

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

SYKEVÄLIVAIHTELU KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN MITTARINA VIRTUAALISIMULAATTORISSA SUORITETTujen LENTOTEHTÄVIEN AIKANA

Pro gradu -tutkimus

Yliluutnantti

Niko Rautanen

SM4

Ilmasotalinja

Huhtikuu 2015

Kurssi SM4	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Niko Rautanen	
Opinnäytetyön nimi SYKEVÄLIVAIHTELU KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN MITTARINA VIRTUAALISIMULAATTORISSA SUORITETTUJEN LENTOTEHTÄVIEN AIKANA	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun Kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2015	Tekstisivuja 36 Liitesivuja 1
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>F/A-18-ohjaajan toimintaympäristö on kognitiivisesti hyvin vaativa. Vaativassa toimintaympäristössä ohjaajan on pystyttävä suoriutumaan tehtävästään hyväksyttävällä suoritustasolla. Ohjaaja joutuu ponnistelemaan vaativan tehtävän suoritustason ylläpitämiseksi, joka nostaa kognitiivisen kuormituksen tasoa. Korkea kognitiivisen kuormituksen taso saattaa vaikuttaa lentotehtävän suoritustasoon ja jopa lentoturvallisuuteen.</p> <p>Ihmisen autonominen hermosto reagoi kognitiivisen kuormituksen tasoon säätelämällä ohjaajan sydämen toimintaa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia sydämen sykevälvaihtelua kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa F/A-18-virtuaalisimulaattorilla suoritettuna lentotehtävän aikana.</p> <p>Tutkimusta varten luotiin toistomittausasetelma, jossa 31 koehenkilöä lensi kolme vaativuudeltaan erilaista simulaattorilentoa. Lentojen fysiologisista tallenteista muodostettiin parit, joiden sykevälvaihtelumuuttujia verrattiin toistettujen mittausten <i>t</i>-testillä.</p> <p>Tutkimuksessa käytetyt sykevälvaihtelumuuttujat reagoivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi kognitiivisen kuormituksen muutokseen ($p < 0.05$). Saatujen tulosten perusteella on ilmeistä, että sykevälvaihtelun aikakenttämenetelmä soveltuu erittäin hyvin kognitiivisen kuormituksen tason mittaamiseen. Sykevälvaihtelun taajuuskenttämenetelmällä saaduilla tuloksilla on vahva yhteys kognitiivisen kuormituksen tasojen muutokseen.</p>	
Avainsanat Sykevälvaihtelu, HRV, kognitiivinen kuormitus, F/A-18, simulaattori	

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	1
2.	KOGNITIIVINEN KUORMITUS JA TOIMINTAKYKY	4
2.1.	Toimintakyky	4
2.2.	Ihmisen tiedonkäsittelyprosessi	5
2.3.	Kuormituksen arviointi	7
2.4.	Kuormituksen manipulointi	8
3.	SYKEVÄLIVAIHTELU JA AUTONOMINEN HERMOSTO	9
3.1.	Autonominen hermosto	9
3.2.	Syke ja sykevälivaihtelu	9
3.2.1.	Sykevälivaihtelu-muuttujat	11
3.2.2.	Aikakenttämenetelmä	12
3.2.3.	Taajuuskenttämenetelmä	13
3.3.	Aikaisempi tutkimus	14
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT	15
4.1.	Yleistä	15
4.2.	Tutkimusongelma ja tutkimuksen viitekehys	16
4.3.	T-testi	16
4.3.3.	Merkitsevyytaso	18
4.4.	Tutkimuksen luotettavuus ja validius	18
4.5.	Lähdeteokset	19
5.	SIMULAATTORITESTAUS JA DATAN KERÄÄMINEN	20
5.1.	Koeasetelma	20
5.2.	Mittausten kulku	22
5.4.	Analyysiohjelmistot	24
5.5.	Tutkimusjoukko	25
6.	TULOKSET	27
6.1.	Analyysimenetelmät	27
6.2.	Aikakenttämenetelmä	28
6.2.1.	NNmean	28
6.2.2.	SDNN	29
6.2.3.	RMSSD	30
6.3.	Taajuuskenttämenetelmä	31
6.3.1.	LF	31
6.3.2.	HF	31
6.3.3.	LF/HF	32
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	33

8. POHDINTA.....	34
9. LÄHTEET	37
10. LIITTEET	42
Liite 1. Esitietolomake	42

SYKEVÄLIVAIHTELU KOGNITIIVISEN KUORMITUKSEN MITTARINA VIRTUAALISIMULAATTORISSA SUORITETTUJEN LENTO-TEHTÄVIEN AIKANA

1. JOHDANTO

Nyky-yhteiskunnassa teknologian automaatio on muuttanut kuormituksen luonnetta työtehtävissä. Fyysinen kuormitus on vaihtunut yhä enemmän kognitiiviseksi kuormitukseksi. Neljännen sukupolven hävittäjässä teknologiset järjestelmät ovat monimutkaisia, joten käyttäjältä vaaditaan aiempaa suurempaa kognitiivista kapasiteettiä hävittäjän operoimiseen. Lentäjän ylikuormituksella voi olla vakavat seuraukset johtaen virheisiin ja lento-onnettomuuksiin (Wickens, Lee, Liu & Becker 2004, 334). Hävittäjän päälliköllä on lentokoneen ja miehistön lisäksi vastuullaan sivulliset toimijat niin ilmassa kuin maassakin. Tämän vuoksi on tärkeätä tutkia ja ymmärtää, miten kognitiivisen kuormituksen kasvu vaikuttaa ohjaajaan lentotehtävän aikana (Vicente, Thornton & Moray 1987, 171).

Tässä tutkimuksessa käytettiin sykevälivaihtelun (*eng. heart rate variability, HRV*) muutoksia erottelemaan korkean ja matalan kuormituksen eroja. Sykevälivaihtelua on käytetty lukuisissa tutkimuksissa mittaamaan autonomisen hermoston aktivaatiotason muutoksia muun muassa stressaavissa työympäristöissä kognitiivisen kuormituksen funktiona. Kuormittavuuden mittarina sykevälivaihtelua on käytetty myös työkuorman, liikunnan jälkeisen palautumisen sekä kroonisten kipujen tutkimisen yhteyksissä (Hallman ym. 2013; Uusitalo ym. 2011; Myllymäki ym. 2010; Hayashi ym. 2008; Henelius ym. 2009). Sotilasilmailun viitekehysessä sykkeen muutos voi kertoa voimakkaista muutoksista lentokoneen tilassa tai lentämisen fyysisistä kuormitustekijöistä. Sykevälivaihtelu kuvastaa kognitiivisen kuormituksen vaihtelua (Roscoe 1993, 1057).

Sykevälivaihtelun on osoitettu olevan herkkä mittari osoittamaan autonomisen hermoston toimintaa ja tunnistamaan kognitiivisen kuormituksen vaihteluita (Malik ym. 1996; ChuDuc 2013; Mukherjee 2011; Henelius ym. 2009; Brookings ym. 1996). Sekiguchi tutkimusryhmi-

neen totesi jo vuonna 1979 sykevälivaihtelumuuttujien olevan käyttökelpoinen tapa analysoida erilaisten lentotehtävien aiheuttamaa kognitiivista kuormitusta ja kehittää ihmisen ja koneen käyttämisen periaatteita (Sekiguchi ym. 1979).

Sotilaslentäjän kuormitus on neljännen sukupolven hävittäjässä pääosin kognitiivista. Modernit pitkän kantaman ilmasta-ilmaan tutkaohjukset ovat mahdollistaneet ilmasodankäynnin viemisen näköetäisyyden ulkopuolelle yhä kauemmaksi vastustajasta, mikä vanhemmalla kalustolla ei ollut mahdollista. Hävittäjien suorituskyky riittää nousemaan yläilmakehään asti, missä ilma on ohutta. Tehokas tutkatorjunta suurilla lentokorkeuksilla käyttäen koneen maksimaalista liikehtelykykyä ei tuota samankaltaisia jatkuvia G-voimia (Y-akselin mukaisia kiihtyvyysoimia) verrattuna matalammilla lentokorkeuksilla toimimiseen. Sen sijaan oikean lentogeometrian valinta, hävittäjäutkan operointi sekä lento-osaston sisäisen toiminnan koordinointi kuormittavat ohjaajaa. Näiden tekijöiden myötä kokonaisvaltainen kuormitus on enemmän kognitiivista kuin fyysistä. Tässä tutkimuksessa kuormituksella tarkoitetaan kognitiivista kuormitusta ellei toisin mainita.

Hävittäjälentäjän suorittaman tehtävän odotukset ja tavoitteet määrittelevät mitä toiminnallisia ominaisuuksia tältä vaaditaan. Toimintakykyä voidaan ajatella kokonaisuutena, joka muodostuu henkilön fyysisten, psyykkisten, sosiaalisten ja eettisten ominaisuuksien suhteesta häneen kohdistuviin odotuksiin (Koskinen, Lindqvist & Ristiluoma 2011, 119). Sotilas- ja siviililentäminen perustuvat erilaisiin tarpeisiin. Siviililentämisessä minimoidaan riskit, kun taas sotilaslentäminen on riskien hallintaa. Tehtäväkohtainen riskitaso määritellään siitä saatavan hyödyn perusteella. Hävittäjälentämisessä ohjaaja ponnistelee vaativien tehtävien suorittamiseksi ja täten altistuu huomattavalle kognitiiviselle kuormitukselle. Kognitiivisen kuormituksen kasvulla ei kuitenkaan ole merkitystä niin kauan kuin suorituskyky pysyy tehtävän suorittamisen kannalta siedettävällä tasolla. Tehtävän vaativuus saattaa kuitenkin kasvaa niin suureksi, että suorituskyky heikentyy kognitiivisen ylikuormittumisen seurauksena.

Ihmisen simultaanikapasiteetti mahdollistaa huomion jakamisen ja toiminnan priorisoimisen päällekkäisiin tehtäviin. Hävittäjälentäjällä on oltava riittävää simultaanista kapasiteettia käsitellä useita asioita samanaikaisesti. Simultaanikapasiteetti on kuitenkin rajallinen. Huomion jakaminen samanaikaisesti tehtäviin lisää kognitiivista kuormitusta. Ihmisen ja lentokoneen vuorovaikutuksessa ihminen on usein rajoittava tekijä. Modernin hävittäjän järjestelmät tuottavat informaatiota enemmän kuin ohjaaja kykenee käsittelemään. Vallitsevalle tilanteelle tärkeimmän tiedon havaitseminen, ymmärtäminen ja reagoiminen on edellytys tehtävän onnistumiselle.

Kognitiiviselle kuormitukselle ja sen muutoksille on tärkeä löytää konkreettinen fysiologinen mittari, mitä voidaan jatkossa hyödyntää arvioidessa ohjaajien suorituskykyä ja tehtäväkohtaisia vaatimuksia suorituskyvyn varmistamiseksi. Tässä tutkimuksessa tutkittiin sykevälivaihtelun soveltuvuutta kognitiivisen kuormituksen mittarina. Mittarin toimivuutta tutkittiin WTSAT-virtuaalisimulaattorissa suoritettujen lentotehtävien aikana.

2. KOGNITIIVINEN KUORMITUS JA TOIMINTAKYKY

2.1. Toimintakyky

Sotilaan toimintakyky koostuu Toiskallion (1998, 27) mukaan neljästä osa-alueesta; fyysisestä, psyykkisestä, eettisestä ja sosiaalisesta. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan pelkästään kognitiivista kuormitusta, mikä on osa psyykkistä toimintakykyä.

Sotilaiden tulee kyetä säilyttämään toimintakyky poikkeuksellisen vaativissa olosuhteissa. Hävittäjälentäjän työ on vaativaa jo harjoitusolosuhteissa. Ohjaajalta vaaditaan keskittymistä, itseluottamusta, stressinsietokykyä sekä nopeita päätöksiä. Vapaavuori ja Sorsa toteavat vaativien olosuhteiden muodostuvan toiminnan henkisestä ja fyysisestä rasituksesta (Sorsa & Vapaavuori 2002, 136).

Sodan ajan toimintaympäristö on fyysisesti ja henkisesti raskas, jossa korostuu asejärjestelmien hallinta, johtamistoiminta ja yksilön toiminta joukon osana (Toiskallio 1998, 25). Taistelustressi heikentää toimintakykyä. Dynaamisissa sotilasoperaatioissa kognitiiviset toiminnot kuten vigilanssi, reaktioaika, tilanneymmärrys, muisti ja päätöksentekokyky hidastuvat (Bathalon ym. 2002).

