna toimintakyky ja työn kuormittavuus liittyvät toisiinsa läheisesti: työhön liittyvä kuormitus asettaa ihmisen toimintakyvylle ne vaatimukset, jotka hänen tulee saavuttaa kyetäkseen suoriutumaan työstään. Liian korkeat vaatimukset tai yksilön liian matala toimintakyvyn taso voivat kasvattaa työn kuormittavuutta. Työtehtävien edellyttämät toimintakykyvaatimukset voivat asemoitua kaikille toimintakyvyn osa-alueille ja niiden selvittämiseksi tarvitaan tutkittua tietoa työn kuormittavuudesta, jota tällä tutkimuksella pyritään osaltaan tuottamaan.

Sotilaiden toimintakykyyn ja kuormittumiseen liittyvää tutkimustyötä on tehty usein niin Suomessa kuin ulkomaillakin yksilöiden fyysisen suorituskyvyn ja kuormittumisen näkökulmasta. Viimeaikaisen kotimaisen tutkimuksen painopiste on ollut taistelukentän olosuhteissa yksilöiltä vaadittavien fyysisten ominaisuuksien selvittämisessä ja pidempikestoisen kuormituksen vaikutusten arvioinnissa (Salonen ym. 2013; Väyrynen 2015; Pihlainen ym. 2016; Iso-la 2017) Sotilaslentäjien osalta toimintakyvyn ja kuormittumisen tutkimus on Suomessa ensisijaisesti painottunut etupäässä hävittäjäohjaajien työn kuormittavuuden, lennonaikaisen G-voimakuormituksen vaikutusten sekä työperäisten sairauksien tunnistamiseen ja ennaltaehkäisyyn (Rintala 2012; Sovelius 2014; Lahtinen 2016).

Työnkuvat hävittäjä- ja kuljetuskoneohjaajien lentotyön välillä eroavat kuitenkin toisistaan merkittävästi, koska koneiden liikehtimiskyky ja niillä suoritettavat tehtävätyypit ovat täysin erilaisia. Näin ollen voidaan olettaa, että työ ei kuormita ohjaajia samalla tavalla, koska jo lentojen aiheuttama fyysinen kuormitus jää intensiteetiltään matalammaksi. Kuljetus- ja yhteyskoneohjaajien työn kuormittavuudesta ei ole tehty aiempaa tutkimusta, mutta Rintalan (2012) arvion mukaan työssä voidaan arvioida merkittävimmiksi kuormitustekijöiksi epäsäännölliset työajat, staattinen työskentelyasento ja pitkät lentopäivät.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään Ilmavoimien kuljetus- ja yhteyskonekalustolla lentävien ohjaajien työn kuormittavuutta normaaliolojen toimintaympäristössä. Tutkimuksen tavoitteena on muodostaa yleiskuva työn kokonaiskuormituksesta ja palautumisesta. Tutkimusaiheen valinta perustuu kuljetuskoneohjaajien ensisijaisen työterveysyksikön, Tampereen varuskunnan terveysaseman, tekemien havaintojen pohjalle, joiden perusteella työlle ominaiset epäsäännölliset työajat saattavat aiheuttaa kumuloituvaa kuormitusta.

Työn kuormittavuuden arviointiin käytetään sykevälivaihteluun perustuvaa mittausta. Sotilas- ja ilmailualalla sykkeen ja sykevälivaihtelun ilmentämää kuormittumista on tutkittu jo 1970-luvulta lähtien. (mm. Roscoe 1982; 1993; Bonner & Wilson 2002; Lahtinen, Koskelo, Laitinen & Leino 2007; Salonen ym. 2013; Mansikka, Virtanen, Harris & Simola 2016) Menetelmää on sovellettu aiemmin myös muiden työtehtävien kuormituksen ja palautumisen arviointiin ja se antaa mahdollisuuden ihmisten seurantaan luonnollisessa toimintaympäristössä (kts. Teisala ym. 2014; Kaikkonen, Lindholm & Lusa 2017).

2 KULJETUSKONEOHJAAJAN TYÖ, TOIMINTAYMPÄRISTÖ JA TOIMINTAKYKY

Ilmavoimien lentokalusto koostuu Hornet -torjuntahävittäjästä, Hawk -suihkuharjoituskoneista, erilaisista kuljetus- ja yhteyskoneista sekä Vinka- ja Grob -alkeislentokoulutuskoneista. Tässä tutkimuksessa tarkastelu rajataan Ilmavoimien kuljetus- ja yhteyskonekalustoon, joilla tarkoitetaan seuraavia lentokonetyyppejä: *Airbus DS C-295M (CC)*, *Learjet 35A/S (LJ)* ja *Pilatus PC-12NG (PI)* (Kuva 1). Ilmavoimissa vakiintuneen määritelmän mukaan CC- ja LJ -kalusto luetaan kuljetuskoneiksi ja PI -kalusto yhteyskoneiksi. Tutkimusraportin kirjoitusasun selkeyden vaalimiseksi tässä työssä viitataan jäljempänä kaikkiin kuljetus- ja yhteyskoneisiin termillä *kuljetuskone*. Kalustolla lentäviin ohjaajiin viitataan vastaavasti termillä *kuljetuskoneohjaaja*.



Kuva 1. Ilmavoimien kuljetus- ja yhteyskonekalustoa: LJ, CC, PI (Ilmavoimat)

Kuljetuskonekalustosta suurin osa on sijoitettu Pirkkalaan Satakunnan lennoston. Sen lisäksi PI -kalustoa on hajasijoitettuna muissa Ilmavoimien joukko-osastoissa lentokoneressurssien joustavan käytön varmistamiseksi. Suurin osa kuljetuskonekalustolla lentävistä ohjaajista palveleekin Satakunnan lennoston alaisessa Tukilentolaivueen joukkoyksikössä, jonka päätehtävänä on operointi Ilmavoimien kuljetuskonekalustolla. Myös lentopalveluksen suunnittelu- ja johtovastuu on keskitetty Tukilentolaivueelle. Laivueen organisaatio koostuu kolmesta lentueesta, joista kukin vastaa yhden konetyypin operoinnista. Lentävien lentueiden lisäksi laivueen organisaatioon kuuluu esikuntalentue, jonka tehtävänä on toimia laivueen komentajan johtoesikuntana ja toteuttaa laivueen johtamisessa tarvittavat hallintotehtävät. (Satakunnan lennoston työjärjestys 2015, 56–57, 61–65)

Tukilentolaivue on Puolustusvoimien ainoa kuljetuskonekalustolla operoiva lentoyksikkö. Sen toteuttama lentotoiminta käsittää valtionhallinnon ja Puolustusvoimien tilaamat operatiiviset, palvelu-, tuki- ja koululennot. Tämän lisäksi laivue osallistuu kriisinhallintaoperaatioiden tukemiseen suorittamalla tukilentoja kansainvälisille operaatioalueille. (Satakunnan lennoston työjärjestys 2015, 56)

2.1 Laivue- ja lentopalvelus

Kuljetuskoneohjaajan työnkuva koostuu normaalioloissa laivue- ja lentopalveluksesta. Laivuepalveluksessa työ on yleensä vaihtelevaa toimistotyötä, jota tehdään normaalin virka-ajan puitteissa. Laivuepalvelus koostuu muun muassa laivueen hallinnollisten asioiden hoitamisesta, harjoitustoiminnan valmistelusta, toiminnan kehittämisestä, koulutustoiminnasta ja lentotoiminnan sekä siihen tarvittavien resurssien käytön suunnittelusta (Satakunnan lennoston työjärjestys 2015, 57–67). Lentopalveluksella puolestaan tarkoitetaan suoraan lentotehtävän suorittamiseen liittyviä osa-alueita: lennon valmistelua, toteutusta ja raportointia (Sotilasilmalukäsikirja 2017, 36–37).

Laivuepalvelukseen sisältyvät tehtävät rytmittyvät pääsääntöisesti vuosikello-ajattelun mukaisesti, mutta etenkin lentopalvelukseen liittyvät suunnittelu- ja toteutustehtävät saattavat konkretisoitua lyhyelläkin varoitusajalla. Myös lentopalvelus liittyy läheisesti laivuepalvelukseen, erityisesti lentotoiminnan suunnitteluun. Suuri osa kuljetuskonekalustolla toteutettavasta lentotoiminnasta onkin suunniteltu jo ennalta vuosittain päivitettävässä tukilentokäskyssä (Sotilasilmalukäsikirja, liite 6 2017). Suunnitteluprosessin tavoitteena on lentotoimintaan liittyvien resurssien mahdollisimman hallittu ja taloudellinen käyttö.

Lentopalvelus koostuu lennon valmistelusta, lentotehtävän suorittamisesta sekä purku- ja raportointivaiheesta. Lennonvalmistelu ja raportointivaihe koostuvat pääsääntöisesti työskentelystä tietokonepääteellä. Valmistelun aikana ohjaajat perehtyvät esimerkiksi sää- ja olosuhdetietoihin, käytettäviin lentoreitteihin, lentopaikkojen käytettävyyteen, lentokoneen painopistelaskelmiin sekä muihin lennon suorittamisen kannalta oleellisiin tietoihin ja asiakirjoihin. Lennonjälkeinen raportointi pitää sisällään tiettyjen suoritusilmoitusten ja lennonaikaisten havaintojen syöttämisen Ilmavoimien raportointijärjestelmään sekä muut lentotehtävään liittyvät purkutoimenpiteet.

Lentotoiminnan painopiste on erilaisissa kuljetuslennoissa, joilla voidaan kuljettaa esimerkiksi matkustajia tai rahtia. Yksittäisen lentotehtävän kesto vaihtelee konetyypistä riippuen. Pissimmillään yhtäjaksoista lentoaikaa voi tulla jopa kahdeksan tuntia, mutta arvo on lähinnä teoreettinen. Ilmavoimien lentotoiminnan suunnittelu- ja seurantajärjestelmän (LSSJ) raporttien perusteella kuljetuslentotoiminnassa tyypillinen lentokohtainen lentoaika vaihtelee noin 20 minuutin ja 4 tunnin välillä kalustosta ja reittivälistä riippuen. Keskimäärin yhden kuljetuslentotehtävän kesto on noin 60 minuuttia. Tyypillisesti yhteen lentopalveluspäivään sisältyy useampi kuin yksi lentosuoritus.

Lentopalvelus on luonteeltaan epäsäännöllistä; lentopäivien määrä ja kesto vaihtelevat kuukausittain. Lentoja voi tulla suoritettavaksi lyhyelläkin varoitusajalla esimerkiksi sairastapausten tai konerikkojen aiheuttamien muutosten vuoksi. Työvuorot voivat ajoittua kaikkiin vuorokauden aikoihin ja myös viikonloppuihin lentokuljetustarpeen mukaan. Lennot suuntautuvat sekä kotimaahan että ulkomaille ja matkat voivat olla kokonaispituudeltaan useammankin vuorokauden mittaisia.

Lentokoneen henkilöstöön viitataan termillä miehistö, jonka kokoonpano vaihtelee lentotehtävästä riippuen. Miehistöön kuuluu aina vähintään yksi ohjaaja. CC ja LJ -kalustolla lennetään aina kahdella ohjaajalla. PI -kalustolla kotimaan sisäiset lennot lennetään pääsääntöisesti yhdellä ohjaajalla, mutta ulkomaille suuntautuvat lennot pyritään siltäkin toteuttamaan kahdella ohjaajalla. Ohjaajien lisäksi kuljetuskonekaluston miehistöön kuuluu yleensä myös matkamekaanikko.

Lennon aikana miehistötehtävällä toimivan henkilön muun työajan ja lentopalvelusajan yhteenlaskettu kokonaispituus saa olla korkeintaan 16 tuntia, mikäli työvuoro päättyy lentopalvelukseen. Laivueen komentaja voi poiketa järjestelystä harkintansa mukaan ja jatkaa lentopalvelusaikaa, mikäli siihen on erityinen syy. 16 tunnin aikarajasta poikkeamista tulee kuitenkin välttää peräkkäisinä lentopalveluspäivinä. Mikäli lentopalvelusajan maksimipituus näyttää ylittyvän kolmannen kerran peräkkäisinä päivinä, tulee siihen rauhan ajan lentopalveluksessa hakea erikseen lupa Ilmavoimien esikunnan operatiiviselta osastolta. (Sotilasilmailukäsikirja 2017, 32) 16 tunnin kokonaisajan ylittävät lentopalveluspäivät ovat kuitenkin harvinaisia ja käytäntö on osoittanut tavanomaisen lentopalveluspäivän pituuden vaihtelevan noin 8 ja 12 tunnin välillä.

Lentopalvelukseen osallistuvan henkilöstön riittävän vireystason varmistamiseksi lepomahdollisuudet tulee järjestää siten, että käsketyt tehtävät ja toiminnan tavoitteet saavutetaan lentoturvallisuutta vaarantamatta. Lentopalveluksen päättymisen jälkeen henkilöstölle on pyrittävä varaamaan vähintään kahdeksan tunnin yhtämittainen lepoaika ennen seuraavan lentopalveluksen alkamista. Lepoajan määrittelyssä tulee ottaa huomioon myös siirtymät majoitustiloihin. Lepotilaksi on tarjottava kohtuulliset, tilanteen sallimat vaatimukset täyttävät majoitus-tilat nukkumista varten. (Sotilasilmailukäsikirja 2017, 32)

2.2 Tukilentolaivue työympäristönä

Tukilentolaivueen henkilöstöstä suurin osa on ohjaajia, jotka on sijoitettu eri lentueisiin. Tehokkaan ja turvallisen lentotoiminnan varmistamiseksi laivueen lentävän henkilöstön osalta on pyritty ratkaisuun, missä kullekin ohjaajalle koulutetaan yksi laivueen konetyyppi operoitavaksi pääkalustoksi. Lentueiden sisällä ohjaajat työskentelevät eri tehtävissä kokemus- ja koulutustasosta riippuen. Tehtävät jakautuvat lentueen päällikön, varapäällikön, vastaavan ohjaajan, lennonopettajan sekä riviohjaajan tehtäviin.

Työtehtävien tuottamien vastuiden ja velvollisuuksien jakautumisessa laivueen sisällä on epätasaisuutta sekä ajallisesti että henkilöstön välillä. Osa tästä epätasapainosta aiheutuu luonnollisesta harjoituskierrosta, missä etenkin kevät ja syksy ovat kiireisiä niille ajoittuvien useiden lentotoimintaharjoitusten vuoksi. Kesän ja vuodenvaihteen tienoille ajoittuvat lomakaudet puolestaan ovat lentointensiteetin osalta hiljaisempia. Henkilöstön välistä epätasapainoa aiheuttaa etenkin perusyksiköiden päälliköille lankeava työkuorma (Pykäläinen 2017), joka on yleistä myös muissa Puolustusvoimien joukkoyksiköissä (Halonen 2007, 77–78; Iivarinen 2013). Työmäärän ja vastuun ero lentueen päällikön ja riviohjaajan välillä voikin olla huomattava. (Lehtonen 2016)

Laivueen muodostama työyhteisö on tiivis. Työyhteisön koko on verrattain pieni ohjaajien lukumäärän ollessa noin 30. Laivueen henkilöstön työpisteet sijaitsevat lyhyen välimatkan päässä toisistaan ja henkilöstö on keskenään tekemisissä päivittäin. Pieni henkilöstömäärä mahdollistaa myös sen, että koko laivueen henkilöstö tuntee toisensa. Tämä edesauttaa työn sujuvuutta ja ennakoitavuutta. Työyhteisön tiivisyys vaikuttaa osaltaan myös työtyytyväisyyteen ja positiivisiin työasenteisiin. (Lehtonen 2016)

2.3 Lentokone työympäristönä

Verrattaessa lentokonetta mihin tahansa muuhun työympäristöön, voidaan havaita sen olevan merkittävästi erilainen. Lentotyö pitää sisällään paljon matkustamista, ohjaamo on usein ahdas ja lennonaikainen liikkuminen rajoitettua (Green & Farmer 1988, 455), lentoympäristön olosuhteet eroavat merkittävästi merenpinnan tasosta (Harding 1988) ja hetkittäinen työkuorma voi koetella ohjaajien toimintakyvyn rajoja (Wickens, Lee, Liu & Gordon Becker 2004, 120–123).

Lentoympäristö jakautuu kahteen osaan: luonnolliseen ja keinotekoiseen ympäristöön. Luonnollisella ympäristöllä tarkoitetaan ilmakehää ja keinotekoisella ympäristöllä lentokoneen ohjaamon ja matkustamon muodostamaa kokonaisuutta. Ilmailun alkuajoista käynnistynyt tekninen kehitys aikaisemmista avoimista ohjaamoista nykyaikaisiin suljettuihin ja paineistettuihin tiloihin on tehnyt lentämisestä verrattain mukavaa ja turvallista. (Vapaavuori & Sorsa 2005, 7)

Teknisestä kehityksestä huolimatta ilmailussa on edelleen monia tekijöitä, jotka vaikuttavat lentävään ihmiseen; ympäristöön liittyvistä perustekijöistä esimerkiksi ilmakehään, happimäärän vähenemiseen lentokorkeuden kasvaessa ja paine-eroihin liittyvät normaalit fysiologiset reaktiot vaikuttavat lentävän ihmisen suorituskykyyn. (Vapaavuori & Sorsa 2005, 7) Ohjaamoympäristössä esimerkiksi melu, lämpötila, värinä ja paineenvaihtelut luovat omat erityispiirteensä lentotyölle (Kuronen 2000, 180–181). Psykofysiologisesta näkökulmasta tarkasteltuna lentotyö kuormittaa etenkin ihmisen tiedonkäsittelyjärjestelmää. Myös fyysinen toimintakyky vaikuttaa lentotyöhön, etenkin suorituskykyisillä hävittäjäkoneilla lennettäessä. (Kuronen & Myllyniemi 1996)

Vaikka sotilaslentäminen mielletään usein fyysisesti kuormittavaksi toiminnaksi, niin määrittelyä tehtäessä tulee nähdä ero hävittäjä- ja kuljetuslentotoiminnan välillä. Tämä johtuu ensisijaisesti siitä, että kuljetuskoneet eivät pysty liikehtimään samoilla kuormituskertoimilla, joten kaartojen, kallistusten ja korkeusmuutosten aiheuttamille fyysisille ponnistuksille ei ole samanlaista tarvetta. Kuljetuslentotehtävien luonne on yleensä myös rauhallisempi verrattuna hävittäjäkaluston lentotehtäviin. Näin ollen kuljetuslentotoiminnan aiheuttama fyysinen intensiteetti on hävittäjälentämistä matalampaa. Kuljetuslentotoiminnan voidaankin arvioida vertautuvan fyysiseltä kuormittavuudeltaan läheisemmin kaupallisten lentoyhtiöiden suorittamaan lentotoimintaan.

Lentämiseen ja lentokoneen ohjaamiseen liittyvät toiminnot eivät ole fyysisesti poikkeuksellisen raskaita, koska ohjaimet ovat kevennettyjä ja ohjaaminen tapahtuu useimmiten erilaisten hydraulisten tai sähköisten laitteiden välityksellä (Vapaavuori & Sorsa 2005, 136). Vaikka fyysisen voiman ja kunnan eli fyysisen suorituskyvyn merkitys on vähentynyt, ei sitä voida kokonaan sivuuttaa. Lentotyössä korostuvat esimerkiksi staattisten työskentelyasentojen, istumatyön ja pitkien työvuorojen aiheuttamat rasitukset (Rintala 2012, 104), joita hyvällä fyysisellä kunnolla voidaan ehkäistä. Näiden lisäksi riittävä fyysinen suorituskyky ja liikunnallinen elämäntapa edistävät esimerkiksi vireystilan ylläpitämistä (Sandström & Ahonen 2011, 144), stressinsietokykyä ja palautumista (Föhr 2016). Lisäksi hyvä fyysinen kunto suojaa ihmistä erilaisilta sairauksilta (Kiviniemi ym. 2017; Pletnikoff 2017).

Teknisen kehityksen ja lisääntyneen tutkimustiedon myötä myös lentokoneiden ohjaajien toimivan ergonomian suunnitteluun ja toteutukseen on panostettu niiden käytettävyyden parantamiseksi (Wickens ym. 2004, 244, 287). Viimeisimmät tekniset kehitysaskleet eivät välttämättä näy Ilmavoimien käytössä olevien kuljetuskoneiden ohjaamoissa, koska niiden perusrakenne on kunkin konetyypin suunnitteluajankauden mukainen. Subjektiiivisten havaintojen perusteella voidaan todeta, että ohjaamoympäristö saattaa olla ahdas etenkin keskimääräistä suurikokoisemmille henkilöille. Ahdas työskentely-ympäristö, istuinten rajalliset säätömahdollisuudet ja jaloittelumahdollisuuden puute puolestaan johtavat staattisiin työskentelyasentoihin (Launis 2011, 174), jotka toistuessaan voivat aiheuttaa esimerkiksi lihasten väsymistä ja selkävaivoja (Vieyra & Anton 1988, 690).

Lentoympäristöön liittyvät kognitiiviset prosessit aiheuttavat myös oman osuutensa lentämiseen liittyvään työkuormaan. Kognitiivinen kuormitus on lisääntynyt ennen kaikkea lennonseurantajärjestelmien kehittymisen myötä, kun ne kykenevät tarjoamaan entistä enemmän informaatiota ohjaajille. Jatkuvan tilannetietoisuuden ylläpitäminen muuttuvissa olosuhteissa, ohjeiden ja käskyjen noudattaminen sekä tilanteisiin reagointi edellyttävät ohjaajilta riittävän tehokasta työmuistikapasiteetin käyttöä, koska useampia asioita on suoritettava päällekkäin. (Lahtinen 2016) Radiopuhelinliikenteen edellyttämä kuuntelu ja puheviestintä yhtä aikaa lentokoneen lentämisen ja lennonvalvontamittareiden tarkkailun aikana vaatiikin useamman aistikanavan yhtäaikaista käyttöä ja huomiokyvyn jakamista (Farmer 1988a, 409). Kognitiivisen kuormituksen määrä kuitenkin vaihtelee lennon eri vaiheiden aikana (Saputra, Priyanto & Muthohar 2017) ja erilaiset automaatioon perustuvat järjestelmät, esimerkiksi niin sanottu autopilotti, auttavat ohjaajia työkuorman hallinnassa (Wickens ym. 2004, 420).

Kuljetuskonekalustolla lennettäessä miehistö koostuu yleensä useammasta henkilöstä, jolloin työskentely tapahtuu ryhmätyönä. Moniohjaajatyöskentelyssä korostuvat yksilöiden sosiaaliset ominaisuudet ja ryhmätyöskentelyyn liittyvät taidot. Ohjaamoympäristön monimutkaisuus ja ajoittaiset tietoruuhat edellyttävätkin sujuvaa yhteistoimintaa, joka ulottuu myös esimerkiksi toimintaan lennonjohtoelimen kanssa. (Vapaavuori & Sorsa 2005, 129)

Ilmavoimien lentäjien valintajärjestelmää on kehitetty kerättyjen kokemusten perusteella siihen suuntaan, että koulutukseen hyväksytyt hakijat todennäköisesti selviytyvät annettavasta koulutuksesta. Koulutuksen ja harjoittelun myötä ohjaajien fyysinen ja henkinen kapasiteetti ovat sillä tasolla, että he kykenevät suorittamaan käsketyt lentotehtävät turvallisesti ja tehokkaasti kuormitustekijöistä huolimatta. (Kuronen 1996; Rintala, Paalimäki & Santala 1996)

2.4 Toimintakykyyn liittyvät vaatimukset

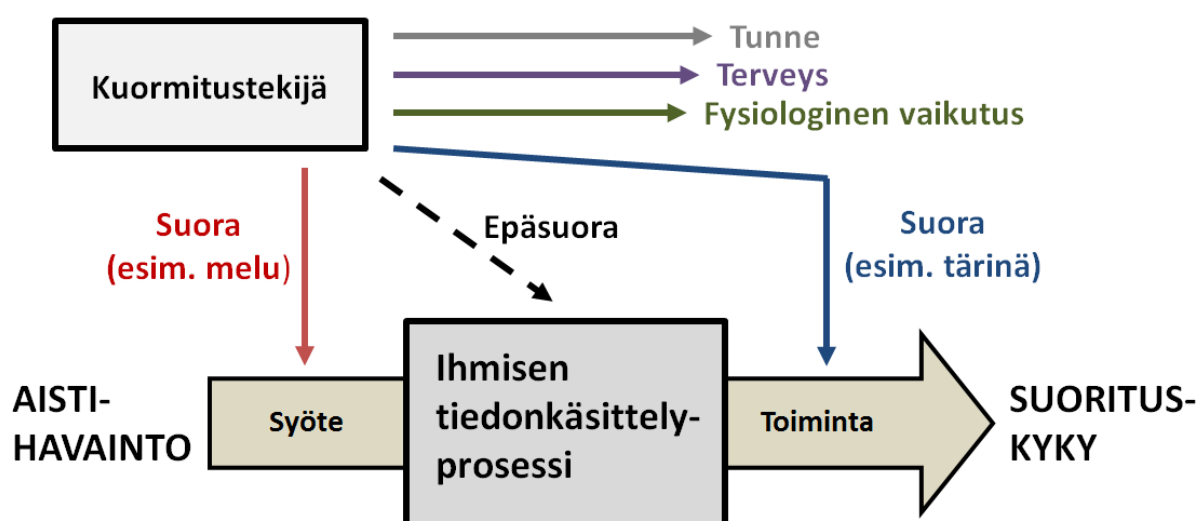
Lentotoiminnan kelpoisuusvaatimusten täyttymistä seurataan Ilmavoimissa säännöllisesti. Vaatimukset perustuvat Ilmailulakiin (864/2014) sekä Valtioneuvoston asetukseen sotilasilmailusta (557/2011). Sotilasilmailun vaativuudesta ja toiminnan erityispiirteistä johtuen lääketieteelliset kriteerit ovat pääsääntöisesti tiukemmat kuin siviili-ilmailun puolella. Ilmailulääketieteellinen tarkastustoiminta ja sotilasilmailun lääketieteellisten kelpoisuuksien myöntäminen sekä hallinta toteutetaan yhteistyössä Ilmavoimien esikunnan sekä Sotilaslääketieteen keskuksen välillä. Menettelyllä pyritään varmistamaan lentopalvelukseen lentotehtävällä osallistuvien henkilöiden riittävä fyysinen ja psyykinen suorituskyky. (Sotilasilmailukäsikirja, liite 4 2017)

Ohjaajat käyvät lentokelpoisuuteen liittyvissä tarkastuksissa tavallisesti kahdesti vuodessa. Tarkastukset jaksottuvat noin puolivuositain ja niiden sisältö keskittyy lääketieteellisten kelpoisuusvaatimusten seurantaan. Niiden yhteydessä pyritään huomioimaan myös työterveyshuoltoon liittyvä ennaltaehkäisevä näkökulma. Tarkastuksiin liittyy myös liikunfafysiologisia testejä, esimerkiksi vuosittainen polkupyöräergometritesti, joiden suorittamisen tarkoituksena on varmistua ohjaajien riittävästä fyysisestä suorituskyvystä. Kuljetuskoneohjaajilta edellytetään maksimaalisen suorituskyvyn MILFIT -polkupyöräergometritestissä vähintään tulosta 2.9 Wmax2/kg , joka vastaa noin maksimaalisen hapenottokyvyn (VO2_{max}) arvoa 40–45 ml/kg/min. (Sotilasilmailukäsikirja, liite 4 2017) Hyväksytysti suoritettujen lentokelpoisuustarkastusten lisäksi ohjaajien tulee myös suoriutua Puolustusvoimien palkatulta henkilöstöltä edellytetyistä vuosittaisista kenttäkelpoisuustesteistä. (Palkatun henkilöstön kenttäkelpoisuus ja fyysinen toimintakyky 2016)

Sotilaslentotoiminnan luonteen vuoksi kuljetuskoneohjaajina toimivien henkilökohtaisten ominaisuuksien tulee olla sellaisia, että he soveltuvat toimimaan luontevasti osana miehistöä sekä erilaisten ihmisryhmien kanssa. Ohjaajien tulee osata myös muun muassa lentotehtävien turvallinen suorittaminen koti- ja ulkomailla, lentokoneen itsenäinen käsittely mittarilento-olosuhteissa myös hätä- ja vaaratilanteiden aikana sekä tukilentotehtävien itsenäinen suunnittelu. Ohjaajien tulee kyetä toimimaan turvallisesti myös lentopalvelukseen liittyvissä yllättävissä tilanteissa, joita saattaa tulla vastaan etenkin ulkomaanlentotoiminnassa ja vieraisissa toimintaympäristöissä. Lentotoimintaan saattaa liittyä ajoittain myös kiirettä ja henkistä kuormitusta esimerkiksi aikatauluvaatimusten myötä. Kuljetuskoneohjaajien koulutus tähtääkin siihen, että ohjaajat kykenevät turvalliseen toimintaan myös näissä tilanteissa. Normaaliolojen vaatimusten lisäksi tulee ottaa huomioon myös poikkeusoloihin liittyvät tekijät. (Tukilento-ohjaajan opintokokonaisuus 2017)

3 ELIMISTÖN KUORMITUS JA PALAUTUMINEN

Ihminen on psykofysiologinen kokonaisuus, jonka kokema kuormitus on yksilöllistä. Kokeemukseen vaikuttavat esimerkiksi päivittäiseen elämään liittyvät tunteet ja toiminta, ympäristötekijät sekä yksilölliset ominaisuudet. Fyysisen kehollisen elementin lisäksi henkinen osa-alue ja sosiaalinen kanssakäyminen toisten ihmisten kanssa ovat keskeisiä tekijöitä kuormittumisen ja stressin tarkastelussa. (Mattila 2010) Tässä tutkimuksessa kuormituksen tarkastelun painopiste on työhön liittyvässä kokonaiskuormituksessa, joka koostuu yksittäisten kuormitustekijöiden muodostamasta kokonaisuudesta (Kuva 2).



Kuva 2. Kuormitustekijöiden vaikutukset (Mukaillen Wickens ym. 2004, 325)

Vasemmassa yläkulmassa on kuormitustekijä, joka vaikuttaa tiedon saatavuuteen, sen prosessointiin sekä ihmisen toimintaan. Kuormitustekijät voivat ilmentää fysikaalisia ominaisuuksia, esimerkiksi melua, värinää, kuumuutta ja huonoa valaistusta, mutta myös psyykkisiä piirteitä kuten väsymystä, turhautumista ja suuttumusta. Tällaisilla kuormitustekijöillä on yleensä neljä ominaisuutta:

1. Ne aiheuttavat tuntemuksen, jonka ihminen pystyy aistimaan esimerkiksi turhautumisena tai kiihottumisena (*arousal*).
2. Niihin liittyy jokin fysiologinen muutos, joka voidaan havaita. Muutos voi olla joko väliaikainen - lennolla ohjausvastuun vaihto miehistön kesken kohottaa sykettä hetkellisesti - tai pidempikestoinen - fyysisesti rasittavan ilmataistelulennon jälkeen elimistön hormonitasapaino on muuttunut. Nämä psykologiset tunteet ja fysiologiset muutokset ovat usein linkittyneet toisiinsa.

3. Ne vaikuttavat tiedonkäsittelyprosessiin, yleensä suorituskykyä heikentävästi.
4. Niillä voi olla pitkäkestoisena negatiivisia vaikutuksia terveyteen.

Tekijät voivat vaikuttaa joko suoraan tai epäsuorasti. Suoria vaikutuksia voidaan yleensä mitata objektiivisesti. Ne muuttavat vastaanotettavan tiedon laatua tai reaktion tarkkuutta, joka vaikuttaa kokonaissuorituskykyyn. Esimerkiksi taustamelu vaikeuttaa puheviestinnän toteuttamista sekä kuuntelu- että puhumisvaiheissa. Tärinä vaikeuttaa visuaalisten syötteiden vastaanottoa ja motoristen tehtävien suorittamista. Ajan puute taas rajoittaa käytettävissä olevan informaation määrää, joka myös alentaa suorituskykyä. Epäsuorat vaikutukset, kuten pelko tai jännitys, vaikuttavat puolestaan tiedonkäsittelyprosessin tehokkuuteen. (Wickens ym. 2004, 324–325)

Yksittäinen kuormitustekijä sinänsä ei välttämättä aiheuta suurta vaikutusta. Monissa tilanteissa ne kuitenkin ilmenevät yhtäaikaisesti ja ovat toisiinsa liittyviä, mikä voi kasvattaa kokonaiskuormituksen määrää. Tämä ilmenee etenkin monimutkaisten ja dynaamisten järjestelmien häiriötilanteissa, jolloin ihmisen tulee kyetä käsittelemään tietoa nopeasti ja tekemään oikeita ratkaisuja. Esimerkiksi lennonjohtotoiminta tai lentokoneen ohjaaminen ovat tehtäviä, joissa kuormitus on sekä laadullista (ratkaisujen vaikeus ja merkitys) että määrällisiä (ratkaisujen määrä aikayksikköä kohti). (Seppälä 2011a, 117–118)

3.1 Fyysinen kuormittuminen

Fyysinen aktiivisuus voidaan määritellä miksi tahansa lihassupistusten aikaansaamaksi kehon liikkeeksi, joka muuttaa energiankulutusta lepotilaa suuremmaksi. Kaikki passiivista lepotilaa korkeammat aktiivisuuden tasot edellyttävät lihastyötä, mikä lisää niiden energiantarvetta. (Fogelholm 2005, 20, 23–24) Energia-aineenvaihdunnan kiihtyminen ja lihasten energiantuottoon liittyvät mekanismit taas vilkastuttavat hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa (Keskinen 2007, 76, 80).

Elimistön energiantuotto tapahtuu joko aerobisesti tai anaerobisesti (Nummela 2007, 97). Aerobisessa työssä lihaksen läpi virtaa riittävästi verta ja happea, kun dynaamisen lihastyön teho on alle puolet maksimista. Tämä taso ei vielä rajoita energiantuoton toimintaa, jolloin lihastyö voi jatkua pitkään. (Louhevaara & Launis 2011, 73) Aerobisen lihastyön hyvä suorituskyky edellyttää suurta aerobista tehoa ja hyvää hapenottoa (Nummela 2007, 97).

Tehon lisääntyminen muuttaa lihaksen energiantuottotavan osittain anaerobiseksi, mikä johtaa sen nopeaan väsymiseen ja lopulta toiminnan estymiseen. Maksimaalisella teholla työskentely voikin kestää vain parinkymmenen sekunnin ajan. (Louhevaara & Launis 2011, 73) Maksimaalisessa energiantuottokyvyssä on suurta yksilökohtaista vaihtelua. Sitä voidaan kuvata elimistön kokonaisenergiantuottokyvyn (W) sekä painoon suhteutetun energiantuottokyvyn (W/kg) kautta. Myös energian kulutusta voidaan käyttää fyysisen kuormituksen arvioinnissa, koska tuotetun energian määrää vastaa samansuuruinen energian kulutus. (Louhevaara & Launis 2011, 82)

Työhön liittyvä fyysinen kuormittuminen riippuu toiminnan kestosta, tehosta sekä käytetyistä lihasryhmistä (Louhevaara & Launis 2011, 71). Kuormitustekijät liittyvät esimerkiksi työasentoihin ja -liikkeisiin sekä voimankäyttö- ja työskentelytapoihin. Tavallisimpia fyysisiä kuormitustekijöitä ovat ruumiillisesti raskas työ, taakkojen käsittely, staattiset tai vaikeat työasennot, jatkuva istuminen, käsien voimankäyttö sekä toistotyö. (Ketola & Lusa 2007)

Hengitys- ja verenkiertoelimistöön kohdistuva energeettinen kuormitus vaihtelee työtehtävien sisällön mukaan. Raskas ja dynaaminen, suurilla lihasryhmillä tehtävä lihastyö kuormittaa etenkin verenkiertoelimistöä. Taakkojen käsittely ja esineiden nostelu edellyttää suurilta lihasryhmiltä sekä dynaamista että staattista työtä, jolloin kuormitus kohdistuu hengitys- ja verenkiertoelimistön lisäksi liikuntaelimiin kuten selkään. (Ketola & Lusa 2007) Koneellistumisen myötä monet energeettisesti kuormittavat tai suurta lihastyötä edellyttävät työtehtävät ja -vaiheet ovat vähentyneet (Fogelholm 2005, 28). Toisaalta tilalle on tullut töitä, jotka ovat yksipuolisesti kuormittavia tai johtavat staattisiin työskentelyasentoihin. Näennäisesti täysin kevyetkin toimistotyöt voivat aiheuttaa liikuntaelinten vaivoja. (Louhevaara & Launis 2011, 72)

Tyypillisesti staattinen työ liittyy paikalleen sidottuun istuma- tai seisomatyöhön, jossa vartalo ei ole tasapainossa tai riittävästi tuettu. Kumartunut työskentelyasento tai käden kannattelu aiheuttaa vartalon, hartioiden ja niskan lihasten staattista jännittämistä, mikäli työpisteen ergonomiassa on puutteita. (Louhevaara & Launis 2011, 76) Myös näkemisen ja käsiliikkeiden yhteistoiminta sekä niiden suuret tarkkuusvaatimukset voivat lisätä staattista jännittämistä ja esimerkiksi käsien nivelten rasitusta. Tällainen tilanne voikin ilmetä monesti tietokonepääteellä tehtävässä toimistotyössä. (Ketola & Lusa 2007)

Terveillä ja normaalikuntoisilla työntekijöillä hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyky riittää yleensä ruumiillisestikin rasittavassa työssä selviytymiseen (Ketola & Lusa 2007). Jos lihasten työteho on alle puolet maksimista, voi hyväkuntoinen työntekijä työskennellä tällä tasolla jopa 8 tuntia ylikuormittumatta, kun huolehditaan riittävästä tauotuksesta ja energiansaannista (Louhevaara & Launis 2011, 83). Toisaalta terveydentilan heikkeneminen sairauden tai huonojen elintapojen seurauksena voi heikentää hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakykyä siten, että työn energeettinen kuormitus kasvaa liian suureksi yksilön voimavaroihin nähden. (Ketola & Lusa 2007)

Työhön liittyvää energeettistä kuormitusta kuvataan metabolisen ekvivalentin (MET) kautta, jonka arvot ilmaisevat aineenvaihdunnan lepotason suhdetta kyseisen työtehtävän aineenvaihduntatasoon. Monista ammateista on koottu viitteellisiä MET -arvoja. (Fogelholm 2005, 28-31) Energeettisesti kevyen työn, kuten näyttöpäätetyöskentelyn, MET -arvo on noin 2-3 yksikköä (Louhevaara & Launis 2011, 86). Työn energeettistä kuormitusta on perinteisesti arvioitu sydämen sykintätaajuutta mittaamalla ja työn aikaiset syketasot voidaan suhteuttaa yksilöiden maksimaalisiin syketasoihin. Sykemittauksista voidaan tarkastella myös sydämen sykevälejä ja niiden vaihtelua, jolloin on mahdollista laskea kyseisen aktiviteetin aikainen hapenkulutuksen taso. (Ketola & Lusa 2007)

3.2 Psykososiaalinen kuormittuminen

Työelämän monet tehtävät edellyttävät sopeutumista henkisesti raskaisiin tai epämielekkäisiin tilanteisiin (Seppälä 2011b, 103). Työhön liittyvällä psykososiaalisella kuormituksella tarkoitetaan yksilön kokemaa henkistä ja sosiaalista kuormittumista, joka aiheutuu työhön liittyvistä tekijöistä. Kuormitus voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat toistensa kanssa osittain päällekkäisiä. Työn sisältöön, työn järjestelyihin sekä työyhteisön sosiaaliseen toimivuuteen liittyvät alueet muodostavat työhön liittyvät psyykkiset ja sosiaaliset kuormitustekijät. (Työturvallisuuskeskus 2015a, 65)

Työn sisältöön liittyvät tekijät koostuvat esimerkiksi yksitoikkoisesta työstä, jatkuvasta valppaana olosta, vaikeista vuorovaikutustilanteista esimerkiksi asiakkaiden kanssa sekä toistuvista työn keskeytyksistä. Työn järjestelyyn liittyviä tekijöitä ovat esimerkiksi liiallinen tai liian vähäinen työn määrä, kohtuuton aikapaine, työvälineiden puutteellisuus sekä työaikaan liittyvät poikkeukset, kuten yö- ja vuorotyö. Työyhteisön sosiaaliseen toimivuuteen liittyvät kuormitustekijät ilmenevät esimerkiksi huonon tiedonkulun, epäasiallisen tai syrjivän kohtelun sekä työyhteisön sisällä tapahtuvan vuorovaikutuksen puutteellisuuden kautta. Myös työteh-

täviin liittyvät jatkuvat muutokset ovat yksi kuormitusta lisäävä tekijä. (Työturvallisuuskeskus 2015b, 7–8)

Psykososiaalinen kuormitus muuttuu haitalliseksi, kun se on pitkäkestoista tai jatkuvaa. Työhön liittyvät psyykkiset vaatimukset suhteessa ihmisen suorituskykyyn voivat olla liiallisia tai liian vähäisiä, jolloin puhutaan psyykkisestä yli- ja alikuormituksesta (Seppälä 2011b, 108). Määrällinen ylikuormitus syntyy esimerkiksi tilanteissa, joissa työmäärä on liian suuri tai siihen liittyy jatkuva aikapaine ja kiire. Laadullinen ylikuormitus taas syntyy työssä, joka kuormittaa muistia, vaatii jatkuvaa tarkkaavaisuutta tai ihmisten kohtaamista. Myös liian vähäisen työmäärän tai laadullisesti liian helpon ja yksinkertaisen työn aiheuttama alikuormitus voi olla haitallista. (Työturvallisuuskeskus 2015b, 6)

Kuormittumisen ilmeneminen ja kokeminen on yksilöllistä (Wickens ym. 2004, 340). Siihen vaikuttavat monet tekijät, kuten yksilön oma terveydentila sekä työ- ja yksityiselämän välinen tasapaino. Pitkittynyt psykososiaalinen kuormitus kuluttaa henkisiä ja fyysisiä voimavaroja, joka voi heikentää terveyttä. (Työturvallisuuskeskus 2015b, 9) Oireet voivat näkyä yksilötasolla esimerkiksi muuttuneen käytöksen, stressin, unettomuuden sekä lisääntyneiden työpöissaolojen kautta. (Salmela 2013) Työturvallisuuslaki (738/2002) velvoittaaakin työnantajaa puuttumaan työssä ilmeneviin kuormitustekijöihin, jotka koskevat myös henkistä kuormitusta. Esimiestyöllä on suuri rooli kuormituksen hallinnassa, etenkin työn järjestelyn sekä työyhteisön sosiaalisen toimivuuden tukemisessa. Myös yksilön oma ammattitaito ja työn hallinnan tunne vähentävät psykososiaalisen kuormituksen kokemista ja parantavat työhyvinvointia. (Työturvallisuuskeskus 2015b, 9-11)

3.3 Lentotyöhön liittyviä kuormitustekijöitä

Ilmailualalla stressi, työkuorma ja sen aiheuttamat vaikutukset ovat jatkuvan mielenkiinnon kohteena, koska lentämiseen liittyvät poikkeustilanteet, olivatpa ne alkuperältään teknisiä vikoja tai inhimillisiä virheitä, saattavat pahimmillaan eskaloitua vaaratilanteeksi tai onnettomuudeksi (Oster, Strong & Zorn 2010). Kasvaneesta lentointensiteetistä huolimatta ilmailu on nykypäivänä turvallisempaa kuin koskaan aiemmin (EASA 2017). Lentokoneiden tekninen kehitys on tehnyt niistä aiempaa luotettavampia ja turvallisempia, mikä on vähentänyt teknisten vikojen osuutta onnettomuuksien syynä (Sorsa & Vapaavuori 2005, 5). Toisaalta tutkimukset ja tilastot osoittavat, että ohjaajien tekemät inhimilliset virheet ovat nykyään jopa 80 % tapauksissa myötävaikuttaneet onnettomuuksien synnyssä. (Wiegmann & Shapell 2001)

Merkittävän vaaratilanne- ja onnettomuustilastoihin liittyvän osuutensa vuoksi inhimillisten virheiden tutkimusta on viimeisten vuosikymmenten aikana tehty yhä enemmän (Sorsa & Vapaavuori 2005, 4). Ihmisten toimintakyvystä, -tavoista ja niiden rajoitteista on olemassa paljon tietoa, mutta sitä ei aina välttämättä osata soveltaa oikein. Inhimillisten tekijöiden (*human factors*) tutkimusalan tavoitteena onkin lisätä tietämystä ihmisen käyttäytymisestä erilaisissa työympäristöissä ja parantaa järjestelmien toimintaa etenkin käyttäjärajapinnassa (Green 1988). Alan perusta rakentuu psykologian, käyttäytymistieteiden sekä tekniikan alojen pohjalta ja sen perimmäisenä tarkoituksena on työn turvallisuuden, hallittavuuden sekä tuottavuuden parantaminen. (Wickens ym. 2004, 1–9)

Inhimillisiä virheitä syntyy eniten tilanteissa, missä ihmisen työkuorma kasvaa liian suureksi suhteessa tämän suorituskykyyn. Virheet johtuvat ihmisen tiedonkäsittelyprosessien rajallisuudesta kapasiteetista, joka kykenee aidosti käsittelemään vain yhden asian kerrallaan. Tämä kapasiteetti voi olla vielä alentunut esimerkiksi jonkin ulkoisen kuormitustekijän johdosta. Ilmailuympäristö kykeneekin parhaimmillaan (tai pahimmillaan) tuottamaan useita yhtäaikaista ärsykeitä, jotka ohjaajien tulee havaita, prosessoida ja toimia oikein niiden edellyttämällä tavalla.

Univaje ja väsymys ovat merkittäviä lentotyöhön liittyviä kuormitustekijöitä, jotka laskevat vireystilaa ja hidastavat kognitiivisia toimintoja. de Mellon ym. (2008) mukaan lentotyössä syntyy lähes 50 % enemmän inhimillisiä virheitä aikaisin aamulla (klo 00:00–05:59) muihin vuorokaudenaikoihin verrattuna. Univajeen vaikutus voimistuu etenkin mannertenvälisillä lennoilla, missä miehistöt joutuvat myös aikaerorasituksen kohteeksi. Myös vieras nukku- misympäristö, kuten hotelli, saattaa heikentää unen laatua ja kasvattaa univajeen vaikutusta. (Nicholson 1988) Ilmavoimien lentotoiminnassa aikaerorasitus ei yleensä ole merkittävä kuormitustekijä, koska lennot suuntautuvat pääasiassa Euroopan alueelle. Siitä huolimatta univajeeseen liittyviä tekijöitä saattaa ilmetä, koska lentotyö on monesti epäsäännöllistä ja lentotehtävät saattavat ajoittua kaikkiin vuorokauden aikoihin jolloin sopeutumista ei ehdi tapahtua.

Poikkeava lämpötila on myös lentotyöhön liittyvä kuormitustekijä. Normaalisti lentokoneiden ilmastointijärjestelmät pitävät sisälämpötilan miellyttävänä, mutta poikkeustilanteiden aikana ne eivät välttämättä toimi. Järjestelmien toiminta myös edellyttää moottorien käynnistystä, joten lentoa edeltävissä tarkastuksissa sopivien olosuhteiden aikana ohjaamo saattaa muuttua tukalan kuumaksi tai epämiellyttävän kylmäksi. (Allan 1988, 251–252) Myös pukeutuminen vaikuttaa asiaan, esimerkiksi tietyillä lennoilla käytettävät kuivapuvut kasvattavat lämpötilan

aiheuttamaa epä mukavuutta, joka pahimmillaan heikentää ohjaajien toimintakykyä. (Farmer 1988, 438)

Myös melu kasvattaa lentotyön kuormittavuutta, vaikka nykyaikaiset kuulokemikrofonit pysyvätkin suodattamaan suuren osan haitallisesta melusta pois ja suojaavat ohjaajien kuuloa hyvin (Lahtinen 2016). Melu häiritsee kommunikaatiota ja ihminen joutuu keskittymään kuunteluun tarkemmin, mikä laskee ohjaajan työkapasiteettia. Melun aiheuttama suorituskyvyn lasku jää usein myös ohjaajalta huomaamatta, mikä voi aiheuttaa salakavalasti kehittyviä vaaratilanteita. (Farmer 1988, 438) Pitkittynyt melurasitus voi aiheuttaa myös pysyviä kuulovaurioita (Lindgren, Wieslander, Nordquist, Dammström & Norbäck 2009).

3.4 Stressin määritelmä

Stressi on käsite, jolla on useita merkityksiä, mutta ei täsmällistä määritelmää (Korkeila 2008, 683). Puhekielessä sillä viitataan monesti olotilaan, jonka aikana ihminen kokee itsensä kielteisellä tavalla kuormittuneeksi (Seppälä 2011b, 108). Ihminen voi kokea stressiä esimerkiksi opinnoissa ja työelämässä tai ihmissuhteiden seurauksena. Myös ulkoiset ympäristötekijät, kuten kylmyys tai melu, voivat aiheuttaa stressiä. (Peltomaa 2015, 49) Työstressiä puolestaan syntyy silloin, kun ihmiseltä vaaditaan toistuvasti enemmän kuin mihin tämän voimavarat riittäisivät tai kun työ ei täytä ihmisen keskeisiä odotuksia (Gerlander, Saarinen & Kalimo 1995, 128). Nykytiedon valossa stressillä tarkoitetaan ulkoisten vaatimusten ja yksilön sisäisten voimavarojen välistä epätasapainoa (Puttonen 2006).

Farmerin (1988b, 435–436) mukaan stressi voidaan jakaa kolmeen kategoriaan sen syntyvän perusteella. Elämään liittyvät stressitekijät (*life stress*) aiheutuvat päivittäiseen elämään liittyvistä suurista muutoksista, kuten läheisen kuolemasta tai avioerosta. Ympäristöön liittyvät stressitekijät (*environmental stress*) aiheutuvat ulkoisen toimintaympäristön ja ihmisen sisäisen tilan vaikutuksista. Tällaisia ympäristöön liittyviä tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila ja univaje. Kognitiiviset stressitekijät (*cognitive stress*) puolestaan liittyvät suoraan ihmisen suorittamiin tehtäviin, esimerkiksi lentämiseen tai autolla ajamiseen.

Fysiologisesta näkökulmasta katsoen stressi tarkoittaa räsitystä, joka uhkaa elimistön sisäistä tasapainoa eli homeostaasia (Sand, Sjaastad, Haug, Bjälje & Toverud ym 2015, 204). Hans Selyen vuonna 1936 esittelemä adaptaatio-oireyhtymän malli on toiminut taustana monelle nykyiselle stressiteorialle ja -tutkimukselle. Se pyrkii kuvaamaan elimistön vasteet ja sopeutumisen stressireaktioon biologisesta näkökulmasta ja jakaa stressireaktion kolmeen osaan:

hälytys-, sopeutumis- ja uupumisvaiheeseen. Malli on kuitenkin karkea ja vain voimakkaan ulkoisen ärsykkeen tuottamaan stressireaktioon sopiva yleistys, joka pohjautuu laboratorioissa tehtyihin eläintutkimuksiin. (Jackson 2014, 21–23) Selye (1974; 1977) on myöhemmin tämentänyt, että stressi ei ole pelkästään poikkeama homeostaasista vaan fysiologinen reaktio mihin tahansa ärsykkeeseen, jonka voimakkuus riippuu muun muassa yksilöiden ominaisuuksista ja ärsykkeen laadusta.

Selyen mallia kohtaan on esitetty kritiikkiä (Mason 1971; Nageishi 2015) ja uudemman tutkimustiedon valossa stressireaktio on aiempaa monimutkaisempi kokonaisuus, jossa yksilölliset vasteet vaihtelevat (Kemeny 2003; Vingerhoets & Perski 2003). Yhtä kaikki stressin käsite on tieteellisessä keskustelussa edelleen vailla lopullista ja tarkkaa määritelmää. Tavallisessa arkielämässä reaktio syntyy yleensä sekä fyysisten että psyykkisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Sen lähteenä voi olla jokin yksittäinen lyhytkestoinen tapahtuma tai pidempiaikaisesti vaikuttava tekijä. (Korkeila 2008, 683–684)

Stressiin liittyviä fyysisiä oireita voivat olla esimerkiksi päänsärky, pahoinvointi, hikoilu, vatsa- ja selkävaivat sekä huimaus. Psykkisiä stressin oireita ovat esimerkiksi jännittyneisyys, ärtymys, ahdistuneisuus sekä unen häiriöt. Vakava ja pitkittynyt stressitila voi lisätä päihteiden väärinkäyttöä, johtaa masennukseen ja työuupumukseen sekä itsetuhoisiin ajatuksiin. Stressi voi näkyä myös perhe- ja parisuhdeongelmina sekä eristäytymisenä muista ihmisistä. (Mattila 2010)

3.5 Vaikutusmekanismit

Stressi-käsitteeseen liittyvästä negatiivisesta latauksesta huolimatta se on elimistön normaali reaktio, jonka tarkoituksena on parantaa ihmisen toimintakykyä erilaisissa tilanteissa (Sand ym. 2015, 138–139). Lyhytaikaisena se on hyödyllinen ja toimintakykyä ylläpitävä sekä tehostava mekanismi, koska se lisää ihmisen voimavaroja voimakasta ponnistelua vaativissa tilanteissa (Puttonen 2006, 28–29). Pitkittyessään sillä on kuitenkin monia negatiivisia vaikutuksia, koska se pitää elimistön hälytystilassa ja kuluttaa voimavaroja tarpeettomasti. (Härmä & Sallinen 2004, 70)

Stressireaktion äärimmäinen ilmentymä on niin sanottu pelko-, puolustus- ja pakoreaktio (*fright, fight, flight*), joka on sisäänrakennettuna kaikkien ihmisten perimässä evoluution myötä. Reaktio syntyy sympaattisen hermoston aktivoitumisen ja lisääntyneen hormonaalisen erityksen seurauksena yllättävässä tilanteessa, jossa joudutaan kohtaamaan uhkaavasti käyttäytyvä vastustaja. Kohtaamisen aiheuttama luonnollinen pelko aktivoi sympaattisen hermoston tehokkaasti; sydämen pumppausvoima kasvaa ja samanaikaisesti ihon ja sisäelinten verisuonet supistuvat, varmistaen luustolihasille suuremman määrän verta. Uhkaavan tilanteen kärjistyessä taisteluksi lihassupistuksissa muodostuvat kuona-aineet laajentavat edelleen luustolihaslihasten verisuonia, elimistön hapensaanti lisääntyy keuhkoputkien laajenemisen ja hengitystiheyden kiihtymisen seurauksena ja elimistön energia-aineenvaihdunta kiihtyy. Kaikkien näiden reaktioiden päämääränä on toimittaa luustolihasille erittäin happi- ja ravinnepitoista verta. Myös keskittymiskyky paranee lisämunuaisen tuottaman adrenaliinin aktivoitessa aivoringossa sijaitsevaa aivoverkostoa. Äärimmäisen stressireaktion päämääränä on siis valmistaa ihminen joko taistelemaan tai pakenemaan tilanteesta mahdollisimman tehokkaasti. (Sand ym. 2015, 138–139)

Nykyihmisen tavanomainen arkielämä aiheuttaa vain harvoin äärimmäisiä stressireaktioita. Monet stressitekijät aktivoituvat nykyihmisellä tyypillisemmin mentaalisesti ja psykososiaalisesti kuormittavissa tilanteissa (Puttonen 2006, 28). Hallitsevana mekanismina toimii niin sanottu stressihormoniakseli (HPA), joka koostuu hypotalamuksen, aivolisäkkeen ja lisämunuaiskuoren muodostamasta järjestelmästä. HPA -akselin toiminta perustuu stressihormonien vapautumisesta verenkiertoon, mikä muun muassa parantavaa vireystilaa, keskittymiskykyä ja muistamista (Korkeila 2008, 685). Toisaalta stressihormonien vaikutuksen seurauksena esimerkiksi ruoansulatus hidastuu, energiavarastot kuluvat, immuunipuolustus heikkenee ja verenpaine kohoaa. (Sand ym. 2015, 141) Pitkäaikainen stressi lisääkin sydän- ja verisuonitautien riskiä sekä altistaa elimistön muille häiriötekijöille (Mariotti 2015).