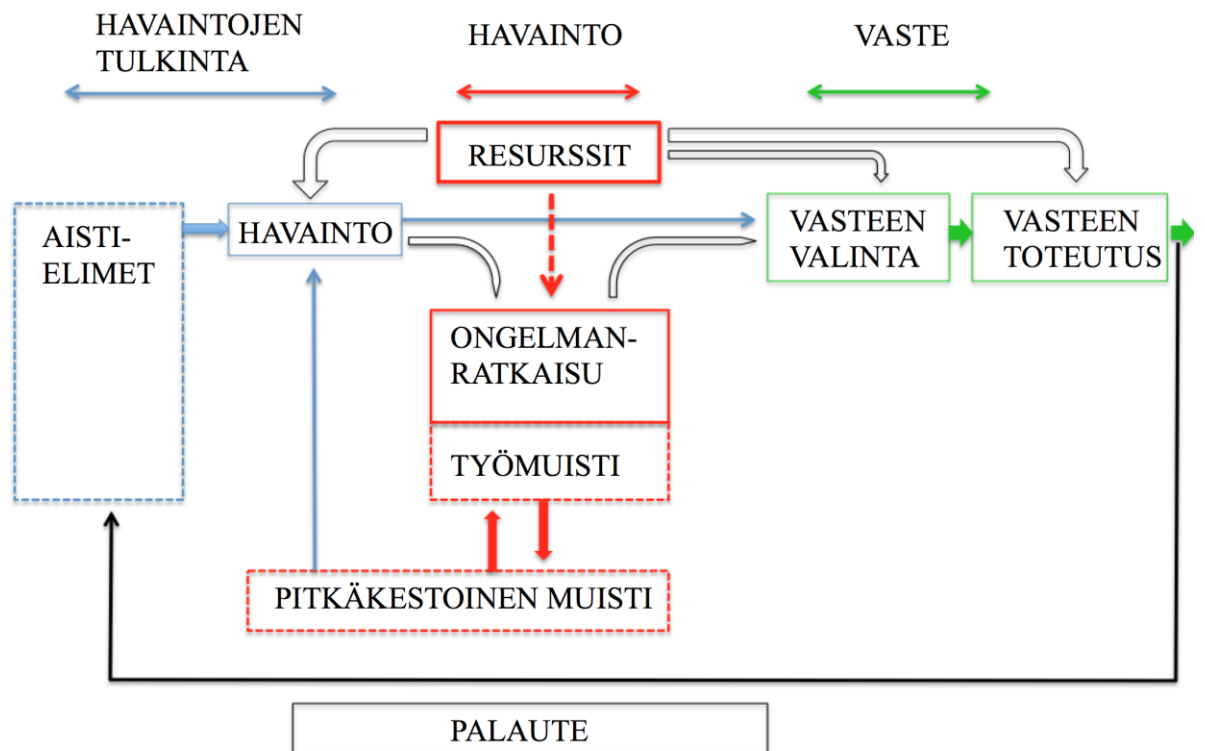
Sorsan ja Vapaavuoren (2002, 105) mukaan yleisilmailijan tulee sietää tietty määrä häiriötekijöitä. Häiriöiden määrän kasvaessa kapasiteetti ei enää kuitenkaan riitä ja tiedonkäsittelyyn tulee väistämättä katkoksia, mitkä johtavat virheellisiin ratkaisuihin ja toimintatapamalleihin (Sorsa & Vapaavuori 2002, 105). Hävittäjälentäjän on varauduttava toimimaan erittäin voimakkaiden häiriötekijöiden kanssa. Suomen Ilmavoimien sotilaslentäjät ovat läpäisseet perusteelliset psykologiset soveltuvuustestit, joilla kartoitetaan kognitiivisten resurssien riittävyttä vaativiin työtehtäviin. Esimerkiksi fyysisen vaaran mahdollisuus on korkean riskitason operaatioissa häiriötekijä, joka lentäjän tulee sietää.

Vaativissa tilanteissa, joissa tehtävän vaatimukset ylittävät käyttäjän kognitiivisen kapasiteetin, vakavien virheiden todennäköisyys kasvaa. Lisäksi virheillä ja stressillä on usein suora kausaalisuusuhde. Stressistä ja kuormituksesta seuraa virheitä ja päinvastoin (Wickens & Hollands 2000, 480). Sotilaslentämisessä kognitiivisen kuormituksen kasvusta johtuva inkapasitoituminen voi tehtävän epäonnistumisen lisäksi näkyä esimerkiksi törmäyksenä maahan tai omien tappioiden tuottamisena (Bathalon ym. 2002).

2.2. Ihmisen tiedonkäsittelyprosessi

Wickens esittelee ihmisen tiedonkäsittelyprosessin syklinä (Wickens & Hollands 2000, 11). Tiedonkäsittelyprosessi (Kuva 1) on kokonaisuus, joka sisältää aistien prosessoinnin, havainnon, sopivan reaktion eli vasteen valitsemisen ja sen toteutuksen eli reagoinnin. Operaattori aistii jatkuvasti ympäristön reaktioita, mikä luo tiedonkäsittelyprosessin jatkuvuuden (Wickens & Hollands 2000, 13).

Baddelyn kehittämällä (1992) mallilla ihmisen työmuistista viitataan muistijärjestelmän osaan, johon tilapäisesti tallennetaan tietoja kognitiivisten prosessien suorittamisen auttamiseksi. Työmuistimallin mukaisesti muisti jaotellaan tarkkaavaisuutta ohjaavan keskusyksikön lisäksi kahteen lyhytaikaiseen muistitaltioon: fonologiseen (*eng. phonological loop*) ja visuaalis-spatiaaliseen (*eng. visuo-spatial sketch pad*) alakategoriaan (Baddeley 1996; Repovš & Baddeley 2006).



Kuva 1. Ihmisen tiedonkäsittelyprosessi (Wickens ym. 2004, 122)

Tiedonkäsittelyprosessi voi alkaa ympäristön muutoksesta tai ihmisen tahtotilasta muuttua jotakin vallitsevassa ympäristössä. Hävittäjän operaattori joko reagoi ympäristön muutokseen tai päättää proaktiivisesti omalla toiminnallaan muuttaa ympäristön tilaa. Operaattorin toiminta

toja havainnon ja toiminnan välissä rajoittavat operaattorin käytettävissä olevat kognitiiviset resurssit.

Käsitteinä kognitiivinen kuormitus ja stressi eroavat toisistaan. Stressi kuvaa ihmisen yksilöllisiä kokemuksia sekä elimistön fysiologisia reaktioita ärsykkeisiin. Kognitiivinen kuormitus on sidottu tiettyyn tehtävään ja sen suorittajaan eli se koostuu tehtävän vaatimuksista ja sitä suorittavan yksilön ominaisuuksista.

Wickensin moniresurssiteorian mukaan lentäjä käyttää erilaisia kognitiivisia resursseja erilaisiin tehtäviin. Eri aisteille on omat resurssinsa, mitä operaattori allokoii tehtävien suorittamiselle. Usean samanaikaisesti suoritettujen tehtävien vaikutukset kognitiiviseen kuormitukseen ovat riippuvaisia siitä, mitä aistimodaliteetteja ja kognitiivisia resursseja niiden suorittamiseen tarvitaan (Wickens & Hollands 2000, 449).

Usean tehtävän rinnakkainen tai perättäinen suorittaminen vaatii suurempia ponnisteluja ja enemmän resursseja (Wickens 1981). Tiedonkäsittelyprosessia vaativaa tehtävää suoritettaessa suorituskyky paranee, mitä enemmän yritystä ja ponnistelua eli resursseja tämän suorittamiseen allokoidaan. Wierwille ym. (1989, 9) toteavat, että suorituskyky ei kuitenkaan kasva rajattomasti suhteessa ponnisteluihin.

Työn vaativuus vaikuttaa työn kuormittavuuteen. Työn vaativuuden määrittävät tehtävän tavoite, kesto ja rakenne. Näiden lisäksi siihen vaikuttavat ympäristö ja käytettävissä olevat työvälineet (Hart & Staveland 1988). Hävittäjälentämisessä työn vaativuuteen voivat vaikuttaa lukuisat muuttujat kuten ympäristö, teknisten järjestelmien toimivuus ja lentäjän taitotaso. Edellä mainitut tekijät voivat vaikuttaa tehtävän vaativuuteen edullisesti tai epäedullisesti ja ne voivat vaihdella työtehtävien välillä olosuhteiden muuttuessa.

Moniresurssiteorian interferenssimallin mukaan voidaan ennustaa tehtävän vaativuuden muutoksia. Tehtävä muuttuu kognitiivisesti kuormittavammaksi tämän vaativuustason kasvaessa tai silloin, kun päällekkäiset tehtävät vaativat samankaltaisia resursseja niiden suorittamiseksi. Oletuksena tälle on, että tehtävän suorittaja haluaa allokoida mahdollisimman paljon kognitiivisia resursseja niiden suorittamiseen (Wickens 1981; Horrey & Wickens 2003).

Automaatitotasolla olevat reaktiot jäävät syvemmän tiedostetun prosessoinnin ulkopuolelle. Rasmussenin mukaan (Rasmussen 1983) taitotasolla tapahtuva reagointi tapahtuu ilman tietoista prosessointia ja eikä se kasvata kognitiivista kuormitusta. Ihmisen pitkäkestoista muistia hyödynnetään automaatiotasolla tapahtuvien tehtävien suorittamisessa (Anderson 1974).

Monimutkaisempaa ongelmanratkaisua edellyttävät aistihavainnot vaativat usean eri resurssin yhdistämistä vasteen valitsemisessa. Esimerkiksi ohjaamon moottorinvalvontanäytöiltä luettava vikaindikaatio vaatii näköaistin lisäksi työmuistia vikatilanteen selvittämiseksi ja oikeanlaisen korjaavan toimenpiteen valitsemiseksi.

Baddeleyn työmuistimallin mukaan keskusyksikkö ohjaa tiedonkäsittelyä ja kognitiivisia resursseja tehtävän edellyttämiin toimintoihin. Keskusyksikkö toimii yhteydessä pitkäaikaiseen muistiin. Fonologinen ja visuaalis-spatiaalinen apuyksikkö taltioivat tilapäisesti informaatiota. Fonologinen muisti sisältää kuulohavainnot ja visuaalis-spatiaalinen muisti näköhavainnot (Baddeley 1992). Ihminen käyttää eri resursseja prosessoidessa reaktioitaan visuaalis-spatiaalisiin ja fonologisiin ärsykeisiin ja havaintoihin.

Ihmisen työmuistin keskusyksikössä on rajallinen määrä tilaa muistaa taltioitua informaatiota (Wickens & Hollands 2000, 250). Rajalliset kognitiiviset resurssit eivät välttämättä pysty käsittelemään kaikkia havaittuja ärsykeitä. Tiedonkäsittelyprosessi saturoituu kuormittavassa ympäristössä. Tutkimusten mukaan työmuisti pystyy käsittelemään 5-9 muistitaltiota ja säilömään niitä 10-15 sekuntia (Wickens & Hollands 2000, 249; Wickens ym. 2004, 130).

Työmuistimallin mukaan yksi fonologinen ja visuaalis-spatiaalinen tehtävä on kognitiivisesti vähemmän kuormittava kuin kaksi fonologista tai visuaalis-spatiaalista tehtävää. Hävittäjälentämisessä työmuistia koneen ohjaamisen lisäksi voi kuormittaa samanaikaisesti esimerkiksi lennonjohdon kanssa käyty keskustelu ja lennonjohtoselvityksen ylös kirjaaminen.

Hävittäjälentäjä joutuu työtehtävissään ponnistelemaan kognitiivisen kapasiteettinsa ääriarajoilla. Dynaamisissa tilanteissa työmuisti voi hetkellisesti joutua käsittelemään tietoa enemmän kuin 5-9 muistitaltiota. Nämä ponnistelut johtuvat kasvaneesta työkuormasta, jotka johtavat kognitiiviseen kuormittumiseen. Näitä muutoksia kognitiivisessa kuormituksessa voidaan havaita fysiologisina muutoksina.

2.3. Kuormituksen arviointi

Wickensin aikajanamallin mukaan kuormitus määritellään tehtävän suorittamiseen vaaditun ajan ja tehtävän suorittamiseen annetun ajan suhteeksi (Wickens ym. 2004, 334). Aikajana- ja työmuistimallin mukaan kaikki tehtävät jotka aiheuttavat konflikteja resurssien allokoinnille kasvattavat kognitiivista kuormitusta. Moniresurssiteorian mukaan seuraavat tekijät kasvattavat työkuormaa: lisätehtävien suorittamisen priorisointi, tietyn tehtävän suorittamiseen vaadit-

tavan ajan laskeminen ja tunnistaminen, reaktion valinta sekä reaktion toteuttaminen (Wickens ym. 2004, 337).

Kognitiivisen kuormituksen arviointimenetelmät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: suoritusarvioita käyttäviin menetelmiin, subjektiivisiin menetelmiin sekä fysiologisiin menetelmiin (Haavisto & Oksama 2007, 21). Eri arviointimenetelmät kertovat eri asioita kognitiivisesta kuormituksesta ja näiden arviointimenetelmien herkkyys vaihtelee tehtävän mukaan. Kognitiivinen kuormitus on moniulotteista ja yhdellä menetelmällä ei kyetä mittaamaan kaiken tyyppisten tehtävien aiheuttamaa kuormitusta. Sorsan ja Vapaavuoren mukaan ”kuormittavuuden arviointi ei ole yksinkertaista vaan perustuu työtehtävän analyysiin, pilottien subjektiivisiin tuntemuksiin, fysiologisiin mittauksiin ja suoritustason mittaamiseen” (Sorsa & Vapaavuori 2002, 136). Tässä tutkimuksessa ei arvioida suorituskkyä, vaan mitataan eriasteista kognitiivista kuormitusta sykevälivaihtelun muutoksina.

2.4. Kuormituksen manipulointi

Wickensin mallin mukaan työkuormaa voidaan kasvattaa lisäämällä tehtävien määrää pitämällä aika niiden suorittamiseen vakiona (Wickens & Hollands 2000, 448). Tässä tutkimuksessa työkuorman kasvattamisen premissia sovelletaan F/A-18-lentotehtävässä.

Simulaattoritutkimuksessa ohjaaja pyrki suoriutumaan lentotehtävästään mahdollisimman hyvin. Työkuormaa lisättäessä ohjaajan täytyi yrittää enemmän saadakseen lentotehtävän suoritettua, jolloin kognitiivinen kuormitus kasvoi. Koeasetelmassa työkuormaa kasvatettiin hävittäjälentämiseen oleellisesti liittyvillä lisätehtävillä pitäen aika lentotehtävän suorittamiselle samana. Baddeleyn työmuistimallin mukaan (ks. Baddeley 1992) apuyksikköjen (visuaalispataalisen ja fonologisen) toistuva häirintä täyttää yksikköjen kapasiteetin ja kognitiivinen kuormitus kasvaa.

3. SYKEVÄLIVAIHTELU JA AUTONOMINEN HERMOSTO

3.1. Autonominen hermosto

Autonominen hermosto ylläpitää tahdosta riippumatta ihmisen sisäistä tasapainoa kiihdyttäen tai hidastaen elintoimintoja (Bjälje, Haug, Sjaastad & Sand 2001, 134). Autonominen hermosto vaikuttaa nopeasti ja voimakkaasti sisäelinten toimintoihin ja säätelee esimerkiksi ruumiinlämpöä, sykettä ja sykevälivaihtelua. Esimerkiksi syke voi kaksinkertaistua 3-5 sekunnissa, verenpaine voi laskea tajuttomuuden tasolle 4-5 sekunnissa ja hikoilu voi alkaa sekunnissa hermoston saamasta vasteesta (Guyton & Hall 1996, 769).

Autonominen hermosto jakaantuu sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Sympaattisten hermosolujen solukeskukset sijaitsevat selkäytimen sivusarvessa T1-L2 välisellä alueella. Parasympaattisten hermosolujen solukeskukset sijaitsevat aivorungossa. Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto toimivat vuorovaikutteisesti. Sympaattinen hermosto aktivoi sisäelimistön toimintaa ja parasympaattinen rauhoittaa toimintaa (Kalat 2007, 86; Guyton & Hall 1996, 774). Suurin osa parasympaattisista hermosyistä kulkee kymmenennen aivohermon, kiertäjähermon (*nervus vagus*) kautta. Parasympaattisen hermoston toiminnan muutokset vaikuttavat yleensä vain yhteen tai muutamiin kohde-eliimiin kerrallaan (Bjälje ym. 2001, 144).

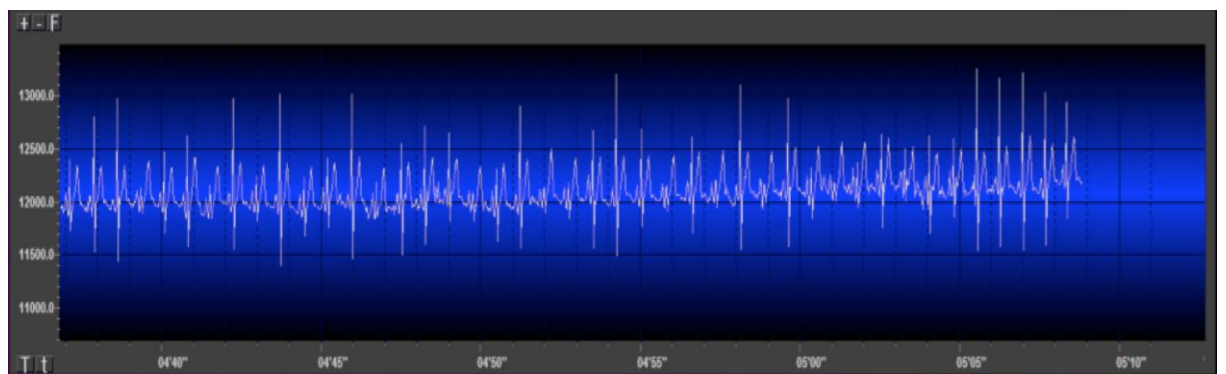
Autonominen hermosto ja hormonit säätelevät ihmisen sydämen toimintaa. Sydämeen tulevien sympaattisten hermosyiden ärsytys ja veren adrenaliinipitoisuuden suureneminen nopeuttavat hermoimpulssin laukeamiskynnyksen saavuttamista, jolloin sydämen syke nopeutuu. Sympaattisen hermoston vasteet näkyvät sykevälivaihtelussa nopeammin kuin sykkeessä. Sykkeen vakiintuminen hermoston ärsykkeestä voi kestää viidestä kolmeenkymmeneen sekuntiin. Parasympaattisen hermoston stimulointi sen sijaan on lähes välitöntä. Syke vakiintuu jopa muutaman lyönnin aikana hermoston saamasta ärsykkeestä (Medicore).

3.2. Syke ja sykevälivaihtelu

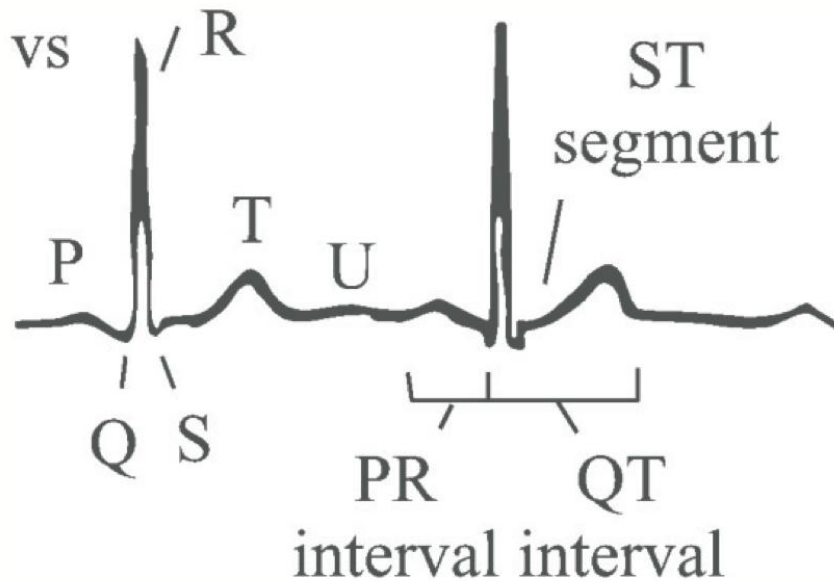
Sydäntä voidaan tutkia reaaliaikaisesti elektrokardiogrammin (EKG) avulla (Kuva 2). Elektrokardiogrammista nähdään sydämen rytmi (sinusrytmi). Normaalisissa EKG:ssa sydämen rytmi näkyy jännitepiikkeinä sydämen eteisen (P-aalto) ja kammioiden aktivaation (QRS-aalto) sekä niiden palautuminen (T-aalto) kokonaisuutena. Nämä jännitepiikit muodostavat

sydämen eteisten ja kammioiden toimintaa kuvaavan aaltokokonaisuuden (Kuva 3). QRS-kompleksi koostuu kolmesta toisiaan seuraavasta aallosta, mitkä yhdessä kuvaavat kammioiden depolarisaatiota (Bjälle ym. 2001, 277).

Sykeväli (R-R-väli) määritellään vakiintuneen käytännön mukaisesti kahden R-jännitepiikin väliksi (*eng. Interbeat interval*), sillä se on helpoin havaita. Sykevälivaihtelulla (HRV) tarkoitetaan R-R-välin ajallista vaihtelua (Pumprla, Howorka, Groves, Chester & Nolan 2002). Keskimääräinen kahden R-piikin välinen intervalli on 0.83 sekuntia, mikä vastaa 72 sydämen lyöntiä minuutissa (Guyton & Hall 1996, 131).



Kuva 2. Elektrokardiogrammi



Kuva 3. Sydämen sinusrytmi (ChuDuc, NguyenPhan & NguyenViet 2013)

Yksityiskohtaista sykevälivaihtelun analysoimista voidaan käyttää autonomisen hermoston sydämen kontrollin tarkasteluun (Pumprla ym. 2002). Lepotilassa vagus-hermon toiminnan merkitys on hallitseva, jonka seurauksena sykevälivaihtelua ohjaa pääasiassa parasympaattinen hermoston osa (Malik ym. 1996). Kognitiivinen kuormitus nostaa sympaattisen hermoston aktiivisuutta.

Sykevälivaihteluun vaikuttavat muiden muassa ihmisen ikä, elintavat ja fyysinen kunto. Sykevälivaihtelu kertoo ihmisen autonomisen hermoston säätelyn mekanismista. Suuri sykevälivaihtelu kertoo hyvin toimivasta säätelymekanismista, kun taas pieni HRV viittaa päinvastaiseen toimintaan (Pumprla ym. 2002).

3.2.1. Sykevälivaihtelu-muuttujat

Sykevälivaihtelun tarkasteluun on olemassa lukuisia menetelmiä. Yleisimmät ovat sykevälivaihtelun muutosten tarkastelu ajan funktiona eli aikakenttämenetelmä (*eng. time domain*) ja sydämen taajuuspiiriin sidottu taajuuskenttämenetelmä (*eng. frequency domain*) (Malik ym. 1996).

Aikakenttämenetelmässä suositetaan 24 tunnin mittaista Holter-analyysiä ja taajuuskenttäanalyysin tapauksessa noin viiden minuutin mittausjaksoja (Xhyheri, Manfrini, Mazzolini, Pizzi & Bugiardini 2012). Taajuuskenttäanalyysissä luotettavan mittaustuloksen saamiseksi ajan-

jakson täytyy kuitenkin olla riittävän pitkä, ollen minimissään 30 sekuntia ja maksimissaan noin 5 minuuttia (Malik ym. 1996).

Pitkäaikaisen mittauksen epätarkkuudet ovat johtaneet tarkempia analyysejä mahdollistavan spektraalisen menettelyn kehittämiseen. F/A-18-virtuaalisimulaattoritestaustympäristö oli edullinen spektri- eli taajuuskenttämenetelmän käytölle, sillä simulaattorilennot olivat kestoltaan kahden ja viiden minuutin välillä. Lyhytkestoisella taajuuskenttämenetelmän analyysillä saadaan tarkempia havaintoja sykevälivaihtelun muutoksista pitkäkestoiseen mittaukseen verrattuna (Pumprla ym. 2002). Tässä tutkimuksessa käytetyt sykevälivaihtelumuuttujat on esitelty taulukossa 1.

Malik ym. (1996) suosittaa kestoltaan lyhytaikaisten mittausten suorittamiseen spektrianalyysiä. HF-alueen analysoimiseksi vaaditaan minimissään minuutin pituinen tallenne ja LF-alueen vähintään kahden minuutin pituinen tallenne (Malik ym. 1996). Pituudeltaan eri kestoisten mittausjaksojen keskinäinen vertailu ei ole luotettavaa aikakenttämenetelmää käytettäessä.

Taulukko 1
HRV-muuttujat

	Muuttuja	Yksikkö	Kuvaus	Taajuusalue
Aikakenttä	NN*mean	ms	R-R-intervallien keskiarvo	
	SDNN	ms	R-R-intervallien keskihajonta	
	RMSSD	ms	R-R-intervallien keskineliövirheen neliöjuuri	
Taajuuskenttä	LF	ms ²	Matalataajuuksinen spektritiheys	0.04 – 0.15 Hz
	HF	ms ²	Korkeataajuuksinen spektritiheys	0.15 - 0.4 Hz
	LH/HF		LF [ms ²]/HF [ms ²]-suhde	

*Normal to normal

3.2.2. Aikakenttämenetelmä

Aikakenttämenetelmässä sydämen EKG:lla mitataan haluttu ajanjakso. Siitä saatavilla parametreilla voidaan tehdä analyysejä mittausjakson R-R-intervallien variansseja hyödyntäen. Tallenteiden päällekkäisyydet saadaan minimoitua normalisoimalla (eng. *normal-to-normal*) R-R- eli IBI-intervallien (eng. *interbeat interval*) laskennat. Aikakenttämenetelmäanalyysissä R-R-intervalli on yhtä kuin NN.

Tyypillisiä aikakenttäanalyysin muuttujia ovat R-R-intervallien keskiarvo, keskihajonta ja keskineliövirheen neliöjuuri. Edellä mainitut muuttujat laskevat kognitiivisen kuormituksen kasvaessa. R-R-intervallien keskiarvo (SDNN) saadaan laskemalla varianssin neliöjuuri. Keskihajonnassa huomioidaan kokonaisspektrin keskihajonta ja se mitataan millisekunneissa (ms). R-R-intervallien keskiarvo (NNMean) kuvaa sykevälivaihtelun muutosta mittausjakson aikana. R-R-intervallien keskineliövirheen neliöjuuri (RMSSD) kuvaa parasympaattisen hermoston palautumista.

3.2.3. Taajuuskenttämenetelmä

Taajuuskenttämenetelmällä on mahdollista tulkita, millä eri taajuusalueilla sykevälivaihtelua esiintyy (Task Force 1996). Spektristä laskettu kokonaisvaihtelu (*eng. power spectral density*) kertoo, miten sykevälivaihtelu on jakautunut eri taajuusalueille. Tällä metodilla voidaan analysoida autonomisen hermoston eri osa-alueiden aktiivisuutta mittausjakson aikana.

Sykevälivaihtelu voidaan jakaa neljään eri taajuusalueeseen: korkeataajuuksiseen (HF) 0.15-0.4 Hz, matalataajuuksiseen (LF) 0.04-0.15 Hz, erittäin matalataajuuksiseen (VLF) <0.04Hz ja ultramatalataajuuksiseen (ULF) <0.003 Hz (Carney ym. 2001). Kaikkia sykevälivaihtelun taajuusalueiden fysiologisia merkityksiä ei tunneta tarkasti. HF- ja LF-taajuusalueet ovat luotettavimmat (Malik ym. 1996).

Parasympaattinen hermosto vaikuttaa sekä HF- että LF-taajuusalueilla (Kleiger, Stein & Bigger 2005). Matalataajuusalueen (LF) käyttäytymisen tulkinta on monimutkaisempaa, sillä tähän vaikuttaa myös sympaattinen hermosto. VLF-taajuusalueeseen vaikuttavien tekijöiden määrittely on epämääräisempää (Malik ym. 1996). VLF-taajuusalueen vaihtelut kuitenkin pääasiallisesti johtuvat lämmönsäätely- ja hormonoiminnasta (Carney ym. 2001). ULF-taajuusalue kertoo sydämen rytmin pitkäaikaisista vaihteluista vuorokausirytmien mukaan, joten tätä mitataan vähintään 24 tunnin ajanjaksoina (Carney ym. 2001).