Elimistön vasteet stressiä aiheuttaviin tilanteisiin ovat yksilöllisiä. Erot johtuvat esimerkiksi perimän ja opittujen käyttäytymismallien vaikutuksista (Korkeila 2008, 691). Näin ollen stressireaktion suuntaa tai suuruutta ei voida varmuudella tietää ennalta tuntematta yksilöä. Toiselle kuormittava ja haasteellinen tilanne ei välttämättä aiheuta toisessa henkilössä juuri mitään reaktiota. Stressikokemuksen subjektiivisuuden vuoksi fysiologiset mittaustulokset saattavat olla hyödyllisiä osoittamaan kuormittumista tilanteissa, joissa henkilö ei itse sitä havaitse. Stressin tuottamia fysiologisia muutoksia voidaan selvittää esimerkiksi syketasojen, levon aikaisen parasympaattisen aktivaation sekä verenkierron pitkäaikaisrekisteröintien avulla. (Puttonen 2006, 28–31)

3.6 Stressitekijät

Stressitekijöitä voidaan jaotella monella tavalla ja ne voidaan jakaa esimerkiksi fyysisiin, psyykkisiin ja sosiaalisiin tekijöihin (Kuva 3). Fyysiset tekijät jakautuvat edelleen sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Sisäisiä tekijöitä ovat esimerkiksi väsymys ja elimistön akuutit tulehdukselliset, ulkoisia tekijöitä puolestaan lämpötila, unen puute ja työn fyysinen kuormitus. Psyykkisiä tekijöitä ovat esimerkiksi negatiiviset tunteet ja työstressi. Sosiaalisia tekijöitä ovat esimerkiksi esiintymisjännitys ja sosiaalisten tilanteiden aiheuttama pelko. (Firstbeat Technologies Ltd. 2014, 7) Elimistön vasteet erilaisiin stressitekijöihin vaihtelevat; esimerkiksi kylmän aiheuttamat reaktiot ovat erilaisia kuin kivun tuottamat reaktiot (Korkeila 2008, 691).

STRESSITEKIJÖITÄ			
Fyysinen (sisäinen):	Fyysinen (ulkoinen):	Psyykinen:	Sosiaalinen:
- Väsymys	- Alkoholi, krapula	- Työstressi	- Esiintymisjännitys
- Kipu	- Lämpötila, melu, korkeus, valaistus	- Pelko, jännitys	- Paineet
- Nestehukka	- Piristeet	- Masennus, suru	- Sosiaalisten tilanteiden pelko
- Ruoansulatus	- Lääkkeet	- Innostuminen, rakastuminen	
- Akuutti tulehdus	- Fyysinen kuormitus	- Negatiiviset tunteet	
- Krooninen sairaus	- Univaikeudet	- Ihmissuhdeongelmat	
- Ylikunto	- Aikaerorasitus		

Kuva 3. Stressireaktion aiheuttajia (mukaillen Firstbeat Technologies Ltd. 2014, 7)

Myös normaaliin elämään liittyvät tapahtumat vaikuttavat ihmisen stressitasoihin. Ihminen sairastuu tavallista herkemmin esimerkiksi erilaisiin tartuntatauteihin ollessaan väsynyt, masentunut tai tehtyään kohtuuttomasti ylitöitä, koska stressi heikentää immunologisia puolustusmekanismeja. Holmes & Rahe (1967) ovat tutkineet elämän tavallisten tapahtumien stressaavuutta ja luokitelleet tulokset SRRS -taulukkoon (*social readjustment rating scale*), missä ne saavat arvoja nolasta sataan. Taulukon avulla voidaan arvioida ja ennustaa mahdollisia terveysriskejä elämän eri tilanteissa. (Vartiovaara 2006)

3.7 Palautuminen

Kuten stressi myös palautuminen on monimerkityksellinen käsite. Palautuminen voi tarkoittaa stressistä palautumista, fyysisestä rasituksesta, kuten urheilusuorituksesta palautumista tai työpäivän aiheuttamasta kuormituksesta palautumista. Yhteistä näille kaikille palautumisen muodoille on se, että niiden tarve liittyy elimistön fyysisestä tai henkisestä kuormituksesta toipumiseen. Näin ollen palautumisen voidaan nähdä toimivan kuormituksen ja stressin vastavoimana. (Peltomaa 2015, 81)

Kuormittavien tilanteiden aikana elimistön voimavarat kuluvat, mikä johtaa homeostaasin järkkymiseen. Palautumisen yhteydessä elimistössä tapahtuu fysiologisia muutoksia ja reaktioita, joiden tarkoituksena on palauttaa elimistön tasapainotila. Keskeisin palautumiseen liittyvä fysiologinen muutos on autonomisen hermoston parasympaattisen aktivaation lisääntyminen, jota ilmenee etenkin levossa ja ruoansulatus toiminnan aikana. Lisääntynyt parasympaattinen aktivaatio esimerkiksi vähentää sydämen pumppaustoimintaa ja laskee verenpainetta. Vastaavasti ruoansulatuselimistön toiminta kiihtyy elimistön energiavarastojen kartuttamiseksi. (Sand ym. 2015, 139) Stressaavissa tilanteissa aktivoituvan HPA -järjestelmän toiminta puolestaan laantuu palautumisprosessin aikana, mikä vähentää stressihormonien määrää elimistössä (Peltomaa 2015, 86).

Myös ihmisen psyykinen toiminta, kuten tunteet ja ajatukset, vaikuttaa palautumisprosessiin. Autonomisen hermoston toimintaa ohjaava hypothalamus on tiiviissä yhteydessä limbiseen järjestelmään, joka on tunne-elämän keskus. Hypotalamus on yhteydessä myös isoivokuoreen, joka vastaa esimerkiksi aistihavaintojen tiedostamisesta ja erilaisista älyllisistä toiminnoista. (Sand ym. 2015, 127, 141) Tunteet, ajatukset ja aistihavainnot vaikuttavat autonomisen hermoston säätelyyn tämän linkin kautta. Esimerkiksi pelon tai jännityksen tuntemukset kiihdyttävät sympaattisen hermoston toimintaa. (Soinila 2012, 26–27)

Fysiologisesta näkökulmasta tarkasteltuna elimistön palautumista tapahtuu eniten levon ja taukojen aikana, joten unen määrä ja laatu ovat keskeisiä tekijöitä palautumisessa. Unen aikana elimistö toipuu päivän rasituksesta, poistaa kuona-aineita aivoista ja täyttää niiden energiavarastoja. (Huutoniemi & Partinen 2015, 7-9) Terveelliset elämäntavat, laadukas ruokavalio ja sopiva määrä liikuntaa parantavat unen laatua ja edistävät myös elimistön palautumista. (Härmä & Sallinen 2004, 44–45, 89) Suurin osa suomalaisista aikuisista ihmisistä kokeekin tarvitsevansa noin 6-9 tuntia yöunta (Huutoniemi & Partinen 2015, 35).

Palautumisen laatu ja määrä heikkenevät unen määrän vähentyessä. Ennen nukkumaanmenoa nautittujen alkoholiannosten on todettu heikentävän unen laatua ja vähentävän palautumisen määrää viivästyttämällä luonnollisia unen vaiheita (Ebrahim, Shapiro, Williams & Fenwick 2013). Myös kovatehoisella urheilusuorituksella lähellä nukkumaanmenoaikaa voi olla vaikutuksia uneen (Myllymäki ym. 2010).

Henkisestä kuormituksesta ja stressistä palautumisessa vapaa-ajalla on suuri merkitys. Työsäkävän aikuisväestön vuorokausi voidaan jakaa kolmeen osaan, josta työaika vie noin yhden kolmanneksen. Näin ollen aikuisväestön palautumistarve liittyy usein työhön liittyviin seikkoihin, koska työ on merkittävä kuormitustekijä. (Föhr 2016, 30) Työhön liittyvien psykososiaalisten kuormitustekijöiden hallitseminen edellyttää, että työn kesto ja intensiteetti mahdollistavat sekä ruumiillisen että henkisen palautumisen ennen seuraavaa työpäivää. Kyky irrottautua työstä ja yksilön omat vaikutusmahdollisuudet vapaa-ajan sisältöön ovat keskeisessä asemassa psyykkisen kuormituksen ja stressin hallinnassa. Vapaa-ajalla ihminen voi tehdä itselleen mieluisia asioita ja luoda henkistä etäisyyttä työhön. Tällainen hallinnan tunne osaltaan edistää henkisen palautumisen tehokkuutta ja lisää työhyvinvointia. (Pennonen 2011)

Palautumisprosessin kesto riippuu elimistön kokeman kuormituksen laadusta ja määrästä. Kovasta urheilusuorituksesta toipuminen voi kestää useammankin vuorokauden, jonka aikana elimistö korjaa syntyneitä lihasvaurioita ja täyttää energiavarastoja. (Nummela 2007, 122–123) Palautumisprosessia voidaan tehostaa erilaisten palautumismenetelmien avulla, joita ovat esimerkiksi aktiivinen ja passiivinen palautuminen, lihasten hieronta ja kylmähoito, sähköstimulaatio sekä venyttely. (Barnett 2006) Aktiivisella palautumisella tarkoitetaan esimerkiksi urheilusuorituksen jälkeistä matalan intensiteetin loppuverryttelyä, jolla pyritään rauhoittamaan elimistön toimintaa hallitusti. Passiivinen palautuminen puolestaan tarkoittaa levon kaltaista fyysistä passiivisuutta. (Katch, McArdle & Katch 2011, 197)

3.8 Matalataajuushoito palautumisen tukena

Matalataajuushoito on suhteellisen uusi, mekaanisesti tuotettuun koko kehon värähtelyyn (*KKV, whole-body vibration, WBV*) perustuva hoitomenetelmä, jonka sovelluksia on käytetty terveystieteen eri aloilla. Mekaanisesti tuotetun matalataajuuden värähtelyn on arvioitu esimerkiksi parantavan lihasten voimatasoja (Cardinale & Bosco, 2003) ja vähentävän luunmurtumia (Gusi, Raimundo & Leal 2006), mutta tutkimustulokset ovat osittain ristiriitaisia (Jepsen ym. 2017).

Hoitomuodon vaikutusmekanismit ovat toistaiseksi vielä osittain epäselviä, mutta ilmeisesti ne liittyvät mekaanisesti tuotetun värähtelyn aiheuttamaan lihas- ja kudsvärähtelyyn. On esitetty arvioita, että värähtelyn vaikutukset perustuisivat useamman samanaikaisen tekijän yhteisvaikutukseen. Vaikutukset koostuvat esimerkiksi verenkierron ja nestekierron elpymisestä, hormonitoiminnan muutoksista sekä lihas-hermojärjestelmän ja tuntohermoston stimuloinnin aiheuttamista vaikutuksista autonomisen hermoston toimintaan. (Bosco ym. 2000) Aiheeseen liittyvää luotettavaa tutkimustietoa on vielä toistaiseksi niukasti saatavilla ja suuri osa tästä tiedosta on peräisin otoskooltaan pienistä pilotti- tai esitutkimuksista, joissa tutkittavat eivät välttämättä ole olleet perusterveitä. Aiemmat tutkimustulokset kuitenkin antavat viitteitä matalataajuushoidon hyödyistä. Vaikutukset ovat lupaavia etenkin eräiden sairauksien hoitoon (Alev ym. 2017) ja kivun lievitykseen (Nasrallah 2015) liittyen.

Matalataajuushoitoon liittyvissä tutkimuksissa on saatu viitteitä, että sen avulla voidaan tehostaa elimistön palautumista harjoituksen päätteeksi (Timon, Tejero, Brazo-Sayavera, Crespo & Olcina 2016). Hoitomuodon on arveltu myös auttavan vähentämään stressiä ja parantamaan unen laatua. (Haapaniemi 2013; Tuomi, Kurne-Koivisto & Partinen 2016)

3.9 Aiempi tutkimus

Föhr ym. (2016) ovat toteuttaneet poikkileikkaustutkimuksen, jossa selvitettiin 16 275 suomalaisen työntekijän fyysistä aktiivisuutta, painoindeksiä ja sykevälivaihteluun perustuvaa stressiä. Tulosten perusteella korkeampi fyysisen aktiivisuuden taso liittyi vahvasti alentuneeseen stressin määrään työaikana, vastaavasti korkeampi painoindeksi viittasi lisääntyneeseen stressiin. Alemman painoindeksin todettiin olevan yhteydessä myös parempaan unen aikaan palautumiseen.

Ilmavoimien esikunta toteutti keväällä 2018 suunnatun työpaikkaselvityksen Hornet -ohjaajan työtehtävään, jonka tarkoituksena oli päivittää työterveyshuoltolain (1383/2001) edellyttämiä tietoja sekä arvioida Hornet -ohjaajien työolosuhteita. Selvityksessä työ todettiin sekä psyykkisesti että fyysisesti kuormittavaksi. Selvityksen perusteella esitettiin jatkotoimenpiteinä muun muassa tarkempaa työn kuormituksen ja palautumisen seurantaan sykevälivaihtelumiin, ennaltaehkäisevää työergonomiakoulutusta, asentotaju- ja sentrifugi -koulutusta sekä kumulatiivisen G -kuormituksen seurantaan. (Suunnattu työpaikkaselvitys HN ohjaajan työtehtävään 2018)

Rintala (2012) on tutkinut suomalaisten sotilaslentäjien fyysistä suorituskkyä ja työperäisiä tuki- ja liikuntaelinoireita. Tutkimus koostui kahdesta osasta. Sen poikkileikkausaineisto perustui vuosina 2004–2005 lentäjäpopulaatiolle tehtyyn kyselytutkimukseen. Tutkimuksen pitkittäisosassa seurattiin 67:n Hawk -suihkuharjoituskoneella aloittaneen sotilaslentäjän tuki- ja liikuntaelin-oireita vuosina 1996–2008. Tulosten perusteella kaikki seurannassa olleet lentäjät kokivat jonkinasteisen lentotoimintaperäisen tuki- ja liikuntaelin-oireen uransa aikana. Aktiivisimman lentouran aikana, noin 30–40 vuoden iässä, lentäjien fyysinen suorituskky oli normaaliväestöön nähden keskimääräinen ja urheilijoihin nähden keskimääräistä heikompi.

Soveliuksen (2014) tekemä hävittäjälentäjien niska-hartiaseudun kuormittumisanalyysi tarkentaa hävittäjälentäjien niska-hartiaseutuun kohdistuvaa kuormittumista ja sen aiheuttamaa terveysriskiä. Lisäksi tutkimuksessa pyrittiin selvittämään keinoja, joilla tätä kuormitusta voitaisiin pienentää ja siten mahdollisesti vähentää tukirankaan liittyvien vaivojen esiintymistä. Tutkimuksessa todettiin esimerkiksi hävittäjälentäjän kypärän ja siihen liitettävien lisälaitteiden aiheuttavan lisäkuormitusta kaularangan rakenteisiin lentojen aikana. Tutkimuksessa toteutettiin myös harjoitusinterventio, jossa verrattiin kaularangan lihaksia vahvistavia harjoitteita trampoliiniharjoituksiin. Molemmissa ryhmissä havaittiin lennon aikaisen kuormituksen vähenemistä.

Kaikkonen, Lindholm & Lusa (2016) ovat tutkineet palomiesten työn fyysistä kuormittavuutta ja psyykkistä stressiä 24 tunnin työvuoron aikana. Menetelmänä käytettiin sykevälivaihtelun mittausta, josta johdettiin kuormittumista kuvaavat muuttujat. Tulosten perusteella kuormitus voi olla ajoittain korkeaa myös nuorilla ja hyväkuntoisilla palomiehillä. Ikääntymisen seurauksena kasvava suhteellinen työkuorma ja hidastuva palautuminen saattaa aiheuttaa uupumista, mikäli työtehtävien järjestelyä ei suunnitella kunnolla.

4 AUTONOMINEN HERMOSTO, SYDÄMEN TOIMINTA JA SYKEVÄLIVAIHTELU

Ihmisen elimistö koostuu noin 40 000 miljardista solusta. Ne muodostavat elimiä ja elinjärjestelmiä, jotka toimivat yhteistyössä elintoimintojen toteuttamiseksi. Monet toiminnot ja tehtävät ovat päällekkäisiä ja toisistaan riippuvaisia, joten yhteistyö edellyttää solujen välistä viestintäkykyä ja elintoimintojen säätelymekanismeja. Hermoston, sydämen ja verenkiertoelimistön tehtävät ja vuorovaikutus ovat keskeisessä asemassa tässä säätelyssä. (Sand ym. 2015, 78–79, 100)

4.1 Elimistön tasapainotila - homeostaasi

Elimistö pyrkii säilyttämään sisäisen tilansa vakaana erilaisilla fysiologisilla ja biokemiallisilla vasteilla. Esimerkiksi saunassa elimistö pyrkii tasaamaan kohonneen lämpötilan vaikutuksia hikoilun avulla. Säätelymekanismit perustuvat elimistön sisäiseen viestintään ja niiden tavoitteena on koordinoida solujen eri toiminnot niin, että niistä on mahdollisimman paljon hyötyä koko elimistölle. (Sand ym. 2015, 80) Ilmiö esitettiin ensimmäisen kerran jo 1800-luvulla, mutta sen olemassaolo varmistui vasta Walter Cannonin 1920-luvulla tekemien havaintojen perusteella. Niiden pohjalta luotiin homeostaasin käsite, jolla tarkoitetaan koko elimistöä koskevaa kemiallista tasapainotilaa. (Korkeila 2008, 683)

Homeostaasissa tapahtuu jatkuvia muutoksia kuormittumisen ja erilaisten stressitekijöiden seurauksena. Aivoissa tärkein homeostaasin säätelyyn liittyvä alue on väliaivojen hypotalamus, joka vastaa sekä hormonierityksen että autonomisen hermoston säätelystä. (Sand ym. 2015, 180, 188) Aivojen hypotalamussolut mittaavat jatkuvasti veren koostumusta ja lämpötilaa havaitakseen homeostaasissa tapahtuneita muutoksia. Veren sokeri-, rasvahappo-, vesi- ja hormonipitoisuuksissa tai lämpötilassa tapahtuneet muutokset aktivoivat hypotalamusta, joka edelleen ohjaa umpieritysjärjestelmää ja hermostoa homeostaasin palauttamiseksi. (Sandström & Ahonen 2011, 73–80)

Umpieritysjärjestelmä ja hermosto toimivat elimistön viestintä- ja säätelyjärjestelminä, jotka toimivat tiiviissä yhteistyössä. Ne tuottavat homeostaasin ylläpitoon tarvittavat biokemialliset ja fysiologiset mekanismit hormonaalisen säätelyn ja ääreishermoston sympaattisen sekä parasympaattisen aktivaation kautta. Tällaisia homeostaattisia mekanismeja ovat esimerkiksi syke, verenpaine, kehon lämpötila ja veren sokeripitoisuus. Niiden säätelyn tavoitteena on varmistaa muun muassa lihasten aineenvaihdunnan ja verenkierron sopiva suhde rasitukseen,

elimistön lämpötasapainon ylläpito sekä keuhkotuuletuksen riittävyys hapen ja hiilidioksidin vaihtoon. (Sandström & Ahonen 2011, 73–80)

Myös fyysisen kunnon harjoittaminen perustuu homeostaasin järkyttämiseen. Urheilijat ja kuntoilijat käyttävät mekanismeita tietoisesti hyväkseen parantaakseen suorituskykyään. Fyysinen aktiivisuus ja kuormitus, esimerkiksi juoksulenkki tai kuntosaliharjoitus, aiheuttavat muutoksia elimistössä, jotta se pystyisi seuraavalla kerralla suoriutumaan paremmin vastaavassa tilanteessa. (Sandström & Ahonen 2011, 73)

4.2 Autonominen hermosto

Ihmisen hermosto koostuu kahdesta kokonaisuudesta, keskus- ja ääreishermostosta. Keskushermoston muodostavat aivot ja selkäydin. Se toimii kehon ohjauskeskuksena, joka ottaa vastaan ja käsittelee tietoa kaikista kehon eri osista. Sen kautta lähetetään myös tarvittavat käskyt lihaksiin ja rauhasiin. (Soinila 2012, 12–16) Hermoston toinen osa-alue muodostuu ääreis- eli perifeerisestä hermostosta, johon kuuluvat somaattinen eli tahdonalainen ja autonominen eli tahdosta riippumaton hermosto. Autonominen hermosto jaetaan edelleen sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon, jotka säätelevät esimerkiksi sileiden lihassolujen, sydänlihassolujen sekä rauhasolujen toimintaa. (Sand ym. 2015, 105–106, 133; Soinila & Launes 2012, 503–504)

Autonomisen hermoston jako ei kuitenkaan tarkoita sitä, että sen eri osat olisivat toisistaan riippumattomia itsenäisiä yksiköitä. Hermosto on kokonaisuus, jossa on useita alayksiköitä ja ne kaikki toimivat yhteistyössä. Useimpiin autonomisen säätelyn alaisiin elimiin tulee sekä sympaattisia että parasympaattisia hermosyitä. (Sand ym. 2015, 139–140) Esimerkiksi sydän, keuhkot ja ruoansulatuskanava ovat elimiä, joiden toimintaa säädellään molempien järjestelmien kautta (Soinila & Launes 2012, 506).

Sympaattisella ja parasympaattisella hermostolla on yleensä vastakkainen vaikutus kohde-elimien toimintaan; toinen kiihdyttää ja toinen hidastaa sitä, jolloin täsmällinen säätely helpottuu. Toimintaa voidaan verrata autoon, jossa on sekä kaasun- että jarrupoljin. Vaikka nopeuden säätely on mahdollista pelkän kaasun avulla, tulee ajamisesta huomattavasti turvallisempaa, kun tarvittaessa voidaan käyttää myös jarrua. Myös niissä elimissä, joihin tulee vain joko sympaattisia tai parasympaattisia hermosyitä, on aktivaation vaikutus joko estävä tai kiihdyttävä: esimerkiksi verisuonten läpimittaa säädellään sympaattisen hermoston impulssitiheyden kautta. (Sand ym. 2015, 139–140)

Sympaattisen hermoston toiminta aktivoituu esimerkiksi stressin ja fyysisesti rasittavien tilanteiden aikana parantaen elimistön fyysistä suorituskykyä ja valmistaen siten elimistöä vaativiin suorituksiin. Sympaattisten ganglioiden yhteenliittymisen vuoksi vaikutus ulottuu kaikkiin sympaattisen hermoston kohde-eliiniin. Sympaattisen hermoston aktivoituminen yleensä kiihdyttää kohde-elinten toimintaa. (Sand ym. 2015, 138)

Parasympaattinen hermosto puolestaan aktivoituu lepotilan ja palautumisen aikana, jolloin esimerkiksi ruoan sulattaminen ja elimistön voimavarojen täydentäminen on tärkeämpää kuin voimavarojen käyttö. Normaalitilanteissa parasympaattisen hermoston osuus kohde-elinten säätelyssä on hallitsevampaa. Parasympaattinen aktiivisuus esimerkiksi pienentää sydämen pumppausvoimaa ja laskee verenpainetta. Suurin osa parasympaattisista hermosyistä kulkee kiertäjä- eli vagushermon kautta. Parasympaattiset gangliot eivät ole yhteydessä toisiinsa, joten sen vaikutukset voivat siten rajoittua vain yhteen kohde-elimeen. (Sand ym. 2015, 139)

4.3 Sydämen rakenne ja toiminta

Sydän on kestävä lihaspumppu, joka on muodostunut poikkijuovaisista sydänlihassoluista. Se on rakenteeltaan ontto elin, joka sijaitsee kylkiluiden muodostaman elastisen rintaontelon sisällä hieman ihmisen keskilinjan vasemmalla puolella. (Sand ym. 2015, 270, 274) Sydän on jakautunut neljään onteloon; vahva väliseinä erottaa toisistaan sydämen oikean ja vasemman puoliskon ja kumpikin puolisko on vielä jakautunut eteiseen ja kammioon. Aikuisen sydän painaa noin 300 grammaa ja on kooltaan kutakuinkin omistajansa nyrkin kokoinen. (Parkkila 2016, 13–15) Sydänlihassolut ovat luonteeltaan väsymättömiä ja sydän sykkii läpi ihmisen eliniän ilman lepotaukoja. (Sand ym. 2015, 253, 270)

Sydän on verenkiertoelimistön toiminnan kannalta keskeinen osa, joka aikaansaa veren virtaavan liikkeen (Keskinen 2007, 82). Sydämen oikea eteinen ottaa vastaan ylä- ja alaonttolaskimoiden vähähappisen veren ja pumppaa sen oikean kammion ja keuhkovaltimon kautta pienen verenkiertoon eli keuhkoihin. Keuhkoissa veri hapettuu kaasujenvaihdon seurauksena ja runsashappinen veri virtaa keuhkolaskimon kautta vasempaan eteiseen. Sieltä veri siirtyy vasempaan kammioon, josta se aortan kautta pumpataan muualle kehoon eli isoon verenkiertoon. Muut sisäelimet ja kudokset kuluttavat verestä hapen ja vähähappinen veri palaa jälleen laskimoiden kautta oikeaan eteiseen uudelleen kierrätettäväksi. (Sand ym. 2015, 273; Keskinen 2007, 83) Verenkiertoelimistö toimii siis elimistön kuljetusjärjestelmänä, joka huolehtii muun muassa kudosten hapen ja ravinteiden saannista, elimistön suojaamisesta, lämmönsiirrosta ja aineenvaihdunnan sivutuotteiden poiskuljettamisesta (Ermolao & Bergamin 2016, 51;

Sand ym. 2015, 268). Laaja-alaisten tehtäviensä vuoksi sydämen ja verenkiertoelimistön toiminta niin levossa kuin rasituksessa heijasteleekin ihmisen hyvinvointia ja terveyttä (Keskinen 2007, 80).

Sydämen pumppaava liike syntyy sydänlihaksen rytmisestä supistelusta, jonka aiheuttaa toistuva sähköinen aktivaatio (Aalto-Setälä 2016, 28). Supistelu tapahtuu autonomisesti ilman ulkopuolelta tulevaa hermoärsytystä. Tietyt erikoistuneet sydänlihassolut depolarisoituvat itsestään ja laukaisevat näin aktiopotentialin eli toimintajännitteen. Yleensä spontaani depolarisoituminen tapahtuu nopeimmin pienessä solukertymässä eli sinussolmukkeessa, joka sijaitsee sydämen oikeassa eteisessä. Sinussolmukkeessa syntynyt aktiopotentiali leviää sydämen impulssinjohtojärjestelmän kautta nopeasti koko sydämeen ja laukaisee sydänlihaksen järjestelmällisen supistumisen. Sinussolmuke toimii siis sydämen tahdistimena synnyttäen sinusrytmin eli normaalin sykkeen. (Sand ym. 2015, 274)

Sydämen toiminta-aktiivisuus vaihtelee kulloisenkin tarpeen mukaan ja riippuu kantajansa fysiologisista ominaisuuksista (Aalto-Setälä 2016, 35). Rasituksessa sydämen toiminta kiihtyy, mikä vilkastuttaa verenkiertoelimistön toimintaa. (Sand ym. 2015, 281) Sydämen mekaanista työskentelyä voidaan tarkastella minuuttitilavuuden, syketason sekä iskuilavuuden kautta (Keskinen 2007, 85). Minuuttitilavuudella tarkoitetaan sydämen yhdessä minuutissa kiertämän verimäärän tilavuutta, joka lasketaan kertomalla syketaso ja iskuilavuus keskenään (Aalto-Setälä 2016, 35; Ermolao & Bergamin 2016, 52).