Matala- ja korkeataajuuksisen spektrin välinen suhde (LF/HF) kertoo autonomisen hermoston toiminnasta. LF/HF-suhteen kasvu kertoo sympaattisen hermoston toiminnan lisääntymisestä ja parasympaattisen aktiviteetin vähentymisestä (Malik ym. 1996). Spektrin taajuusjakauma matala- ja korkeataajuuksisen sykevälivaihtelun välillä kuvaa hermoston sympaattisten ja parasympaattisten toimintojen tasapainoa (Karim ym. 2011). Lyhytkestoisen taajuuskenttäanalyysin mittaaminen edellyttää yhden minuutin mittauksen luotettavan HF-alueen tallentamiseen

ja vähintään kahden minuutin mittausjaksoa luotettavan LF-alueen tallentamiseen (Malik ym. 1996). EKG-signaalien käsittelyssä käytettiin ei-parametrisia metodeja. Ei-parametrisen taajuuskenttäanalyysin etuja ovat muun muassa yksinkertaisen Fourier'n muunnoksen käyttäminen laskennassa ja nopea prosessointi (Karim, Hasan & Ali 2011).

3.3. Aikaisempi tutkimus

Aiemmat tutkimukset (Luque-Casado, Zabala, Morales, Mateo-March & Sanabria 2013; Mukherjee, Yadav, Yung, Zajdel & Oken 2011) ovat osoittaneet kognitiivisen kuormituksen vaikuttavan autonomisen hermoston toimintaan laskemalla sykevälivaihtelua. Mukherjee ym. (2011) osoitti tutkimuksessaan kognitiivisen kuormituksen vaihteluiden vaikuttavan sykevälivaihteluun siten, että kognitiivisen kuormituksen kasvaessa sykevälivaihtelu pienenee. Sykevälivaihtelun analysointi on luotettava mittari kognitiivisen kuormituksen muutoksista (Luque-Casado ym. 2013).

Tutkimuksessaan Mukherjee toteaa sykevälivaihtelun aika- ja taajuuskenttämenetelmien olevan riittävän luotettavia ja herkkiä kognitiivisen kuormituksen mittareita. Hän toteaa fysiologisten vasteiden kertovan kuitenkin vain yksilön autonomisen hermoston reaktioista. Tutkittavien keskinäinen vertailu kognitiivisen kuormituksen suhteen on epäolennaista sykevälivaihtelun tarkastelussa (Mukherjee ym. 2011).

Sykevälivaihtelu on herkempi mittari kuormituksen mittaamiseen kuin syke. Sotilas- ja ilmailuympäristössä sykettä ja sykevälivaihtelua on tutkittu runsaasti 1970-luvulta lähtien (Roscoe 1993; Jorna 1993; Sekiguchi 1979; Lahtinen 2007; Salonen ym. 2013; Kautto 2012). Sotilaslentämisen dynaaminen luonne vaatii herkän mittarin, joka reagoi nopeasti lentäjän kognitiivisen kuormitustason muutoksiin.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Yleistä

Tutkimuksen tarkoituksena oli mitata kognitiivista kuormitusta fysiologisilla menetelmillä. Sykevälivaihtelu toimi fysiologisena mittarina kuvaamaan autonomisen hermoston toimintaa. Tutkimuksen tavoitteena oli todentaa sykevälivaihtelun luotettavuus simulaattorilennon aikaisen kognitiivisen kuormituksen mittarina. Tutkimuksessa selvitettiin eri HRV-muutujien herkkyserot vaativuudeltaan vaihtelevissa lentotehtävissä.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä 11. ja 31. Hävittäjälentolaivueiden ja Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kanssa. Ilmavoimien esikunnan suunnitteluosasto antoi puolustusvoimien tutkimuslaitokselle toimintasuunnitelman (PVTOSU 2014-2018, liite 3.2.1, tunniste 14.17.1) mukaisen tutkimustyötilauksen sotilasoperaattoreiden kognitiivisesta suorituskyvystä dynaamisissa tilanteissa. Tutkimustyötilauksen kokeellisista mittauksista kerättyä dataa käytettiin tässä tutkimuksessa.

Opinnäytetyöni on kvantitatiivinen tutkimus, jossa selvitettiin, miten sykevälivaihtelu muuttuu suhteessa kognitiivisen kuormituksen muutokseen. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa mitattiin eroja havaintoyksiköiden välillä ja etsittiin muuttujien välisiä suhteita ja eroja. Tutkimuksen yhteydessä saatuja havaintoja ja tuloksia verrattiin vallitseviin teorioihin.

Tutkimus oli luonteeltaan kokeellinen. Kokeellisen tutkimuksen piirteitä WTSAT-simulaattoritutkimuksessa kuvastivat muun muassa koejärjestelyasetelman laatiminen, tietystä populaatiosta otetut näytteet, näytteiden analysointi, operationalisointi ja numeerinen tulkinta, tulosten kirjaaminen sekä hypoteesin testaaminen ja todentaminen. Kvantitatiiviselle tutkimusmenetelmälle tyypillisesti tarkastelen sykevälivaihtelumuuttujia numeerisesti. Tutkimusprosessi pidettiin puolueettomana ja objektiivisena koko tutkimuksen ajan.

4.2. Tutkimusongelma ja tutkimuksen viitekehys

Opinnäytetyössäni tutkin sykevälivaihtelun muutosta kognitiivisen kuormituksen funktiona. Tutkimuksen nollahypoteesina (H_0) on, että sykevälivaihtelussa ei havaita muutoksia kognitiivisen kuormituksen vaihdellessa. Vastahypoteesina (H_1) on, että kognitiivisen kuormituksen vaihtelut aiheuttavat sykevälivaihtelussa tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Seuraavissa luvuissa kuvatus simulaattoritestauksen avulla pyrin kaksisuuntaisella hypoteesin testauksella tutkimaan voidaanko vaihtoehtoinen vastahypoteesi osoittaa todeksi empiirisen aineiston perusteella sekä vastaamaan tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuskysymykset:

1. Miten sykevälivaihtelu käyttäytyy kognitiivisen kuormituksen kasvaessa virtuaalisimulaattorissa suoritettuna lentotehtävän aikana?
2. Miten herkkiä käytetyt mittarit ovat kognitiivisen kuormituksen muutokselle?

Tutkimuskysymyksiin haettiin vastausta kahden simulaattorilennon sykedatan mittauksella, jotka olivat kognitiiviselta kuormittavuudeltaan erilaisia. Näiden kahden lennon dataa verrattiin toisiinsa ja koehenkilöiltä mitattuihin lepoarvoihin, jotka toimivat referenssinä todentamaan kognitiivisen kuormituksen muutosta. Hypoteesin mukaan kognitiivisen kuormituksen vaihtelulla on kausaaliteettisuhde sykevälivaihtelun kanssa.

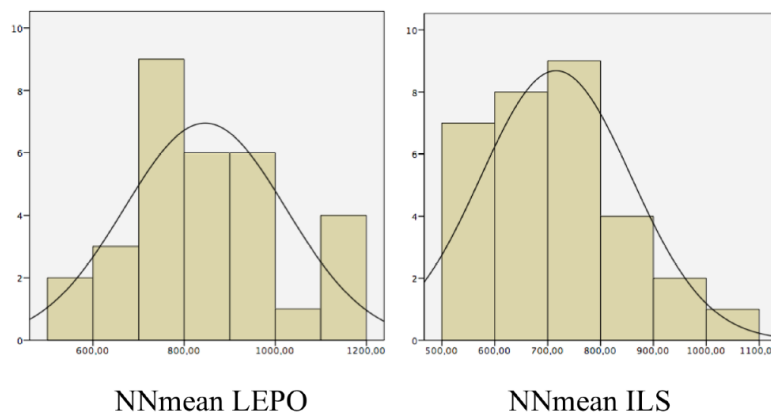
4.3. *T*-testi

T-testi on tilastollinen testimenetelmä kahden ryhmän keskiarvojen erolle. Keskiarvotesteille edellytyksenä on vertailtavien muuttujien riippumattomuus toisistaan. Keskiarvojen mahdollisista vaihteluista huolimatta on selvitettävä, miten sattumanvaraista eroavaisuus on. Tässä tutkimuksessa *t*-testiä käytetään erilaisten lentojen tulosten keskiarvojen vertailuun.

Normaalijakauma eli Gaussin käyrä on jakauma, jota käytetään käytännön matemaattisten ilmiöiden mallina (Heikkilä 2008, 101). Ihmiset ovat fyysisiltä ja psyykkisiltä ominaisuuksiltaan useasti tietyllä tavalla normaalisti jakautuneet keskimääräisten ominaisuuksien ympärille,

joten normaalijakauma soveltui käytettäväksi tähän tutkimukseen. Normaalijakauman histogrammissa suurin frekvenssi μ on keskellä osoittaen keskiarvoa ja σ kuvaa jakauman leveyttä eli keskihajontaa.

Tutkimuksessa käytettiin toistettujen mittausten t -testiä, jotka perustuvat keskiarvon keskivirheen käyttöön jakaumien sijainnin vertailemisessa (Kuva 4). Kuormitusmittaukset toteutettiin toistomittauksina kaikille koehenkilöille, joten otokset olivat vertailukelpoisia ja toisistaan riippuvia. Koehenkilöt lensivät kuormitukseltaan vaihtelevia simulaattorilentoja, joiden HRV-muuttujia vertailtiin keskenään.



Kuva 4. Normaalisuuskäyrät sovitettuina otosten jakaumiin

Toistettujen mittausten t -testi on yleisesti käytetty menetelmä kahden riippuvan otoksen keskiarvojen vertailemiseen (Nummenmaa 2006, 167). Metsämuurosen (2000, 59) mukaan otokseen ollessa vähintään kohtuullinen ($n > 20$), antaa t -testi luotettavia tuloksia. Kun otetaan huomioon tutkimuksen otoskoko ($n = 31$), t -testi oli soveltuva analyysimenetelmä.

Toistomittauksella on useita huomattavia etuja verrattuna riippumattomien otosten tutkimusasetelmaan. Tutkittavien määräksi riittää huomattavasti pienempi määrä koehenkilöitä ja toistomittauksessa vältytään otantavirheeltä, mikä saattaa vääristyä tutkittavien ryhmien lähtötasojen eroina (Nummenmaa 2006, 167). Toistettujen mittausten t -testi on parametrinen testi ja sen edellytyksenä on, että muuttujat ovat normaalisti jakautuneet. Toistettujen mittausten t -testissä tarkastellaan havaintoparien erotusten jakaumaa.

T -arvon suuruus kuvaa ryhmien välistä varianssia ryhmien sisäisiin variansseihin. Mitä suurempi varianssi ryhmien välillä on verrattuna ryhmien sisäisiin variansseihin, sitä enemmän t -arvo kasvaa (t -arvon etuliite on merkitysetön) (Dancey & Reidy 2004, 212).

4.3.3. Merkitsevyystaso

Hypoteesin testaamisessa tälle on annettava numeerinen arvo. Hypoteesin voimassaolevuutta kuvataan tietyllä todennäköisyydellä. Hypoteesi ei koskaan jää voimaan absoluuttisesti (Nummenmaa 2006, 137). P -arvo kuvastaa hypoteesin todennäköisyyttä välillä $[0, 1]$. P -arvo kertoo kuinka suurella todennäköisyydellä vastahypoteesi (H_1) on tosi. Kriittisiksi p -arvoiksi sanotaan arvoja, joita pienemmät toteutumat yleensä puoltavat vastahypoteesin voimassaolevuutta. Yleisimmin käytettyjä kriittisiä p -arvoja ovat seuraavat:

- $P = .001$: hypoteesi pitää paikkansa 99.9% todennäköisyydellä
- $P = .01$: hypoteesi pitää paikkansa 99.0 % todennäköisyydellä
- $P = .05$: hypoteesi pitää paikkansa 95.0 % todennäköisyydellä

Tutkimuksessa käytin kriittisenä p -arvona 5%:n merkitsevyystasoa, joka on Heikkilän (2008, 195) mukaan yleisesti käytetty ja riittävä myös opinnäytetöihin. Tulosten p -arvoista ja hypoteesien todennäköisyyksistä huolimatta yli kriittisen p -arvon jäävä vaihtoehtoinen hypoteesi ei tarkoita etteikö tämä pitäisi paikkansa. Kriittistä p -arvoa lähestyvä tulos on suuntaa antava tulos. Tulosten tilastolliseen merkitsevyyteen voi vaikuttaa mikä vain hypoteesin asettelun ja testimetodin tarkentamisen välillä (Nummenmaa 2006, 137).

4.4. Tutkimuksen luotettavuus ja validius

Tutkimuksen reliabelius eli luotettavuus tarkoittaa tutkimuksen kykyä antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Reliabiliteetillä tässä tutkimuksessa tarkoitetaan tutkimuksen toistettavuutta. Toisin sanoen reliabiliteetti arvioi tulosten pysyvyyttä mittauksesta toiseen (Vilka 2007, 149). Tässä tutkimuksessa luotettavuudella on suuri merkitys, sillä yhtenä tutkimuskysymyksenä oli käytettyjen mittareiden luotettavuuden arviointi. Mittareiden luotettavuus on toistettavuuden kannalta tärkeää.

Simulaattoritestausta varten luotiin toistomittausasetelma, mikä mahdollisti tutkimuksen toistettavuuden koehenkilöiden välillä. Simulaattoritestausta varten valmistetut alustukset tietyille aloitusetäisyyksille ja samoille sääolosuhteille olivat käytettävissä tutkimusta varten verkkokovalevyjen avulla eri WTSAT-virtuaalisimulaattoreissa Rovaniemen ja Kuopion Hävittäjä-lentolaivueissa. Tutkimusryhmä käytti samoja mittareita ja ohjelmistoja jokaisen koehenkilön yhteydessä.

Tutkimuksen validius tarkoittaa tutkimuksen kykyä mitata sitä, mitä tutkimuksessa oli tarkoituskin mitata (Hirsjärvi ym. 2007, 226). Kehittyneet fysiologiset mittauslaitteet tallentavat paljon dataa. Sykevälivaihtelun muutosten osoittaminen kognitiivisen kuormituksen vaihdellessa edellytti oikeiden muuttujien analysoimista.

Triangulaatiota käyttämällä voidaan useilla menetelmillä osoittaa tutkimustulosten validius (Hirsjärvi ym. 2007, 228). Triangulaatiota tässä tutkimuksessa edustaa sekä aika- että taajuuskentän muuttujien analysointi. Triangulaatiota voidaan käsitteenä laajentaa myös tutkijatriangulaatioksi. Tämä tarkoittaa useiden tutkijoiden osallistumista aineiston keräämiseen ja sen tulkitsemiseen ja analysointiin. Tässä tutkimuksessa käytin tutkijatriangulaatiota mittausten jokaisessa vaiheessa validiuden kasvattamiseksi.

4.5. Lähdeteokset

Lähdeteosten tieto on usein vanhentunutta. Tutkimuksessa pyrin käyttämään lähteinä mahdollisimman tuoreita vertaisarvioituja kansainvälisiä julkaisuja. Aiemman tiedon katsotaan kumuloituvan tutkimustietoon ja monilla aloilla tutkimustieto muuttuu nopeasti (Hirsjärvi ym. 2007, 109). Ajankohtaisten tutkimusten käyttäminen lähteinä kasvattaa tutkimuksen luotettavuutta.

Sykevälivaihtelun käyttö tutkimuksissa on lisääntynyt viime vuosina. Sykevälivaihtelu on useasti käytetty metodi autonomisen hermoston vasteiden tulkinnassa eri tieteenalojen tutkimuksissa. P. Simolan (henkilökohtainen tiedonanto 2.9.2014) mukaan tieteellisen laadun takaamiseksi on syytä viitata tieteellisiin vertaisarvioituihin julkaisuihin. Kirjat eivät ole vertaisarvioituja ja siksi olen pyrkinyt pitäytymään tuoreissa tunnettujen tieteellisten aikakausjulkaisujen artikkeliaineistossa vuosilta 1979-2013.

5. SIMULAATTORITESTAUS JA DATAN KERÄÄMINEN

5.1. Koeasetelma

Simulaattorimittauksissa käytettiin Boeingin suunnittelemaa ja valmistamaa WTSAT-virtuaalisimulaattoria (Weapon Tactics and Situational Awareness Trainer) (Kuva 5). Suomen Ilmavoimissa WTSAT-simulaattoria käytetään muun muassa ohjaajien perus- ja jatkokoulutukseen sekä vuosittain lennettävään mittaritarkastuslentoon. Simulaattorin mallinnustarkkuus on hyvä ja sen ohjaamo on yksityiskohtainen jäljennös aidon lentokoneen ohjaamoympäristöstä.

Tutkimusta varten luotiin toistomittausasetelma, jossa koehenkilöt suorittivat kaksitoista kognitiiviselta kuormittavuudeltaan vaihtelevaa Tampere-Pirkkalan lentoaseman ILS- (*eng. Instrument Landing System*) tarkkuuslähestymistä WTSAT-virtuaalisimulaattorilla.

Tutkimusta varten simulaattorin säätötila säädettiin vastaamaan mittarilento-olosuhteita. Kymmenen minuutin keskittuuli säädettiin tulevan suunnasta 320 astetta 10 solmun (kt) nopeudella ja puuskaisuus kohtalaiseksi. Ensimmäisen mittarilähestymisluokan minimien mukaan pilvikorkeus säädettiin 20 metriin ja näkyvyys maan pinnan tasalla 700 metriin mahdollistaen laskeutumisen pääsemisen. Kiihtotien kitka-arvot säädettiin vastaamaan kuivia olosuhteita. Pysäytysvaijerijärjestelmät olivat pois käytössä. Vuorokauden ja vuodenajaksi säädettiin kesäkuun ensimmäisen päivän keskipäivä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla. Jokaista simulaattorilentoa varten simulaattori alustettiin 2000 jalan QNH-korkeuteen (merenpinnan korkeudesta), ILS24Y EFTP -lähestymisen loppulähestymislinjalle ja suuntasäteeseen sekä oikealle lähestymisnopeudelle.

ILS-tarkkuuslähestymisen lentäminen oli vakioitu IAL-kartan (*eng. Instrument Approach and Landing*) mukainen ILS 24Y EFTP -mittarilähestyminen. Simulaattori oli alustettu 9NM:n (*eng. nautical mile*) etäisyydelle kiihtotien kynnyksestä. Koehenkilöitä ohjeistettiin lentämään vakioitua lähestymisnopeutta 146 solmua.

Häiriöttömän lähestymisen jälkeen koehenkilöt lensivät 11 etäisyydeltään vaihtelevaa ILS-tarkkuuslähestymistä, joilla manipuloitiin työn vaatavuutta ja siten kuormitusta. Kokeissa koehenkilöiden tehtävänä oli lentää ILS-tarkkuuslähestyminen mahdollisimman tarkasti ja suorittaa samalla hävittäjälentämiseen keskeisesti liittyvät lisätehtävät. Jokainen koe alkoi eri etäisyydeltä kosketuskohdasta ja päättyi laskeutumiseen tai laskeutumisyriytykseen. Wickensin

ja Baddeleyn mallien mukaan (ks. Wickens 1981; Baddeley 1992) lentotehtävien vaativuutta varioitiin muuttamalla aloitusetäisyyttä kosketuskohdasta. Tämä vaikutti lisätehtävien suoritukseen käytössä olevaan aikaan, joka kasvatti kognitiivista kuormitusta.

Lisätehtävät olivat huolellisesti valittuja F/A-18-hävittäjän operoimiseen keskeisesti liittyviä tehtäviä. Lisätehtävät sisälsivät muun muassa lennonjohtoelimen kanssa kommunikoimista, ohjaamon kytkimien käyttöä sekä reagoimista välittömiin hätätoimenpiteisiin. Työmuistin kuormittamiseksi lisätehtävät sisälsivät automaatiotason ulkopuolelle jääviä tehtäviä. Nämä sisälsivät muun muassa luku- ja kirjoitustehtävän, jossa ohjaaja joutui kirjoittamaan ja tarkastamaan lähestymiseen oleellisesti vaikuttavia lentokorkeuksia ja radiotaajuuksia.

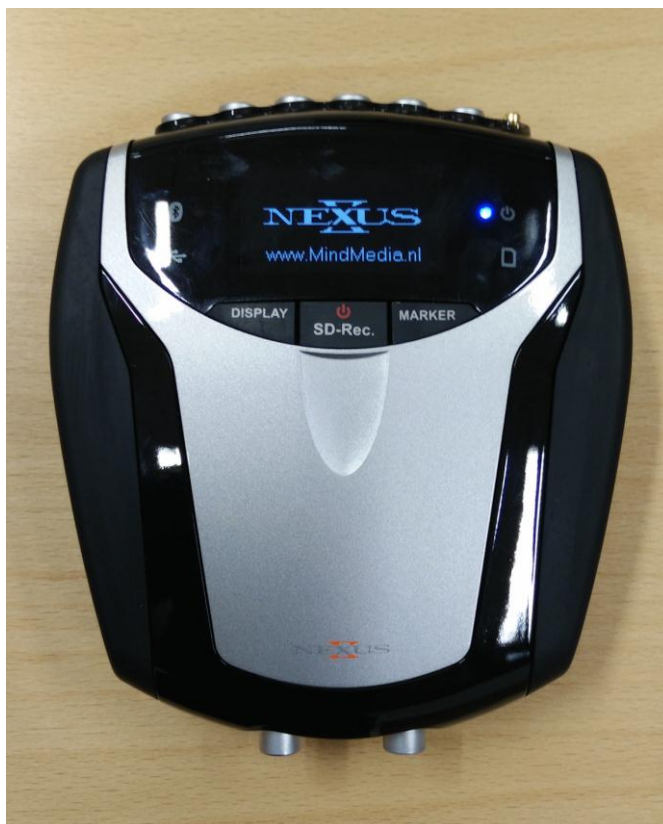
Lisätehtävien ilmenemisjärjestys satunnaistettiin aloitusetäisyyssidonnaiseksi, joten koehenkilöt lensivät kuormitukseltaan yhteneväiset suoritukset. Kuormitukseltaan vaihtelevien lentojen järjestys satunnaistettiin koehenkilöiden välillä. Kommunikointi lennonjohdon kanssa toteutettiin etukäteen valmisteltujen äänitallenteiden avulla. Äänitallenteet laadittiin kansainvälisten ilmailumääräysten mukaan alle sadan sanan minuuttimäärällä. Pällekkäisiä äänitallenteita ei ollut.



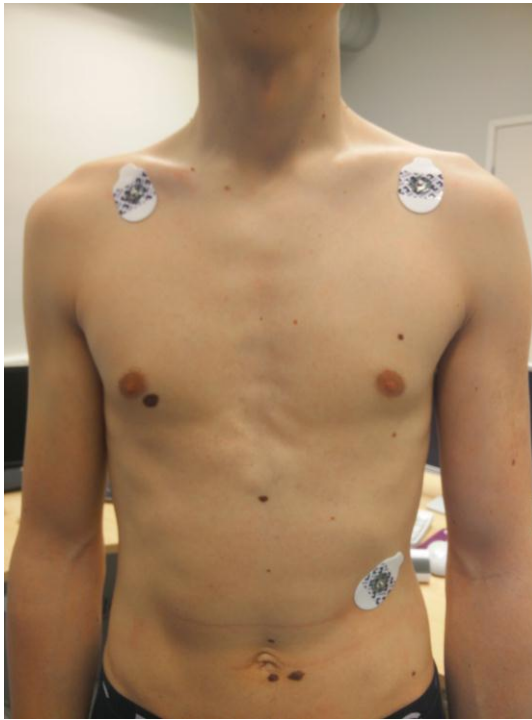
Kuva 5. WTSAT-simulaattori

5.2. Mittausten kulku

Mittaukset suoritettiin hollantilaisen Mind Media™ BV:n valmistamalla lääketieteellisen IIA-sertifioinnin saaneella NeXus-10™ MKII fysiologisella laskenta- ja mittauslaitteella (Kuva 6) tuettuna Biotrace+™ tietokoneohjelmistolla (versio V2012C) (Mind Media BV). EKG nauhoitettiin kolmen 57x34mm elektrodin (Covidien H925G) avulla, jotka kiinnitettiin koehenkilön ylävartaloon (Kuva 7). Negatiivinen elektrodi kiinnitettiin koehenkilön oikean solisluun alapuolelle, positiivinen elektrodi alimman vasemman kylkiluun alapuolelle ja maadoitus vasemman solisluun alapuolelle. EKG-mittaus elektrodeilla ylävartalosta mahdollisti tutkittavien liikkumisen simulaattorin ohjaamossa ja paremman mittausresoluution kuin esimerkiksi sormenpäähän sijoitettava veren määrää kudoksessa mittaavalla anturilla. Koehenkilöiden mukaan elektrodit eivät häirinneet suoritusta. Sykemittausten lisäksi koehenkilöiltä kysyttiin simulaattorilentojen jälkeen kuormittavuuden määrää subjektiivisilla NASA-TLX- (*eng. National Aeronautics and Space Administration Task Load Index*) ja MCH- (*eng. Modified Cooper Harper Scale*) lomakkeilla (Hart & Staveland 1988; Wierwille & Casali 1983). Subjektivisten kuormituslomakkeiden tulokset raportoidaan osana toista tutkimusta.



Kuva 6. NeXus 10mkII



Kuva 7. Elektrodit kiinnitetty koehenkilöön

Yhden koehenkilön tutkimus kesti noin kaksi tuntia sisältäen kolmen elektrodin kiinnittämisen ja simulaattorilentojen väliset alustukset. Simulaattoritestaus vaati kaksihenkisen tutkimusryhmän. Toinen operoi simulaattoria ja toinen käytti NeXus-mittauslaitteistoa sekä siihen yhdistettyä tietokonetta Biotrace-ohjelmistoinen.

Koehenkilöt saivat harjoitella lisätehtävät kertaalleen ennen testisuorituksia. Jokainen lisätehtävä oli prioriteetiltaan samanarvoinen, näin ollen ohjaajan oli pyrittävä reagoimaan kaikkiin lisätehtäviin.

Kahdentoista mittaussuorituksen välillä oli noin kahden minuutin tauko, minkä aikana simulaattorin asetukset valmisteltiin seuraavaa suoritusta varten. Koehenkilöt täyttivät tällä välin subjektiiviset NASA-TLX- ja MCH-lomakkeet kognitiivisen kuormituksen tuntemuksistaan.

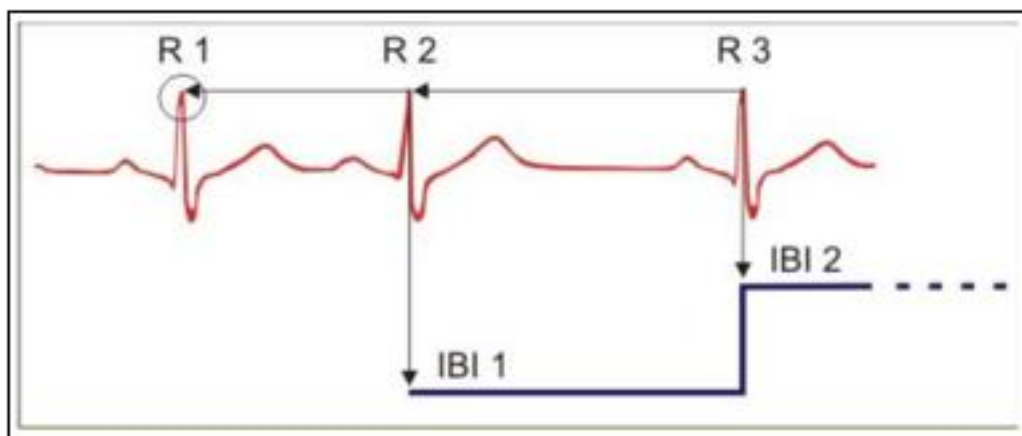
Tutkimuksessa tarkastelen vertailukohtana ILS-lähestymistä ja 9NM:n etäisyyden simulaattorirajojen sykevälivaihtelua kognitiivisen kuormituksen kasvaessa sekä vertailen näitä keskenään. Lisäksi tarkastelen molempien lentojen muuttunutta kognitiivista kuormitusta suhteessa mitattuun lepoarvoon (LEPO). Sekä ILS- että 9NM:n -lentojen EKG-nauhoitteista valitsin kolmen minuutin pituiset näytteet. Aikakenttämenetelmän tapauksessa vertailtavien tallenteiden yhteneväinen ajallinen kesto on oleellista, sillä on harhaanjohtavaa vertailla kestoiltaan eri

kestoisia mittausjaksoja (Xhyheri ym. 2012). ILS- ja 9NM:n lento olivat kestoiltaan kolmen minuutin mittaisia mahdollistaen näiden keskinäisten EKG-jaksojen tarkastelun.