Normaalisti leposyke on terveillä aikuisilla noin 60 lyöntiä minuutissa (Keskinen 2007, 86). Vastaavasti levossa iskuilavuuden viitearvot ovat noin 30–65 millilitraa (Aalto-Setälä 2016, 29). Lepotilassa minuuttitilavuus vastaa kutakuinkin elimistön koko verimäärää. (Keskinen 2007, 85–86) Terve sydän pystyy muuttamaan minuuttitilavuutta kulloisenkin tarpeen mukaan sekä sykettä että iskuilavuutta kasvattamalla ja rasituksen aikana se voi nousta jopa 30 litraan minuutissa. (Ermolao & Bergamin 2016, 56) Myös syketaso nousee nopeasti ja saavuttaa maksiminsa muutamassa kymmenessä sekunnissa (Sandström & Ahonen 2011, 78). Rasituksen aikana syke voi nousta jopa kolminkertaiseksi eli yli 200 lyöntiin minuutissa. Minimijä ja maksimisyketasot ovat yksilöllisiä ja niihin vaikuttavat muun muassa ikä, sukupuoli ja fyysinen kunto. (Sand ym. 2015, 281)

4.4 Sydämen säätelymekanismit

Ilman ulkopuolista säätelyä sinussolmuke tuottaisi impulsseja siten, että sydän löisi noin 100 kertaa minuutissa. Todellinen lyöntitiheys kuitenkin vaihtelee, sillä sydämen ulkopuoliset säätelymekanismit vaikuttavat sinussolmukkeen impulssintuotantoon. (Keskinen 2007, 84) Mekanismit toimivat pääosin autonomisen hermoston välityksellä yhteistyössä hormonien kanssa. Autonomisia hermosäikeitä on kaikkialla sydämessä ja ne käyttävät välittäjäaineina muun muassa asetyylikoliinia ja katekoliamiineja. (Kettunen 2014) Yksinkertaistettuna voidaan todeta, että autonomisen hermoston sympaattinen aktiivisuus kiihdyttää ja parasympaattinen rauhoittaa sydämen toimintaa (Junttila & Mäkikallio 2016, 58).

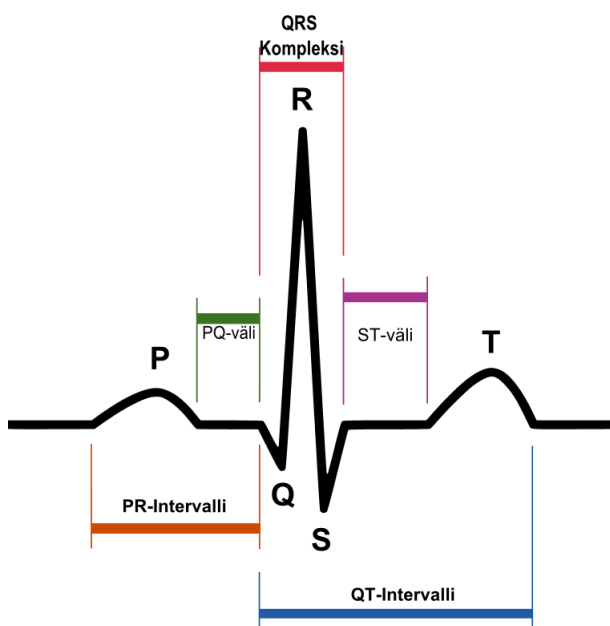
Autonominen hermosto voi muuttaa kaikkia sydämen pumppaustoiminnan osatekijöitä eli sydänlihaksen sykettä ja supistusvireyttä sekä ääreisvaltimoiden ja laskimoiden tonusta. Lisääntynyt sympaattinen aktivaatio ja veren adrenaliinipitoisuuden nousu esimerkiksi stressitai kuormitustilanteessa nopeuttavat sinussolmukkeen aktiopotentiaalin laukeamiskynnyksen saavuttamista, mikä kiihdyttää sykettä ja kasvattaa sydänlihaksen supistuvuutta. (Junttila & Mäkikallio 2016, 58) Vastaavasti lepotilassa vagushermon kautta sydämeen välittyvä parasympaattinen aktivaatio viivästyttää laukeamiskynnyksen saavuttamista ja vaikuttaa sykettä laskevasti. (Sand ym. 2015, 275, 281)

Ihminen ei pysty tietoisesti säätämään sydämen toimintaa. Periaatteessa vaikutuksia voidaan tuottaa esimerkiksi fyysisellä aktiivisuudella tai rentoutusharjoituksilla, mutta nämäkin vaikuttavat epäsuorasti autonomisen hermoston kautta. Uni- ja valvetila vaikuttavat eniten sydämen säätelyyn: unen aikana hermoston parasympaattinen vaikutus on suurimmillaan ja vastaavasti valveilla sympaattinen toiminta on hallitsevaa (Kettunen 2014). Näin ollen sydämen toiminta riippuu parasympaattisen hermoston jarruttavan vaikutuksen ja sympaattisen hermoston sekä hormonien kiihdyttävän vaikutuksen välisestä tasapainosta. (Sand ym. 2015, 275, 281) Myös mielentilan muutokset vaikuttavat autonomisen hermoston tasapainoon ja siten sydämen toimintaan. Autonomisen tasapainotilan vaihtelukyky on ominaista terveelle sydämeille, mutta monet sairaudet voivat vähentää sitä. Tasapainotilan vaihtelu voidaan tunnistaa sydämen toimintasyklin jaksottaisena vaihteluna, jota kutsutaan sykevaihteluksi. (Kettunen 2014)

4.5 Syke ja sykevälivaihtelu

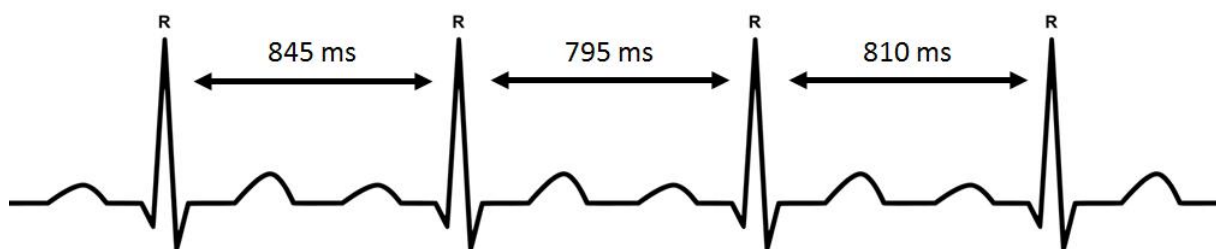
Ihminen voi havaita sydämen pumppaavan liikkeen tuottaman sykkeen tunnustelemalla pulssia ihon pinnalta esimerkiksi kaulalta (Keskinen 2007, 85–86). Sykkeen käyttäytymistä ja sydämen toimintaa voidaan tutkia tarkemmin elektrokardiografialla tuotetun sydänsähkökäyrän eli elektrokardiogrammin (EKG) avulla. EKG:lla voidaan havaita sydänlihaksen aktivoitumisen ja lepotilaan palautumisen aiheuttamia vaihtelevia sähkökenttiä, jotka ulottuvat kaikkialle kehoon. Seuranta toteutetaan 12-kytkentäisellä standardimenetelmällä pintaelektrodien avulla. (Nikus & Mäkijärvi 2016, 124–125; Mäkijärvi & Heikkilä 2003, 16)

EKG:n kautta havaitaan sydämen sähköisen toiminnan tuottama sinusrytmi ja siihen liittyvät jännitepiikit (Kuva 4), joita kutsutaan aalloiksi (Sand ym. 2015, 277). Ensimmäinen EKG:ssa näkyvä heilahdus aiheutuu eteisten aktivaatiosta (*P* -aalto), jonka jälkeen EKG -käyrä palaa perusviivalle. Sen jälkeen vuorossa on QRS -kompleksi, joka syntyy kammioiden aktivaatiosta. Se koostuu kolmesta peräkkäisestä aallosta (*Q*, *R* ja *S*). Heilahduksen alkuosa (*Q*) on negatiivinen. Ensimmäinen positiivinen heilahdus on nimeltään *R* -aalto, jota seuraa jälleen negatiivinen aalto (*S*). Viimeisenä EKG:ssa havaitaan *T* -aalto, joka kertoo kammioiden palautumisesta. (Mäkijärvi 2003, 40)



Kuva 4. EKG:ssa havaittavat sydämen sähköisen toiminnan vaiheet (Atkielski 2012).

Sydämen rytmin nopeus eli syke ilmaistaan tavallisesti joltakin aikaväliltä laskettujen lyöntien keskiarvona, esimerkiksi lyöntiä minuutissa (*beats per minute, bpm*) (Keskinen 2007, 85). Näennäisestä tasaisuudestaan huolimatta sydämen rytmi kuitenkin vaihtelee hieman ja peräkkäisten lyöntien välisessä ajassa on millisekunneissa mitattavaa vaihtelua. Kahden peräkkäisen lyönnin välinen aika lasketaan yleensä R -aaltojen väliltä. Tätä aikaa kutsutaan sykeväliksi ja siitä käytetään myös termiä RR -intervalli (Kuva 5). (Shaffer & Ginsberg 2017)



Kuva 5. Sykevälit ja niiden vaihtelu.

Sykevälivaihtelulla (*heart rate variability, HRV, myös sykevaihtelu*) tarkoitetaan peräkkäisten sydämenlyöntien välisen ajan vaihtelua. Sen suuruus riippuu autonomisen hermoston toiminnasta, joka säätelee sinusrytmiä. Näin ollen kohde-elimen eli sydämen toimintaa seuraamalla voidaan epäsuorasti mitata myös autonomisen hermoston toiminnan muutoksia. (Viitasalo 2003, 126) Toisaalta autonomisen hermoston lisäksi myös muut sinusrytmiin vaikuttavat tekijät muuttavat sykevälivaihtelun määrää ja sen arvot ovatkin yksilöllisiä. Esimerkiksi henkilön ikä, sukupuoli, terveydentila, vuorokauden aika, kehon koostumus, hengitysrytmi, verenpaine ja fyysinen rasitus vaikuttavat sykevälivaihteluun joko nostavasti tai laskevasti. (Huikuri, Valkama, Niemelä & Airaksinen 1995; Shaffer & Ginsberg 2017)

Sykevälivaihtelun on osoitettu kuvaavan autonomisen hermoston toimintaa ja tasapainotilaa. Stressiin ja kuormittumiseen viittaava lisääntynyt sympaattinen aktiivisuus vähentää sykevälivaihtelun määrää. Lepoon ja palautumiseen viittaava parasympaattisen hermoston aktivoituminen puolestaan lisää sitä. (Task Force 1996)

Sydänsairailta autonomisen hermoston toiminta saattaa häiriintyä ja vaikuttaa sykevälivaihteluun, joten sitä voidaan hyödyntää myös arvioitaessa sydämen ja verenkiertoelimistön terveyttä (Junttila & Mäkikallio 2016, 60). Työstressi ja elintavat vaikuttaisivat myös olevan yhteydessä alentuneeseen sykevälivaihteluun, joka saattaa altistaa sydän- ja verisuonitaudeille (Thayer, Yamamoto & Brosschot 2010). Sykevälivaihtelun mittaamista on käytetty hyväksi

myös urheilijoiden harjoituskuormituksen ja palautumisen seurannassa (Mikkola, Hynynen & Nummela 2012; Costa, Brito, Nakamura, Oliveira & Rebelo 2018). Se on osoitettu myös luotettavaksi menetelmäksi arvioitaessa sotilaiden kuormittumista kenttäolosuhteissa (Salonen, Kokko, Tyyskä, Koivu & Kyröläinen 2013).

Sykevälivaihtelun mittaaminen on suhteellisen yksinkertaista: syke dataa mitataan tarkoitukseen sopivalla laitteella, joka kykenee havaitsemaan sydämen sähköistä toimintaa. (Ernst 2017) Nykyään käytetyin menetelmä lienee R-aaltojen välisen ajan mittaaminen tallentavalla sykemittarilla (Peltomaa 2015, 38). EKG, jota käytetään esimerkiksi kliinisessä tutkimuksessa, on menetelmistä luotettavin (Task Force 1996). Ajallisesti mittausjaksoksi voi riittää lyhyt, muutaman minuutin pituinen aikajakso, jolta sykevälivaihteludataa kerätään. Myös pidempiä rekisteröintejä tuntien tai vuorokausien mittaisilta jaksoilta voidaan toteuttaa. (Ernst 2017) Tekninen kehitys on tuonut sykevälivaihteluun perustuvan mittauksen monien sykemittareiden ominaisuudeksi, jolloin se on helposti myös kuluttajien saatavilla.

Sykevälivaihtelun analysoinnissa yleisimmin käytetyt menetelmät ovat aika- ja taajuuskenttäanalyysi (Task Force 1996; Ernst 2017). Aikakenttäanalyysissä sykevälivaihtelua tutkitaan ajan funktiona ja se on yksinkertaisin tapa sykevaihdelun tutkimiseen (Viitasalo 2003, 128). Taajuuskenttäanalyysi puolestaan perustuu sykevaihdelun sisältämien eri taajuusalueiden ja niiden muutosten tarkasteluun. Kummassakin menetelmässä analyysi toteutetaan samojen lähtökohtien kautta. Ensimmäisessä vaiheessa kerätty EKG-data digitalisoidaan. Tämän jälkeen sykevaihdelusta tunnistetaan ja poistetaan häiriöt, kuten lisälyönnit. Virhekorjauksen jälkeen sykevälidatasta tunnistetaan normaalit sydämenlyönnit ja korjatusta datasta muodostetaan diskreetti aikasarja, josta voidaan laskea muuttujat aikakenttäanalyysiin. Aikasarjan yksiköitä kutsutaan NN-intervalleiksi. Taajuuskenttäanalyysia varten aikasarja sovitetaan jatkuvaksi ja digitoidaan uudelleen. (Task Force 1996; Viitasalo 2003, 128)

4.6 Aikakenttäanalyysi

Aikakenttäanalyysi on lineaarinen menetelmä sykevälivaihtelun analysointiin, jossa tarkastellaan sykevälien keskiarvoja ja -hajontaa sekä niiden eroja (Taulukko 1). Aikayksikkönä käytetään millisekuntia. Aikakenttäanalyysissä voidaan laskea keskisyke, pisin ja lyhin sykeväli sekä niiden erotus. Näiden lisäksi yleisesti käytettyjä aikakenttäanalyysin muuttujia ovat peräkkäisten sykevälien keskihajonta (*SD*), mittausjakson sykevälien poikkeama sykevaihtelun keskiarvosta (*SDNN*), neliöjuuri peräkkäisten sykevälien erojen neliösumman keskiarvosta (*RMSSD*) sekä viiden minuutin sykevälien keskiarvojen keskihajonta koko mittausjaksolla (*SDANN*). Muuttujiksi voidaan ottaa myös peräkkäisten yli 50 ms kestävien sykevälien määrä (*NN50*) sekä niiden suhteellinen osuus kaikkiin sykeväleihin nähden (*pNN50*). (Task Force 1996; Viitasalo 2003, 128)

Sykevälien keskihajonta ilmentää autonomisen hermoston aiheuttamaa muutosta sykevälivaihtelussa, jonka pienenemisen on havaittu olevan yhteydessä sydänkuolleisuuden sydän- ja verisuonitautien yhteydessä. *SDNN* ja *SDANN* ilmentävät sykevälivaihtelun kokonaisuuttua ja kuvaavat sekä sympaattisen että parasympaattisen hermoston vaikutusta sykevaihtelun määrään. *RMSSD*, *NN50* ja *pNN50* ilmentävät korkeataajuisen sykevälivaihtelun määrää, mikä kertoo parasympaattisen hermoston aktiivisuudesta. (Shaffer & Ginsberg 2017) Näistä kolmesta suositelluin on *RMSSD* sen parempien tilastollisten ominaisuuksien vuoksi. (Task Force 1996)

Taulukko 1

Aikakenttäanalyysin muuttujat (Mukaiillen Shaffer & Ginsberg 2017)

Muuttuja	Selite	Yksikkö
SD	Peräkkäisten sykevälien keskihajonta	ms
SDNN	NN-intervallien keskihajonta	ms
SDANN	5 minuutin NN-intervallien keskihajonta koko mittausjaksolta	ms
RMSSD	Neliöjuuri peräkkäisten sykevälien keskimääräisestä vaihtelusta	ms
NN50	Peräkkäisten >50ms toisistaan eroavien NN-intervallien määrä	kpl
pNN50	Peräkkäisten >50ms toisistaan eroavien NN-intervallien osuus	%

4.7 Taajuuskenttäanalyysi

Taajuuskenttä- eli spektrianalyysi on sykevälivaihtelun kokonaisamplitudin tutkimista. Siinä tarkastellaan sykevälivaihtelun tehon jakautumista eri taajuuskaistoille. Mittayksikkönä käytetään millisekuntia tai logaritmuunnoksen yhteydessä neliöityä millisekuntia (Viitasalo 2003, 128). Menetelmässä lasketaan viiden minuutin jaksoista sykevälien syklisten vaihteluiden taajuus ja määrä. (Shaffer & Ginsberg 2017)

Sykevaihtelun taajuusalue vaihtelee 0-0.4 Hz välillä ja siitä on tunnistettu neljä eri pääkomponenttia, joiden määrä kuvaa sydämen sympatovagaalista säätelyä (Taulukko 2). Korkeataajuinen kaista (*high frequency, HF*) on välillä 0.15–0.40 Hz ja muodostuu 3-8 sekunnin välein toistuvista hengitysvaiheista, joita sykevälit seuraavat. Matalataajuuskaista (*low frequency, LF*) on välillä 0.04-0.15 Hz ja se syntyy verenpaineen 8–25 sekunnin jaksoissa tapahtuvasta vaihtelusta. (Huikuri ym. 1995) Taajuuspektristä voidaan tunnistaa myös erittäin matalan taajuuden kaista (*very low frequency, VLF*) välillä 0.0033-0.04 Hz ja ultramatalan taajuuden kaista (*ultra low frequency, ULF*) < 0.0033 Hz taajuusalueella, jotka kuvastavat pidempiaikaisia muutoksia sykevälivaihtelussa. (Laitio, Scheinin, Kuusela, Mäenpää & Jalonen 2001) Taajuusaluetta voidaan tarkastella myös kokonaisvaihtelun (*total power, TP*) kautta, joka yhdistää kaikkien taajuusalueiden tehon. Taajuusperusteinen sykevälivaihtelu soveltuu fysiologisten vaikutteiden tai interventioiden aiheuttamien autonomisten säätelymuutosten mittaamiseen. Absoluuttisilla lukuarvoilla on puolestaan vain vähän käyttöä. (Viitasalo 2003, 131)

Taulukko 2

Taajuuskenttäanalyysin muuttujat (Mukaiillen Shaffer & Ginsberg 2017)

Muuttuja	Selite	Yksikkö
HF	Korkeataajuisen (0.15 - 0.40 Hz) sykevaihtelun teho	ms ²
LF	Matalataajuisen (0.04 - 0.15 Hz) sykevaihtelun teho	ms ²
VLF	Erittäin matalataajuisen (0.0033 - 0.04 Hz) sykevaihtelun teho	ms ²
ULF	Ultramatalataajuisen (< 0.0033 Hz) sykevaihtelun teho	ms ²
TP	Sykevaihtelun kokonaisteho	ms ²
LF/HF	Matala- ja korkeataajuisen sykevaihtelun suhde	%

HF -taajuusalueella havaitaan hengityksestä johtuva luonnollinen sykevaihtelu eli sinusarytmia. HF -taajuusalueen toiminnan on havaittu olevan yhteydessä parasympaattisen hermoston aktiivisuuteen, joka kertoo elimistön palautumisesta. Sillä on havaittu olevan myös vahva yhteys aikakenttämenetelmien RMSSD ja pNN50 -muuttujien kanssa. LF -taajuusalueen sykevaihtelu ilmentää sekä sympaattisen että parasympaattisen hermoston aktiivisuutta ja siihen vaikuttavat myös verenpaineen säätelyjärjestelmät. Kohonneet LF -arvot viittaavat usein lisääntyneeseen sympaattiseen aktiivisuuteen. VLF- ja ULF -taajuusalueiden fysiologiset syntymekanismit ovat osittain epäselviä. Matalien VLF -arvojen on kuitenkin arveltu liittyvän erilaisiin sairauksiin ja elimistön tulehdustilaan sekä matalaan testosteronitasoon. ULF -arvojen on arveltu liittyvän hitaisiin biologisiin prosesseihin, kuten vuorokausirytmiiin, ruumiinlämpöön ja aineenvaihduntaan. Yksittäisten taajuuskaistojen lisäksi voidaan tarkastella LF/HF -suhdetta, jonka on ajateltu kuvastavan autonomisen hermoston tasapainotilaa. Billman (2013) sekä Shaffer, McCraty & Zerr (2014) ovat kuitenkin asettaneet tämän näkemyksen kiistanalaiseksi lähinnä matalataajuisten sykevälivaihtelun syntyperän sekä mittausteknisien asioiden perusteella. (Shaffer & Ginsberg 2017)

4.8 Aiempi tutkimus

Sykevälivaihtelun mittaamiseen perustuvia menetelmiä on käytetty monissa aiemmissä tutkimuksissa ja se soveltuu hyvin myös kenttämittauksiin (Salonen ym. 2013). Togo & Takahashi (2009) ovat tehneet systemaattisen meta-tutkimuksen sykevälivaihtelun ja työhön liittyvien tekijöiden yhteyksistä. Se kattaa 46 erillistä tutkimusta, jotka on tehty eri aloilla työskentelevien henkilöiden parissa vuosina 1994–2007. Tutkimusten perusteella työympäristön kemialliset ja fysikaaliset tekijät (kts. Pääkkönen, Rantanen & Uitti 2008, 56–70), psyykinen työkuormitus ja epäsäännöllinen työaika sekä vuorotyö ovat yhteydessä alentuneeseen HF -taajuusalueen sykevaihteluun.

Sotilas- ja ilmailualalla sykevälivaihtelua on sovellettu esimerkiksi kuormituksen ja palautumisen arviointiin. Isola (2017), Väyrynen (2015) ja Salonen ym. (2013) ovat tutkineet sydämen autonomisen säätelyn muutoksia Maavoimien sotilaskoulutukseen liittyvien maastoharjoitusten aikana. Kaikissa tutkimuksissa raportoitiin tutkittavien RMSSD:n laskua harjoituksen edetessä, joka tutkijoiden mukaan kertoo harjoitusten kuormittavasta vaikutuksesta.

Rautanen (2015) on tutkinut sykevälivaihtelun soveltuvuutta kognitiivisen kuormituksen mittaamiseen simulaattorilentojen aikana. Tulosten perusteella aikakenttäanalyysin muuttujat soveltuvat erittäin hyvin kognitiivisen kuormituksen tason mittaamiseen ja myös taajuuskenttäanalyysin muuttujilla on vahva yhteys kuormitustasojen muutoksiin. Wanyan, Zhuang & Zhang (2014) ovat päätyneet lentosimulaattorissa tehtyjen kokeiden pohjalta samankaltaiseen päätelmään: sykevälivaihtelu vähenee henkisen työkuorman lisääntyessä. Socha ym. (2016) ovat puolestaan tutkineet simulaattorilentojen ja todellisten lentojen välisiä kuormittavuuden eroja. Tulosten perusteella sekä RMSSD että SDNN -arvot olivat merkittävästi alempia todellisten lentojen aikana, mikä tutkijoiden mukaan viittaa niiden suurempaan psykofysiologiseen kuormittavuuteen.

Sauvet, Jouanin, Langrume, Van Beers, Papelier & Dussault (2009) selvittivät kokemattomien lentäjien sykevälivaihtelun käyttäytymistä pitkän, yli 3 tunnin reittilennon aikana. Lento koostui useasta reittivälisestä, jotka lennettiin tavanomaisella yleisilmailukoneella (*Piper PA28*). Tutkimusasetelmaan kuului simuloituja häiriötilanteita sekä useita läpilaskuja eri lentopaikoille. Tulosten perusteella keskimääräinen sykevaihtelu, SDNN ja HF laskivat lennon kuluessa. Vastaavasti LF sekä LF/HF -suhde nousivat. Tutkijoiden johtopäätösten perusteella vakaallinen säätely väheni ja sympaattinen aktiivisuus lisääntyi ja muutokset näkyivät vielä jopa 5 tuntia lennon jälkeen. Tuloksia ei voida tutkijoiden mukaan kuitenkaan suoraan yleistää niiden suuren vaihtelun vuoksi.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Ilmavoimien kuljetuskonekalustolla lentävien ohjaajien työn kuormittavuutta ja kuormituksesta palautumista normaaliolojen toimintaympäristössä. Vastaavaa tutkimusta ei ole tehty aiemmin tällä kohdejoukolla, joten se toimii osaltaan myös esitutkimuksena. Tutkimus perustuu fysiologisten muuttujien mittaamiseen sykevälivaihtelun perusteella ja sen avulla pyritään luomaan kuva kohderyhmän työn kuormittavuudesta yleisellä tasolla.

5.1 Tutkimusaiheen rajaus

Tutkimuksen kohteena olevat henkilöt ovat Ilmavoimissa palvelevia sotilaslentäjiä. Tutkimusaiheen vuoksi hävittäjäkalustolla lentävä henkilöstö rajataan kohdejoukon ulkopuolelle eli tutkittavaksi otetaan vain kuljetuskonekalustolla lentävät ohjaajat. Tutkimustyöhön käytettävissä olevien resurssien perusteella rajaus kohdistetaan edelleen vain Satakunnan lennostossa ja Tukilentolaivueessa palveleviin ohjaajiin, jotka osallistuvat aktiivisesti lentopalvelukseen.

Toimintaympäristön osalta tutkimus rajataan normaaliolojen toimintaympäristöön ja edelleen ohjaajien päivittäisiin työtehtäviin. Sotilaan toimintakykyyn liittyvä näkökulma rajautuu työkyvyn käsitteen kautta työtehtävien aiheuttamaan kokonaiskuormitukseen ja palautumiseen. Päivittäisten työtehtävien aiheuttaman kokonaiskuormituksen vaihtelevuuden vuoksi tarkastelukohteeksi pyritään ottamaan laivue- ja lentopalvelusta sisältäviä työvuoroja, jotka kuvastavat mahdollisimman hyvin työn tyypillisiä piirteitä. Laivue- ja lentopalveluksen tyypilliset piirteet on kuvattu tarkemmin luvussa *2.1 Laivue- ja lentopalvelus*. Normaalioloissa tyypillisen laivuepalveluspäivän kesto on noin kahdeksan tuntia ja se pitää sisällään vaihtelevaa toimistotyötä. Lentopalveluspäivien osalta rajaus kohdistetaan työpäiviin, joiden kokonaiskesto on noin 8-12 tuntia ja jotka pitävät sisällään kuljetuslentotoimintaa.

Tutkimuksen tiedonintressiin ja toimintaympäristöön liittyvät rajaukset puolestaan ohjaavat tutkimusmenetelmien valintaa. Päivittäisten työtehtävien aiheuttaman kuormituksen seuraminen luonnollisessa toimintaympäristössä edellyttää menetelmää, joka on tutkittavien kannalta mahdollisimman huomaamaton eikä aiheuta heille ylimääräistä vaivaa. Tutkimusdatan kerääminen suoritetaan non-invasiivisesti sykevälivaihtelumittausten avulla.

5.2 Tutkimusongelmat ja hypoteesit

Tutkimusongelmat ja niihin liittyvät hypoteesit ovat seuraavat:

1. *Millainen on kuljetuskoneohjaajan lento- ja laivuepalveluspäivän kokonaiskuormitus sydämen autonomisen säätelyn muutosten ja muiden fysiologisten muuttujien perusteella?*

Hypoteesi: Kuljetuskoneohjaajan tavanomainen työpäivä pitää sisällään paljon istumista niin toimistossa kuin lentokoneessakin. Työssä ilmenevät merkittävimmät kuormitustekijät aiheutunevat epäsäännöllisistä ja pitkistä työajoista ja staattisista työskentelyasennoista. (Rintala 2012) Työpäiviin liittyvä fyysinen kuormitus vertautuu lähinnä kevyeen toimistotyöhön ja työpäivän aikainen fyysinen aktiivisuus jää matalalle tasolle. (Ainsworth ym. 2011)

2. *Miten lennon kokonaiskesto ja alkuaika vaikuttavat sydämen autonomisen säätelyn muutoksiin?*

Hypoteesi: Lyhyempi lentoaika nostaa keskisykettä, kun lennon kriittiset vaiheet eli lento-ohjauksen lähtö ja lasku ovat ajallisesti toisiaan lähempänä ja lennon aikana on suhteellisesti enemmän tehtäviä. (Roscoe 1982; Bonner & Wilson 2002; Mansikka ym. 2016) Tehtävien tuottama kiire kasvattaa kuormitusta, joka lisää sympaattista aktiivisuutta, nostaa sykettä ja vähentää sykevälivaihtelua (Pumprla, Howorka, Groves, Chester & Nolan 2002). Sydämen autonomisen säätely seuraa ihmisen vuorokausirytmää ja sykevälivaihtelu on korkeimmillaan yöllä ja alhaisimmillaan päivällä (Bonnemeier ym. 2003), jolloin sama trendi voidaan havaita myös eri vuorokaudenaikana lennettyjen lentojen yhteydessä.

3. *Millaisia sydämen autonomisen säätelyn muutoksia työpäivän aikana suoritettu palautusmenetelmä tuottaa seuraavan yön aikana?*

Hypoteesi: Työpäivän aikaiset tauot antavat mahdollisuuden työstä irtautumiseen ja tarjoavat palauttavia hetkiä työpäivän aikana, mikä mahdollistaa kuormituksen säätelyn ja osaltaan laskee työstressin määrää (Sianoja, Kinnunen, de Bloom, Korpela & Geurts 2016). Vähentynyt työstressi lisää sydämen autonomista säätelyä unen aikana ja parantaa unen laatua (Lindholm 2013).

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus liittyy sotilaiden fyysisen toimintakyvyn tutkimukseen, joka on monitieteellistä toimintaa. Tutkimus on luonteeltaan poikkitieteellinen ja siinä sovelletaan sotilaspedagogiikan lisäksi fysiologian sekä liikunta- ja terveystieteiden aloja. Tieteenfilosofisen paradigman osalta tutkimuksessa nojataan empiristiseen paradigmaan, jonka mukaan tieto perustuu havaintoihin ja kokemuksiin. Ihmiskäsityksen osalta tutkimuksen tutkittavat ymmärretään motoris-psykkisinä kokonaisuuksina, missä heidän toimintaansa voidaan tarkastella mitattavien ominaisuuksien kautta. (Sirén & Pekkarinen 2017, 11–12) Metodologian osalta tutkimus perustuu empiiriseen havainnointiin ja on tutkimusotteeltaan kvantitatiivinen.

Tutkimukselle oli anottu Puolustusvoimien tutkimuslupa (AN14484). Tutkimuksen aikana noudatettiin Valtakunnallisen lääketieteellisen tutkimuseettisen toimikunnan ohjeistusta. Tutkimus toteutettiin kesän 2017 ja kevään 2018 välisenä aikana Satakunnan lennostossa.

6.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat Tukilentoalavueessa palvelevia kuljetuskoneohjaajia, joiden valinta perustui vapaaehtoisuuteen ja satunnaisotantaan. Tutkittavilta edellytettiin voimassa olevaa Ilmavoimien lääketieteellistä lentokelpoisuustodistusta, normaalia terveydentilaa ja aktiivista osallistumista lentopalvelukseen. Ennen tutkimuksen aloitusta tutkittaville käytiin läpi tutkimuksen keskeinen sisältö ja mittauksen suunniteltu toteutustapa. Heiltä kerättiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta, jonka lisäksi heille kerrottiin myös mahdollisuudesta keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä tahansa vaiheessa.

Tutkimukseen osallistui 12 tutkittavaa (11 miestä, 1 nainen), joista kahdeksan suoritti kaikki tutkimusasetelmaan liittyvät mittausjaksot. Neljän tutkittavan osalta osa mittausjaksoista jäi suorittamatta pääasiassa lentopalveluksessa lyhyellä varoitusajalla tapahtuneiden muutosten johdosta. Tutkittavien taustatiedot (Taulukko 3) kerättiin ensimmäisen mittausjakson yhteydessä esitietolomakkeella (Liite 1). Ikä, pituus ja paino perustuivat tutkittavien ilmoittamaan tietoon tutkimuksen alussa. Pituuden ja painon perusteella laskettiin tutkittavien painoindeksi (BMI). HR_{max} ja $VO2_{max}$ arvot perustuivat tutkittavien viimeisimpään maksimaaliseen polku-pyöräergometritestiin.

Taulukko 3

Tutkittavien taustatiedot (N=12).

Muuttuja	Keskiarvo ja -hajonta
Ikä (v)	29 ± 3
Pituus (cm)	181 ± 5
Paino (kg)	80.3 ± 6.7
BMI (indeksi)	24.5 ± 1.5
HR _{max} (bpm)	194 ± 5
VO _{2max} (ml/kg/min)	51.4 ± 4.7

6.2 Tutkimusasetelma

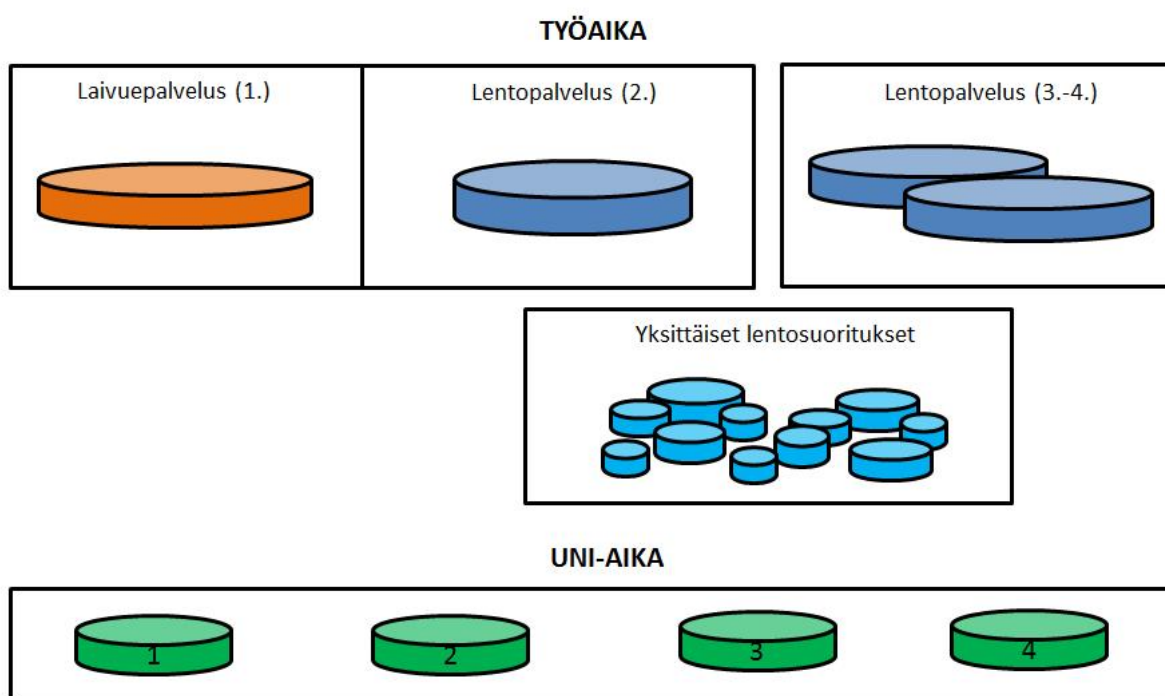
Tutkimusongelmien perusteella tarkempi tutkimusasettelu tehtiin siten, että tutkimuksessa voitiin selvittää erilaisten työpäivien kuormittavuutta sekä vertailla erilaisten palautumismenetelmien vaikutuksia. Näillä perusteilla rakennettiin mittausasetelma, missä kultakin tutkittavalta kerättiin sykevälivaihtelu -dataa neljältä eri työpäivältä.

Joillain tutkittavilla osa mittausjaksoista ajoittui peräkkäisille päiville, mikäli työhön ja lentopalvelukseen liittyvät järjestelyt sen mahdollistivat. Muissa tapauksissa yksittäiset mittausjaksot toteutettiin muina tutkimusasetelmaan sopivina ajankohtina. Kunkin tutkittavan osalta mittausjaksoiksi valittiin kolme lentopalveluspäivää sekä yksi laivuepalveluspäivä, jotka toteutettiin satunnaisessa järjestyksessä:

1. Laivuepalvelus (*toimistotyö*)
2. Lentopalvelus, ei lepoa
3. Lentopalvelus, lepo (*vaakatasossa, noin 25 minuuttia*)
4. Lentopalvelus, lepo (*matalataajuushoito*)

Sykevälivaihtelua mitattiin noin vuorokauden jaksoissa. Yksittäinen mittausjakso alkoi aina työvuoron alussa ja päättyi seuraavana aamuna heräämiseen. Tutkittavat pitivät mittausjakson aikana päiväkirjaa, johon merkittiin päivän tapahtumat kuten työaika, uniaika, ruokailut ja lentosuoritukset. Mittausjakso jaettiin edelleen kolmeen osaan päiväkirjamerkintöjen perusteella: työaikaan, vapaa-aikaan sekä uni-aikaan.

Mittausjaksot ryhmiteltiin siten, että toimistotyöpäivät, lentopalveluspäivät sekä pelkät lennot jaettiin omiksi ryhmikseen, joiden perusteella arvioitiin kyseiseen toimintaan liittyvä kuormittuminen. Vastaavasti myös kutakin työvuoroa seuranneet unijaksot jaettiin omiksi ryhmikseen, jolloin voitiin vertailla erilaisten työvuorojen sekä palautumismenetelmien vaikutusta seuraavan yön uneen. Lentopalveluspäivinä suoritettavat lentotehtävät otettiin myös omaksi ryhmikseen, jolloin yksittäisiin lentoihin liittyvää kuormitusta voitiin tarkastella. Tutkimusasetelma on havainnollistettu alla (Kuva 6).



Kuva 6. Tutkimusasetelma.

Tutkimusaineisto koostuu useasta havaintoyksiköistä (tutkittavat), joille suoritettiin useita mittauksia. Klassiseen koeasetelmaan verraten ei kuitenkaan muodostettu varsinaista kontrolliryhmää tai suoritettu interventiota (*erilliset koe- ja verrokki-ryhmät*). (Metsämuuronen 2006, 50) Tutkimuksen aikana suoritettavat mittaukset voidaan nähdä yksittäisinä kokeina, missä kulloistakin asetelmaa on muokattu mittauskertojen välillä (erilainen työvuoro tai palautumismenetelmä). Kunkin koehenkilön yksittäinen mittausjakso (laivuepalveluspäivän jälkeinen yö) toteutettiin siten, että niistä voitiin luoda kontrolliryhmä palautumisen vertailuun. Kaikille koehenkilöille pyrittiin toteuttamaan samansisältöiset mittausjaksot normaalin päivittäisen työskentelyn mahdollistamissa puitteissa, jonka myötä aineistot saatiin keskenään mahdollisimman vertailukelpoisiksi (Metsämuuronen 2006, 55).

6.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkittavien kuormittumista ja palautumista arvioitiin autonomisen hermoston tasapainotilaa kuvaavan non-invasiivisen sykevälivaihtelumittauksen avulla (Firstbeat Bodyguard 2, Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi). Mittari tallentaa jokaisen sydämenlyönnin ja niiden välisen ajan millisekunteina, sykevaihtelun mittaustarkkuus on 1 ms (1000 Hz). Laitteessa on myös kolmiakselinen kiihtyvyysanturi askelten ja fyysisen aktiivisuuden tarkempaan tunnistamiseen. (Firstbeat Technologies Oy 2017a; 2017b) Mittauselektrodeina käytettiin *Ambu BlueSensor L L-00-S/25* EKG -elektrodeja.

Sykevälidata analysoitiin Firstbeat Hyvinvointianalyysi -verkko-ohjelmistolla (Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi, päivitys 4.3.2018), joka tunnistaa, suodattaa ja korjaa sykevälidatan automaattisesti. Ohjelmisto käyttää ikkunoitua Fourier muunnosta (STFT) sekä neuroverkkomallinnusta sykevälidatan analysointiin. (Saalasti 2003)

Ohjelmisto tunnistaa perinteisten sykevaihtelumuuttujien lisäksi esimerkiksi elimistön kuormitus- ja palautumistilat sekä energian- ja hapenkulutuksen (Montgomery ym. 2009). Kuormitus ja stressi tunnistetaan kohonneen sykkeen, vähentyneen sykevälivaihtelun ja hengitystiheyden muutosten aiheuttaman sykevaihtelun taajuusalueiden epäjohdonmukaisuuden perusteella. Palautumistilanteissa ohjelmisto tunnistaa syketason, joka on lähellä yksilön leposyketä ja hengitysrytmiä seurailevan lisääntyneen sykevälivaihtelun. (Saalasti 2003) Tutkimuksessa käytetyt muuttujat on esitetty alla (Taulukko 4).

Taulukko 4

Tutkimuksessa käytetyt Hyvinvointianalyysi -ohjelmiston muuttujat.

Muuttuja	Selite	Yksikkö
Kesto	Mittausjakson kokonaiskesto	min
Palautuminen	Tunnistettujen palautumisjaksojen kokonaiskesto	min
Stressi	Tunnistettujen stressijaksojen kokonaiskesto	min
Stressiprosentti	Stressin osuus mittausjaksolla	%
Palautumisprosentti	Palautumisen osuus mittausjaksolla	%
HR _{mean}	Mittausjakson keskisyke	1/min
HR _{min}	Mittausjakson minimisyke	1/min
VO ₂ _{mean}	Mittausjakson keskimääräinen hapenkulutus	ml/kg/min
RespR _{mean}	Mittausjakson keskimääräinen hengitystiheys	1/min
EE _{total}	Mittausjakson kokonaisenergiakulutus	kcal
EE _{hour}	Tuntitasolle vakioitu energiakulutus	kcal/h
Askeleet	Mittausjakson aikaiset askeleet	kpl
RMSSD	Neliöjuuri peräkkäisten sykevälien vaihtelusta	ms
SD	Peräkkäisten sykevälien keskihajonta	ms
HF	Korkeataajuisen sykevaihdelun teho	ms ²
LF	Matalataajuisen sykevaihdelun teho	ms ²
LF/HF	Matala- ja korkeataajuisen sykevaihdelun suhde	%

Tutkimusasetelmaan 4. kohtaan liittyvä matalataajuushoito toteutettiin Neurosonic -divaanilla (Oy Neurosonic Finland Ltd, Oulu, Suomi), joka on sijoitettuna Tukilentoalavueen tiloissa olevaan lepohuoneeseen. Divaaniin on integroitu mekaaninen värähtelytoiminto, joka tuottaa 20–100 Hz taajuuksista värähtelyä patjan kautta kohdehenkilön elimistöön. Matalataajuushoidon aikana käytettiin 25 minuutin rentoutus-ohjelmaa. Tutkimusasetelman 3. kohdan mukainen lepo vaakatasossa suoritettiin myös samassa lepoahuoneessa.

Tutkittavien subjektiivisia arvioita työvuoron kuormittavuudesta tiedusteltiin erillisen kyselylomakkeen avulla (Liite 2). Kyselylomakkeen avulla selvitettiin työvuoron henkistä ja fyysistä kuormittavuutta (*kevyempi - ei eroa keskimääräiseen - raskaampi*) sekä työvuoron jälkeistä olotilaa (*virkeämpi - yhtä virkeä - vähemmän virkeä*) kolmiportaisella asteikolla. Arviot unen laadusta perustuvat sykevälivaihtelumittauksiin liittyvän päiväkirjan merkintöihin. Päiväkirjassa unen laatua arvioitiin kysymyksellä ”*Kuinka nukuit?*” vastausasteikon ollessa viisiporainen (*huonosti - melko huonosti - kohtalaisesti - melko hyvin - hyvin*).

6.4 Mittausten toteutus

Sykevälivaihteluun liittyvät mittaukset toteutettiin syyskuun 2017 ja maaliskuun 2018 välisenä aikana. Tarkasteluun otettiin tavanomaisia työpäiviä, joten mittauksia ei suoritettu esimerkiksi lentotoiminta- tai sotaharjoitusten yhteydessä. Tutkittavia kehoitettiin välttämään ylenpalttista nautintoaineiden kulutusta, alkoholin käyttöä sekä erityisen raskasta liikuntaa mittausjakson aikana, etenkin lähellä nukkumaanmenoaikaa. Lentopalveluspäivien osalta pyrittiin huomioimaan se, että työpäivään sisältyvän lentopalvelusjakson kokonaiskesto on riittävän pitkä (yli 6 tuntia) ja kokonaislentoaika ylittää 2 tuntia. Mittauspäivät valittiin siten, että niiden aikana lennettiin normaaleja kuljetus- ja siirtolentoja (Ilmavoimien lentotehtäväkoodit 4401, 4431 ja 5011). Mittausjaksot pyrittiin ketjuttamaan siten, että yhdellä mittauskerralla voitaisiin kerätä sykevaihtelu -dataa useamman työpäivän ajalta, esimerkiksi ensimmäisenä mittauspäivänä lentopalveluspäivä, toisena mittauspäivänä laivuepalveluspäivä.

Tutkija valmisteli mittauslaitteen aina ennen jokaista mittausjaksoa, millä varmistettiin muun muassa laitteen tallennus- ja akkukapasiteetin riittävyys. Mittausjaksot aloitettiin yleensä työvuoron alussa, mutta joissain tilanteissa jo edeltävän päivän aikana. Mittausjaksojen aikana tutkittavat merkitsivät päiväkirjaan merkittävimmät tapahtumat, kuten työ- ja uniajan, lennot sekä muut päivän aikaiset aktiviteetit. Mittausjakson päätteeksi sykevälidata purettiin Hyvinvointianalyysi -ohjelmaan, jolla tarkastettiin mittausjakson onnistuminen. Yksittäisissä tapauksissa sykevälidata sisälsi liikaa katkoksia tai mittausvirheitä (> 15 %), jolloin kyseinen mittaus hylättiin ja mahdollisuuksien mukaan uusittiin myöhemmin. Onnistuneista mittausjaksoista tuotettiin Hyvinvointianalyysin raportit, jotka käytiin läpi tutkittaville ja halukkaille tarjottiin mahdollisuus raportin tarkempaan palautekeskusteluun myös työfysioterapeutin kanssa.

Kokonaisten mittausjaksojen pituudet vaihtelivat lyhimmillään vajaasta vuorokaudesta aina viiden vuorokauden mittaiseen jaksoon, jonka aikana saatiin kerättyä useampia tutkimusasetelman mukaisia mittauksia. Tutkimusasetelmaan liittyvä erilaisten palautumismenetelmien valinta toteutettiin sattumanvaraisesti. Eri palautumismenetelmien käyttöä sisältäneet lento-palveluspäivät valittiin kuitenkin siten, että ne päättyisivät noin virka-ajan puitteissa.

Sykevälidatan tarkempaa analysointia varten, mittausjaksot käsiteltiin uudelleen Hyvinvointi-analyysi -ohjelmalla, jonka avulla sykevälidatasta saatiin poimittua halutut tiedot. Kokonaiset mittausjaksot jaettiin työaikaan, vapaa-aikaan sekä unijaksoihin tutkittavien päiväkirjamerkintöjen perusteella. Tämän lisäksi lentojen aikainen sykevälidata jaettiin lentoonlähdön ja -laskun väliseen aikaan siten, että lentoajan molempiin päihin lisättiin viiden minuutin varmuusaika mahdollisten mittaus- ja merkintävirheiden kumoamiseksi. Varmuusajan lisäämisestä ei ole merkittävää haittaa tulosten oikeellisuuden kannalta, koska aikajakso sisältää lentokoneen rullaamiseen ja maatoimenpiteisiin liittyviä tehtäviä, jotka kuuluvat kiinteästi lento-toimintaan.

Käsitelty ja aikapilkottu sykevälidata siirrettiin Hyvinvointianalyysin Data export -työkalulla taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Office Excel 2010), jossa mittausjaksojen tietoihin lisättiin lentosuoritusten määrä ja lentoaika sekä kuormituskyselyillä kerätty työvuoron kuormittavuuden subjektiivinen arvio.

Kaikki tutkittavat suorittivat tutkimusasetelman mukaisen laivuepalveluspäivän. Jälkikäteen yhden tutkittavan osalta huomattiin yön aikaisen mittausdata -tiedoston korruptoituneen tuntemattomaksi jääneestä syystä, jolloin sitä ei voitu ottaa mukaan tilastolliseen analyysiin. Lento-palveluspäivien osalta kahdeksan tutkittavaa suoritti kaikki tutkimusasetelman mukaiset mittaukset. Neljän tutkittavan kohdalla kaikkia tutkimusasetelman mukaisia mittauksia ei saatu toteutettua. Työajan osalta onnistuneita mittausjaksoja oli yhteensä 42 kappaletta ja unijaksojen osalta 41 kappaletta.

6.5 Tilastolliset menetelmät

Tulosten analysoinnissa käytettiin Microsoft Office Excel 2010 (versio 14.0.7192.5000) -taulukkolaskentaohjelmaa, jolla laskettiin muuttujien kuvailevat tunnusluvut kuten keskiarvot ja -hajonnat, mediaanit sekä suurimmat ja pienimmät arvot. Muuttujien tarkempaan analysointiin käytettiin IBM SPSS 24 Statistics -tilastolaskentaohjelmaa.

Sykevälivaihtelun taajuuskenttäanalyysin muuttujat muunnettiin luonnollisen logaritmin arvoille. Muuttujien jakauman normaalius tarkastettiin laivue- ja lentopalveluspäivien sekä niitä seuranneiden öiden osalta Shapiro-Wilkin testillä, koska otoskoot olivat alle 50 havaintoyksikköä (Häyhä, Kailaheimo, Pulkka & Tuominen 2015, 25). Tulosten perusteella laivue- ja lentopalveluksessa stressi, $\text{RespR}_{\text{mean}}$, EE_{total} ja HR_{mean} sekä sykevälivaihtelumuuttujat olivat normaalisti jakautuneet. Öiden osalta VO2_{mean} , HR_{mean} ja HR_{min} sekä sykevälivaihtelumuuttujat noudattivat normaalijakaumaa. Lentojen aikaisten kuormitusmuuttujien jakauman normaalius tarkastettiin Kolmogorov-Smirnovin testillä, koska otoskoko oli yli 50 havaintoyksikköä (Häyhä ym. 2015, 25). Testin perusteella HR_{mean} ja sykevälivaihtelumuuttujat noudattivat normaalijakaumaa. Jakaumien normaalius varmistettiin myös histogrammien avulla.

Pelkkien lentojen osalta kokonaiskeston ja mitattujen muuttujien välistä riippuvuutta arvioitiin Pearsonin korrelaatiokertoimella, joka soveltuu välimatka- ja suhdeasteikollisille muuttujille (Metsämuuronen 2006, 526). Lentoonlähtöajan ja mitattujen muuttujien välistä riippuvuutta arvioitiin Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla, jota käytetään järjestysasteikollisten muuttujien yhteydessä (Metsämuuronen 2006, 355–356; Häyhä ym. 2015, 70).

Syke- ja sykevälivaihtelumuuttujat analysoitiin parametristen testien avulla. Kahden ryhmän väliset vertailut tehtiin parittaisten otosten t-testillä ja useamman ryhmän väliset vertailut varianssianalyysillä. Muiden muuttujien osalta analyyseissa oli perusteltua käyttää parametrittomia testejä, jotka eivät edellytä jakauman normaaliutta ja antavat luotettavampia tuloksia pienemmillä otoksilla (Metsämuuronen 2006, 439, 530). Parametrittomien testien osalta kahden ryhmän väliset vertailut tehtiin Wilcoxonin merkittyjen järjestyslukujen testillä ja useamman ryhmän väliset vertailut Kruskal-Wallis testillä. Tilastollisten analyysien merkitsevyyden raja-arvoina käytettiin tasoja $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ ja $***p < 0.001$.

Unen ja lentopalveluspäivän aikana suoritetun palautumismenetelmän vaikutusten arviointiin liittyvät vertailut toteutettiin pareittain siten, että tutkimusasetelman 1. kohdan (laivuepalvelus) jälkeistä yötä käytettiin verrokkina. Tilastollisten analyysimenetelmien vaatimusten vuoksi ryhmiä jouduttiin karsimaan siten, että vertailtaviin pareihin saatiin samat havaintoyksiköt. Näin ollen vertailusta on jouduttu karsimaan yksittäisiä havaintoyksikköjä, mikä pienensi otoskokoja ja muutti hieman ryhmäkohtaisia keskiarvoja. Luvussa 7.3 on kuitenkin raportoitu kuvailevat tunnusluvut kaikkien onnistuneiden mittausten osalta. Parittaisten vertailujen tulokset ja kuvailevat tunnusluvut sekä muut yksityiskohtaisemmat testitulokset on esitetty liitteessä 3.

7 TULOKSET

Työn aikaisen kuormittumisen arviointiin ja vertailuun (Taulukot 5-7) on käytetty tutkimusasetelman kohtien 1. ja 2 mukaisia mittausjaksoja. Yksittäisten lentojen kuormittavuuden arviointiin on käytetty kaikkien tutkittujen lentopalveluspäivien aikana lennettyjä lentosuorituksia. Unijaksojen ja palautumismenetelmien vaikutusten vertailu tehtiin pareittain siten, että kaikissa pareissa käytettiin vertailukohtana laivuepalveluspäivän jälkeistä yötä. Yksityiskoh- taisemmat tilastollisten analyysien tulokset on esitetty liitteessä 3.

Tulosten kuvailevista tunnusluvuista on esitetty keskiarvot (*k.a.*) ja -hajonnat (*sd.*) kaikkien muuttujien osalta. Osasta tuloksia on esitetty myös mediaanit (*md.*) sekä pienin ja suurin arvo (*min - max*). Tuloksissa käytetyt kuormitus-, syke- ja sykevälivaihtelumuuttujat on kuvattu luvussa 6.3 (Taulukko 4).

7.1 Työn aikainen kuormittuminen

Tutkittavat arvioivat mitattujen työvuorojen kuormittavuutta subjektiivisesti suhteessa keski- määräisen työvuoron kuormittavuuteen (Taulukko 5). Tulosten perusteella tutkimuksessa mi- tatut laivuepalveluspäivät olivat lähellä tavanomaisen työpäivän kuormittavuutta. Lentopalve- luspäivät puolestaan koettiin tavanomaista raskaammiksi. (*Kaikkien tutkimuksen aikaisten lentopalveluspäivien osalta vastaavat tulokset ovat 1. 2.23 ± 0.59 ; 2. 2.38 ± 0.64 ; 3. 2.62 ± 0.57*)

Taulukko 5

Tutkittavien arviot työvuorojen kuormittavuudesta tavanomaiseen työpäivään verrat- tuna, laivuepalvelus (LAPA), lentopalvelus (LEPA), (N=12).

Muuttuja	LAPA		LEPA	
	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>
1. Fyysinen kuormittavuus	1.92	0.51	2.18	0.75
2. Henkinen kuormittavuus	2.17	0.72	2.36	0.67
3. Tuntemus työvuoron jälkeen	2.00	0.43	2.36	0.67

Kohdissa 1. ja 2. vastausasteikko kolmiportainen: 1. kevyempi - 2. tavanomainen - 3. raskaampi.

Kohdassa 3. vastausasteikko kolmiportainen: 1. virkeämpi - 2. ei eroa tavanomaiseen - 3. vähemmän virkeä.

Laivuepalveluksessa aloitusaikojen mediaani oli kello 07:30 ja vaihtelu välillä kello 07:15 - 08:30. Laivuepalveluspäivien keskimääräinen pituus oli 8 tuntia 17 minuuttia. Lentopalveluksessa aloitusaikojen mediaani oli kello 07:08 ja vaihteluväli kello 04:30–12:00. Lentopalveluspäivien keskimääräinen pituus oli 9 tuntia 29 minuuttia. (*Kaikkien lentopalveluspäivien osalta vastaavat arvot: md. klo 06:45; min–max klo 02:50–12:00; k.a. 9 tuntia 58 minuuttia*).

Lentopalveluspäivien aikana lennettiin keskimäärin 4.4 (± 1.2) lentosuoritusta mediaanin ollessa 4 lentoa. Yhteenlaskettu päivittäinen lentoaika oli keskimäärin 3 tuntia 47 minuuttia (± 1 tuntia 11 minuuttia) mediaanin ollessa 3 tuntia 29 minuuttia. (*Kaikkien lentopalveluspäivien osalta vastaavat arvot: lentojen määrä k.a. 4.4 (± 1.4) md. 4; lentoaikojen k.a. 3 h 19 min (± 1 h 10 min), md. 3 h 0 min*).

Yleisten kuormitusmuuttujien perusteella laivue- ja lentopalveluksen kuormittavuus vaikuttaa melko samankaltaiselta. (Taulukko 6) Suurimmat ryhmien väliset erot ilmenevät jaksojen välisessä kokonaiskestossa ja -energiankulutuksessa (EE_{total}) sekä askelmäärissä, mutta erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Palautumisen kokonaiskeston ja palautumisprosenttien osalta erot ovat lähimpänä tilastollista merkitsevyyttä ($p=0.069$).