5.4. Analyysiohjelmitot

Mind Median TM BioTrace+ TM -tietokoneohjelmistolla (versio V2012C) nauhoitettiin Ne-Xus-10 MkII -laitteesta tuleva data. BioTrace+ TM ohjelmasta saadut aika- ja taajuuskentän muuttujien arvot sijoitin Microsoft TM excel-tiedostoon (Excel 2010). Excel:stä siirsin datan IBMTM SPSSTM Statistics -ohjelmistoon (Statistical Package for the Social Sciences versio 20) tilastollista analyysiä varten.

Tilastollista analyysiä varten IBI-data normalisoitiin poistamalla virrehavainnot elektrokardiogrammista. Virrehavainnointia sisältävät näytteet tuottavat epävarmoja arvoja (Thought Technology Ltd. 2010). Epämääräiset sykepiikit poistettiin ja analysoin vain näytteiden validin osa. Hylkäämällä tietyt kriteerit ylittävät R-R-intervallit varmistin häiriötekijöiden jäävän mittauksen ulkopuolelle. Mittarit saattavat hikoilusta yms. tekijöistä johtuen jättää nauhoittamatta tiettyjä sydämen lyöntejä tai nauhoittaa ylimääräisiä lyöntejä. Biotrace+ TM ohjelmalla karsin näytteistä ne arvot (*eng. artefact rejection*), jotka ylittivät 25% eron $IBI[n]$ ja $IBI[n-1]$ välillä. EKG nauhoittaa R-R-intervallien (*eng. inter-beat-interval*) sarjaa, joiden signaaleista saadaan johdettua jokaisen intervallin kesto. (KUVA 8)



Kuva 8. Elektrokardiogrammista johdettu IBI-intervalli (Thought Technology 2010)

5.5. Tutkimusjoukko

Kolmekymmentäviisi anonymisti käsiteltävää Suomen Ilmavoimien F/A-18-lentäjää osallistui tutkimukseen. Simulaattorimittaukset toteutettiin toukokuussa 2014 Lapin ja Karjalan lennostoissa. Perusjoukkona oli aktiivisessa laivuepalveluksessa olevat hävittäjälentäjät. Tutkimukseen soveltuvaa lentäjien perusjoukkoa lähestyttiin sähköpostitse noin kaksi kuukautta ennen testausajankohtaa. Otantamenetelmänä käytin ryväsotantaa, joka kohdistui kolmen eri hävittäjälentolaivueen ohjaajiin.

Tutkimus toteutettiin Suomen tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohjeistuksen mukaisesti. Osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen ja koehenkilöillä oli mahdollisuus keskeyttää testaus heidän niin halutessaan.

Testausajankohtana koehenkilöiden keskilentotuntimäärä F/A-18-kalustolla oli 598 tuntia ($\sigma = 445$) ja simulaattorilla 137 tuntia ($\sigma = 37$). Tutkimukseen osallistuvilta kerättiin kirjallinen suostumus. Tutkittavien taustatiedot kerättiin ilmailulääkärin avustuksella laaditulla esitietolomakkeella (Liite 1). Esitietolomakkeella kartoitettiin koehenkilöiden testiä edeltävän 12 tunnin vuorokausirytmisiä sekä nautintoaineiden käyttöä.

Koehenkilöillä oli voimassa oleva Suomen Ilmavoimien lääketieteellinen lentokelpoisuustodistus ja he olivat kykeneviä lentopalvelukseen. Yksi koehenkilö käytti testiajankohtana flunssalääkitystä, joten 34 koehenkilön mitattu data kelpasi tutkimuksen aineistoksi. Kolmen koehenkilön EKG-mittausdatat olivat korruptoituneita ja kelvottomia analysoitavaksi. Tämä johtui todennäköisesti lentohaalarin alle kiinnitettyjen elektrodien tahattomasta irtoamisesta kesken tutkimuksen. Lopulliseksi otoskooksi muodostui 31 ($N=31$).

Harri Rintala toteaa väitöskirjassaan suomalaisten lentäjien olevan keskimäärin hyväkuntoisia ja heidän keskimääräinen fyysinen kuntosensa asettuu koko lentouralla ulkomaisten ilmavoimien nuorimpien ikäluokkien tasolle (Rintala 2012, 97). Sotilaslentäjät suorittavat vuosittaisen kaksiosaisen määräaikaistarkastuksen Ilmavoimissa (Sotilasilmailukäsikirja, Liite 14 2014). Heidän fyysistä kuntoaan voidaan tarkastella maksimaalisen hapenottokyvyn avulla, mitä pidetään yleisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakykyä kuvaavana mittarina (Pihlainen ym. 2011 28). Vuosittain poljettavan polkupyöräergometrin läpipääsyräjä on F/A-18-ohjaajilla 3.4 W/kg ($VO_2\text{max}$ -arvona noin 46 ml/kg/min), mikä kertoo koehenkilöiden keskimääräisestä tai sen paremmasta kestävyyskunnosta (Sotilasilmailukäsikirja, Liite 12 2014).

Tämän lisäksi Rintala tutki väitöskirjassaan sotilaslentäjien fyysistä suorituskykyä kattavasti ja yhtyi aiempiin aihetta käsitelleiden tutkimusten tuloksiin, joissa suorituskyvyn on todettu vastaavan kuormittavimmillaan G-voimien vaikutuksessa maailmanluokan urheilijoiden vaatimuksia (Rintala 2012, 29). Sen sijaan F/A-18-tutkatorjuntatehtävää voidaan pitää fyysiseltä kuormittavuudeltaan huomattavasti kevyempänä psyykkisen kuormittavuuden ollen merkittävästi korkeampi (Haavisto & Oksama 1997).

Sotilasilmalukäsikirjan liite 13 ohjeistaa pidättäytymästä lääkkeiden, alkoholin yms. nautintoaineiden käytöstä ennen lentopalvelusta (Sotilasilmalukäsikirja, liite 13 2014). Rintalan mukaan sotilaslentäjien tupakka- ja nikotiinituotteiden käytön arvellaan olevan keskimääräistä väestöä yleisempää (Rintala 2012), joten toivoimme koehenkilöitä pidättäytymästä piristävän kofeiinin ja nikotiinin käytöstä 12 tuntia koetta edeltävältä ajalta. Nikotiini ja kofeiini vaikuttaa autonomisen hermoston ganglioissa ja keskushermostossa aktivoiden sympaattista hermostoa vaikuttaen LF/HF-suhteeseen (Salaspuro, Kiiänmaa & Seppä 2003; Corti ym. 2002).

6. TULOKSET

6.1. Analyysimenetelmät

Analyysimenetelmänä käytin kahden riippuvan otoksen *t*-testiä, jolla vertasin lepoa, ILS-lentoa ja 9NM:n lentoa keskenään. Tutkimuskysymyksiin vastaan vertailemalla kuormittavuudeltaan erilaisia tilanteita käyttäen sykevälivaihtelun aika- ja taajuuskenttämenetelmän muuttujia. Tässä luvussa esittelen kuuden eri sykevälivaihtelun muuttujien keskiarvot (Taulukko 2), korrelaatiokertoimet (Taulukko 3), sekä *t*-testien tulokset (Taulukko 4).

Taulukko 2

Muuttujien keskiarvot \pm keskihajonta levon, ILS:n ja 9NM:n mittauksissa

HRV-muuttujat	LEPO	ILS	9NM
NNmean [ms]	846,04 \pm 177,2	715,85 \pm 142,4	655,92 \pm 115,1
SDNN [ms]	66,67 \pm 21,1	54,32 \pm 36,6	53,32 \pm 26,5
RMSSD [ms]	41,23 \pm 17,3	29,99 \pm 21,9	33,43 \pm 22,7
LF	4322,16 \pm 3497,7	3006,34 \pm 4305,2	3873,54 \pm 6073,1
HF	2343,4 \pm 2223,2	1255,97 \pm 2903,4	1763,47 \pm 3516,7
LF/HF	2,97 \pm 2,84	5,3 \pm 3,99	5,44 \pm 4,87

Aikakenttäanalyysin muuttujien (NNmean, RMSSD ja SDNN) tarkastelussa mitatut suoritteet saavuttivat hyvin korkean korrelaation toisiinsa. Taajuuskenttäanalyysin tapauksessa LF/HF-suhde saavutti tilastollisesti erittäin merkittävän korrelaation lentojen välillä.

Taulukko 3

Korrelaatiokertoimet

	LEPO - ILS	LEPO - 9NM	9NM - ILS
NNmean	0,846***	0,559***	0,839***
SDNN	0,363*	0,553***	0,773***
RMSSD	0,643***	0,671***	0,680***
LF	0,291	0,218	0,185
HF	0,207	0,411	0,417
LF/HF	0,618***	0,456**	0,603***

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Taulukko 4
Vertailuparien riippuvien otosten t -testit

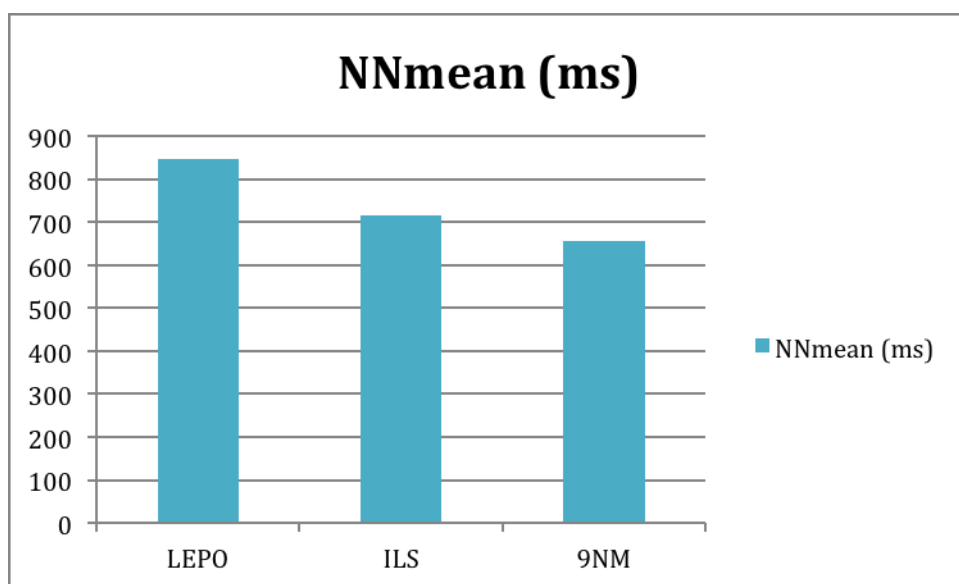
	Pari 1 LEPO - ILS	Pari 2 LEPO - 9NM	Pari 3 ILS - 9NM
NNmean	$t(30) = 7,62^{***}$	$t(30) = 7,14^{***}$	$t(30) = 4,3^{***}$
SDNN	$t(30) = 1,81$	$t(30) = 2,99^{**}$	$t(30) = 0,22$
RMSSD	$t(30) = 3,65^{***}$	$t(30) = 2,56^{**}$	$t(30) = 1,1$
LF	$t(30) = 1,56$	$t(30) = 0,4$	$t(30) = 0,71$
HF	$t(30) = 1,85$	$t(30) = 0,98$	$t(30) = 0,81$
LF/HF	$t(30) = 4,12^{***}$	$t(30) = 3,15^{***}$	$t(30) = 0,20$

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

6.2. Aikakenttämenetelmä

6.2.1. NNmean

R-R-intervallien keskiarvojen (NNmean) tarkastelun perusteella voidaan kuormittavuutta pitää selkeästi nousujohteisena levon, ILS:n ja 9NM:n lentojen tarkastelussa. Levossa R-R-intervalli on pisin ja kuormituksen kasvaessa sykevälivaihtelu eli R-R-intervalli pienenee. Kuvassa 8 tämä näkyy R-R-intervallien keskiarvon laskevan levon, ILS:n ja 9NM:n välillä. QRS-kompleksi lyhenee millisekunneissa kuormituksen kasvaessa asteittain.



Kuva 8. R-R-intervallien ka:n pieneminen suhteessa kuormituksen kasvuun

Tilastollisesti kahden riippuvan otoksen t -testin tulokset ovat erittäin merkitseviä ($p < 0.001$) jokaisen vertailuparin tapauksessa (Taulukko 5). Ensimmäinen parivertailu (Pari 1) tehtiin levon ja ILS:n välillä. Toinen pari (Pari 2) levon ja 9NM:n välillä ja kolmas (Pari 3) itse lentojen, ILS:n ja 9NM:n välillä. R-R-intervallit käyttäytyivät kaikkien mittausparien mukaan vastahypoteesin (H_1) mukaisesti.