Taulukko 6

Työvuorojen aikaiset yleiset kuormitusmuuttujat, laivuepalvelus (LAPA), lentopalvelus (LEPA), (N=12).

Muuttuja	LAPA			LEPA		
	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>
Kesto	497	39	390-525	569	168	390-990
Stressi	378	73	272-468	407	110	274-634
Stressi- %	75.8	13	38-92	74.7	18	28-90
Palautuminen	14	19	0-45	1	2	0-5
Palautumis- %	3.0	4.1	0-29	0.2	0.3	0-1
EE_{total}	1197	332	742-1719	1441	541	686-2459
EE_{hour}	143	34	98-202	151	34	105-208
Askeleet	2425	850	1531-4308	2761	2827	924-11383
$VO2_{mean}$	6.1	1.4	4.3-8.0	6.5	1.7	4.7-10.3
$RespR_{mean}$	15.5	1.4	13.9-18.0	15.1	1.1	13.2-16.5

Syke- ja sykevälivaihtelumuuttujien keskiarvoissa laivue- ja lentopalveluksen välillä ilmenee jonkin verran eroja (Taulukko 7). Keskisyke (HR_{mean}) on merkitsevästi korkeampi lentopalveluspäivinä ($p=0.02$). Aikakenttäanalyysin peräkkäisten sykevälien keskihajontaa kuvaavan SD:n keskiarvo puolestaan on merkitsevästi pienempi ($p=0.02$) lentopalveluspäivinä. RMSSD:n osalta ero ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($p=0.131$). Muidenkaan muuttujien osalta eroilla ei ole tilastollista merkitsevyyttä.

Taulukko 7

Työvuorojen aikaiset syke- ja sykevälivaihtelumuuttujat, laivuepalvelus (LAPA), lentopalvelus (LEPA), (N=12).

Muuttuja	LAPA			LEPA		
	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>
HR_{mean}	77	9	62–92	83	10	65–99
RMSSD	34	8	19–47	30	10	17–44
SD	126	30	63–168	103	17	73–128
LF [ln]	8.0	0.5	7.0–9.1	7.9	0.4	7.2–8.6
HF [ln]	7.0	0.4	6.0–7.6	6.9	0.6	5.8–7.6
LF/HF [ln]	6.0	0.4	5.6–6.7	6.2	0.6	5.4–7.6

7.2 Lentojen aikainen kuormittuminen

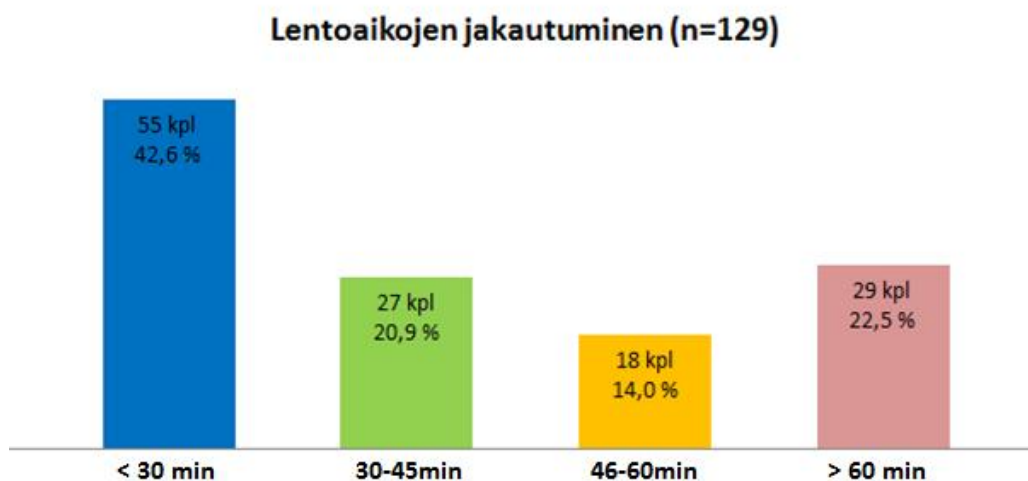
Lentopalveluspäivien aikana tutkittavat lensivät yhteensä 134 lentoa. Tuloksista karsittiin viisi lentoa liiallisten mittausvirheiden vuoksi ja lopullinen analyysi on tehty 129 lennon osalta. (Taulukko 8) Tuloksissa tulee kiinnittää huomiota siihen, että taulukossa 8 esitetystä mittausjakson kokonaiskestossa on mukana 5+5 minuutin varmuusaika, joka on poistettu jäljempänä.

Taulukko 8

Lentojen aikaiset yleiset kuormitus- ja syke- sekä sykevälivaihtelumuuttujat, (N=129).

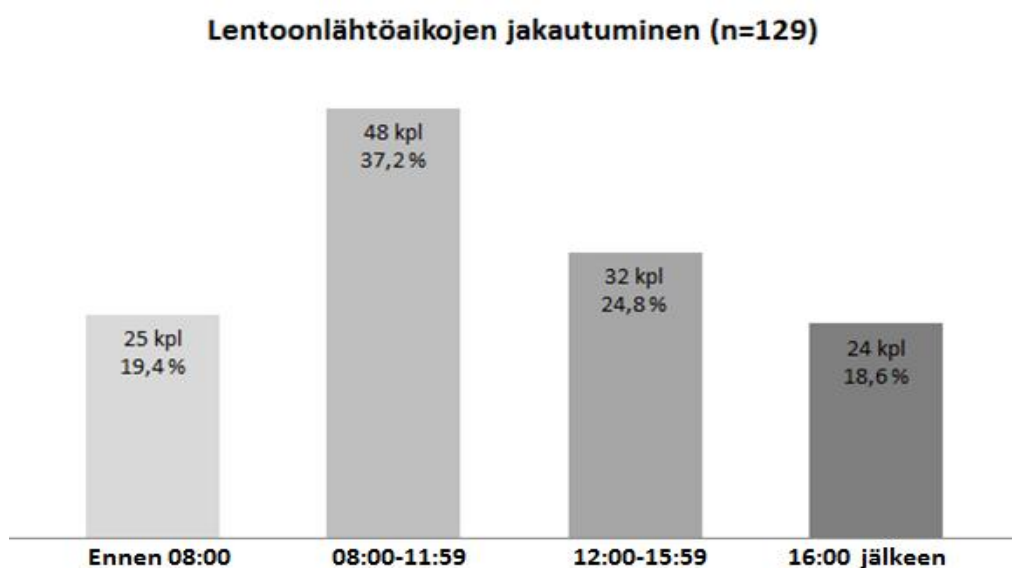
Pelkät lennot			
Muuttuja	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>
Kesto	56	29	24–153
Stressi	48	26	0–143
Stressiprosentti	87	19	0–100
Palautuminen	1	2	0–22
Palautumisprosentti	1	5	0–44
EE _{total}	116	66	40–331
EE _{hour}	127	50	76–460
VO ₂ _{mean}	5.6	2.5	3.2–23.5
RespR _{mean}	13.1	1.7	10.4–21.6
HR _{mean}	78	12	51–120
RMSSD	32	12	6–76
SD	81	20	46–143
LF [ln]	8.0	0.6	5.9–9.1
HF [ln]	6.8	0.7	4.2–8.3
LF/HF [ln]	6.1	0.4	5.1–7.0

Todellisen lentoajan osalta yksittäisen lentotehtävän keskimääräinen pituus oli 46 ± 29 minuuttia, mediaani 35 minuuttia (*min-max 14–143 minuuttia*). Suuri osa mittausjaksojen aikana lennetyistä lennoista on kestoltaan suhteellisen lyhyitä. 42.6 % lennoista oli kestoltaan alle 30 minuuttia. Kaikista lennoista alle 60 minuutin pituisia oli 77.5 %. (Kuva 7)



Kuva 7. Lentojen jakautuminen kokonaislentoajan mukaan.

Lennot ajoittuivat kaikkiin vuorokaudenaikoihin, lentoonlähettäaikojen mediaani oli kello 10:51:30 (*min-max kello 04:09–23:59*). Suuri osa lennoista lennettiin kuitenkin noin virkaajan puitteissa: kello 08:00 - 16:00 väliselle ajalle ajoittui 62 % kaikista lentoonlähdeistä. (Kuva 8)



Kuva 8. Lentoonlähettäaikojen jakautuminen eri vuorokaudenaikoihin.

Lennon kokonaiskeston ja yleisten kuormitusmuuttujien sekä sykevälivaihtelun välillä ei havaittu merkittäviä korrelaatioita. Toisaalta LF/HF:n korrelaatiokerroin osoitti heikkoa negatiivista yhteyttä ($p < 0.01$). Muista sykevälivaihtelumuuttujista RMSSD:n, HF:n ($p < 0.01$) sekä SD:n ($p < 0.05$) arvot osoittivat lähestyvää heikkoa yhteyttä. Lentoonlähtöajan mukaan luokitelluissa lennoissa LF -arvo osoitti lähestyvää heikkoa yhteyttä ($p < 0.01$). (Taulukko 9)

Taulukko 9

Lennon kokonaiskeston ja kuormitusmuuttujien Pearsonin korrelaatiokertoimet sekä lentoonlähtöajan ja kuormitusmuuttujien Spearmanin korrelaatiokertoimet (N=129).

	Lennon kesto	Lentoonlähtöaika
Stressiprosentti	-0.11	-0.13
Palautumisprosentti	-0.03	-0.02
VO ₂ _{mean}	-0.16	-0.03
RespR _{mean}	-0.05	-0.18*
EE _{hour}	-0.10	-0.07
HR _{mean}	-0.17	-0.05
RMSSD	0.24**	0.06
SD	0.22*	0.06
LF [ln]	0.06	0.24**
HF [ln]	0.24**	0.06
LF/HF [ln]	-0.29**	0.12

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Kuormitus- ja sykevälivaihtelumuuttujat ryhmiteltiin edelleen lentoajan mukaan (Taulukot 10 ja 11). Ryhmien lentoaikojen keskiarvot ja -hajonnat olivat alle 30 minuutin lentojen (A, n=55) osalta 24 ± 4 minuuttia, 30–45 minuutin lentojen (B, n=27) osalta 37 ± 5 minuuttia, 46–60 minuutin lentojen (C, n=18) osalta 52 ± 5 minuuttia ja yli 60 minuutin lentojen (D, n=29) osalta 92 ± 24 minuuttia.

Yleiset kuormitusmuuttujat ovat samansuuntaisia kaikissa ryhmissä. Hapen- ($VO_{2\text{mean}}$) ja energiankulutuksen (EE_{hour}) keskiarvot olivat pienempiä pidemmällä lennoilla, mutta erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 10

Kruskall-Wallis testi: yleiset kuormitusmuuttujat lentoajan mukaan ryhmiteltynä, A (< 30 min lennot), B (30–45 min lennot), C (46–60min lennot), D (> 60 min lennot), (N=129).

Muuttuja	A (n=55)		B (n=27)		C (n=18)		D (n=29)		F(3)	p
	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd		
Stressi- %	85	21	90	11	94	6	83	24	2.452	.484
Palautumis- %	1	6	1	2	1	2	1	5	.301	.960
$VO_{2\text{mean}}$	6.1	3.2	5.5	2.0	5.7	2.2	4.9	1.5	4.294	.231
$RespR_{\text{mean}}$	13.2	1.8	13.2	2.2	12.9	1.3	12.9	1.4	.330	.954
EE_{hour}	135	61	121	41	123	39	119	36	2.410	.492

Lentoajan mukaan ryhmitellyistä syke- ja sykevälivaihtelumuuttujista LF/HF:n ja HF:n arvot erosivat toisistaan. Post-hoc vertailun (*Bonferroni*) perusteella LF/HF -arvo oli merkitsevästi pienempi ryhmien A ja B ($p=0.001$) sekä A ja D välillä ($p=0.028$).

HF -arvon kohdalla ei saavutettu tilastollista merkitsevyyttä, vaikka ryhmien keskiarvoissa olikin eroja. HF:n osalta ryhmien A ja D välillä $p=0.056$ ja ryhmien B ja D välillä $p=0.051$. Post-hoc -vertailun perusteella RMSSD:n tilanne oli vastaavankaltainen ryhmien A ja D välillä, $p=0.056$.

Taulukko 11

Yksisuuntainen varianssianalyysi: Syke- ja sykevälivaihtelumuuttujat lentoajan mukaan ryhmiteltynä, A (< 30 min lennot), B (30–45 min lennot), C (46–60min lennot), D (> 60 min lennot), (N=129),

Muuttuja	A (n=55)		B (n=27)		C (n=18)		D (n=29)		F(3.125)	p	η^2
	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd			
HR _{mean}	80	13	77	11	79	11	75	12	1.386	.250	.032
RMSSD	30	12	31	10	32	13	38	12	2.563	.058	.058
SD	78	21	80	17	84	22	87	19	1.251	.294	.029
LF [ln]	8.0	0.7	8.1	0.5	8.0	0.6	8.1	0.3	.173	.915	.004
HF [ln]	6.7	0.8	6.6	0.5	6.7	0.7	7.1	0.5	3.035	.032	.068
LF/HF [ln]	6.1 ^a	0.4	6.2 ^b	0.4	6.1	0.4	5.8 ^{ab}	0.4	5.116	.002	.110

Samalla yläindeksillä merkityt keskiarvot (^{a b}) poikkeavat muista ryhmistä merkitsevyystasolla $p<0.05$.

Kuormitus- ja sykevälivaihtelumuuttujat ryhmiteltiin myös lentoonlähtöajan mukaan (Taulukot 12 ja 13). Ennen kello 08:00 aloitettujen lentojen (A, n=25) keskimääräinen kesto oli 39 ± 21 minuuttia, kello 08:00–11:59 aloitettujen lentojen (B, n=48) 50 ± 30 minuuttia, kello 12:00–15:59 aloitettujen lentojen (C, n=32) 50 ± 32 minuuttia ja kello 16:00 jälkeen aloitettujen lentojen (D, n=24) 41 ± 30 minuuttia.

Lennonaikaisen hapenkulutuksen ($VO2_{\text{mean}}$) ja hengitystiheyden ($\text{RespR}_{\text{mean}}$) keskiarvot olivat pienempiä, mitä myöhemmin lento on suoritettu. Näiden osalta tuloksia ei kuitenkaan voida pitää tilastollisesti merkitsevinä.

Taulukko 12

Kruskall-Wallis testi: kuormitusmuuttujat lentoonlähtöajan mukaan ryhmiteltynä, A (lentoonlähtöaika ennen klo 08:00), B (lentoonlähtöaika välillä klo 08:00–11:59), C (lentoonlähtöaika välillä klo 12:00–15:59), D (lentoonlähtöaika klo 16:00 jälkeen), (N=129).

Muuttuja	A (n=25)		B (n=48)		C (n=32)		D (n=24)		F(3)	p
	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd	k.a.	sd		
Stressi- %	88	19	89	18	83	21	84	19	3.977	.264
Palautumis- %	0	2	1	7	1	4	0	0	3.916	.271
$VO2_{\text{mean}}$	6.0	2.3	5.8	3.4	5.5	1.9	5.2	1.2	1.015	.798
$\text{RespR}_{\text{mean}}$	13.7	2.2	13.1	1.9	13.0	1.4	12.4	1.0	6.006	.111
EE_{hour}	137	53	131	64	122	36	113	21	.920	.821

7.3 Uni ja palautuminen

Kaikkien tutkittujen unijaksojen ($N=41$) keskimääräinen pituus oli 7 tuntia 46 minuuttia \pm 90 minuuttia ja nukkumaanmenoaikojen mediaani kello 22:30. Tutkimusasetelman mukaisesti jaettujen unijaksojen ryhmäkohtaiset keskiarvot ja -hajonnat on esitetty alla (Taulukko 14).

Unijaksojen muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Lähimpänä tilastollista merkitsevyyttä oli LAPA:n ja LEPA-K:n välinen minimisyke (HR_{\min}) ($p=0.073$) sekä LAPA:n ja LEPA-M:n välinen unen laatu ($p=0.102$).

Taulukko 14

Kaikki työpäivien jälkeiset unijaksot tutkimusasetelman mukaan ryhmiteltynä.

Muuttuja	LAPA (n=11)		LEPA-K (n=12)		LEPA-V (n=10)		LEPA-M (n=8)	
	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>
Kesto	442	64	462	132	493	66	473	72
Palautuminen	365	103	359	171	397	141	355	118
Palautumis- %	82	18	72	27	80	26	75	21
$VO2_{\text{mean}}$	3.8	0.4	3.7	0.3	3.7	0.3	3.7	0.4
$RespR_{\text{mean}}$	14.8	1.4	14.9	1.2	14.6	1.5	14.6	1.4
Unen laatu	3.9	0.8	3.9	0.8	3.7	0.8	4.5	0.5
HR_{mean}	53	6	54	5	52	6	54	8
HR_{\min}	45	3	46	4	44	4	44	5
RMSSD	63	17	63	16	65	25	68	20
SD	134	25	134	30	139	40	153	35
LF [ln]	8.1	0.3	8.1	0.5	8.3	0.5	8.4	0.4
HF [ln]	7.9	0.6	7.9	0.6	7.9	0.7	8.1	0.5
LF/HF [ln]	5.4	1.1	5.7	1.7	5.4	0.7	5.2	0.3

*Arvio unen laadusta perustuu tutkittavien vastauksiin viisiportaisella asteikolla: 1. huono -2. melko huono -3. koh-
talainen - 4. melko hyvä - 5. hyvä.*

8 POHDINTA

Ilmavoimien kuljetuskoneohjaajien työn kuormittavuudesta ja palautumisesta ei ole aiemmin tehty tieteellistä tutkimusta. Rintalan (2012) arvion mukaan kuljetuskoneohjaajien työssä korostuvat pitkät ja toisinaan yksitoikkoiset lentotehtävät, jotka edellyttävät sopeutumista istumiseen. Rintalan mukaan hyvä fyysinen kunto edesauttaa jaksamista ja palautumista sekä vireystilan ylläpitoa tällaisten tehtävien aikana. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli luoda yleiskuva työn kuormittavuudesta sekä laivue- että lentopalveluksessa, selvittää päivittäiseen lentopalvelukseen liittyvien lentojen kuormittavuutta sekä kartoittaa mahdollisuuksia työkuormituksen tasaamiseksi ja palautumisen tehostamiseksi. Tutkimusmenetelmänä käytettiin sykevälivaihtelumittausta, jonka avulla tutkittiin tutkittavien sydämen autonomisen säätelyn muutoksia. Muutosten perusteella voitiin arvioida autonomisen hermoston toiminnassa tapahtuvaa vaihtelua, jonka voidaan nähdä kuvaavan elimistön kuormittumista ja palautumista (Task Force 1996).

8.1 Tutkimuksen luotettavuus

Tulosten perusteella mittausjaksot onnistuivat kuvaamaan hyvin tavanomaista laivuepalveluspäivää. Tutkittavien subjektiivisen arvion mukaan mitatut laivuepalveluspäivät olivat fyysiseltä kuormitukseltaan hieman kevyempiä ja henkisen kuormituksen osalta hieman raskaampia verrattuna tavanomaiseen laivuepalveluspäivään. Tutkittavien keskimääräinen arvio omasta vireystilastaan laivuepalveluksen jälkeen oli täsmälleen sama kuin keskimääräisenkin työvuoron jälkeen. Lentopalveluspäivien osalta sekä fyysinen että henkinen kuormittavuus olivat tavanomaisia lentopalveluspäiviä raskaampia. Myös työvuoron jälkeinen vireystila oli tutkittavien arvioin mukaan alempi kuin normaalisti lentopalveluksen jälkeen. Näin ollen lentopalvelusjaksojen mittaustuloksiin tulee suhtautua varauksella, kun arvioidaan niiden kykyä kuvata tavanomaista työpäivää. (Taulukko 5)

Mittausten kohteena olleiden työvuorojen osalta tapahtui jonkin verran ajallista hajontaa, kun ne suoritettiin syksyn 2017 ja kevään 2018 välisenä aikana. Osalla tutkittavista tutkimusasetelman mukaiset mittaukset kyettiin toteuttamaan lähes peräkkäisinä päivinä, mutta toisten osalta mittausjaksojen välissä saattoi olla useammankin viikon taukoja. Tämä saattaa osaltaan vääristää mittausten keskinäistä vertailtavuutta. Toisaalta nyt käytössä olleet tutkimusresurssit ja mittausten toteutus tutkittavien normaalin päivittäisen työn ja lentopalveluksen yhteydessä eivät olisi mahdollistaneet nopeampaakaan tutkimuksen läpivientä.

Alkuperäisen tutkimussuunnitelman perusteella oli tarkoitus toteuttaa yhteensä 48 mittausta (12 * 4). Onnistuneiden mittausten toteumaksi jäi lopulta 42 mittausta (88 % suunnitellusta). Alkuperäisen mittaussuunnitelman läpivienti olisi osaltaan todennäköisesti parantanut tulosten laatua ja vertailtavuutta, etenkin yön aikaisen palautumisen tarkastelun kohdalla. Lisämitaukset olisivat kasvattaneet myös pelkkien lentojen otoskokoja lentopalveluspäivien lisääntyessä.

Toisaalta sykevälivaihtelumittausten voidaan todeta onnistuneen laadullisesti hyvin, keskimäärin laivuepalveluksen aikana havaittuja mittausrvirheitä oli 4,6 %, lentopalveluksessa 6,7 %, pelkkien lentojen aikana 2,1 % ja unijaksojen aikana 6,8 % (vrt. Firstbeat Technologies Oy 2017c). Jälkikäteen tarkasteltuna mittausjaksot olisi myös saattanut olla viisaampaa suorittaa siten, että jokaista lentopalveluspäivää olisi edeltänyt kontrollipäivä, josta olisi saatu tarkempi vertailuarvo sydämen autonomisen säätelyn lähtötasosta.

Mittausjaksojen työ- ja uni-ajan välisen vapaa-ajan tarkempi kontrollointi jäi ainoastaan tutkittaville annetun ohjeistuksen varaan, missä heitä kehoitettiin välttämään raskasta liikuntaa ja ylenpalttista nautintoaineiden kulutusta, koska ne saattaisivat vaikuttaa yön aikaisiin mittaus tuloksiin. On kuitenkin mahdollista, että tutkittavat ovat ymmärtäneet saadun ohjeistuksen vaihtelevalla tarkkuudella jolloin vapaa-ajalla tapahtuneet kontrolloimattomat tekijät voivat vaikuttaa joihinkin mittaustuloksiin. Toisaalta tutkimuksen tarkoituksena oli nimenomaan selvittää työn kuormittavuutta ja palautumista luonnollisessa toimintaympäristössä, mihin kuuluu myös erilaisia vapaa-ajan aktiviteetteja.

Tutkimuksessa käytetyt otoskoot olivat myös varsin pieniä, joten saatuihin tutkimustuloksiin tulee suhtautua varauksella. Etenkin sykevälivaihtelumuuttujat riippuvat voimakkaasti kunkin yksilön henkilökohtaisista ominaisuuksista sekä mahdollisista taustamuuttujista, kuten jo valmiiksi korkeasta stressitasosta (Lindholm 2013; Koskinen 2014). Otoksoon pienuudesta huolimatta tuloksia voidaan kuitenkin pitää vähintään suuntaa antavina, mutta tarkempien johtopäätösten ja yleistysten suhteen tulee noudattaa varovaisuutta.

Jälkikäteen tarkasteltuna tutkimuksessa pyrittiin kenties liian kunnianhimoisesti monen asian selvittämiseen yhdellä kerralla. Tutkimusaiheen tarkempi rajaaminen olisi saattanut mahdollistaa rajallisten tutkimusresurssien paremman kohdentamisen tiettyihin ilmiöihin, mikä olisi saattanut parantaa tulosten laatua. Työpäiviin ja lentosuorituksiin liittyvä yksityiskohtaisempi kuormituskysely olisi saattanut antaa paremmat mahdollisuudet varsinkin työn henkisen kuormittavuuden ja stressin arviointiin. Puutteista huolimatta tutkimuksessa kyettiin vastaa-

maan asetettuihin tutkimuskysymyksiin sekä luomaan yleiskuva kuljetuskoneohjaajien normaaliolojen työn kuormittavuudesta ja palautumisesta. Saaduilla tutkimustuloksilla voidaan nähdä olevan myös uutuusarvoa, koska kohderyhmään liittyvää tutkimusta ei ole aiemmin tehty. Tutkimus toimiikin niin sanottuna pään avauksena omalla sarallaan.

8.2 Tulosten arviointi

1. *Millainen on kuljetuskoneohjaajan lento- ja laivuepalveluspäivän kokonaiskuormitus sydämen autonomisen säätelyn muutosten ja muiden fysiologisten muuttujien perusteella?*

Laivue- ja lentopalveluspäivien välisessä kuormittavuudessa ei havaittu juurikaan eroja sykevälivaihtelumittauksilla kerättyjen fysiologisten muuttujien perusteella. Suurin työvuorojen välinen ero syntyi kokonaiskestossa, joka osaltaan selittää myös muita muuttujia. Laivuepalveluspäivien keskimääräinen pituus oli noin kahdeksan tuntia, kun lentopalveluspäivät olivat keskimäärin tätä pidempiä, noin 10 tuntisia. Erot johtuvat todennäköisimmin työvuorojen erilaisista luonteista: laivuepalvelusta suoritetaan yleisimmin normaalin virka-ajan puitteissa, kun lentopalvelusjaksot lentoaikatauluineen perustuvat pääsääntöisesti lentokuljetuksen tilaajan tarpeisiin.

Koko työvuorojen aikainen energiankulutus vaihteli noin 1200–1400 kilokalorin välillä. Lentopalveluspäivien osalta energiankulutuksen keskiarvo oli aikavakioitunakin hieman korkeampi, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Keskisykkeen osalta lentopalveluspäivien keskiarvot olivat merkitsevästi korkeampia, mutta eroa ei voida pitää erityisen merkittävänä. Hapen- ja energiankulutuksen osalta työvuorojen välillä ei havaittu merkittäviä eroja.

Laivuepalveluksen aikana tutkittaville kertyi keskimäärin noin 2400 askelta ja lentopalveluspäivien aikana askelten kokonaismäärä oli keskimäärin noin 2700 kappaletta, mutta molemmissa tapauksissa hajonta oli hyvin suurta. Lentopalveluspäivien hieman suurempi askelmäärä selittynee osittain päivien pidemmällä kokonaiskestolla sekä lentojen välisillä aikajaksoilla, jolloin miehistö yleensä poistuu koneesta esimerkiksi noutamaan matkustajia ja tekemään seuraaviin lentoihin liittyviä valmistelutehtäviä. Myös työvuorojen aikaiset stressi- ja palautumisprosentit olivat käytännössä yhteneviä.

Sydämen autonomista säätelyä kuvaavien sykevälivaihtelumuuttujien osalta laivue- ja lentopalveluksen suurimmat erot syntyivät SD:n ja RMSSD:n -arvojen välille. Lentopalveluspäivinä SD:n keskiarvot olivat merkitsevästi pienempiä, mutta RMSSD:n osalta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Pienemmät arvot voivat olla yhteydessä lentopalveluksen aikaiseen korkeampaan keskisykkeeseen, koska sydämen korkeampi sykintätaajuus vähentää sykevälivaihtelun määrää (Pumprla ym. 2002; Kazmi ym. 2016). Ero saattaa ilmentää hieman suurempaa fyysisen aktiivisuuden tasoa lentopalveluksen aikana. Taajuuskenttäanalyysin muuttujien osalta ei havaittu merkitseviä eroja laivue- ja lentopalveluksen välillä.

2. Miten lennon kokonaisuus ja alkuaika vaikuttavat sydämen autonomisen säätelyn muutoksiin?

Lentojen aikaisten sykevälivaihtelu- ja kuormitusmuuttujien vertailu aloitettiin lennon kokonaisuuden ja alkuaajan välisten korrelaatiokertoimien tarkastelulla. Pelkkien korrelaatiokertoimien perusteella muuttujien välinen yhteys vaikutti hyvin heikolta, mutta etenkin lennon kokonaisuuden osalta useampi muuttuja osoitti hypoteesin mukaista käyttäytymistä. Sykevälivaihtelumuuttujille tyypillinen yksilökohtaisuus voi selittää tätä asiaa ja suuremmalla otannalla korrelaatiot olisivat voineet olla selvempiä. Muuttujien välisen yhteyden järkevyyden tarkastelun perusteella selvittämistä kuitenkin jatkettiin ja lennot ryhmiteltiin sekä kokonaisuuden että alkuaajan mukaan.

Ryhmien välisen vertailun perusteella voidaan todeta, että sydämen autonomisessa säätelyssä tapahtuu muutoksia verrattaessa toisiinsa eripituisia lentoja. Korkea- ja matalataajuisten sykevälivaihtelun suhdetta kuvaava LF/HF -arvo oli merkitsevästi pienempi pitempien lentojen aikana. Muutos selittynee korkeataajuisten sykevälivaihtelun (HF) lisääntymisellä, vaikka sen osalta ero ei aivan saavuttanutkaan tilastollista merkitsevyyttä. Vastaavasti matalataajuinen sykevälivaihtelu pysyi käytännössä muuttumattomana lentojen kokonaisuuden muutoksesta huolimatta. Myös RMSSD:n keskiarvot olivat suurempia pidempien lentojen aikana, vaikka senkään osalta ero ei aivan saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä. Nyt havaitut sykevälivaihtelun muutokset kuitenkin antavat viitteitä siitä, että sykevälivaihtelu käyttäytyy hypoteesin mukaisesti ja lentojen suhteellisessa kuormittavuudessa on eroja, jotka ovat riippuvaisia lennon kokonaisuudesta. Lentoonlähettäjäajan mukaan ryhmitellyissä lennoissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä sykevälivaihtelun muuttujien osalta, joten sen osalta hypoteesin mukaista käytöstä ei pystytty todentamaan.

Suurempi otoskoko olisi näissäkin tapauksissa saattanut tehdä erojen havaitsemisen helpommaksi. Nyt lennot jouduttiin ryhmittelemään hieman keinotekoisesti, etenkin lentoonlähtöajan osalta, jotta ryhmistä saatiin riittävän suuret tilastollista analyysia varten. Suuremmalla otoskolla ryhmittely olisi ollut mahdollista tehdä kokonaislentoaikojen suhteen vielä tarkemmin etenkin pidempien lentojen osalta, jolloin erojen todellisuutta olisi voitu arvioida syvällisemmin. Lentoonlähtöajan osalta ryhmiin olisi ollut hyvä saada lisää havaintoyksikköjä etenkin aikaisin aamulle sekä myöhään illalle. Toisaalta jo näidenkin tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä erilaisten lentojen aiheuttamasta kuormittavuudesta etenkin kokonaislentoajan vaikutusten osalta.

3. Millaisia sydämen autonomisen säätelyn muutoksia työpäivän aikana suoritettu palautumismenetelmä tuottaa seuraavan yön aikana?

Tulosten perusteella sydämen autonomisen säätelyn muutoksissa ei havaittu merkittäviä eroja eri ryhmien välillä. Ainoa lähes merkitsevä ero oli laivuepalveluksen jälkeisen yön pienempi minimisykkeiden keskiarvo verrattaessa tulosta kontrolli-lentopalveluspäivän jälkeiseen yön. Ero ei myöskään ole erityisen merkittävä, joten sen suhteen ei voida vetää edes suuntaa antavia johtopäätöksiä. Muutkaan tutkimuksessa käytetyt muuttujat eivät antaneet viitteitä työpäivän aikana suoritettujen palautumismenetelmien vaikutuksista yön aikaiseen palautumiseen.

Tulosten perusteella voidaankin arvioida, että työpäivän aikana suoritettujen palautumismenetelmät eivät tuota merkittäviä muutoksia sydämen autonomisen säätelyn muutoksiin seuraavan yön aikana. Näin ollen tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella sykevälivaihtelumuuttujiin perustuva unen laatu ja palauttavuus eivät olisi riippuvaisia työpäivän aikana suoritetuista palautumismenetelmistä.

Toisaalta tutkittavat arvioivat matalataajuushoitoa seuranneen yön unen laadun keskimäärin paremmaksi, vaikka ero ei ollutkaan tilastollisesti merkitsevä. Tuloksia arvioitaessa on myös hyvä muistaa, että kaikkia mittaussuunnitelman mukaisia mittauksia ei saatu suoritettua. On myös mahdollista, että tutkittavat eivät olleet mittausjaksojen aikana erityisen stressaantuneita, jolloin päivän aikaisten taukojen ja työstä irrottautumisen yhteys sydämen autonomisen säätelyn muutoksiin unen aikana ei olisi kovin vahva.

8.3 Muut havainnot

Varsinaisten tutkimuskysymyksiin saatujen vastausten lisäksi tutkimuksen yhteydessä saatiin kerrytettyä muita kuljetuskoneohjaajien työn kuormittavuuteen ja palautumiseen liittyviä yleisiä havaintoja. Mitattujen unijaksojen perusteella vaikuttaa siltä, että sekä unen kokonaispituus että tutkittavien omat arviot unen laadusta ovat pääsääntöisesti hyvällä tasolla. Tutkittavat arvioivat oman unenlaatunsa yleensä vähintään melko hyväksi ja nukkuvat keskimäärin noin 7-8 tuntia yössä, mikä vastaa hyvin aikuisväestön valtaosan kokemaa unen tarvetta (Huu-toniemi & Partinen 2015, 34).

Tutkimuksen aikana tuotettujen Hyvinvointianalyysi -raportteihin liittyvien kyselyiden pohjalta voidaan myös esittää arvio, että ainakin osa tutkittavista kokee olevansa jonkin verran stressaantunut ja että päiviin ei välttämättä sisälly tarpeeksi palauttavia hetkiä ja taukoja. Kyselyihin liittyneet vastaukset eivät kuitenkaan olleet alkuperäisen tutkimustavoitteen piirissä, joten niitä ei ole tarkasteltu tilastollisesti. Näin ollen havaintojen merkitys jää ainoastaan vähäiseksi ja mahdolliseksi jatkotutkimusmahdollisuudeksi.

Lentopalveluspäivien osalta saatiin havainto, että virka-ajan ulkopuolella suoritettut lennot olivat keskiarvoltaan noin 10 minuuttia lyhyempiä kuin virka-aikana suoritettut lennot (Kuva 8). Ero saattaa johtua siitä, että monet kuljetuslentotehtävät alkavat aamulla lyhyellä siirtolennolla Pirkkalasta esimerkiksi Helsinkiin tai Jyväskylään, josta noudetaan matkustajia ja tehtävää jatketaan pidemmällä lennolla esimerkiksi Eurooppaan. Paluulennot kohteesta suoritetaan monesti takaisin iltapäivällä päinvastaisessa järjestyksessä, jolloin lyhyitä siirtolentoja sijoituu myös alkuiltaan. Erojen merkitsevyyttä ei kuitenkaan testattu tilastollisesti.

8.4 Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan todeta, että kuljetuskoneohjaajan työ ei normaaliolojen toimintaympäristössä ole fyysisesti erityisen kuormittavaa. Laivue- ja lentopalveluksen välisessä kuormittavuudessa ei havaittu merkittäviä eroja. Suurin työvuoroja erottava piirre, sisällön lisäksi, on niiden erilainen ajallinen rytmitys. Laivuepalveluspäivät noudattavat pääsääntöisesti samaa kaavaa, missä työaika alkaa ja loppuu säännönmukaisesti. Lentopalveluspäivät taas saattavat alkaa ja päättyä hyvinkin vaihtelevina ajankohtina.

Tutkittavien keskimääräiseen maksimisykkeeseen verrattuna havaitut keskisykkeet eivät ilmennä erityisen suurta kuormitusta (keskisyke noin 40 % maksimista). Myös työvuorojen aikaisen hapenkulutuksen keskiarvojen osuus suhteessa tutkittavien maksimaaliseen hapenottokykyyn (noin 10–15% maksimista) jää suhteellisen matalalle tasolle. Tulosten perusteella sekä laivue- että lentopalveluksen kuormittavuus on noin 2-3 MET -yksikköä, mikä vastaa kevyen toimistotyön kuormittavuutta. (Mänttari 2006; Ainsworth ym. 2011) Tulosten perusteella työn energettinen kuormituksen voidaan arvioida jäävän alle haitallisen rajan (Louhevaara & Launis 2011, 84–85).

Toisaalta tutkittavat ovat suhteellisen hyväkuntoisia keskimääräiseen väestöön verrattuna (Kallioniemi 2009), mikä saattaa osaltaan tasoittaa eroja. Sotilaslentäjiltä edellytettävät kunto- ja suorituskykyvaatimukset perustuvatkin ensisijaisesti poikkeusolojen toimintakykyvaatimuksiin, jotka antavat kuntoservin normaaliolojen lentotoiminnassa jaksamiseen ja suojaavat todennäköisesti myös ylikuormittumiselta raskaampien työjaksojen yhteydessä.

Hyvän kunnon ylläpitäminen ja toimintakykyvaatimusten täyttäminen edellyttävät kuljetuskoneohjaajilta omaehtoista harjoittelua vapaa-ajalla, koska normaaliolojen työtehtävien tuottama kuormitus ei riitä ylläpitämään saatiikka kehittämään tarvittavaa suorituskykyä (Nummela, Keskinen & Vuorimaa 2007, 336). Omaehtoisen harjoittelun jääminen vähemmälle esimerkiksi elämäntilanteiden muutosten ja mahdollisten niin kutsuttujen ruuhkavuosien sekä muiden työkiireiden vuoksi voi johtaa alenevaan kuntotason sekä pahimmillaan erilaisiin terveysongelmiin.

Työvuoron aikainen fyysinen aktiivisuus ei yllä terveystieteiden mukaiselle tasolle, missä kestävyyskunnan harjoittamiseksi tulisi suorittaa esimerkiksi reipasta kävelyä yhteensä vähintään kaksi ja puoli tuntia viikossa (Husu, Paronen, Suni & Vasankari 2011, 16–17). Näin ollen vapaa-ajan aktiivisuudelle jää suuri merkitys kuntotason ylläpitämisessä ja hyvinvoinnin sekä terveyden edistämässä. Työvuorojen aikaiset alhaiset askelmäärät saattavat myös viitata lisääntyneeseen istumiseen, mikä osaltaan on todettu terveystieteiksi (Vasankari & Kolu 2018).

Työtehtäviin liittyvän henkisen kuormituksen ja stressin arviointi luonnollisessa toimintaympäristössä pelkän sykevälivaihtelumittauksen perusteella on haastavaa ja varsinaisen kuormitustekijän syy-seuraussuhteen osoittaminen tällä tutkimusasetelmalla ei ollut mahdollista. Henkisen kuormituksen ja stressin vaikutus tutkittuun kokonaiskuormitukseen jäi näin ollen edelleen selvittämättä. Laivuepalveluksessa stressireaktiota tunnistettiin 76 % ja lentopalveluksessa 75 % kokonaisajasta. Vastaavat palautumisprosentit olivat 3 % ja 0.2 %. Stressitasojen osalta tässä tutkimuksessa saadut tulokset ovat melko hyvin linjassa aiemman tutkimuksen kanssa, missä terveillä nuorilla miehillä havaittiin noin 73 % stressitaso työaikana (Teisala ym. 2014).

Lentojen kuormittavuuden osalta tässä tutkimuksessa saatiin havainto, että lyhyempi lentoaika vaikuttaa sydämen autonomiseen säätelyyn. Autonomisessa säätelyssä nyt havaitut muutokset viittaavat parasympaattisen aktivaation lisääntymiseen lentoajan kasvaessa, jonka voidaan arvioida kertovan pidempien lentojen suhteellisesti matalalammasta kuormitustasosta. Näin ollen voidaankin todeta, että lyhyemmät lennot ovat suhteellisesti pidempiä lentoja kuormittavampia. Todennäköisimmin erot johtuvat siitä, että lennon eri vaiheet tapahtuvat lyhyemmän ajan sisällä, mikä edellyttää ohjaajilta jatkuvaa ohjaamotyöskentelyä, valppaana oloa sekä nopeakin reagointia vaihteleviin tilanteisiin. Vastaavasti pidemmällä lennoilla saattaa tulla pitkiä reittilentovaiheita, jolloin ohjaajien työkuorma jää alhaiseksi ja keskisyke laskee, jolloin elimistökin rauhoittuu. Tulokset ovat linjassa käsityksen kanssa, missä korkeampi syke vähentää sykevälivaihtelun määrää (Kazmi ym. 2016). Tulosten osalta ei kuitenkaan kyetty löytämään täysin vastaavaa tutkimusta, johon nyt saatuja tuloksia olisi voitu verrata. Sauvet ym. (2009) havaintojen perusteella sykevälivaihtelun tulisi vähentyä lentoajan kasvaessa. Kyseisessä tutkimuksessa seurattiin sykevälivaihtelun käyttäytymistä läpi koko lentoajan, joten tutkimusten väliset asetelmat ovat erilaiset tämän tutkimuksen kanssa.

Vuorokauden eri aikoina suoritettujen lentojen kohdalla ei tässä tutkimuksessa havaittu muutoksia sydämen autonomisessa säätelyssä, mutta sen osalta ei lähdetä esittämään johtopäätöksiä. Aiempi tutkimusnäyttö antaa vahvoja viitteitä siitä, että sykevälivaihtelu seurailee ihmisen vuorokausirytmiiä (Bonnemeier ym. 2003). Lennon suoritusajankohtaan liittyen voidaan kuitenkin yhdistää tässä tutkimuksessa saadut havainnot lyhyempien lentojen suhteellisesti suuremmasta kuormittavuudesta sekä lyhyempien lentojen suuremmasta osuudesta sekä aamulla että myöhemmin iltapäivällä ja illalla. Yhdistettäessä nämä havainnot de Mellon ym. (2008) tekemiin havaintoihin vuorokauden ajan ja ohjaajien virheiden yhteydestä voidaan arvioida, että aikaisin aamulla tai myöhään illalla suoritettavat lyhyet lennot saattavat otollisissa olosuhteissa muodostaa lentoturvallisuusriskin.

Työpäivän aikana suoritettulla palautumismenetelmällä ei tässä tutkimuksessa nähty yhteyttä seuraavan yön aikaiseen sydämen autonomiseen säätelyyn. Näin ollen saatujen tulosten valossa ei voida esittää suosituksia tai johtopäätöksiä palautumismenetelmien hyödyllisyydestä. Toisaalta niiden ei havaittu tuottavan mitään haittavaikutuksiakaan. Aiempi tutkimusnäyttö kuitenkin puoltaa yleisellä tasolla käsitystä siitä, että mahdollisuudesta työn riittävään tauotukseen tulee huolehtia jatkossakin, koska se vähentää työstressin määrää edistää palautumista (Lindholm 2013; Sianoja ym. 2016).

8.5 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Tutkimuksen aikana kertyneiden havaintojen perusteella sykevälivaihtelumittauksen voidaan todeta soveltuvan myös lentokoneympäristöön. Mittarien toiminta oli pääsääntöisesti ongelmaton ja niiden käyttö onnistui tutkittavilta hyvin. Mittausten yhteydessä ei raportoitu ongelmia esimerkiksi joillain lentokentillä käytettävien turvatarkastusmenetelmien yhteydessä. Mittauselektrodit pysyivät kiinni ihossa ja tutkimuksen aikana ei raportoitu yhtäkään tahatonta elektrodin irtoamista. Osalle tutkittavista mittauselektrodit aiheuttivat ihottuman ja kutinan kaltaisia oireita, mutta niitä ei pidetty erityisen merkittävinä. Laittevalmistajan tekemien tutkimusten perusteella eri elektrodimallien ihoärsytyksessä on eroja (Firstbeat Technologies Oy 2018) ja jatkossa kannattaa tarkastella mahdollisuutta elektrodimallin vaihtoon.

Nyt saatujen tulosten perusteella lentopalveluspäivien aikana suoritettujen palautumista edistävien menetelmien tutkimusta tulisi jatkaa ja syventää, vaikka niiden vaikutuksista ei saatuakaan viitteitä. Tutkimusasetelmaa kannattaisi kontrolloida tarkemmin, mikäli tutkimusresurssit antavat siihen mahdollisuuden. Jatkotutkimuksen osalta palautumismenetelmien tuottamia vaikutuksia voisi tarkastella vain työajan osalta siten, että tutkittaisiin niiden akuutteja vaikutuksia heti levon aikana. Analyysin voisi ulottaa myös pidemmälle aikajaksolle ja sellaisiin tilanteisiin, missä kaikki tutkittavat osallistuvat lentopalvelukseen useana peräkkäisenä päivänä, millä voitaisiin saada tarkempaa tietoa mahdollisesta kumuloituvasta kuormituksesta.

Sykevälivaihtelumittauksia voitaisiin käyttää myös apuna arvioitaessa tiettyjen yksittäisten työtehtävien kuormittavuutta. Menetelmää voisi käyttää yhdessä subjektiivisen kuormituskyselyn kanssa esimerkiksi lentopalveluksen johtajana (*operations officer*) toimivien henkilöiden kuormittumisen arviointiin. Myös stressihormonitasojen mittaaminen osana tutkimusta voisi antaa pohjaa tarkemmalle analyysille.

Tutkimuksen aikana analysoidut yksittäiset lentosuoritukset antavat viitteitä siitä, että lennon kokonaiskestolla on yhteys sydämen autonomisen säätelyn muutoksiin. Lennon suoritusajan kohdan osalta yhteyttä ei tässä tutkimuksessa pystytty osoittamaan. Sykevälivaihtelumuuttujat ovat kuitenkin hyvin yksilöllisiä, joten yhteyden varmistaminen vaatisi lisää mittauksia. Osa-alueita voisi täsmentää myös tarkemmilla lentokohtaisilla kuormituskyselyillä, jotka osaltaan voisivat parantaa tulosten luotettavuutta pelkkään fysiologiseen mittariin verrattuna. Suurempi otos eri kestoista ja eri vuorokaudenaikoina suoritetuista lennoista saattaisi avata mahdollisuuden myös tarkempaan analyysiin, kun lentosuoritukset voitaisiin ryhmitellä pienempiin osakokonaisuuksiin. Yksi mahdollinen tutkimussuunta olisi myös eri konetyyppien mukaan rajattu tarkastelu.

9 LÄHTEET

- Aalto-Setälä, K. 2016. Pumppaustoiminta. Teoksessa: Airaksinen, J., Aalto-Setälä, K., Hartikainen, J., Huikuri, H., Laine, M., Lommi, J., Raatikainen, P. & Saraste, A. (toim.) *Kardiologia*. 3. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 28–38.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R. Jr., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C. & Leon, A. S. 2011. Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. August 2011, Vol.43 (8): 1575-1581.
- Alev, A., Mihriban, A., Bilge, E., Ayca, E., Merve, K., Seyma, C., Ugur, E., Adnan, B., Zeynel, K. & Mahmut, GS. 2017. Effects of whole body vibration therapy in pain, function and depression of the patients with fibromyalgia. *Complementary Therapies in Clinical Practice* vol. 28: 200-203. August 2017.
- Allan, J. R. 1988. Thermal protection. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. *Aviation Medicine*. 2. painos. London: Butterworths, 247-260.
- Atkielski, A. 2012. Sinus Rhythm Labels. Päivitetty 10.3.2012. Viitattu 3.2.2018. <https://urly.fi/W3Q>
- Bonnemeier, H., Richardt, G., Potratz, J., Wiegand, U. K., Brandes, A., Kluge, N. & Katus, H. A. 2003. Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: differing effects of aging and gender on heart rate variability. *Journal of cardiovascular electrophysiology*, August 2003, 14(8): 791-799.
- Bonner, M. & Wilson, G. 2002. Heart Rate Measures of Flight Test and Evaluation. *The International Journal of Aviation Psychology* 12(1), 63-77.
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De Lorenzo, A. & Viru, A. 2000. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European Journal of Applied Physiology* 81(6): 449-454, April 2000.
- Cardinale, M. & Bosco, C. 2003. The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 31(1): 3-7, January 2003.
- Chu Duc, H., Nguyen Phan, K. & Nguyen, V. 2013. A Review of Heart Rate Variability and its Applications. *International Journal of Science and Research (ISJR)*, December 2013.
- Costa, J. A., Brito, J., Nakamura, F. Y., Oliveira, E. M. & Rebelo, A. N. 2018. Effects of Late-Night Training on "Slow-Wave Sleep Episode" and Hour-by-Hour Derived Nocturnal Cardiac Autonomic Activity in Female Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. January 2018.

- de Mello, M. T., Esteves, A. M., Pires, M. L., Santos, D. C., Bittencourt, L. R., Silva, R. S. & Tufik, S. 2008. Relationship between Brazilian airline pilot errors and time of day. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* (2008) 41: 1129-1131.
- EASA 2017. Annual Safety Review 2017. European Aviation Safety Agency. Viitattu 12.3.2018. <https://urly.fi/WdM>
- Ebrahim, I. O., Shapiro, C. M., Williams, A. J. & Fenwick, P. B. 2013. Alcohol and sleep I: effects on normal sleep. *Alcoholism, clinical and experimental research*. April 2013, Vol. 37(4): 539-549.
- Ermolao, A. & Bergamin, M. 2016. Sydän, keuhkot ja verenkierto. Teoksessa: Rieger, T., Naclerio, F., Jiménez, A. & Moody, J. (toim.) *Liikuntafysiologian perusteet*. Toim. suom. A. Langinkoski & J. Lappalainen. Fitra Oy.
- Ernst, G. 2017. Heart-Rate Variability - More than Heart Beats? *Frontiers in Public Health* September 2017 5:240.
- Farmer, E. W. 1988a. Cognitive processes. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. *Aviation Medicine*. 2. painos. London: Butterworths, 402-413.
- Farmer, E. W. 1988b. Stress and workload. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. *Aviation Medicine*. 2. painos. London: Butterworths, 435-444.
- Firstbeat Technologies Ltd. 2014. Stress and Recovery Analysis Method Based on 24-hour Heart Rate Variability. White paper.
- Firstbeat Technologies Oy. 2017a. Bodyguard 2 -tekniset tiedot. Päivitetty 14.11.2017. Viitattu 3.4.2018. <https://urly.fi/W3O>
- Firstbeat Technologies Oy. 2017b. Bodyguard 2 -laitteen liikedatan hyödyntäminen Hyvinvointianalyysissa. Päivitetty 5.1.2017. Viitattu 3.4.2018. <https://urly.fi/W3N>
- Firstbeat Technologies Oy. 2017c. Mittauksessa esiintyvä virhe, eli ”puuttuva syketieto”. Päivitetty 5.1.2017. Viitattu 4.4.2018. <https://urly.fi/W53>
- Firstbeat Technologies Oy. 2018. Elektroduosituksset. Päivitetty 26.2.2018. Viitattu 3.4.2018. <https://urly.fi/W3P>
- Fogelholm, M. 2005. Lihaksen energiantuotanto ja energia-aineenvaihdunta. Teoksessa Fogelholm, M. & Vuori, I. (Toim.) *Terveysliikunta*. 2005. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 20-32.
- Föhr, T. 2016. Liikunta ja hyvä kunto vähentävät työstressiä. *Liikunta & Tiede* 53, 6/2016, 29-33.
- Föhr, T., Pietilä, J., Helander, E., Myllymäki, T., Lindholm, H., Rusko, H. & Kujala, U. M. 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* 2016, 16, 701.

- Gerlander, E., Saarinen, M. & Kalimo, R. 1995. Psykkisen toiminta- ja työkyvyn arviointi. Teoksessa: Matikainen, E., Aro, T., Kalimo, R., Ilmarinen, J. & Torstila, I. 1995. Hyvä työkyky - Työkyvyn ylläpidon malleja ja keinoja. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Gould, R., Ilmarinen, J., Järvisalo, J. & Koskinen, S. 2006 Työkyvyn ulottuvuudet - Terveys 2000 -tutkimuksen tuloksia. Helsinki: Eläketurvakeskus, Kansaneläkelaitos, Kansanterveyslaitos, Työterveyslaitos.
- Green, R. G. 1988. Introduction to aviation psychology. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. Aviation Medicine. 2. painos. London: Butterworths, 385-390.
- Green, R. G. & Farmer, E. W. 1988. Ergonomics. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. Aviation Medicine. 2. painos. London: Butterworths, 445-457.
- Gusi, N., Raimundo, A. & Leal, A. 2006. Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. BMC Musculoskeletal Disorders 2006, 7:92. <http://www.biomedcentral.com/1471-2474/7/92>
- Haapaniemi, H. 2013. Tutkimus Neurosonic-menetelmän vaikutuksesta stressiin ja unihäiriöön. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- Halonen, P. 2007. Puolustusvoimien koulutuskulttuurin rakentuminen. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. Helsinki: Edita Prima Oy. Väitöskirja.
- Harding, R. M. 1988. The Earth's atmosphere. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. Aviation Medicine. 2. painos. London: Butterworths, 3-12.
- Holmes, T. H. & Rahe, R., H. 1967. The Social Readjustment Rating Scale. Journal of Psychosomatic Research, Vol. 11: 213-218.
- Huikuri, H., Valkama, J., Niemelä, M. & Airaksinen, J. 1995. Sydämen sykevaihtelun mittaaminen ja merkitys. Duodecim 1995, 111(4): 307. Viitattu 16.2.2018. <https://urly.fi/WdI>
- Husu, P., Paronen, O., Suni, J. & Vasankari, T. 2011. Suomalaisten fyysinen aktiivisuus ja kunto 2010 - Terveyttä edistävän liikunnan nykytila ja muutokset. Opetus- ja kulttuuriministeriö.
- Härmä, M. & Sallinen, M. 2004. Hyvä uni - hyvä työ. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Häyhä, L., Kailaheimo, S., Pulkka, A. & Tuominen, J. 2015. Kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät sotatieteissä käyttäytymistieteiden näkökulmasta. Versio I. Maanpuolustuskorkeakoulu.
- Iivarinen, M. 2013. Perusyksikön päällikön työssä jaksaminen ja johtamisen haasteet. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu.
- Jackson, M. 2014. Evaluating the Role of Hans Selye in the Modern History of Stress. Teoksessa: Cantor, D. & Ramsden, E. (toim.) 2014. Stress, Shock and Adaptation in the Twentieth Century. Rochester, NY: University of Rochester Press, 21-48.

- Jepsen, DB., Thomsen, K., Hansen, S., Jørgensen, NR., Masud, T. & Ryg, J. 2017. Effect of whole-body vibration exercise in preventing falls and fractures: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2017, 7(12).
- Kaikkonen, P., Lindholm, H. & Lusa, S. 2017. Physiological Load and Psychological Stress During a 24-hour Work Shift Among Finnish Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* January 2017, 59(1): 41-46.
- Kallioniemi, P. 2009. Reserviläisten fyysisen kunnan riittävyys sodanajan tehtäviin. Maanpuolustuskorkeakoulu. Esiupseerikurssin tutkielma.
- Kangas, S. 2000. Maailmankuva ja toimintakyky. Teoksessa Toiskallio, J. (toim.) 2000. Näkökulmia sotilaspedagogiikan tutkimukseen. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. 45-54.
- Katch, V., McArdle, W. & Katch, F. 2011. *Essentials of Exercise Physiology*. 4. painos. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Kazmi, S. Z. H, Zhang, H., Monfredi, O., Abbas, S., Shah, S., Kazmi, S. S. H. & Butt, W. 2016. Inverse correlation between heart rate variability and heart rate demonstrated by linear and nonlinear analysis. *PLoS One*, 11(6).
- Kemeny, M. 2003. The Psychobiology of Stress. *Current Directions in Psychological Science* 12(4): 124-129, August 2003.
- Keskinen, K. L. 2007. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormitus. Teoksessa: Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. (toim.) *Urheiluvalmennus*. 2. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 73-96.
- Ketola, R. & Lusa, S. 2007. Fyysinen kuormitus työssä ja sen arviointi. *Työterveyslääkäri* 2007, 25(3): 119-122.
- Kettunen, R. 2014. Sydämen toiminnan säätely. Kustannus Oy Duodecim. Päivitetty 16.6.2014. Viitattu 28.2.2018. <http://urly.fi/WdN>
- Kim, D. & Singhose, W. 2010. Performance studies of human operators driving double-pendulum bridge cranes. *Control Engineering Practice* June 2010, 18(6): 567-576.
- Kiviniemi, A. M., Perkiömäki, N., Auvinen, J., Niemelä, M., Tammelin, T., Puukka, K., Ruokonen, A., Keinänen-Kiukaanniemi, S., Tulppo, M. P., Järvelin, M., R., Jämsä, T., Huihuri, H. V. & Korpelainen, R. 2017. Fitness, Fatness, Physical Activity, and Autonomic Function in Midlife. *Medicine and science in sports and exercise*. 49(12): 2459-2468.
- Korkeila, J. 2008. Stressi, tunteiden säätely ja immunitetti. *Duodecim* 2008; 124: 683-692.
- Koskinen, T. 2014. Heart rate variability in young adults - Reference values and associations with cardiometabolic risk factors and vascular properties. Turku: University of Turku. Väitöskirja.