Taulukko 5
T-testi NNmean

	Havaintoparien erotukset				df	t
	Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
			Alaraja	Yläraja		
Pari 1 LEPO - ILS	130,19	95,07	95,32	165,06	30	7,62***
Pari 2 LEPO - 9NM	190,13	148,33	135,72	244,53	30	7,14***
Pari 3 9NM - ILS	-59,94	77,68	-88,43	-31,44	30	-4,30***

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Toistettujen mittausten t -testi (Taulukko 5) antaa vasemmalta oikealle lukien parien keskiarvojen erotuksen ($mean$), t -arvon (t), vapausasteet (df) sekä p -arvon ($Sig. (2-tailed)$).

6.2.2. SDNN

Tilastollisesti merkitsevä vastahypoteesiä (H_1) tukeva ero sykevälivaihtelun keskihajonnassa saatiin levon ja 9NM lennon välille ($p < 0.006$). Muiden parien välillä t -testi ei osoittanut SDNN:n muuttuvan tilastollisesti merkittävästi (Taulukko 6).

Taulukko 6
T-testi SDNN

	Havaintoparien erotukset				df	t
	Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
			Alaraja	Yläraja		
Pari 1 LEPO - ILS	11,33	34,97	-1,48	24,17	30	1,81
Pari 2 LEPO - 9NM	12,35	23,02	3,90	20,79	30	2,99*
Pari 3 9NM - ILS	-1,00	24,89	-10,13	8,13	30	-0,22

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Intervallien keskihajonnan tarkastelussa suurimman tilastollisen merkitsevyyden saavutti levon ja kuormittavimman 9NM:n lennon parametrien vertailu. Otosten keskiarvojen ero on 12,35 ja 95% luottamusvälillä ryhmien välinen ero on 3,9 ja 20,8 välissä. $T(30) = 2,99$ saavutti p -arvon $<0,006$.

SDNN-arvojen vertailussa oli kuitenkin havaittavissa vastahypoteesin (H_1) mukainen trendi kuormittavuuden kasvun suhteen. Intervallien keskihajonnat osoittivat LEVON olevan vähiten kuormittava ja 9NM:n olevan kuormittavin. SDNN-muuttujien väliset t -testit lähestyivät tilastollista merkitsevyyttä ($p < 0,1$) (Taulukko 3).

6.2.3. RMSSD

Tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittiin lepoa verrattaessa ILS-lentoon ($p < 0,001$) sekä 9NM:n lentoon ($p < 0,016$). Sen sijaan kognitiivisen kuormituksen muutos ei tuottanut tilastollista merkitsevyyttä ILS-lennon ja 9NM:n lennon välille ($p < 0,293$) (Taulukko 7). Lentojen keskinäinen vertailu (Pari 3) ei osoittanut RMSSD:n muuttuvan tilastollisesti merkittävästi.

Taulukko 7
T-testi RMSSD

	Havaintoparien erotukset				df	t
	Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
			Alaraja	Yläaraja		
Pari 1 LEPO - ILS	11,24	17,13	4,96	17,52	30	3,65***
Pari 2 LEPO – 9NM	7,80	16,98	1,57	14,03	30	2,56**
Pari 3 9NM - ILS	-3,44	17,89	-10,00	3,13	30	-1,07

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

6.3. Taajuuskenttämenetelmä

6.3.1. LF

T-testit mitattavien parien välillä eivät tuottaneet tilastollista merkitsevyyttä LF-muuttujan osalta (Taulukko 8). Pienin *p*-arvo saatiin parin 1 *t*-testissä ($p < 0.129$).

Taulukko 8
T-testi LF

	Havaintoparien erotukset				df	<i>t</i>
	Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
			Alaraja	Yläaraja		
Pari 1 LEPO - ILS	1315,82	4689,41	-404,27	3035,91	30	1,56
Pari 2 LEPO – 9NM	448,61	6312,50	-1866,83	2764,06	30	0,40
Pari 3 9NM - ILS	-867,20	6764,74	-3348,53	1614,12	30	-0,71

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

6.3.2. HF

Lähimmäksi merkitsevää *p*-arvoa päästiin verratessa lepoa ja ILS-lentoa ($p < 0.074$). Muut mittausparit eivät korreloineet vastahypoteesin (H_1) kanssa (Taulukko 9).

Taulukko 9
T-testi HF

	Havaintoparien erotukset				df	<i>t</i>
	Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
			Alaraja	Yläaraja		
Pari 1 LEPO - ILS	1087,46	3271,20	-112,42	2287,35	30	1,85
Pari 2 LEPO – 9NM	579,96	3299,27	-630,22	1790,15	30	0,98
Pari 3 9NM - ILS	-507,50	3503,95	-1792,76	777,76	30	-0,81

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

6.3.3. LF/HF

T-testien tulosten mukaan levon ja lentojen välille saatiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ja merkitsevä ero p -arvojen ollen ($p < 0.000$) ja ($p < 0.004$). Kuten muidenkin muuttujien tapauksessa kuormittavuus ei näkynyt merkitsevänä tekijänä ILS:n ja 9NM:n lennon keskinäisessä vertailussa (Taulukko 10). Taulukon 3 tarkastelun mukaan LF/HF-suhde kuitenkin kasvoi lentotehtävien työkuorman kasvaessa.

Taulukko 10
T-testi LF/HF

		Havaintoparien erotukset				df	t
		Keskiarvo	Keskihajonta	95% Luottamusväli			
				Alaraja	Yläraja		
Pari 1	LEPO - ILS	-2,33	3,15	-3,49	-1,18	30	-4,12***
Pari 2	LEPO – 9NM	-2,47	4,38	-4,08	-0,87	30	-3,15***
Pari 3	9NM - ILS	-0,14	4,02	-1,62	1,33	30	-0,20

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

LF/HF-suhdetta vertailtaessa levon ja lentosuoritusten välillä (Pari 1 & Pari 2) saatiin tilastollisesti erittäin suurella merkitsevyydellä ($p < 0,004$) osoitettua kuormituksen kasvavan levon ja lentojen välillä.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa työkuormaa manipuloitiin Wickensin moniresurssi- ja Baddeleyn työmuistimallin (ks. Wickens 1981 & Baddeley 1992) mukaisesti. Vaihteleva työn vaativuus ja kognitiivisen kuormituksen taso aiheuttivat muutoksia sykevälivaihtelussa. Kognitiiviselta kuormitukseltaan eriävillä simulaattorilennoilla sykevälivaihtelu käyttäytyi vastahypoteesin (H_1) mukaisesti. Tilastolliset testit tukivat vastahypoteesia tutkimukselle annetun merkitsevyystason rajoissa ($p < 0.05$), joten nollahypoteesi (H_0) voidaan kumota.

Virtuaalisimulaattoriympäristössä kolmen eri kuormitustason sykevälivaihtelun tarkastelussa löytyi vastahypoteesia (H_1) tukevia tuloksia. Aikakenttämenetelmän analyysissä NNmean- ja RMSSD-muuttujat tukivat vastahypoteesia, kun taas SDNN-muuttuja lähestyi tilastollista merkitsevyyttä. Taajuuskenttämenetelmän analyysissä LF/HF-suhde tuki vastahypoteesia tilastollisesti merkitsevästi.

8. POHDINTA

Kognitiiviselle kuormitukselle ja tämän kasvulle on keskeistä löytää konkreettinen fysiologinen mittari, mitä voidaan jatkossa hyödyntää arvioidessa ohjaajien suorituskykyä ja tehtäväkohtaisia vaatimuksia suorituskyvyn varmistamiseksi. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia sydämen sykevälivaihtelun muutoksia kognitiiviselta kuormitukseltaan vaihtelevien F/A-18-virtuaalisimulaattorilla suoritettujen lentotehtävien aikana. Tutkimuskysymyksiin vastattiin simulaattoritestauksessa kerättyjen tulosten avulla. Sykevälivaihtelu laskee kognitiivista kuormitusta kasvatettaessa.

Tutkimuksessa saadut tulokset käyttäytyivät odotetulla tavalla ja tukivat aiempien tutkimusten tuloksia. Saatujen tulosten perusteella on ilmeistä, että sykevälivaihtelu soveltuu kuormituksen mittaamiseen lentosimulaattorissa. Tutkimus osoitti sykevälivaihtelun aikakenttämenetelmän antavan tilastollisesti erittäin merkitseviä tuloksia koehenkilöiden kognitiivisen kuormituksen muutoksista. Taajuuskenttämenetelmän tulokset osoittivat tilastollisesti merkitseviä eroja levon ja lentotehtävien välisistä kognitiivisen kuormituksen tasoista. Lentotehtävien välisissä vertailuissa sykevälivaihtelun aikakenttämenetelmän muuttujat olivat herkempiä kuin taajuuskenttämenetelmän muuttujat.

Mahdollisimman autenttisen ja objektiivisen tutkimusympäristön luominen virtuaalisimulaattoriympäristössä on haastava tehtävä. Hävittäjälentäminen tutkimusympäristönä on äärimmäisen kompleksi, sillä lentotehtävän suoritukseen vaikuttavia tekijöitä on suuri määrä. WTSAT-simulaattorista puuttuva todellinen riski ja vaaran elementti ei kuitenkaan vaikuta sykkeeseen lentämisen aikana (Roscoe 1993, 1062). Simulaattorin ominaisuudet ja mahdollisimman autenttinen tehtävä- ja ohjaamoympäristö kertovat luotettavasti autonomisen hermoston käyttäytymisestä lentotehtävän aikana.

Kaikkia koeasetelmaan vaikuttavia tekijöitä ei kuitenkaan voitu kontrolloida. Esimerkiksi tekniset ongelmat pitkien mittausjaksojen aikana eivät käytännössä mahdollistaneet identtisiä olosuhteita kaikille koehenkilöille. Tämä saattoi vaikuttaa koehenkilöiden palautumisaikoihin mittausjaksojen välillä.

Tutkimuksen suunnittelussa on käytettävä suurta huolellisuutta ja siihen on allokoitava riittävästi aikaa. Tutkimusjakso pitää suunnitella niin tehokkaaksi ja lento dynaamiseksi minimoiden lentämisessä ilmenevät vaihtoehdot tehtävän toteuttamiselle, että testeistä saadaan mahdollisimman yhteneväinen kaikille koehenkilöille.

Mielenkiintoisena yksityiskohtana on koehenkilöiden oppiminen simulaattoritestauksen aikana. Simulaattorialustuksia oli yhteensä kaksitoista kappaletta. Suomalaiset hävittäjälentäjät on koulutettu rajallisilla lentotuntimäärillä, mitkä asettavat korkeat vaatimukset oppimiselle. Vaikka suoritustasoa ei tässä tutkimuksessa tarkastellakaan, simulaattoritutkimusta tehdessä oli mahdollista havaita koehenkilöiden oppimista ja kehittymistä. Kun kapasiteettia vapautuu oppimisen ja kehittymisen myötä, kuormittavuuden tuntemus laskee. Tutkimukseen valitsin kuormittavuudeltaan kaksi hyvin erilaista lentoa, joten tätä aspektia ei mittareiden luotettavuustestissä huomioitu.

Kuten muissakin aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, voidaan osa koehenkilöiden tuloksista hylätä epävalidin datan myötä. Taajuskenttäanalyysissä esimerkiksi HF-alueen sykevälivaihtelu voi kontaminoida LF-alueen sykevälivaihtelun (Miyake 2000). Tutkimuksen otoskoko pitää suunnitella riittävän isoksi, jotta mahdolliset epävalidit sykedatat voidaan hylätä tämän vaikuttamatta tutkimuksen luotettavuuteen.

Ryväsotanta tutkimukseen kelpuutetusta perusjoukosta on mielestäni eräs tutkimuksen vahvuuksista. Perusjoukko on verrattain homogeeninen, sillä koulutustausta on vertailukelpoinen koehenkilöiden välillä.

Dynaamisessa testausympäristössä kontrolloimattomia muuttujia on väistämättä läsnä. Useilla eri konetyypeillä uransa aikana lentäneillä koehenkilöillä on hyvä tieto- ja taitotaso kyseisestä mittarilähestymismenetelmästä ja heidän tilannetietoisuutta voidaan pitää hyvänä tehtävän suorittamiseen. Rasmussenin mukaan taidon kehittyminen on kolmiportaista: kognitiivinen, assosiaatio- ja automaatiotaso (Rasmussen 1983). Koehenkilöiden suuri otanta ja vaihteleva kokemustaso F/A-18-kalustolla vaikutti heidän oppimiseensa simulaattoritestin aikana. Sorsa ja Vapaavuori (2002, 137) toteavat koulutuksen ja kokemustason vähentävän kuormitusta. Kokemustason karttuessa motoriset suoritukset tulevat automaatioiksi ja laskevat kuormitustasoa. Näin ollen kokemattomat ohjaajat saattavat kokea tietyn tehtävän vaativammaksi ja kognitiivisesti kuormittavammaksi kuin kokeneemmat ohjaajat. Toisaalta, nuoremmat ja kokemattomammat ohjaajat saattavat olla fyysiseltä kunnoltaan parempia, joten heidän sykearvonsa voivat korreloida eri tavoin kuormituksen kasvaessa.

Simulaattoritestausasetelma oli vahvasti strukturoitu, mutta tästä huolimatta koehenkilöille jäi mahdollisuuksia vaikuttaa lentojen kulkuun. Esimerkiksi koehenkilöiden henkilökohtaiset ratkaisut siitä, miten priorisoida päällekkäisiä lisätehtäviä ja allokoida näille kognitiivisia resursseja, ei ollut tutkimusryhmän kontrolloitavissa.