- Kuronen, P. 1996. Lentäjän työn henkinen kuormittavuus. Teoksessa: Kanninen, P., Kuronen, P., Rintala, H., Eloranta, V., Myllyniemi, J., Santala, E. & Paalimäki, H. (toim.) 1996. Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kuronen, P. 2000. Sotilasilmailu työterveyshuollon erikosalueena. *Työterveyslääkäri* 2/2000, 179-185.
- Kuronen, P. & Myllyniemi, J. 1996. Lentäjän työn kuormittavuus. Teoksessa: Kanninen, P., Kuronen, P., Rintala, H., Eloranta, V., Myllyniemi, J., Santala, E. & Paalimäki, H. (toim.) 1996. Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Lahtinen, T. 2016. Radio speech communication and workload in military aviation: a human factors perspective. Oulun yliopisto. Lääketieteellinen tiedekunta. Väitöskirja.
- Lahtinen, T., Koskelo, J., Laitinen, T. & Leino, T. 2007. Heart Rate and Performance During Combat Missions in a Flight Simulator. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 78, No. 4, April 2007.
- Laitio, A. Scheinin, H., Kuusela, T., Mäenpää, M. & Jalonen, J. 2001. Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo? *Finnanest* 34(3), 249-255.
- Launis, M. 2011. Istuminen ja istuimet. Teoksessa: Launis, M. & Lehtelä, J. (toim.) *Ergonomia*. Helsinki: Työterveyslaitos, 174-184.
- Lindgren, T., Wieslander, G., Nordquist, T., Dammström, B. G. & Norbäck, D. 2009. Hearing status among cabin crew in a Swedish commercial airline company. *International Archives of Occupational And Environmental Health* July 2009 82(7): 887-892.
- Lindholm, H. 2013. Physiological determinants and assessment of stress and recovery among media workers. Finnish Institute of Occupational Health. Väitöskirja.
- Lehtonen, J. 2016. Miehistöyhteistyö Ilmavoimien kuljetuskalustolla. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu.
- Levine, J. M., Kramer, G. G. & Levine, E. N. 1975. Effects of alcohol on human performance: An integration of research findings based on an abilities classification. *Journal of Applied Psychology* 60(3): 285-293.
- Louhevaara, V. & Launis, M. 2011. Voimat, liikkeet ja asennot. Teoksessa Launis, M. & Lehtelä, J. (toim.) *Ergonomia*. Helsinki: Työterveyslaitos, 69-86.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz, P. J. 1996. Heart rate variability, Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal* (1996) 17, 354-381.

- Mansikka, H., Virtanen, K., Harris, D. & Simola, P. 2016. Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during an instrument flight rules proficiency test. *Applied Ergonomics* (2016), 1-7.
- Mariotti, A. 2015. The effects of chronic stress on health: new insights into the molecular mechanisms of brain-body communication. *Future Science OA*. November 2015, 1(3), FSO23.
- Mason, J. W. 1971. A re-evaluation of the concept of 'non-specificity' in stress theory. *Journal of Psychiatric Research*, Vol. 8, 323-333.
- Mattila, A. 2010. Stressi. Kustannus Oy Duodecim. Päivitetty 18.8.2010. Viitattu 31.3.2018. <https://urly.fi/VOZ>
- Metsämuuronen, J. 2006. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. 2. laitos, 4. painos. Helsinki: International Methelp Ky.
- Mikkola, J., Hynynen, E. & Nummela, A. 2012. Nocturnal heart rate and heart rate variability based training load monitoring, a case study of an elite junior XC Skier during a Glacier training camp. 2nd international Congress on Science and Nordic Skiing, 28-31 May, Vuokatti, Finland. Viitattu 11.3.2018. <https://urly.fi/WdK>
- Myllymäki, T., Kyröläinen, H., Savolainen, K., Hokka, L., Jakonen, R., Juuti, T., Martinmäki, K., Kaartinen, J., Kinnunen, M. & Rusko, H. 2010. Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. *Journal of Sleep Research* 20 (2011), 146-153.
- Montgomery, P. G., Green, D. J., Etxebarria, N., Pyne, D. B., Saunders, P. U. & Minahan, C. L. 2009. Validation of Heart Rate Monitor-Based Predictions of Oxygen Uptake and Energy Expenditure. *Journal of Strength and Conditioning Research* August 2009, 23(5): 1489-1495.
- Mäkijärvi, M. & Heikkilä, J. 2003. Mitä elektrokardiografia on? Teoksessa: Heikkilä, J. & Mäkijärvi, M. (toim.) EKG. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 16-18.
- Mäkijärvi, M. 2003. EKG:n rekisteröinti ja tulkinta. Teoksessa: Heikkilä, J. & Mäkijärvi, M. (toim.) EKG. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 40-65.
- Mänttari, A. 2006. Kunto testissä - MET:it kertovat. *Liikunta & Tiede* 43. 2/2006: 29-30.
- Nageishi, Y. 2015. A Critical Review of Selye's Stress Theory: The Statistical Analyses of Selye's Own Experimental Data Disprove It. *Psychology*, 6: 1786-1794.
- Nasrallah, T. 2015. Whole body vibration treatment effect on chronic low back pain. *Proceedings of the 11th Mediterranean Congress of PRM*, Alexandria, Egypt. October 1-4, 2015.
- Nicholson, A. N. 1988. Aircrew and their sleep. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. *Aviation Medicine*. 2. painos. London: Butterworths, 576-584.

- Nikus, K. & Mäkijärvi, M. 2016. EKG. Teoksessa: Airaksinen, J., Aalto-Setälä, K., Hartikainen, J., Huikuri, H., Laine, M., Lommi, J., Raatikainen, P. & Saraste, A. (toim.) *Kardiologia*. 3. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 123-139.
- Nummela, A. 2007. Energia-aineenvaihdunta ja kuormitus. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. (toim.) *Urheiluvalmennus*. 2. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 97-126.
- Nummela, A., Keskinen, K. & Vuorimaa, T. 2007. Kestävyys. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. (toim.) *Urheiluvalmennus*. 2. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 333-363.
- Oster, C., Strong, J. & Zorn, K. 2010. Why Airplanes Crash: Causes of Accidents Worldwide. 51st Annual Transportation Research Forum, Arlington, Virginia, March 11-13, 2010.
- Palkatun henkilöstön kenttäkelpoisuus ja fyysinen toimintakyky 2016. Pääesikunnan koulutusosasto. HL1175.
- Parkkila, S. 2016. Sydänpussi, sydämen seinämät, eteiset ja kammiot. Teoksessa: Airaksinen, J., Aalto-Setälä, K., Hartikainen, J., Huikuri, H., Laine, M., Lommi, J., Raatikainen, P. & Saraste, A. (toim.) *Kardiologia*. 3. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 12-22.
- Peltomaa, H. 2015. Stressi, palautuminen ja hyvinvointi. Vantaa: Opintoverkko Oy.
- Pennonen, M. 2011. Recovery from Work Stress: Antecedents, Processes and Outcomes. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy. Väitöskirja.
- Pihlainen, K., Santtila, M., Nyman, K., Nykänen, T., Mäntysaari, M., Vaara, J., Vasankari, T., Rintala, H., Mäkinen, J., Viskari, J. & Kyröläinen, H. 2016. Sotilaan toimintakyvyn tutkimus Libanonin UNIFIL kriisinhallintaoperaatiossa – KRITOKY 2014, OSA 1. Helsinki: Pääesikunnan koulutusosasto.
- Pletnikoff, P. 2017. Cardiorespiratory fitness, physical activity and inflammation in cancer risk: a prospective cohort study in men. Itä-Suomen yliopisto. Väitöskirja.
- Pumprla, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M. & Nolan, J. 2002. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *International Journal of Cardiology* 84 (2002), 1-14.
- Puttonen, S. 2006. Stressin fysiologiset vaikutukset. *Työterveyslääkäri* 24(3): 28-31.
- Pykäläinen, O. 2017. Lentueen päälliköiden näkemyksiä johtajuushaasteista 2030-luvulla. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu.
- Pääkkönen, R., Rantanen, S. & Uitti, J. 2008. Työn terveysvaarojen tunnistaminen. 3.-4. painos. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Rautanen, N. 2015. Sykevälivaihtelu kognitiivisen kuormituksen mittarina virtuaalisimulaattorissa suoritettujen lentotehtävien aikana. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu.

- Rintala, H. 2012. Sotilaslentäjän fyysinen suorituskyky sekä työperäiset tuki- ja liikuntaelinoireet. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy. Väitöskirja.
- Rintala, H., Paalimäki, H. & Santala, E. 1996. Lentäjän tarvitsema suorituskyky. Teoksessa: Kanninen, P., Kuronen, P., Rintala, H., Eloranta, V., Myllyniemi, J., Santala, E. & Paalimäki, H. (toim.) 1996. Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Roscoe, A. H. 1982. Heart Rate as an In-Flight Measure of Pilot Workload. RAF Technical Memorandum FS(B) 464.
- Roscoe, A. H. 1993. Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assesment. *Ergonomics*, vol. 36, no. 9, 1055-1062.
- Saalasti, S. 2003. Neural Networks for Heart Rate Time Series Analysis. Jyväskylän yliopisto. Väitöskirja.
- Salonen, M., Kokko, J., Tyyskä, J., Koivu, M. & Kyröläinen, H. 2013. Heart Rate Variability Recordings are a Valid Non-Invasive Tool for Evaluating Soldiers' Stress. *Journal of Defense Studies & Resource Management*, Vol. 2, Issue 1.
- Salmela, K. 2013. Psykososiaalisen kuormituksen arviointi. *Työterveyslääkäri* 2013, 31(4): 38-42.
- Sand, O., Sjaastad, Ø., Haug, E., Bjålie, J. & Toverud, K. 2015. Ihminen - Fysiologia ja anatomia. Suom. R. Hekkanen. 8.-12. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Sandström, M. & Ahonen, J. 2011. Liikkuva ihminen - aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka. Lahti: VK-Kustannus Oy.
- Saputra, A. D., Priyanto, S. & Muthohar, I. 2017. The pilot mental workload in flight operation - A case study: Indonesian civilian pilot. *Aceh International Journal of Science and Technology* 6(1), 37-43.
- Satakunnan lennoston työjärjestys 2015. Satakunnan lennoston esikunta. HL113
- Sauvet, F., Jouanin, J. C., Langrume, C., Van Beers, P., Papelier, Y. & Dussault, C. 2009. Heart Rate Variability in Novice Pilots During and After a Multi-Leg Cross-Country Flight. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 80, No. 10, October 2009, 862-869.
- Selye, H. 1974. *Stress without distress*. Philadelphia, PA: J. B. Lippincott.
- Selye, H. 1977. *The stress of my life: a scientist's memoirs*. Toronto: McClelland and Stewart.
- Seppälä, P. 2011a. Tiedon vastaanotto ja käsittely. Teoksessa: Launis, M. & Lehtelä, J. (toim.) *Ergonomia*. Helsinki: Työterveyslaitos, 110-118.
- Seppälä, P. 2011b. Vireystila, stressi ja monotonia. Teoksessa: Launis, M. & Lehtelä, J. (toim.) *Ergonomia*. Helsinki: Työterveyslaitos, 103-109.

- Sianoja, M., Kinnunen, U., de Bloom, J., Korpela, K. & Geurts, S. Recovery during lunch breaks: Testing Long-Term Relations with Energy Levels at Work. *Scandinavian Journal of Work and Organizational Psychology*, 1(1): 7, 1-12.
- Sirén, T. & Pekkarinen, O. 2017. Tieteenfilosofis-metodologisia perusteita pro gradu -tutkielman laadintaan. Maanpuolustuskorkeakoulu. Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos.
- Socha, V., Socha, L., Schlenker, J., Hana, K., Hanakova, L., Lalis, A., Michalova, B., Smrcka, P. & Hulek, D. 2016. Evaluation of Pilots' Psychophysiological Condition Using Recurrence Quantification Analysis of Heart Rate Variability. *Proceedings of 20th International Scientific Conference. Transport Means. 2016*, 428-434.
- Soinila, S. 2012. Kliininen neuroanatomia. Teoksessa: Soinila, S., Kaste, M. & Somer, H. (toim.) *Neurologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 12-50.
- Soinila, S. & Launes, J. 2012. Ääreishermot ja niiden sairaudet. Teoksessa: Soinila, S., Kaste, M. & Somer, H. (toim.) *Neurologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 501-519.
- Sovelius, R. 2014. Cervical loading analysis of fighter pilots: Studies on cumulative loading, contributing factors and interventions. Tampereen yliopisto. Väitöskirja.
- Sotilasilmalukäsikirja 2017. Ilmavoimien esikunnan operatiivinen osasto. HN458.
- Suunnattu työpaikkaselvitys HN ohjaajan työtehtävään. 2018. Ilmavoimien esikunnan huolto-osasto. CO2067.
- Teisala, T., Mutikainen, S., Tolvanen, A., Rottensteiner, M., Leskinen, T., Kaprio, J., Kolehmainen, M., Rusko, H. & Kujala, U. 2014. Associations of physical activity, fitness, and body composition with heart rate variability-based indicators of stress and recovery on workdays: a cross-sectional study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 2014, 9:16.
- Thayer, J. F., Yamamoto, S. S. & Brosschot, J. F. 2010. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology*, 2010 May 28, 141(2): 122-131.
- Timon, R., Tejero, J., Brazo-Sayavera, J., Crespo, C. & Olcina, G. 2016. Effects of whole-body vibration after eccentric exercise on muscle soreness and muscle strength recovery. *Journal of Physical Therapy Science*, Vol. 28(6): 1781-1785.
- Togo, F. & Takahashi, M. 2009. Heart Rate Variability in Occupational Health - A Systematic Review. *Industrial Health* 2009, 47: 589-602.
- Toiskallio, J. 1998a. Miksi toimintakykyä? Johdanto julkaisun sisältöön. Teoksessa *Toimintakyky sotilaspedagogiikassa* (Toim. Toiskallio, J.). Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. Vaasa.

- Toiskallio, J. 1998b. Kohti sotilaan toimintakyvyn teoriaa. Teoksessa *Toimintakyky sotilaspedagogiikassa* (Toim. Toiskallio, J.). Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. Vaasa.
- Tukilento-ohjaajan opintokokonaisuus 2017. Satakunnan lennosto, Tukilentoalavue. HN297.
- Tuomi, J., Kuurne-Koivisto, M. & Partinen, M. 2016. The effects of Whole-Body Vibration therapy on patients with primary insomnia. Helsingin yliopisto.
- Työturvallisuuskeskus 2015a. Riskien arviointi työpaikalla -työkirja. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, Työsuojeluosasto, Työturvallisuuskeskus.
- Työturvallisuuskeskus 2015b. Työn henkisten kuormitustekijöiden hallinta. Työturvallisuuskeskus TTK, metallialan työalatoimikunta.
- Vartiovaara, I. 2006. Elämänmuutosten stressaavuus. Kustannus Oy Duodecim. Päivitetty 16.1.2006. Viitattu 1.4.2018. <https://urly.fi/VQ1>
- Vasankari, T. & Kolu, P. 2018. Liikkumattomuuden lasku kasvaa – vähäisen fyysisen aktiivisuuden ja heikon fyysisen kunnan yhteiskunnalliset vaikutukset. Valtioneuvoston kanslia.
- Vieyra, H. J. K. & Anton, D. J. 1988. Orthopaedics. Teoksessa: Ernsting, J. & King, P. (toim.) 1988. *Aviation Medicine*. 2. painos. London: Butterworths, 688–693.
- Viitasalo, M. 2003. EKG:n pitkäaikaisrekisteröinti ja monitorointi. Teoksessa: Heikkilä, J. & Mäkijärvi, M. (toim.) *EKG*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 112–135.
- Vingerhoets, A. & Perski, A. 2000. The psychobiology of stress. Teoksessa A. Kaptein, A. Appels & K. Orth-Gomer (toim.) *Psychology in medicine*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum, 34-49.
- Wanyan, X., Zhuang, D. & Zhang, H. 2014. Improving pilot mental workload evaluation with combined measures. *Bio-Medical Materials and Engineering* 24 (2014) 2283-2290.
- Wiegmann, D. & Shappell, S. 2001. A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Aviation, Space and Environmental Medicine* 72(11): 1006-1016, November 2001.
- Wickens, C., Lee, J., Liu, Y. & Gordon Becker, S. 2004. *An Introduction to Human Factors Engineering*. 2. painos. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.

10 LIITTEET

LIITE 1: Esitietolomake

LIITE 2: Kyselyt työvuoron kuormittavuudesta

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia

LIITE 1. Esitietolomake.

ESITIEDOT

Nimi _____ Päivämäärä _____ . 201__

Syntymäaika _____ Ikä vuosina _____

Pituus _____ Paino _____

Viimeisimmän PP-ergon tulos _____ ml/kg/min ja maksimisyke _____

Lentokalusto, jolla olet lentänyt (ympyröi 1 tai useampia):

- | | |
|---|------------------|
| 1 | VN |
| 2 | HW |
| 3 | HN |
| 4 | CC |
| 5 | LJ |
| 6 | PI |
| 7 | Muu, mikä? _____ |

LENTOTUNNIT (koko uralla):

Yhteys- ja kuljetuskone _____

Alkeiskoulukone (VN) _____

Harjoitushävittäjä (HW) _____

Hävittäjä (HN) _____

LIITE 2. Kyselyt työvuoron kuormittavuudesta. 1 (2)

TYÖN KUORMITTAVUUS - LENTOPALVELUS

Seuraavat kysymykset liittyvät Firstbeat-mittauksen aikaiseen työvuoroon, jona **osallistuit** lentopalvelukseen.

Työvuoron päivämäärä: _____

1. Lentopalvelusta sisältäneen työvuoron **fyysinen** kuormitus verrattuna keskimääräiseen työvuoroon?
 - a Kevyempi
 - b Ei eroa keskimääräiseen
 - c Raskaampi
 - d En osaa sanoa

2. Lentopalvelusta sisältäneen työvuoron **henkinen** kuormitus verrattuna keskimääräiseen työvuoroon?
 - a Kevyempi
 - b Ei eroa keskimääräiseen
 - c Raskaampi
 - d En osaa sanoa

3. Työvuoron jälkeen tunsin itseni
 - a Virkeämmäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - b Yhtä virkeäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - c Vähemmän virkeäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - d En osaa sanoa

LIITE 2. Kyselyt työvuoron kuormittavuudesta 2 (2).

TYÖN KUORMITTAVUUS - TOIMISTOTYÖ

Seuraavat kysymykset liittyvät Firstbeat-mittauksen aikaiseen työvuoroon, jona **et osallistunut** lentopalvelukseen.

Työvuoron päivämäärä: _____

1. Toimistotyötä sisältäneen työvuoron **fyysinen** kuormitus verrattuna keskimääräiseen työvuoroon?
 - a Kevyempi
 - b Ei eroa keskimääräiseen
 - c Raskaampi
 - d En osaa sanoa

2. Toimistotyötä sisältäneen työvuoron **henkinen** kuormitus verrattuna keskimääräiseen työvuoroon?
 - a Kevyempi
 - b Ei eroa keskimääräiseen
 - c Raskaampi
 - d En osaa sanoa

3. Työvuoron jälkeen tunsin itseni
 - a Virkeämmäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - b Yhtä virkeäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - c Vähemmän virkeäksi kuin keskimäärin työvuoron jälkeen
 - d En osaa sanoa

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia.1 (5)

Kaikkien lentopalveluspäivien mittaustulokset keskiarvoina, -hajontoina ja suurimpana ja pienimpänä arvona (Taulukko A):

Taulukko A

Kaikkien lentopalveluspäivien aikaiset yleiset kuormitus- ja syke- sekä sykevälivaihtelumuuttujat. (N=30)

Muuttuja	LEPA		
	<i>k.a.</i>	<i>sd</i>	<i>min - max</i>
Kesto	598	135	390-990
Lentoaika yhteensä	209	70	95-360
Lentojen määrä	4.4	1.4	3-8
Stressi	434	117	229-634
Stressiprosentti	74	16	28-91
Palautuminen	15	40	0-209
Palautumisprosentti	2	6	0-29
EE _{total}	1417	422	686-2459
EE _{hour}	143	33	93-208
Askeleet	2602	1914	924-11383
VO ₂ _{mean}	6.2	1.5	4.1-10.3
RespR _{mean}	15.1	1.1	13.2-17.9
HR _{mean}	80	11	57-99
RMSSD	33	10	17-61
SD	117	23	73-179
LF [ln]	8.0	0.4	7.2-8.6
HF [ln]	7.0	0.5	5.8-7.8
LF/HF [ln]	6.2	0.6	5.4-7.6

Kesto, lentoaika yhteensä, stressi ja palautuminen minuutteina

Stressi- ja palautumisprosentti (palautuminen/stressi minuutteina per jakson kokonaiskesto)

EE_{total} ja EE_{hour} kilokaloreina

Askeleet lukumääränä

VO₂_{mean}: ml/kg/min

RespR_{mean} ja HR_{mean}: 1/min

RMSSD ja SD: millisekunteina

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia.2 (5)

Laivue- (LAPA) ja lentopalveluspäivien (LEPA) vertailut (taulukot B-C):

Taulukko B

Wilcoxonin merkittävien järjestyslukujen testi: Laivuepalveluksen (LAPA) ja lentopalveluksen (LEPA) yleiset kuormitusmuuttujat, (N=12).

Muuttuja	LAPA	LEPA	Z	p
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>		
Kesto	497 ± 39	569 ± 168	-1.021	.307
Stressi	378 ± 73	407 ± 110	-.549	.583
Stressiprosentti	75.8 ± 12.8	74.7 ± 17.7	.000	1.000
Palautuminen	14 ± 19	1 ± 2	-1.820	.069
Palautumisprosentti	3.0 ± 4.1	0.2 ± 0.3	-1.820	.069
EE _{total}	1197 ± 332	1441 ± 541	-1.098	.272
EE _{hour}	143 ± 34	151 ± 34	-1.098	.272
Askeleet	2425 ± 849	2761 ± 2827	-.157	.875
VO ₂ _{mean}	6.1 ± 1.4	6.5 ± 1.7	-1.177	.239
RespR _{mean}	15.5 ± 1.4	15.1 ± 1.1	-.471	.638

Taulukko C

Toistettujen otosten t-testi: Laivuepalveluksen (LAPA) ja lentopalveluksen (LEPA) sykevälivaihtelumuuttujat, (N=12).

Muuttuja	LAPA	LEPA	t	p	η ²
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>			
HR _{mean}	77 ± 9	83 ± 10	2.706	.020*	.250
RMSSD	34 ± 8	30 ± 10	-1.633	.131	.108
SD	126 ± 30	103 ± 17	-2.730	.020*	.253
LF [ln]	8.0 ± 0.5	7.9 ± 0.4	-.921	.377	.037
HF [ln]	7.0 ± 0.4	6.9 ± 0.6	-1.166	.268	.058
LF/HF [ln]	6.0 ± 0.4	6.2 ± 0.6	.903	.386	.036

df=11

**p<0.05*

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia. 3 (5)

Unijaksojen pareittaiset vertailut (taulukot D-I):

Taulukko D

Wilcoxonin merkittävien järjestyslukujen testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja kontrolli-lentopalveluksen (LEPA-K) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=11)

Muuttuja	LAPA	LEPA-K	Z	p
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>		
Kesto	442 ± 64	455 ± 136	-.711	.477
Palautuminen	365 ± 103	350 ± 177	-.445	.657
Palautumisprosentti	82 ± 18	72 ± 28	-1.423	.155
VO ₂ _{mean}	3.8 ± 0.4	3.8 ± 0.3	-.357	.721
RespR _{mean}	14.8 ± 1.4	14.9 ± 1.3	-.089	.929
Unen laatu	3.9 ± 0.8	3.9 ± 0.8	.000	1.000

Taulukko E

Toistettujen otosten t-testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja kontrolli-lentopalveluksen (LEPA-K) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=11)

Muuttuja	LAPA	LEPA-K	t	p	η ²
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>			
HR _{mean}	53 ± 6	54 ± 6	-.818	.432	.032
HR _{min}	45 ± 3	47 ± 5	-2.003	.073	.167
RMSSD	63 ± 17	60 ± 15	.764	.463	.028
SD	134 ± 25	131 ± 29	.478	.643	.011
LF [ln]	8.1 ± 0.3	8.0 ± 0.5	.323	.753	.005
HF [ln]	7.9 ± 0.6	7.8 ± 0.6	.513	.619	.013
LF/HF [ln]	5.4 ± 1.1	5.8 ± 1.8	-.644	.534	.020

df=10

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia. 4 (5)

Taulukko F

Wilcoxonin merkittyyjen järjestyslukujen testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja vaakatasolepo-lentopalveluksen (LEPA-V) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=9)

Muuttuja	LAPA	LEPA-V	Z	p
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>		
Kesto	443 ± 67	490 ± 69	-1.260	.208
Palautuminen	360 ± 111	387 ± 146	-.296	.767
Palautumisprosentti	81 ± 20	79 ± 27	-.296	.767
VO ₂ _{mean}	3.7 ± 0.4	3.7 ± 0.3	-.356	.722
RespR _{mean}	14.6 ± 1.5	14.7 ± 1.6	-.356	.722
Unen laatu	3.9 ± 0.9	3.7 ± 0.9	-1.000	.317

Taulukko G

Toistettujen otosten t-testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja vaakatasolepo-lentopalveluksen (LEPA-V) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=9)

Muuttuja	LAPA	LEPA-V	t	p	η ²
	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>			
HR _{mean}	52 ± 5	53 ± 6	-.983	.354	.057
HR _{min}	44 ± 2	45 ± 4	-.870	.410	.045
RMSSD	66 ± 18	61 ± 22	1.260	.243	.090
SD	138 ± 23	129 ± 28	1.014	.340	.060
LF [ln]	8.1 ± 0.3	8.1 ± 0.3	-.419	.687	.011
HF [ln]	7.9 ± 0.6	7.7 ± 0.7	1.663	.135	.147
LF/HF [ln]	5.5 ± 1.2	5.4 ± 0.7	.267	.796	.004

df=8

LIITE 3: Tilastollisten analyysien testituloksia. 5 (5)

Taulukko H

Wilcoxonin merkittyjen järjestyslukujen testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja matalataajuushoito-lentopalveluksen (LEPA-M) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=7)

	LAPA	LEPA-M		
Muuttuja	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>	Z	p
Kesto	430 ± 72	482 ± 73	-.845	.398
Palautuminen	349 ± 120	371 ± 119	-.338	.735
Palautumisprosentti	81 ± 21	77 ± 22	.000	1.000
VO ₂ _{mean}	3.8 ± 0.5	3.6 ± 0.3	-1.521	.128
RespR _{mean}	14.7 ± 1.6	14.4 ± 1.4	-1.352	.176
Unen laatu	4.0 ± 1.0	4.6 ± 0.5	-1.633	.102

Taulukko I

Toistettujen otosten t-testi: Laivuepalveluksen jälkeisen yön (LAPA) ja matalataajuushoito-lentopalveluksen (LEPA-M) muuttujien keskiarvojen vertailu. (N=7)

	LAPA (n=11)	LEPA-M (n=8)			
Muuttuja	<i>k.a. ± sd</i>	<i>k.a. ± sd</i>	t	p	η ²
HR _{mean}	52 ± 6	53 ± 8	-.390	.710	.012
HR _{min}	44 ± 2	44 ± 5	-.128	.902	.001
RMSSD	69 ± 17	65 ± 20	.629	.552	.032
SD	144 ± 23	143 ± 24	.086	.934	.001
LF [ln]	8.2 ± 0.3	8.3 ± 0.4	-1.645	.151	.184
HF [ln]	8.0 ± 0.5	8.0 ± 0.5	.184	.860	.003
LF/HF [ln]	5.5 ± 1.2	5.1 ± 0.3	.884	.411	.061

df=6