Simulaattorilentojen välille ajoittui noin kahden minuutin lepojako. Tätä aikaa ei kuitenkaan voida verrata lentoja edeltäneeseen täydelliseen lepoon. Mittausten välillä koehenkilöt täyttivät subjektiivisia NASA-TLX- ja MCH-lomakkeita osana erillistä tutkimusta sekä käyttivät simulaattorin kytkimiä asettaakseen simulaattorin valmiuteen seuraavaa koetta varten. Lyhyetkin mittausten väliset ajat saattoivat vaikuttaa henkilön tuntemuksiin kuormittumisesta. Kyseisiä lentojen välisiä aikoja ei siis voida käyttää palautumisen tarkasteluun, sillä koehenkilöt eivät olleet häiriöttömässä lepotilassa. Jos tutkimuksen suunnittelu ja aikataulut olisivat mahdollistaneet pidemmän palautumisajan, olisivat tutkittavat päässeet aloittamaan erilliset simulaattorilentonsa lähempänä täydellistä lepotilaa muistuttavasta tilanteesta eikä seuraavan vaiheen valmistelua sisältäneestä välivaiheesta kuten nyt.

Sykevälivaihtelun on tutkitusti todettu olevan luotettava ja soveltuva mittari autonomisen hermoston vasteiden tutkimuksessa. Fysiologiset vasteet kertovat yksilön autonomisen hermoston reaktioista, mikä tekee tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden tulosten keskinäisen vertailun tarpeettomaksi niiden variabiliteetin johdosta (Mukherjee ym. 2011). Koehenkilöiden yksilölliset ominaisuudet kuten ryhti, hengitysrytmi, fyysinen kunto ja lentotaito ovat tekijöitä, joita tässä tutkimuksessa ei huomioida.

Tulevaisuudessa sykevälivaihtelun käyttöä kognitiivisen kuormituksen fysiologisenä mittarina voidaan mielestäni pitää soveltuvana sotilasilmailussa. Jatkoa ajatellen voisi olla tarpeellista tutkia ohjaajien kognitiivisen kuormituksen tasoa taktista ajattelua vaativissa lentotehtävissä. Mielenkiintoista olisi myös tutkia ohjaajien kuormittumista näköetäisyyden sisäpuolella tapahtuvassa ilmataistelussa verrattuna näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvaan pitkän kantanaman taisteluun erilaisissa sääolosuhteissa. Sykevälivaihtelun tarkastelun avulla voisi analysoida myös palautumista suurta ponnistelua aiheuttaneista tilanteista.

9. LÄHTEET

Anderson, J. R. 1974. Retrieval of Propositional Information from Long-Term Memory. *Cognitive psychology* 6, 451-474.

Baddeley, A. 1992. Working Memory. *Science*, Vol. 255.

Baddeley, A. 1996. The fractionation of working memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 93, pp. 1368-13472.

Bathalon, G. P., Falco, C. M., Georgelis, C. A., Lieberman, H. R., Morgan, C. A. III., Niro, P. & Tharion, W. J. 2002. The "Fog of war": Documenting Cognitive Decrements Associated with the stress of combat. 23. Army Science Conference, December, 2002.

Bjälle, J. G., Haug, E., Sjaastad, O. V. & Sand, O. 2011. Ihminen fysiologia ja anatomia. Suom. Hekkanen Raija. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Brookings, J. B., Wilson, G. F. & Swain, C. R. 1996. Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Elsevier* Vol. 42 Issue 3.

Carney, R. M., Blumenthal, J. A., Stein, P. K., Watkins, L., Catellier, D., Berkman, L. F., Czajkowski, S. M., O'Connor, C., Stone, P. H. & Freedland, K. E. 2001. Depression, Heart Rate Variability, and Acute Myocardial Infarction. *Circulation*. 2001;104:2024-2028.

Chu Duc, H., Nguyen Phan, K. & Nguyen Viet, D. 2013. A Review of Heart Rate Variability and its Applications. *Elsevier B.V.* Vol. 7 2013 80-85.

Corti, R., Binggeli, C., Sudano, I., Spieker, L., Hänseler, E., Ruschitzka, F., Chaplin, W. F., Lüscher, T. F. & Noll, G. 2002. Coffee Acutely Increases Sympathetic Nerve Activity and Blood Pressure Independently of Caffeine Content. *Circulation*. 2002;106:2935-2940.

Dancey, C. P. & Reidy, J. 2004. *Statistics Without Maths for psychology*. Edinburgh: Pearson Education Limited 3. painos.

Guyton, A. C. & Hall, J. E. 1996. *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company 9. painos.

Haavisto, M-L. & Oksama, L. 1997. A Task Analysis of F/A-18 pilot in a radar attack mission. Tuusula: Puolustusvoimien koulutuksen kehittämiskeskus.

- Haavisto, M-L. & Oksama, L. 2007. Työ ja ihminen, Kognitiivisen kuormituksen arviointi: esimerkkinä hävittäjälentäjän tehtävä- ja kuormitusanalyysi. Työterveyslaitos 21. vuosikerta.
- Hallman, D. M., Hed-Ekman, A. & Lyskov, E. 2013. Changes in physical activity and heart rate variability in chronic neck-shoulder pain: monitoring during work and leisure time. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hart, S. G. & Staveland, L. G. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research.
- Hayashi, Y., Mitomo, N., Murai, K., Okazaki, T. & Stone, L. C. 2008. Evaluation of Ship Navigator's Mental Workload Using Nasal Temperature and Heart Rate Variability. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
- Heikkilä, T. 2008. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita prima Oy 7. uudistettu painos.
- Henelius, A., Hirvonen, K., Holm, A., Korpela, J. & Müller, K. 2009. Mental Workload Classification using Heart Rate Metrics. 2009 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS Minneapolis, Minnesota, USA, September 2-6.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy 13. painos.
- Horrey, W. J. & Wickens, C. D. 2003. Multiple Resource Modeling of Task Interference in Vehicle Control, Hazard and In-Vehicle Task Performance.
- Ilmavoimien esikunnan operatiivinen osasto. Sotilasilmalukäsikirja 2014 HK818.
- Jorna, P. G. A. M. 1993. Heart rate and workload variations in actual and simulated flight. Ergonomics, vol. 36 no. 9 1043-1054.
- Kalat, J. W. 2007. Biological Psychology, Thomson Wadsworth.
- Karim, N., Hasan, J. A. & Ali, S. S. 2011. Heart Rate Variability - A Review. Journal of Basic Applied Sciences Vol. 7, No. 1, 71-77.
- Kautto, S. 2012. Maastoharjoituksesta palautuminen – Erikoisrajajääkärikomppanian varusmiesten sykemuuttujien havainnointi ennen maastoharjoitusta ja harjoituksen jälkeen. Opinnäytetyö Metropolia Ammattikorkeakoulu Fysioterapeutti (AMK).
- Kleiger, R. E., Stein, P. K. & Bigger, T. Jr. 2005. Heart Rate Variability: Measurement and Clinical Utility. A.N.E. 2005;10(1):88-101.

- Lahtinen T. M. M., Koskelo J. P., Laitinen T. & Leino, T. K. 2007. Heart rate and performance during combat missions in a flight simulator. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78:387–91.
- Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M. & Sanabria, D. 2013. Cognitive Performance and Heart Rate Variability: The Influence of Fitness Level. *PloS ONE* 8(2): e56935. doi:10.1371/journal.pone.0056935.
- Malik, M., Bigger, T. J., Camm, J. A., 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* 17, 354-381.
- Medicore. Heart Rate Variability Analysis System. Clinical Information, Version 3.0.
- Metsämuuronen, J. 2000. SPSS aloittelevan tutkijan käytössä. Võru, Viro: Jaabes OÜ.
- Mindmedia Neuro and Biofeedback Systems, URL: www.mindmedia.info.
- Mind Media BV, NeXus White Paper seires: HRV, 2008-10 V2.1.
- Miyake, S. 2000. Multivariate workload evaluation combining physiological and subjective measures. *International Journal of Psychophysiology*.
- Mukherjee, S., Yadav, R., Yung, I., Zajdel, D. P. & Oken, B. S. 2011. Sensitivity to Mental Effort and Test-Retest Reliability of Heart Rate Variability Measures in Healthy Seniors. *Clinical Neurophysiology* October 2011.
- Myllymäki, T., Kyröläinen, H., Savolainen, K., Hokka, L., Jakonen, R., Juuti, T., Martinmäki, K., Kaartinen, J., Kinnunen, M-L. & Ruko, H. 2010. Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. *European Sleep Research Facility*.
- Nummenmaa, L. 2006. Tilastolliset menetelmät. Helsinki: Tammi
- Pihlainen, K., Santtila, M., Ohrankämmen, O., Ilomäki, J., Rintakoski, M. & Tiainen, S. 2011. Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja. Edita Prima Oy. 2. painos.
- 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.

- Rasmussen, J. 1983. Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, Vol 13, nro. 3.
- Repovš, G. & Baddeley, A. 2006. The Multi-Component Model of Working Memory: Explorations in Experimental Cognitive Psychology. Neuroscience 139 5-21.
- Rintala, H. 2012. Sotilaslenäjän fyysinen suorituskyky sekä työperäiset sekä tuki- ja liikuntaelinoireet. Maanpuolustuskorkeakoulu.
- Roscoe, A. H. 1993. Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assesment. Ergonomics, vol. 36, no. 9, 1055-1062.
- Salaspuro, M., Kiianmaa, K. & Seppä, K. 2003. Fysiologian oppikirjat, Duodecim.
- 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.
- Sekiguchi, C., Handa, Y., Gotoh, M., Kurihara, Y., Nagasawa, Y. & Kuroda, I. 1979. Frequency Analysis of Heart Rate Variability Under Flight Conditions. Aviation, Space and Environmental Medicine.
- Takala, E-P., Ahola, K., Hakkola, M., Hopsu, L., Lankinen, T., Leino, T., Oksa, J. & Sallinen, M. 2008. Työn kuormituksen arvioinnista työn hallintaan. *Työterveyslääkäri* 2, 97– 104.
- Terveiden ja Hyvinvoinnin laitos 2011. Terveys, toimintakyky ja hyvinvointi Suomessa 2011. Toim. Koskinen, S., Lundqvist, A. & Ristiluoma, N. Raportti 68/2012.
- Thought Technology LTD. Basics of Heart Rate Variability applied to psychophysiology. 2010.
- Toiskallio, J. 1998. Sotilaspedagogiikan perusteet. Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. Helsinki: Karisto Oy.
- Toiskallio, J & Mäkinen, J. 2009. Sotilaspedagogiikka: Sotiluuden ja toimintakyvyn teoriaa ja käytäntöä. Helsinki: MPKK.
- Uusitalo, A., Mets, T., Martinmäki, K., Mauno, S., Kinnunen, U. & Rusko, H. 2011. Heart rate variability related to effort at work. Elsevier Applied Ergonomics 42 2011 830-838.

- Vapaavuori E. & Sorsa M. 2005. Lentävä ihminen. Ilmailufysiologian ja –psykologian perusteet ilmailulupakirjoja varten. Helsinki: EDITA.
- Vicente, K. J., Thronton, C. & Moray, N. 1987. Spectral Analysis of Sinus Arrhythmia: A Measure of Mental Effort. Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada. *Human Factors*, 29(2), 171-182.
- Vilkkä, H. 2007. Tutki ja mittaa - Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Tammi.
- Wickens C. D. 1981. Processing Resources in Attention, Dual Task Performance, and Workload Assessment. Engineering-Psychology Research Laboratory. University of Illinois.
- Wickens, C. D. & Hollands, J.G. 2000. *Engineering Psychology and Human Performance*. New Jersey: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y. & Gordon Becker, S. E. 2004. *An Introduction to Human Factors Engineering*. New Jersey: Pearson Education Inc. 2. painos.
- Wierwille, W. W. & Casali, J. G. 1983. A Validated Rating Scale for Global Mental Workload Measurement Applications. Virginia Polytechnics Institute and State University Blacksburg, Virginia 24061.
- Wierwille, W. W., Zaklad, A. L., Bittner, A. C. Jr., Wherry, R. J. Lysaght, R. J., Hill, S. G., Dick, A. O., Plamondon, B. D. & Linton, P. M. 1989. *Operator Workload: Comprehensive Review and Evaluation of Operator Workload Methodologies*. Technical Report 851. United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C. & Bugiardini, R. 2012. Heart Rate Variability Today. *Progress in Cardiovascular Diseases* 55 (2012) 321-331 Elsevier.

10. LIITTEET

Liite 1. Esitietolomake

WTSAT14171A ESITETOLOMAKE Testi pvm

NIMI Tutk# (tutk.ryhmä täyttää)

	(ympyröi oikea)	
	K	E
Käytätkö säännöllisesti nuuskaa?	K	E
Jos käytät, kuinka paljon käytät päivässä?	_____	
Poltatko säännöllisesti tupakkaa?	K	E
Jos poltat, kuinka paljon poltat päivässä?	_____	
Käytätkö säännöllisesti sähkötupakkaa tai muita nikotiinituotteita?	K	E
Jos käytät, kuinka paljon käytät päivässä?	_____	
Käytätkö säännöllisesti kofeiinituotteita (kahvi, tee, suklaa, vast)?	K	E
Jos käytät, kuinka paljon käytät päivässä?	_____	
Energiajuomat (määrä ja merkki):	_____	
Nukkumaanmeno aika koetta edeltävänä iltana?	_____	
Heräämisaika koepäivän aamuna?	_____	
Oliko unen määrä/laatu koetta edeltävänä yönä riittävä?	K	E
Oletko syönyt ja juonut ennen koetta riittävästi?	K	E
Kuinka monta tuntia on kulunut edellisestä ateriasta?	_____	
Oletko tällä hetkellä lentopalveluskuntoinen?	K	E
Onko sinulla rajoitteita lentopalvelukseen osallistumiselle?	K	E
Onko sinulla tällä hetkellä käytössä mitään lääkitystä?	K	E
Oletko nauttinut kofeiini- tai nikotiinituotteita viimeisen 12 tunnin aikana?	K	E
Jos olet, niin kuvaa mitä, koska ja kuinka paljon:	_____	

Pituus ja paino?	_____	

Tutkimusryhmä täyttää alla olevan osuuden

FLH total:

FLH HN: HN FLH viim. 12/3kk: WTSAT FLH total: WTSAT FLH viim. 12/3kk: