

**KESTÄVYYSSUORITUSKYVYN SEKÄ PSYKKISESTI JA FYYSISESTI
KUORMITTAVAN JAKSON YHTEYDET SYKEVÄLIVAIHTELUUN
KADETEILLA**

Jannika Malinen

Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Malinen, J. 2023. Kestävyyssuorituskyvyn sekä psyykkisesti ja fyysisesti kuormittavan jakson yhteydet sykevälivaihteluun kadeteilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, (liikuntafysiologia) kandidaatin -tutkielma, 42 s.

Kadettikoulun oppilaat ja sotilashenkilöstö altistuvat koulutuksessaan ja työssään useille kuormittaville tekijöille. Sykevälivaihtelulla voidaan arvioida autonomisen hermoston tilaa ja se voi tarjota tärkeää tietoa yksilön kuormittuneisuudesta. Kestävyyssuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteydestä löytyy paljon sitä puoltavaa tutkimusnäyttöä. Myös kestävyysharjoittelun on todettu kasvattavan sykevälivaihtelua. Tätä vastoin niin fyysisen kuin myös psyykkisen stressin on osoitettu laskevan sykevälivaihtelua. Kuitenkin sotilaskontekstissa tehdyissä tutkimuksissa raskaiden useita stressitekijöitä sisältävien taistelun ja maastoharjoitusten on todettu myös kasvattavan sykevälivaihtelua.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kestävyysuorituskyvyn yhteyttä kadettikoulun miesoppilaiden sykevälivaihteluun sekä tutkia maastossa suoritettua 12 päivän psyykkisesti ja fyysisesti raskaan taistelu- ja johtamisharjoituksen vaikutuksia sykevälivaihteluun. Lisäksi tutkittiin sykevälivaihtelun muutoksen sekä Cooperin testillä arvioidun kestävyysuorituskyvyn yhteyttä. Tutkimus toteutettiin osana suurempaa Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen, Turun yliopiston, Turun ammattikorkeakoulun sekä Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun yhteistyötutkimusta.

Tutkittavina toimi 37 Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun ensimmäisen tai toisen vuosikurssin kadettia. Tutkittavilta oli aikaisemmin mitattu Cooperin testitulokset Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun toimesta, joko 2023 syksyllä tai keväällä pääsykokeiden yhteydessä. Sykevälivaihtelua mitattiin lyhyellä 6 minuutin mittauksella istuallaan silmät auki sekä ennen että jälkeen 12 päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen. Kestävyyssuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyttä tutkittiin korrelaatiokertoimilla sekä jakamalla tutkittavat korkeamman ja matalamman suorituskyvyn ryhmiin Cooperin testin tulosten mediaanin (2810 m) perusteella. Sykevälivaihtelun muutoksen ja kestävyysuorituskyvyn yhteyttä tutkittiin korrelaation avulla.

Tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun välillä eikä eroja korkeamman ja matalamman ryhmän sykevälivaihtelun muuttujissa. Sen sijaan 12 päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena parasympaattisen hermoston aktiivisuudesta kertovat sykevälivaihtelun muuttujat RRi ($p=0,026$), RMSSD ($p=0,018$) ja HF ($p=0,031$) kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi. Sykevälivaihtelun muutoksen ja kestävyysuorituskyvyn välillä ei havaittu korrelaatiota.

Sykevälivaihtelun kasvu raskaan harjoituksen seurauksena heijastelee parasympaattisen hermoston suurempaa aktiivisuutta ja sen voidaan mahdollisesti pohtia olevan seurausta äärimmäisestä univajeesta ja niin kutsutusta ”parasymphathetic rebound” -efektistä. Kestävyyssuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun väliltä ei löydetty yhteyksiä, joka voi johtua muun muassa tutkittavien motivaatiosta suorittaa Cooperin testi niin hyvin kuin he pystyivät sekä mahdollisesta kestävyyskunnan parantumisesta kevästä syksyyn. Nämä ovat voineet vaikuttaa siihen, että erot kestävyyskunnossa eivät ole tutkittavien välillä tulleet esille.

Asiasanat: sykevälivaihtelu, kestävyysuorituskyky, autonominen hermosto, psyykkinen stressi, fyysinen stressi, univaje

KÄYTETYT LYHENTEET

HRV	Sykevälivaihtelu
RRi	RR-intervallien aika
SDNN	Sykevälien keskihajonta
RMSSD	Neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta
LF	Matalataajuinen sykevälivaihtelu (0,04–0,15 Hz)
HF	Korkeataajuinen sykevälivaihtelu (0,15–0,4 Hz)

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 SYDÄN JA SYKEVÄLIVAIHTELU.....	2
2.1 Sydämen toiminta.....	2
2.2 Autonominen hermosto sydämen toiminnan säätelijänä.....	3
2.3 Sykevälivaihtelu ja sen mittaaminen.....	4
3 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY JA SYKEVÄLIVAIHTELU.....	6
3.1 Kestävyys suorituskyky.....	6
3.2 Kestävyys suorituskyvyn yhteydet sykevälivaihteluun.....	7
4 PSYKKISEN JA FYYSISEN KUORMITUKSEN VAIKUTUS SYKEVÄLIVAIHTELUUN	12
4.1 Stressi fysiologisesta näkökulmasta	12
4.2 Stressi psykologisesta näkökulmasta.....	13
4.3 Kuormituksen vaikutus sykevälivaihteluun	14
4.4 Ääriolosuhteet ja sykevälivaihtelu.....	17
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESET	19
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	21
6.1 Tutkittavat.....	21
6.2 Tutkimusasetelma.....	22
6.3 Aineiston keruu ja mittaukset.....	23
6.4 Tilastolliset menetelmät.....	23
7 TULOKSET	25
8 POHDINTA.....	29
8.1 Kestävyys suorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteys	29
8.2 Kovan kuormituksen vaikutus sykevälivaihteluun ja kestävyys suorituskyvyn yhteys HRV:n muutokseen.....	30

8.3 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet sekä jatkotutkimusaiheet.....	33
8.4 Yhteenveto.....	36
LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Sotilashenkilöstö altistuu työssään ja opiskeluaikanaan monille kuormittaville tekijöille, joskus jopa pitkäkestoisesti. Yksilöiltä vaaditaan sekä fyysistä että psyykkistä kestävyyttä, ja toimintakyvyn ylläpitäminen on välttämätöntä (Valintaopas, Maanpuolustuskorkeakoulu 2023, 7). Kestävyysuorituskyky on keskeinen osa kadettien koulutusta, ja Maanpuolustuskorkeakouluun päästäkseen onkin kyettävä muun muassa suorittamaan vähintään 2600 metriä Cooperin juoksutestissä (Valintaopas, MPKK 2023, 47). Hyvä kestävyysuorituskyky auttaa elimistöä sietämään fyysisen kuormituksen aiheuttamaa väsymystä (Nummela 2004), jota kadetit varmasti kohtaavat erilaisissa koulutukseensa kuuluvissa harjoituksissa.

Toisinaan fyysinen ja psyykinen kuormitus voi käydä liian suureksi ja aiheuttaa stressiä, joka voidaan luonnehtia ihmisen elimistön tasapainoa horjuttavaksi tilaksi (Schneiderman ym. 2005). Kadeteille stressiä voi aiheuttaa muun muassa psyykkisesti ja fyysisesti kuormittavat taisteluharjoitukset, epävarmuudessa toimiminen, univaje sekä esimerkiksi pitkät fyysisesti raskaat marssit. Autonominen hermosto on olennaisessa asemassa stressin ilmenemisessä, ja sitä voidaan arvioida muun muassa sykevälivaihtelulla, jolla tarkoitetaan sydämen lyöntien välisen ajan vaihtelua. Sen voidaan ajatella kertovan sydämen ja hermoston kyvystä vastata erilaisiin fyysisiin, psyykkisiin ja ympäristön aiheuttamiin kuormitustekijöihin. (Kim ym. 2018; Shaffer & Ginsberg 2017) Sotilaskontekstissa tehtyjä tutkimuksia erilaisten kuormitustekijöiden vaikutuksesta sykevälivaihteluun on tehty kohtalaisen vähän. Sykevälivaihtelun avulla voidaan tutkia sotilashenkilöstön kuormittuneisuutta ja palautumista harjoituksista (Corrigan ym. 2023; Jouanin ym. 2004), tarjoten mahdollisuuden auttaa optimoimaan harjoituksia niin, että mahdollisimman hyvä toimintakyky voidaan säilyttää.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Cooperin testillä arvioidun kestävyysuorituskyvyn yhteyttä sykevälivaihteluun kadettikoulun miesoppilailla. Lisäksi tutkitaan fyysisesti ja psyykkisesti raskaan taistelu- ja johtamisharjoituksen vaikutusta sykevälivaihteluun sekä sykevälivaihtelun muutoksen yhteyttä kestävyysuorituskykyyn.

2 SYDÄN JA SYKEVÄLIVAIHTELU

Sydän on lihas, joka koostuu kahdesta puoliskosta. Ne molemmat koostuvat eteisestä ja kammioista. Eteiset toimivat ikään kuin hetkellisinä veren vastaanottajina, joihin veri saapuu ennen kuin se siirtyy kammioihin. Oikean eteisen tehtävänä on siirtää elimistöstä palaava vähähappinen veri oikeaan kammioon ja sitä kautta keuhkoverenkiertoon. Vasen eteinen vastaanottaa runsashappisen veren keuhkoverenkierrosta ja siirtää sen vasemman kammion kautta suureen verenkiertoon. (Hall & Hall, 2021, 113–120)

Sydämen toiminnan ymmärtäminen on tärkeää, jotta sykevälivaihtelun muutoksia osataan tulkita. Seuraavissa kappaleissa esitellään sydämen ja autonomisen hermoston toimintaa sekä sykevälivaihtelua, sen mittaamista ja analysointia.

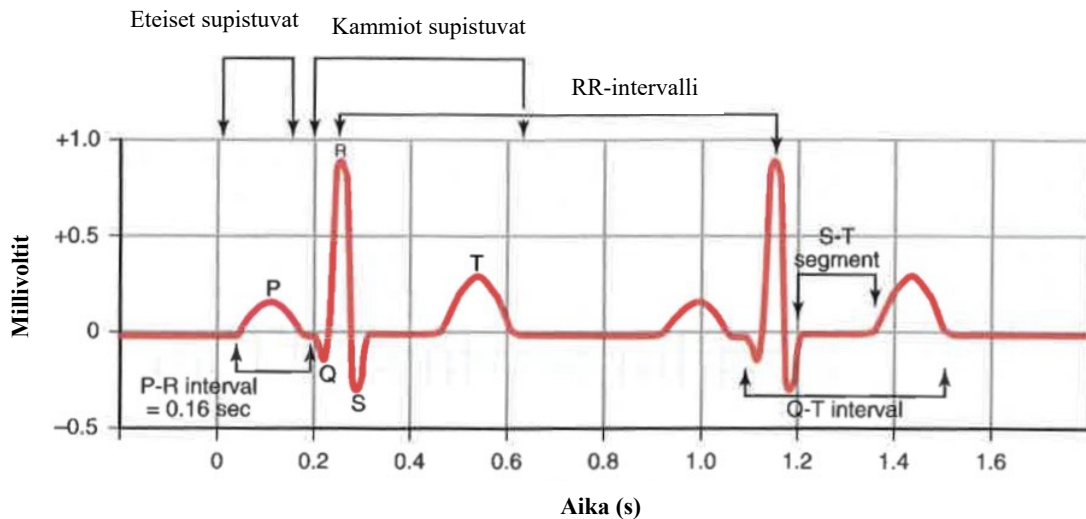
2.1 Sydämen toiminta

Sydämen sykllillä tarkoitetaan yhden lyönnin aikaisia toimintavaiheita, jotka ovat supistumisvaihe eli systole, sekä täyttymisvaihe eli diastole. Systolen aikana kammiot pumppaavat veren eteenpäin elimistöön ja eteiset keräävät veren. Diastolen aikana kammiot rentoutuvat ja alkavat täytyä taas verestä. (Hall & Hall, 2021, 117–119) Näitä toimintajaksoja, eli lyöntien määrää minuutissa, kutsutaan sykkeeksi. Aikuisen keskimääräinen syke levossa on noin 70 lyöntiä minuutissa. Leposyke on kuitenkin hyvin yksilöllinen ja voi aikuisella vaihdella jopa 50–90 lyönnin välillä. (Leppäluoto ym. 2019, 138)

Sydämen normaalista rytmistä eli sinusrytmistä huolehtii sydämen sähköinen johtoratajärjestelmä. Tällöin lyönnin käynnistää spontaani aktiopotentiaali, joka alkaa oikean eteisen yläosassa sijaitsevasta sydämen luontaisesta tahdistimesta, sinussolmukkeesta. Sinussolmukkeesta aktiopotentiaali leviää molempiin eteisiin, jonka seurauksena ne supistuvat. Tämän jälkeen se kulkeutuu AV-solmukkeeseen (eteis-kammiosolmuke), joka sijaitsee eteisten ja kammioiden rajalla. AV-solmukkeen tehtävä on hidastaa aktiopotentiaalin leviämistä kammioihin, jotta ne ehtivät täytyä. Viimeisenä aktiopotentiaali kulkee AV-solmukkeesta Hisin kimppuun, jonka jälkeen johtorata haarautuu oikeaan ja vasempaan haaraan. Oikea ja vasen haara kuljettavat aktiopotentiaalin molempiin kammioihin, joissa johtoratajärjestelmä jakautuu vielä pienemmiksi haaroiksi eli Purkinjen säikeiksi. Purkinjen säikeitä pitkin

aktiopotentiaali leviää koko kammioiden alueelle, jolloin kammiot supistuvat. (Hall & Hall 2021, 127–130; Leppäluoto ym. 2019, 134–135)

Sydämen toimintavaiheita ja sykettä voidaan tarkastella EKG:n eli elektrokardiogrammin avulla (kuva 1), joka perustuu sydämen sähköisen toiminnan mittaamiseen. EKG:ssä yksi sydämenlyönti muodostuu P-aallosta, QRS-kompleksista sekä T-aallosta. P-aalto muodostuu sydämen eteisten supistumisesta, QRS-kompleksi kuvastaa kammioiden supistumisvaihetta ja T-aalto kammioiden palautumista takaisin lepotilanteeseen. EKG:stä voidaan määrittellä myös kahden sydämenlyönnin välinen aika RR-intervallien avulla, eli kahden R-aallon välisenä aikana millisekunteina. (Hall & Hall 2021, 135–137)



KUVA 1. Elektrokardiogrammi, josta voidaan tarkastella sydämen toimintavaiheita. Mukailtu Hall & Hall (2021, 135).

2.2 Autonominen hermosto sydämen toiminnan säätelijänä

Sydämen toiminnan säätely voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin säätelymekanismeihin. Ulkoiseen säätelyyn osallistuu tärkeimpänä autonominen hermosto. Tämän järjestelmän keskus eli vasomotorinen keskus sijaitsee ydinjatkeen ja aivosillan alueella. Vasomotorinen keskus kerää erilaisten aistivien reseptorien avulla tietoa verenkierron tilasta, sydämen toiminnasta, verenpaineesta ja muusta elimistöstä afferentteja eli tuovia hermoratoja pitkin. Tärkeimpiä aistivia reseptoreja ovat baroreseptorit, jotka lähettävät tietoa esimerkiksi verenpaineen muutoksista, sekä sydämen eteisen venytystä havaitsevat tilavuusreseptorit. Keräämiensä

tietojen perusteella vasomotorinen keskus lähettää sydämen toimintaa kiihdyttäviä tai hidastavia signaaleja efferenttejä eli vieviä hermoratoja pitkin sydämeen. (Leppäluoto ym. 2019, 152–154)

Autonominen hermosto jaetaan sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon, joiden molempien hermosäikeet kulkevat myös sydämeen. Parasympaattinen säätely tapahtuu kymmenennen aivohermon eli Vagus-hermon avulla, ja se vaikuttaa lähinnä sydämen eteisiin. Parasympaattisen hermoston voidaan karkeasti ajatella olevan aktiivisena levossa ja palautuneessa tilassa. Tällöin sen hermopäätteistä vapautuu asetyylikoliinia, joka vaikuttaa sydämen johtoratajärjestelmään hidastaen impulssin muodostusta sinussolmukkeessa ja johtumista AV-solmukkeeseen. Parasympaattinen aktiivisuus hidastaa näin sydämen sykettä. Sympaattinen hermosto taas aktivoituu esimerkiksi fyysisen tai psyykkisen rasituksen seurauksena ja sen hermopäätteistä vapautuu noradrenaliinia, joka mm. nostaa sydämen sykettä ja tekee sydämen lyönneistä voimakkaampia. Sympaattinen hermotus kulkee koko sydämen alueelle ja vaikuttaa näin ollen eteisten lisäksi myös kammioihin. (Hall & Hall 2021, 132; Leppäluoto ym. 2019, 142)

2.3 Sykevälivaihtelu ja sen mittaaminen

Sydämen lyöntien välinen aika ei ole vakio, vaan se vaihtelee tilanteiden mukaan. Sykevälivaihtelulla (HRV = heart rate variability) tarkoitetaan sydämen lyöntien välisen ajan vaihtelua. Tämä lyöntien välisen ajan vaihtelu voidaan yhdistää autonomisen hermoston toimintaan. (Task force 1996) Sympaattisen hermoston aktiivisuus nostaa sydämen sykettä ja vähentää sykevälivaihtelua, kun taas parasympaattinen aktiivisuus vaikuttaa sykkeeseen hidastaen sitä ja kasvattamalla sykevälivaihtelua (Shaffer ym. 2014). Sykevälivaihtelun ajatellaan kertovan sydämen kyvystä vastata useisiin erilaisiin fysiologisiin, psyykkisiin sekä ympäristön aiheuttamiin tekijöihin (Kim ym. 2018). Tällaisia vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi ikä, sukupuoli, vuorokausirytm, hengitysrytmi, infektiot, stressi, fyysinen kuormitus ja elämäntavat (Tiwari ym. 2021). Matala sykevälivaihtelu yhdistetään heikentyneeseen säätelykykyyn eli elimistön kykyyn säilyttää tasapainotila reagoidessaan erilaisiin fyysisiin tai psyykkisiin stressitekijöihin (Shaffer ym. 2014).

Sykevälivaihtelua voidaan mitata monilla eri tavoilla, mutta yleisimmin käytettyjä ovat aikakenttämenetelmät sekä taajuuskenttämenetelmät. Aikakenttämenetelmien perustana on se, että ensin mitataan normaalien sydämenlyöntien välin kesto millisekunteina esimerkiksi EKG käyrästä. Näitä peräkkäisten sydämen lyöntien välejä voidaan nimittää NN-intervalleiksi (normal-to-normal intervals) tai RR-intervalleiksi. Yleensä sykevälivaihtelua mitataan lyhyissä noin viiden minuutin jaksoissa tai pidemmissä 24 tunnin jaksoissa. Aikakenttämenetelmiä on useita, mutta yksinkertaisimpana näistä voidaan laskea SDNN, eli NN-intervallien keskihajonta. Useimmiten SDNN-arvoja mitataan 24 tunnin mittausjaksoissa, mutta niitä voidaan mitata myös lyhyemmissä 5 minuutin jaksoissa. SDNN kertoo hyvin kaikista sydämen sykevälivaihteluun vaikuttavista tekijöistä. Ehkä kaikkein yleisimmin käytetty menetelmä, eli RMSSD (neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta) kuvaa peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua. RMSSD:n on todettu heijastavan enimmäkseen parasympaattisen hermoston aktiivisuutta. On huomioitavaa, että eri pituisia mittausjaksoja ei ole välttämättä luotettavaa verrata keskenään. (Shaffer & Ginsberg 2017; Task force 1996)

Taajuuskenttämenetelmillä eritellään eri taajuuksilla tapahtuvaa sykevälivaihtelua. Näitä eri taajuusalueita ovat muun muassa matalataajuinen LF (low frequency, matalataajuinen sykevälivaihtelu 0,04–0,15 Hz) sekä korkeataajuinen HF (high frequency, korkeataajuinen sykevälivaihtelu 0,15–0,4 Hz). Tavallisesti nämä arvot ilmaistaan tehon absoluuttisilla arvoilla (ms²), mutta ne voidaan ilmaista myös normalisoituna yksikköinä (n.u.). Vagaalinen eli parasympaattinen aktiivisuus on yhteydessä HF-komponenttiin, kun taas LF-komponenttiin vaikuttavat tekijät ovat hieman epäselviä. Osa tutkimuksista on esittänyt, että LF-komponentti kuvastaa vain sympaattista aktivaatiota ja osa, että se kertoo sekä parasympaattisesta että sympaattisesta aktivaatiosta. (Task Force 1996)

Taajuuskenttämenetelmillä saadaan hieman paremmin eroteltua sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toimintaa verrattuna aikakenttämenetelmiin. Aikakenttämenetelmien muuttujat kuitenkin korreloivat joidenkin taajuuskenttämenetelmien muuttujien kanssa, josta voidaan myös päätellä mitä aikakenttämenetelmät kertovat autonomisesta hermostosta. Muun muassa RMSSD arvojen on havaittu korreloivat korkeataajuisen HF-komponentin kanssa, joka vahvistaa myös sitä, että RMSSD kertoo parasympaattisen hermoston toiminnasta. (Task Force 1996)

3 KESTÄVYSSUORITUSKYKY JA SYKEVÄLIVAIHTELU

Kestävyys voidaan mieltää kyvyksi vastustaa fyysistä kuormitusta mahdollisimman pitkään väsymättä (Nummela 2004). Kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihdelun yhteyksiä tarkastelevista tutkimuksista saadaan muun muassa tietoa eri kuntotasoisten yksilöiden sykevälivaihdelun eroista. Seuraavissa kappaleissa käsitellään kestävyysuorituskykyä ja sen yhteyksiä sykevälivaihteluun.

3.1 Kestävyysuorituskyky

Fyysiseen kestävyysuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä on useita. Näitä ovat muun muassa maksimaalinen hapenotto- ja sykeväli (VO₂max), kynnyksominaisuudet eli aerobinen ja anaerobinen kynnys, jotka määritellään laktaattiarvojen ja ventilaation avulla, hermo-lihasjärjestelmän toiminta ja suorituksen taloudellisuus. (Peltonen & Nummela 2018, 65) Maksimaalinen hapenotto- ja sykeväli on ehkä yksi yleisimmistä käytetyistä kestävyysuorituskyvyn mittareista. Se tarkoittaa maksimaalista hapen määrää, joka voidaan ottaa kehoon ja käyttää lihaksissa korkeatehoisen fyysisen kuormituksen aikana. Tähän vaikuttaa keskeisimmin keuhkojen kyky siirtää happea verenkiertoon, maksimaalinen sydämen minuuttivirtaus eli sydämen minuutissa pumppaama verimäärä, hemoglobiinin ja veren määrä sekä lihasten kyky ottaa happea sisään ja käyttää sitä. (Hauswirth & Le Meur 2012, 3–4) Hermo-lihasjärjestelmän tärkeys ilmenee kestävyysuorituskyvyssä esimerkiksi lihasten kykyä supistua ja tuottaa voimaa. Pitkäkestoisissa kestävyysuorituksissa on havaittu hermostollista väsymystä kuten esimerkiksi lihasten heikompaa kykyä supistua. (Hauswirth & Le Meur 2012, 6–7)

Kestävyysuorituskykyä voidaan arvioida useilla erilaisilla suorilla- ja epäsuorilla testeillä, kenttätesteillä sekä anaerobisilla testeillä. Yksi ehkä Suomen käytetyimmistä epäsuorista aikaan perustuvista kestävyysuorituskykytesteistä on 12 minuutin Cooperin testi. (Nummela ym. 2018, 102) Testin esitteli ensimmäisen kerran Cooper (1968) tutkimuksessaan, jossa 115 17–52-vuotiaasta miestä juoksivat 12 minuutin juoksumatolla ja maksimaalisen hapenotto- ja sykeväli testin juoksumatolla. Testissä tutkittavat juoksevat tai kävelevät mahdollisimman tasaisella ja kovalla vauhdilla 12 minuutin ajan yrittäen edetä mahdollisimman pitkän matkan. Tutkimuksessa löydettiin VO₂max arvojen sekä 12 minuutin aikana edetyn matkan väliltä vahva riippuvuus ($r=0,90$), jonka perusteella todettiin, että

Cooperin 12 minuutin juoksutestin avulla voidaan arvioida maksimaalista hapenottokykyä ja kestävyysuorituskykyä. (Cooper 1968)

3.2 Kestävyysuorituskyvyn yhteydet sykevälivaihteluun

Tutkimuksia kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyksistä on tehty paljon ja useista eri näkökulmista. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että korkeamman kestävyysuorituskyvyn omaavilla on myös korkeampi sykevälivaihtelu verrattuna matalamman suorituskyvyn omaaviin verrokkeihin (De Meersman 1993; Goldsmith ym. 1992; Materko 2018). Näissä kaikissa tutkimuksissa kestävyysuorituskyky arvioitiin maksimihapenottokykytestillä. De Meersmanin (1993) ja Materkon (2018) tutkimuksissa sykevälivaihtelua mitattiin lyhyellä 3–5 minuutin mittauksella levossa, kun taas Goldsmith ym. (1992) mittasivat HRV-arvoja 24 h holter-EKG mittauksella. Bosquet ym. (2007) vertailivat tutkimuksessaan kahta eri ryhmää, eivätkä havainneet eroa kestävyysjuoksijoiden sykevälivaihtelussa korkeamman ja matalamman kestävyysuorituskykyryhmän välillä. Ryhmät jaettiin aerobisen kynnyksen perusteella, joka oli korkean kestävyysuorituskyvyn ryhmällä huomattavasti korkeammalla kuin matalamman suorituskyvyn ryhmällä ($p < 0,0001$). Ryhmien välillä ei kuitenkaan ollut eroa maksimaalisessa hapenottokyvyssä. (Bosquet ym. 2007)

Sykevälivaihtelun ja kestävyysuorituskyvyn yhteyttä on tutkittu myös ilman tutkittavien jakoa korkeampaan ja matalampaan kestävyysuorituskyvyn ryhmään (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; Grant ym. 2013; Pereira ym. 2019). Grant ym. (2013) eivät löytäneet yhteyttä HRV-arvojen ja kestävyysuorituskyvyn väliltä. Kahdessa muussa tutkimuksessa sen sijaan havaittiin vahva positiivinen korrelaatio. Ne ketkä suoriutuivat kestävyysuorituskyvyn testistä paremmin (molemmissa tutkimuksissa YoYo testi), omasivat myös korkeamman sykevälivaihtelun levossa. (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; Pereira ym. 2019) Taulukossa 1 esitellään tutkimusten päätuloksia kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyksistä.

TAULUKKO 1. Tutkimusten päätuloksia kestävyysuorituskyvyn ja sykeväli vaihtelun yhteyksistä.

Kirjoittaja, vuosi	Tutkimusasetelma	Tutkittavat	Ikä	Mittaukset	Tulos
Goldsmith ym. 1992	Verrattiin kestävyys-harjoitelleiden (VO ₂ max = ≥ 55 ml/kg/min) ja harjoittelemattomien (≤ 40 ml/kg/min) HRV:tä	n = 16 (M) endurance trained: 8 untrained: 8	24–38	HRV mittaus 24 h holter-EKG, VO ₂ max testi polkupyöraergometrilla	HRV-arvot korkeamman kestävyysuorituskyvyn ryhmällä suuremmat
De Meersman 1996	Verrattiin aktiivisten ja ei aktiivisten HRV:tä eri ikäryhmissä	n = 144 (M) 72 aktiivista 72 ei aktiivista	15–83	HRV levossa, kontrolloitu hengitys 6 krt/min, VO ₂ max testi polkupyöraergometrilla	Aktiivisilla korkeampi HRV ja VO ₂ max kuin ei aktiivisilla verrokeilla
Materko 2018	Tutkittiin HRV:n ja VO ₂ max yhteyttä jakamalla tutkittavat HG ja LG ryhmiin VO ₂ max perusteella	n = 70 (M) HG: 35 LG: 35	19–29	HRV 5 min makuullaan, VO ₂ max testi polkupyöraergometrilla	HG-ryhmällä selkeästi korkeampi HF ja aikakenttämenetelmien arvot kuin LG ryhmällä
Bosquet ym. 2017	Verrattiin HG ja LG ryhmien HRV:tä	n = 28 HG: 12 (M) 2 (N) LG: 12 (M) 2 (N)	HG: 30.4 ± 9 LG: 32.6 ± 10.4	HRV 20min makuullaan, kontrolloitu hengitys, VO ₂ max testi juoksumatolla, Ryhmät jaettiin aerobisen kynnyksen perusteella	Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä
Barbosa de Lima Pinto ym. 2021	Tutkittiin korrelaatiota HRV:n ja YoYoIR1 testin tulosten välillä	n = 16 (N) jalkapallon pelaajia	22 ± 3	HRV 10 min levossa, YoYo IR 1 testi	Positiivinen korrelaatio lnRMSSD ja YoYo IR1 testin tulosten välillä r=0,643; p=0,007

Grant ym. 2013	Tutkittiin korrelaatiota VO2max:in ja HRV:n, HR välillä	n = 145 sukupuoli- jakauma ei tiedossa	18–22	HRV 10 min levossa aamulla, VO2max laskettiin Cooperin testin perusteella	Ei korrelaatioita HRV:n ja VO2max välillä HR ja VO2max välillä neg. korrelaatio
Pereira ym. 2019	Tutkittiin korrelaatiota HRV:n ja YoYo IR1 testin tulosten välillä	n = 40 (M) jalkapallon pelaajia, aloittelijoita	11.5 ± 0.6	2 min lepo HRV, YoYo IR1 testi	Positiivinen korrelaatio RMSSD:n ja YoYo IR 1 testin tulosten välillä

HRV = sykevälivaihtelu, VO2max = maksimaalinen hapenottoakyky, M = mies, N = nainen, HG = korkean kestävyysuorituskyvyn ryhmä, LG = matalan kestävyysuorituskyvyn ryhmä, HR = syke, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, Ln = luonnollinen logaritmi, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta

Kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyttä on myös tutkittu erilaisten kestävyysharjoitteluinterventioiden avulla (Costa ym. 2022; Nummela ym. 2010; Nummela ym. 2017). Costa ym. (2022) tutkimuksessa 16 jalkapalloilijanaista suorittivat neljän viikon harjoittelujakson ja HRV mitattiin sekä ennen että jälkeen harjoitusjakson 24 tunnin mittauksella. Kestävyysuorituskyky arvioitiin myös ennen ja jälkeen harjoittelujakson YoYo IR level 1 testillä, joka mittaa hyvin kestävyysuorituskykyä sellaisissa lajeissa, joissa tulee lyhyitä taukoja juoksemiseen. Harjoittelujakson jälkeen sekä kestävyysuorituskyky että HRV-arvot kasvoivat, mikä kertoo parantuneesta vagoalisesta säätelystä. Nummela ym. (2010) tutkivat 12 istuvan elämäntavan omaavaa naista ja miestä. Tutkittavat suorittivat neljän viikon kestävyysharjoitteluohjelman, jonka jälkeen heidät jaettiin ryhmiin sen perusteella, oliko heidän maksimaalinen nopeutensa (Vmax) juoksumattotestissä parantunut harjoitteluohjelman jälkeen. Kestävyysuorituskykyä arvioitiin sekä ennen, että jälkeen harjoitteluohjelman maksimihapenottokykytestillä juoksumatolla ja sykevälivaihtelua mitattiin harjoittelujakson ajan aktiivisuuskellolla yöllä, unen neljän ensimmäisen tunnin ajalta. Tutkimuksessa havaittiin positiivinen korrelaatio kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelumuuttujien (HF) välillä. Ryhmä, jonka Vmax parani, omasi myös korkeammat HF-arvot neljän viikon jälkeen. Toisessa Nummelan ym. (2017) tutkimuksessa 20 miestä ja naista suorittivat neljän viikon harjoitteluohjelman kaksi kertaa. Toiselle harjoittelujaksolle tutkittavat jaettiin korkean intensiteetin harjoitteluryhmään (HIGH) ja kontrolliryhmään, joka harjoitteli toisen harjoittelujakson samalla intensiteetillä kuin ensimmäisen. Kestävyysuorituskyky arvioitiin maksimihapenottokykytestillä juoksumatolla ennen harjoittelujaksoja, kahden

harjoittelujakson välissä sekä molempien harjoittelujaksojen jälkeen. HRV-arvot mitattiin unen aikana jokaisen harjoittelupäivän jälkeen. Ensimmäisen harjoittelujakson jälkeen molemmat ryhmät kasvattivat maksimihapenottokykyä, mutta toisen jakson jälkeen vain korkean harjoitteluintensiteetin ryhmä kykeni parantamaan tulosta. Toisen harjoittelujakson jälkeen HIGH-ryhmän sykevälivaihtelu oli kasvanut, mutta kontrolliryhmän ei. Molempien Nummela ym. (2010, 2017) tutkimusten perusteella voidaan todeta, että kestävyysharjoittelu nostaa erityisesti yöllä mitattuja parasympaattisen hermoston aktiivisuudesta kertovia sykevälivaihtelun muuttujia.

Kaikissa tutkimuksissa ei olla kuitenkaan pystytty osoittamaan kestävyysharjoittelun osuutta HRV:n nousuun. Martinmäki ym. (2008) tutkivat sykevälivaihtelua ennen ja jälkeen 7 viikon valmistavan harjoittelujakson ja 14 viikon kestävyysharjoittelujakson. Tutkimuksessa ei havaittu muutosta levossa mitatussa sykevälivaihtelussa harjoittelujakson seurauksena, mutta sen sijaan maksimaalisen juoksumattotestin aikana mitatut HRV-arvot kasvoivat (Martinmäki ym. 2008). Voidaan pohtia, oliko kyseisen tutkimuksen kestävyysharjoitteluinterventio tarpeeksi kehittävä, jotta selkeää muutosta HRV-arvoihin olisi saatu ja olisiko HRV pitänyt mitata mieluummin unen aikana. On esitetty, että unen aikana mitattu sykevälivaihtelu kertoisi mahdollisesti paremmin harjoittelun aiheuttamista muutoksista HRV:hen, sillä unessa muut ympäristötekijät kuten stressi eivät pääse vaikuttamaan muuttujiin niin helposti (Buchheit ym. 2004). Taulukkoon 2 on koottu tutkimuksia kestävyysharjoitteluinterventioiden vaikutuksista sykevälivaihteluun.

Vaikka useissa tutkimuksissa on todettu paremman kestävyys suorituskyvyn johtavan korkeampaan sykevälivaihteluun, (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; De Meersman 1996; Goldsmith ym. 1992; Materko 2018; Pereira ym. 2019) tästä ei kuitenkaan ole päästy täysin yksimielisyyteen. Myös kestävyysharjoittelun ja näin ollen parantuneen kestävyys suorituskyvyn on osoitettu kasvattavan parasympaattista aktiivisuutta (Costa ym. 2022; Nummela ym. 2010; Nummela ym. 2017). Aiheesta löytyy kuitenkin myös ristiriitaista tietoa ja tutkimuksia, joissa HRV-arvoissa ei ole havaittu eroa korkeamman kestävyys suorituskyvyn ja matalamman suorituskyvyn ryhmien välillä (Bosquet ym. 2007) tai kestävyysharjoittelun seurauksena (Martinmäki ym. 2008). Suurin osa tutkimuksista kuitenkin tukee ajatusta siitä, että sykevälivaihtelu ja kestävyys suorituskyky ovat yhteydessä.

TAULUKKO 2. Tutkimusten päätuloksia kestävyysharjoitteluinterventioiden ja sykevälivaihtelun yhteyksistä.

Kirjoittaja, vuosi	Tutkimus-asetelma	Tutkittavat	Ikä	Mittaukset	Tulos
Costa ym. 2022	4 vk harjoittelu-intervention vaikutus HRV:hen ja kestävyys-suorituskykyyn	n = 16 (N) jalkapallon pelaajia	21.8 ± 2.6	24 h HRV mittaus ja YoYo IR1 testi ennen ja jälkeen harjoitusjakson	YoYo testin tulokset ja HF↑ harjoitusjakson jälkeen
Nummela ym. 2010	Harjoittelu-interventio 4vk, jonka jälkeen jako Vmax perusteella responders ja non-responders, ryhmien HRV:n vertailu	n = 24 12 (M) 12 (N) Responders: 12 Non-responders: 12	M: 35.4 ± 3.7 N: 33.0 ± 6.3	HRV yöllä harjoittelupäivien jälkeen, kestävyys-suorituskyky VO2max testillä juoksumatolla	Responder ryhmä Vmax ↑, positiivinen korrelaatio Vmax ja HF kanssa
Nummela ym. 2017	Harjoittelu-interventio 4vk + 4vk, 1. jakson jälkeen jako High ja Control ryhmiin, high-ryhmällä kovempi harjoitteluintensi teetti	n = 15 (M, N) High group: 7 Control group: 8	ei tiedossa	HRV yöllä harjoittelupäivien jälkeen, VO2max testi juoksumatolla	High-ryhmällä toisen harjoittelujakson jälkeen HF ↑, HR ↓, positiivinen korrelaatio HF ja VO2max välillä
Martinmäki ym. 2008	Harjoittelu-interventio, 7 vk valmistelujakso, 14vk kestävyys-harjoittelujakso	n = 11 (M)	36.8 ± 7.2	HRV mittaukset 15min levossa + maksimaalisen juoksumattotestin aikana	Ei muutosta HRV arvoissa levossa, juoksumattotestin aikana HRV ↑

Vmax = juoksumattotestin maksiminopeus, HRV = sykevälivaihtelu, VO2max = maksimaalinen hapenotto- ja sykekyky, M = mies, N = nainen, HG = korkean kestävyys-suorituskyvyn ryhmä, LG = matalan kestävyys-suorituskyvyn ryhmä, HR = syke, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta

4 PSYKKISEN JA FYYSISEN KUORMITUKSEN VAIKUTUS SYKEVÄLIVAIHTELUUN

Kuormituksella voidaan tarkoitaa useita eri tekijöitä, jotka horjuttavat elimistön tasapainoa. Voidaan myös puhua stressistä, jota on tutkittu paljon eri tieteenaloilla. Sen määritelmästä ei kuitenkaan olla päästy täysin yksimielisyyteen, johtuen useista eri näkökulmista. (Sloan ym. 1994) Vuonna 1956 Hans Selye määritteli stressin miksi tahansa asiaksi, joka uhkaa ihmisen elimistön tasapainoa eli homeostaasia. Uhkaa voidaan kutsua stressitekijäksi ja ihmisen reaktiota stressivasteeksi. Stressivaste on myös hyvin yksilöllinen, ja voi ilmetä eri yksilöillä eri tavoilla. (Schneiderman ym. 2005)

Kuormitusta aiheuttavia stressitekijöitä on useita erilaisia ja niitä on luokiteltu monilla eri tavoilla. Yksi tapa on puhua fyysisistä ja psyykkisistä stressitekijöistä. Fyysisiksi stressitekijöiksi voidaan luokitella tekijöitä, jotka suoraan vahingoittavat elimistön kudoksia, kuten liika kuumuus, kylmyys ja erittäin kovatehoinen liikunta. Jotkin stressitekijät taas horjuttavat yksilön koettua tasapainotilaa. Tällaisia stressitekijöitä voidaan kutsua psyykkisiksi stressitekijöiksi ja näitä voi olla esimerkiksi julkisen puheen pitäminen ja vaikeat laskutoimitukset paineen alla. Kaikki stressitekijät kuitenkin aiheuttavat fysiologisia adaptaatioita ja muutoksia käyttäytymisessä. (Lazarus & Folkman 1984; Lovallo & Thomas 2000, 343)

Sotilashenkilöstö altistuu koulutuksessaan tai työssään normaalia väestöä enemmän erilaiselle stressille ja kuormitukselle ja heiltä vaaditaan myös niiden korkeampaa sietokykyä. Nämä monet stressitekijät vaikuttavat esimerkiksi raskaissa taisteluharjoituksissa myös päällekkäisesti. Tässä kappaleessa keskitytään fyysiseen ja psyykkiseen stressiin, sotilaiden kohtaamiin ääriolosuhteisiin sekä näiden vaikutukseen sykevälivaihteluun.

4.1 Stressi fysiologisesta näkökulmasta

Fysiologisesta näkökulmasta stressillä usein tarkoitetaan kehon reaktiota, jolla pyritään säilyttämään elimistön tasapainotila stressaavassa tilanteessa. Tärkeimpinä tekijöinä fysiologisen stressivasteen syntymisessä on pidetty SAM-järjestelmää eli sympaattista lisämunuaisydinjärjestelmää sekä HPA-akselia eli hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaiskuori-

akselia. (Russell & Lightman 2019) SAM-järjestelmän toimiessa stressireaktion alussa, sympaattinen hermosto aktivoituu ja aiheuttaa katekoliamiinien, kuten adrenaliinin ja noradrenaliinin, vapautumista verenkiertoon lisämunuaisten ytimestä. Lisääntynyt katekoliamiinien määrä verenkierrossa mm. kiihdyttää sydämen toimintaa sekä hengitystä ja nostaa verenpainetta. (Lovallo & Thomas 2000, 350–351) HPA-akseli säätelee glukokortikoidien, kuten stressihormoni kortisolin, tuotantoa lisämunuaisten kuorissa (Russell & Lightman 2019). Stressireaktiossa glukokortikoidien määrä nousee ja aiheuttaa näin mm. immuunijärjestelmän toiminnan häiriintymistä, verenpaineen nousua, ylimääräistä glukoosinottoa verenkiertoon sekä psykologisia muutoksia kuten mielialanvaihtelua (Lovallo & Thomas 2000, 344).

Fysiologisen stressireaktion on todettu heräävän niin fyysisten kuin myös psyykkisten stressitekijöiden vaikutuksesta. Muun muassa kova tai pitkäkestoinen fyysinen aktiivisuus voidaan ajatella elimistöä kuormittavaksi tekijäksi, joka aktivoi HPA-akselia ja stressihormonien tuotantoa (McArdle 2008, 424). Tämän lisäksi myös psyykkiset stressitekijät vailla minkäänlaista fyysistä ponnistelua, kuten julkisen puheen pitäminen, aiheuttavat merkittävää stressihormonien lisääntymistä (Lovallo & Thomas 2000, 352). Akuutin stressihormonien nousun voidaan joissakin tilanteissa ajatella olevan hyödyllistä yksilön suorituskyvylle ja selviytymiselle, mutta toistuva stressille altistuminen voi kroonistua ja pitää muun muassa kortisolitasoja korkealla. Krooninen stressi aiheuttaa laaja-alaisesti ongelmia terveydelle, kuten mielenterveyden häiriöitä, metabolista oireyhtymää, ylipainoa sekä sydän- ja verenkiertoelimistön häiriöitä. (Russell & Lightman 2019)

4.2 Stressi psykologisesta näkökulmasta

Lazarus ja Folkman (1984) määrittivät psykologisen stressin yksilön ja ympäristön väliseksi erityiseksi suhteeksi, jonka yksilö itse arvioi ylittävän hänen resurssinsa säilyttää tasapainotila ja näin ollen vaarantaa terveyden. Stressitilanteessa yksilö arvioi onko tilanne uhkaava vai ei. Jos tilanne koetaan vaaralliseksi, yritetään tämän jälkeen etsiä selviytymiskeinoja eli coping-keinoja. (Lazarus & Folkman 1984) Näin määriteltynä psykologinen stressi on siis yksilön subjektiivinen tulkinta jonkin tietyn asian tai tilanteen uhkaavuudesta, johon hänellä ei ole riittäviä hallintakeinoja.

Coping-keinoilla yritetään hallita sisäisiä tai ulkoisia asioita, jotka ylittävät yksilön resurssit selviytyä. Ne voidaan jakaa tunne- ja ongelmakeskeisiin coping-keinoihin. Tunnekeskeisillä hallintakeinoilla pyritään säätelemään stressaavan tilanteen aiheuttamia emootioita, kun taas ongelmakeskeisillä keinoilla yritetään vaikuttaa itse tilanteeseen. (Lazarus & Folkman 1984)

4.3 Kuormituksen vaikutus sykevälivaihteluun

Kuten aikaisemmissa kappaleissa mainittiin, autonomisen hermoston toiminta on olennainen osa fysiologisen stressireaktion syntymistä. Aikaisemmin tässä katsauksessa on myös todettu, että sykevälivaihtelu heijastelee autonomisen hermoston toimintaa. Kim ym. (2018) meta-analyysin mukaan sykevälivaihtelu on hiljattain suosittu kasvattanut keino mitata stressiä objektiivisesti. Useat tutkimukset ovat osoittaneet sykevälivaihtelun olevan herkkä stressiin liittyville autonomisen hermoston aktiivisuuden muutoksille (Kim ym. 2018).

Sykevälivaihtelua ja stressiä on tutkittu useista eri näkökulmista esimerkiksi liittyen päivittäisiin psyykkisiin stressitekijöihin (Sloan ym. 1994), työstressiin (Clays ym. 2011; Kageyama ym. 1998), erilaisten stressitestien aiheuttamaan stressiin (Delaney & Brodie 2000; Seipäjärvi ym. 2022), kovatehoisen fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan fysiologiseen stressiin (Hynynen ym. 2010) sekä fyysisten ja psyykkisten stressitekijöiden yhdessä aiheuttamaan stressiin (Clemente-Suarez ym. 2018). Sloan ym. (1994) tutkimuksessa havaittiin yhteys itse raportoidun psykologisen stressin sekä sykevälivaihteluarvojen väliltä. Tutkittavat raportoivat päiväkirjan avulla 24 tunnin tapahtumista, sekä psyykkisistä tuntemuksistaan. HRV mitattiin 24 h EKG-mittauksella. Tutkimuksessa stressi yhdistettiin muun muassa lyhentyneisiin RR-intervalleihin sekä LF/HF suhteen nousuun, joka kertoo mahdollisesti sympaattisen hermoston korkeammasta aktiivisuudesta suhteessa parasympaattiseen hermostoon. Työn stressaavuuteen liittyvässä Kageyama ym. (1998) tutkimuksessa puolestaan ei havaittu muutoksia HRV:ssä itse raportoidun stressin seurauksena. Tutkimuksessa 223 miestä vastasi kyselyyn, jolla kartoitettiin edeltävän kuukauden tapahtumia, unenlaatua sekä koettua stressiä töissä. Sykevälivaihtelua mitattiin makuuasennossa ja seisaallaan kolme minuuttia kummassakin. Työstressistä on kuitenkin tehty tuoreempikin tutkimus, jossa tutkittavien kokeman työstressin havaittiin olevan yhteydessä korkeampaan sympaattiseen aktiivisuuteen ja madaltuneeseen parasympaattiseen aktiivisuuteen (Clays ym. 2011).

Tutkimuksia sykevälivaihtelun sekä psykologisen stressin yhteydestä on tehty myös laboratorio-olosuhteissa muun muassa erilaisten stressitestien avulla. Delaney ja Brodie (2000) tutkimuksessa tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen teki psykologisen stressitestin ja toinen ryhmä toimi kontrollina. Testissä oli aikapaine ja se piti sisällään mm. laskutehtävän sekä muita kognitiivisia toimintoja vaativia tehtäviä. Tutkittavat myös arvioivat stressaantuneisuutensa ennen ja jälkeen testin. Stressitestin seurauksena muun muassa ryhmän HF- ja RMSSD-arvot laskivat ja syke, LF ja LF/HF suhde nousi, joka niin ikään viittaa sympaattisen aktiivisuuden lisääntymiseen. Kontrolliryhmän HRV-arvoissa ei havaittu muutoksia. Myös Seipäjärvi ym. (2022) tutkimuksessa havaittiin, että RMSSD laski psykososiaalisen stressitestin aikana, jossa tutkittavien piti mm. pitää puhe työhaastattelutilanteessa sekä tehdä aritmeettinen laskutehtävä.

Myös fyysisten stressitekijöiden (Hynynen ym. 2010) ja fyysisten sekä psyykkisten stressitekijöiden yhteistä vaikutusta sykevälivaihteluun on tutkittu (Clemente-Suarez ym. 2018). Clemente-Suarez ym. (2018) tutkivat simuloidun sotilaallisen lähitaisteluharjoituksen vaikutusta sykevälivaihteluun sekä muihin fysiologiselle stressireaktiolle ominaisiin muuttujiin. Taisteluharjoituksessa tutkittaville aiheutettiin voimakasta fyysistä (esim. punnerrusten tekeminen) ja psyykkistä (huutaminen, uhkaava tilanne) stressiä. Simuloidun tilanteen seurauksena tutkittavilla havaittiin madaltunutta sykevälivaihtelua. Hynynen ym. (2010) tutkimuksessa selvitettiin keskitehoisen sekä kovan intensiteetin kestävyysharjoituksen akuutteja vaikutuksia sykevälivaihteluun. Tutkimuksen mukaan yöllä mitattu sykevälivaihtelu laskee akuutisti sekä keski- että kovatehoisen kestävyysharjoittelun seurauksena verrattuna lepopäivän jälkeen mitattuun sykevälivaihteluun. Suurinta lasku oli kuitenkin kovatehoisen harjoituksen jälkeen. Tästä voidaan päätellä, että tarpeeksi kova fyysinen kuormitus horjuttaa myös elimistön homeostaasia aiheuttaen muutoksia autonomisen hermoston toimintaan.

Aikaisemman tutkimustiedon valossa voidaan todeta sekä psyykkisten että fyysisten stressitekijöiden vaikuttavan sykevälivaihtelua laskevasti (Calys ym. 2011; Clemente-Suarez ym. 2018; Delaney & Brodie 2000; Hynynen ym. 2010; Seipäjärvi ym. 2022; Sloan ym. 1994). Tutkimuksissa stressin seurauksena ilmi tulleiden sykevälivaihtelun arvojen muutokset kertoivat nimenomaan lisääntyneestä sympaattisen hermoston aktiivisuudesta. Aiheesta löytyy myös vähänlaisesti tutkimustietoa, jossa ei ole pystytty todistamaan koetun stressin vaikutusta sykevälivaihteluun (Kageyama ym. 1998). Taulukossa 2 käydään läpi tutkimusten keskeisimpiä menetelmiä sekä päätuloksia.

TAULUKKO 2. Tutkimusten päätuloksia stressin ja sykevälivaihtelun yhteydestä.

Kirjoittaja/ vuosi	Tutkittavat	Ikä	Stressin arviointi	HRV mittaus	Päätulokset
Sloan ym. 1994	n = 33 (31 M, 2 N)	37.9 ± 12.8	päiväkirja, johon merkattiin paikka, aika, fyysinen asento, mitä tekee, vaikutus / mieliala (stressi asteikko)	24h EKG RR-intervallit, LF, HF, LF/HF	Itse raportoitu stressi yhteydessä korkeampaan LF/HF suhteeseen ja lyhentyneisiin RR-intervalleihin
Kageyama ym. 1998	n = 223 (M)	30.8 ± 5.4	Kysely edeltävän kuukauden tapahtumista, uni, työ Työhön liittyvät stressitekijät	makuuasennossa 3 min, seisten 3 min EKG LF, HF, LF/HF	Ei korrelaatiota HRV arvojen ja työstressin välillä
Delaney & Brodie 2000	n = 30 (16 N, 14 M) Jaettiin puoliksi 15 + 15, ryhmä 1, joka osallistui stressitestiin ja ryhmä 2, eli kontrolliryhmä	N = 30.9 ± 3.9 M = 34.4 ± 8.7	5 min stressitesti, ennen ja jälkeen stressitestin yksilön oma arvio stressaantuneisuudesta asteikolla 1–10	lyhyt mittaus istuma-asennossa HR, TP, VLF, LF, HF, LF/HF, RMSSD	Kontrolliryhmän HRV:ssä ei muutoksia, Stressitesti ryhmällä: HR, LF, LF/HF ↑ HF, RMSSD, TP ↓
Clays ym. 2011	n = 653 (M)	40–55	työstressikysely	24 h EKG SDNN, HR, LF, HF, LF/HF	Työstressi yhteydessä matalampaan HF ja korkeampaan HR ja LF/HF suhde
Seipäjärvi ym. 2022	n = 124 (36 M, 88 N) Nuoret = 63 Keski-ikäiset = 61	Nuoret = 26 ± 3 Keski-ikäiset = 52 ± 5	psykososiaalinen stressitesti 2 h, kortisoli sekä kokemus stressistä	3 päivän EKG, aloitus 1 päivä ennen stressitestiä, lopetus päivä sen jälkeen	Stressitestin seurauksena: HR, koettu stressi ↑ RMSSD ↓
Hynynen ym. 2010	n = 10 (M)	37 ± 5	Kestävyysharjoitusten kuormittavuuden arviointi asteikolla 1–10 keskitehoinen kestävyysharjoitus koettiin 3 ± 1, kovatehoinen 8 ± 2	Unen aikana lepopäivänä, keskitehoinen harjoituspäivän sekä kovatehoinen päivän jälkeen RRi, SDNN, RMSSD, HF, LF, TP, LF/HF	HRV matalampaa harjoituspäivien jälkeisinä öinä kuin lepopäivän jälkeen, matalinta kovatehoinen harjoituksen jälkeisenä yönä

Clemente-Suarez ym. 2018	n = 20 Sukupuolijakauma ei tiedossa	34.5 ± 4.2	RPE 6–20, veren laktaattipitoisuus, lihasvoima, aivokuoren toiminta	Ennen ja jälkeen taisteluharjoituksen HR, RRi keskiarvo, SDDS	Taisteluharjoituksen jälkeen: HR ↑ RRi, SDDS↓
--------------------------	----------------------------------------	------------	---------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

TP = total power, VLF = erittäin matalataajuinen sykevälivaihtelu, SDDS = standard deviation of the differences between successive RR intervals, RPE = koettu kuormitus HRV = sykevälivaihtelu, M = mies, N = nainen, HR = syke, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, LF = matalataajuinen sykevälivaihtelu, LF/HF = matalan ja korkean taajuuden sykevälivaihtelun suhde, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta SDNN = sykevälien keskihajonta, RRi = RR-intervallien aika, EKG = elektrokardiogrammi

4.4 Ääriolosuhteet ja sykevälivaihtelu

Sykevälivaihtelua on tutkittu hyvin vähän äärimmäisissä olosuhteissa, joissa useat eri stressitekijät vaikuttavat yhdenaikaisesti. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi sotilaalliset taistelu- ja maastoharjoitukset tai -koulutusjaksot, joissa tutkittavat altistuvat fyysisen ja psyykkisen stressin lisäksi myös esimerkiksi rajulle univajeelle, nestehukalle sekä energiavajeelle.

Corrigan ym. (2023) tutkivat kahdeksan päivän maasto-/taisteluharjoituksen vaikutusta sykevälivaihteluun. Harjoituksessa tutkittavien piti selviytyä luonnossa, suorittaa fyysisesti raskaita tehtäviä sekä vastata vihollisten hyökkäyksiin. Harjoituksen aikana tutkittavat altistettiin myös äärimmäiselle univajeelle sekä stressille. Sykevälivaihtelua mitattiin unen aikana sekä ennen, että jälkeen harjoituksen ja muutaman kerran harjoituksen aikana. Harjoituksen aikana tutkittavien sykevälivaihtelu nousi eli parasympaattinen aktiivisuus kasvoi. Tämän pohdittiin olevan seurausta univajeesta sekä siitä, että tutkittavat pyrkivät tietoisesti selviytymään heille aiheutetusta stressistä coping-keinoilla. Myös Jouanin ym. (2004) löysivät samankaltaisia tuloksia, kun Ranskan sotilaskoulun kadettien kuukauden koulutusjakson seurauksena parasympaattista aktiivisuutta heijastavat sykevälivaihtelun muuttujat nousivat. Jakso sisälsi mm. raskaita vaelluksia, taisteluharjoituksia, psyykkistä stressiä ja univajetta. Koulutusjakson päätti viisi päivää kestävä raskas maastoharjoitus.

Näitä tuloksia vastoin Salosen ym. (2013) tutkimuksessa RMSSD laski merkitsevästi 72 tunnin maastoharjoituksen aikana, jossa tutkittavat olivat suuressa energia- ja univajeessa ja altistuivat fyysiselle sekä psyykkiselle stressille. Taajuusmuuttujissa HF ja LF ei kuitenkaan havaittu muutoksia. (Salonen ym. 2013) Taulukossa 3 esitellään äärimmäisissä sotilasolosuhteissa tehtyjen tutkimusten tuloksia ja menetelmiä.

Univajeen on osoitettu sekä nostavan (Vaara ym. 2009) että laskevan (Morales ym. 2019) sykevälivaihtelua. Corriganin ym. (2023) pohtivat aikaisemman tutkimustiedon ristiriitaisten tulosten riippuvan muun muassa siitä, mitä tutkittavat olivat tehneet univajeen aikana. Moralesin ym. (2019) tutkimuksessa tutkittavat altistuivat univajeen aikana muun muassa työstressille, kun taas Vaaran ym. (2009) tutkimuksessa ei altistettu tutkittavia erityisille stressitekijöille. Univajeen aiheuttaman parasympaattisen aktiivisuuden voidaan mahdollisesti myös ajatella olevan kehon suojaava reaktio, jotta pitkittyneen valveillaolon aiheuttamasta epätasapainotilasta toivuttaisiin (Holmes ym. 2002; Vaara ym. 2009).

TAULUKKO 3. Äärimmäisissä olosuhteissa tehtyjen stressitutkimusten tuloksia ja menetelmiä.

Kirjoittaja / vuosi	Tutkimusasetelma	Tutkittavat	Ikä	HRV mittaus	Tulokset
Jouanin ym. 2004	Tutkittiin 1 kk kestävän sotilaskoulutusjakson vaikutusta HRV:hen, testosteroniin	n = 23 M	21.7 ± 0.2	5 min maaten, 5 min seisaallaan	HF, RRi, SD- RRi, RMSSD ↑ LF, LF/HF ↓
Salonen ym. 2013	Tutkittiin 72 h maastoharjoituksen vaikutusta HRV:hen, testosteroniin	n = 10 M	20 ± 1	Mitattiin koko harjoituksen ajan	RMSSD ↓ HF, LF ei muutosta
Corrigan ym. 2023	Mitattiin 8 pv maasto- /taisteluharjoituksen vaikutusta koettuun sekä fyysiseen kuormitukseen, HRV:hen, uneen ja kognitiiviseen suorituskykyyn	n = 32 (29 M, 3 N)	23 ± 3.9	Unen aikana	Ln RMSSD nousi harjoituksen aikana, RMSSD/RRi ei muutosta

HRV = sykevälivaihtelu, RRi = RR-intervallien aika, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, Ln = luonnollinen logaritmi, LF = matalataajuinen sykevälivaihtelu, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella Cooperin testillä arvioitun kestävyysuorituskyvyn yhteyksiä Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun kadettien sykevälivaihteluun korkeamman ja matalamman kestävyysuorituskyvyn ryhmien eroina sekä koko tutkimusjoukossa korrelaatiokertoimen avulla. Lisäksi selvitetään 12 päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen vaikutusta sykevälivaihteluun sekä sykevälivaihtelun muutoksen ja Cooperin testin tulosten korrelaatiota.

Tutkimuskysymys 1: Onko tutkittavien Cooperin testillä arvioitu kestävyysuorituskyky yhteydessä sykevälivaihteluun ja eroaako korkeamman ja matalamman kestävyysuorituskykyryhmien ennen kovaa kuormitusta mitattu sykevälivaihtelu toisistaan?

Hypoteesi 1: Kestävyysuorituskyky korreloi positiivisesti sykevälivaihtelumuuttujien kanssa ja korkeamman kestävyysuorituskyvyn ryhmällä on korkeampi sykevälivaihtelu.

Teoriatausta 1: Materko ym. (2018) tutkimuksessa korkeamman kestävyysuorituskyvyn ryhmän sykevälivaihtelu oli suurempaa kuin matalamman kestävyysuorituskyvyn ryhmällä. Ryhmät jaettiin VO₂max perusteella. Samanlaisia tuloksia parempi- ja heikompikuntoisten ryhmien välillä on löydetty myös muissa tutkimuksissa (De Meersman 1993; Goldsmith ym. 1992). Sykevälivaihtelun ja kestävyysuorituskyvyn väliltä on löydetty myös positiivinen korrelaatio (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; Pereira ym. 2019). Tutkimuksissa kestävyysuorituskyky mitattiin YoYo IR1 testillä. Ne ketkä suoriutuivat testistä paremmin, omasivat myös korkeamman sykevälivaihtelun.

Tutkimuskysymys 2: Muuttuuko sykevälivaihtelu kovan kuormituksen seurauksena ja onko Cooperin testillä arvioitu kestävyysuorituskyky yhteydessä sykevälivaihtelun muutokseen?

Hypoteesi 2: Kovan kuormituksen seurauksena sykevälivaihtelu kasvaa. Cooperin testin tulokset korreloivat positiivisesti parasymptaattisesta aktiivisuudesta kertovien HRV-arvojen muutoksen kanssa.

Teoriatausta 2: Corrigan ym. (2023) havaitsivat sykevälivaihtelun kasvavan raskaan maastoharjoituksen seurauksena, jossa tutkittavat altistuivat useille eri stressitekijöille samanaikaisesti. Myös Jouanin ym. (2004) tutkimuksessa kuukauden kestävä sotilaskoulutusjakso nosti tutkittavien sykevälivaihtelua. Parasymptaattisen aktiivisuuden nousu näissä tilanteissa voidaan yhdistää äärimmäiseen univajeeseen ja sen voidaan ajatella olevan kehoa suojaava reaktio, jotta äärimmäisestä univajeesta toivuttaisiin (Holmes ym. 2002; Vaara

ym. 2009). Useamman päivän raskaan sotilaallisen harjoituksen aiheuttaman sykevälivaihtelun muutoksen ja kestävyys suorituskyvyn välisistä yhteyksistä kertovia tutkimuksia ei ole tehty. Parempikuntoisten autonomisen hermoston on kuitenkin todettu toipuvan nopeammin fyysisestä kuormituksesta verrattuna heikompikuntoisiin (Stanley ym. 2013). Koska korkeamman kestävyys suorituskyvyn omaavilla on havaittu korkeampaa sykevälivaihtelua (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; De Meersman 1993; Goldsmith ym. 1992; Pereira ym. 2019) ja usean päivän raskaan sotilaallisen harjoituksen aiheuttaman suuremman parasympaattisen aktiivisuuden on todettu olevan kehoa suojaava reaktio, tässä tutkimuksessa odotetaan korkeamman kestävyys suorituskyvyn omaavilla olevan korkeampi positiivinen sykevälivaihtelun muutos.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus toteutettiin osana suurempaa Tiina Parviaisen johtamaa Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksen, Turun yliopiston, Turun ammattikorkeakoulun sekä Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK) yhteistyötutkimusta, jossa selvitettiin vireystilan ja yksilöllisten fysiologisten tekijöiden vaikutusta tarkkaavuuden suuntaamiseen ja säätelyyn. Tutkimus suoritettiin Suomen Maanpuolustuskorkeakoulussa Santahaminassa, jossa ensimmäisen ja toisen vuosikurssin kadettikoulun miesoppilaat suorittivat 12 päivän raskaan taistelu- ja johtamisharjoituksen MPKK:n toimesta. Tutkimuksessa käytettävät menetelmät hyväksyttiin Jyväskylän eettisessä lautakunnassa.

6.1 Tutkittavat

Tutkittavat rekrytoitiin Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun ensimmäisen tai toisen vuosikurssin kadettiopiskelijoista. Tässä tutkimuksessa tutkittavina toimi 59 miesopiskelijaa. Heistä 10 lopettivat taistelu- ja johtamisharjoituksen kesken, jonka seurauksena heidät jätettiin pois tutkimuksesta. Kaikki mittauspisteet kokonaan suorittaneista 49:stä tutkittavasta vielä 12 tiputettiin pois liian häiriöisen tai epäselvän mittausdatan takia. Kokonaisuudessaan tässä tutkimuksessa tutkittavia oli 37 kadettia (ikä $22,0 \pm 1,6$, pituus $182,3 \pm 5,6$, paino $82,3 \pm 8,6$). Tutkittavilta oli myös aikaisemmin mitattu Cooperin testitulokset MPKK:n toimesta, joko 2023 keväällä pääsykokeiden yhteydessä tai 2023 syksyllä. Cooperin testituloksia käytettiin tässä tutkimuksessa määrittelemään tutkittavien kestävyys suorituskykyä. Cooperin testin tulosten perusteella tutkittavat jaettiin myös korkeamman ja matalamman kestävyys suorituskyvyn ryhmiin. Taustatietolomakkeilla tutkittavia pyydettiin myös arvioimaan aikaisempaa harjoittelutaustaansa asteikolla 1–6. Harjoittelutaustan eri tasojen selvennykset löytyvät kuvasta 2. Tarkempia tietoja kaikista tutkittavista esitellään taulukossa 4.

- 1=Satunnainen (0-1 h/vk)
- 2=Säännöllinen (1-3 h/vk)
- 3=Aktiivi (3-5 h/vk)
- 4=Huippuaktiivi (5-8 h/vk)
- 5=Puoliammattimainen (8-12 h/vk)
- 6=Ammattimainen (12+ tuntia/vko)

KUVA 2. Tutkittavien itse arvioiman harjoittelutaustan eri tasojen määritelmät.

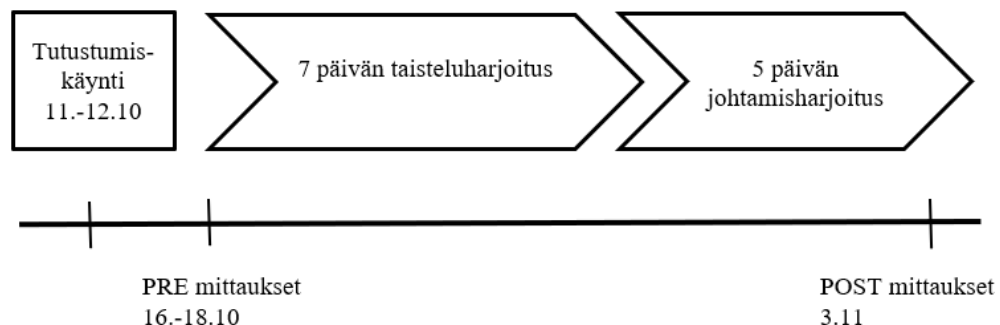
TAULUKKO 4. Tutkittavien taustatietoja. Arvot ilmaistu keskiarvo \pm keskihajonta.

n	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Harjoittelutausta	Cooper (m)
37	22,0 \pm 1,6	182,3 \pm 5,6	82,3 \pm 8,6	2–6	2871,4 \pm 197,8

6.2 Tutkimusasetelma

Tutkittavat suorittivat maastossa Maanpuolustuskorkeakoulun 12 päivän raskaan taistelu- ja johtamisharjoituksen, joista seitsemän ensimmäistä päivää olivat taisteluharjoitusta ja viisi viimeistä johtamisharjoitusta. Harjoituksessa harjoiteltiin mm. tilannetietoisuutta, johtamista ja yksilönä toimimista ryhmän osana haastavissa olosuhteissa. Siihen kuului myös mm. voimakasta fyysistä sekä psyykkistä kuormitusta, epävarmuutta ja univajetta.

Ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoituksen testattiin tarkkaavaisuutta EEG-mittauksella (elektroenkefalografia, aivosähkökäyrä) 30 minuuttia kestävässä VR-ajosimulaatiotehtävässä, jossa tutkittavien piti reagoida näkö- sekä kuuloärsykeisiin. Aivoaktiivisuutta mitattiin EEG-mittauksella myös lepotilanteessa. Lisäksi mitattiin kortisolia sylkinäytteellä, koettua kuormittuneisuutta kyselylomakkeilla sekä sykevälivaihtelua istuallaan 6 minuutin ajan. Tässä tutkimuksessa käytettiin vain sykevälivaihteludataa. Ennen mittausjaksoa tutkittaville pidettiin myös tutustumiskäynti, jossa heille selvennettiin tutkimuksen tarkoitus ja tietosuoja koskevat asiat, jaettiin älykellot mittauksia varten ja ohjeistettiin mittausten suorittamiseen liittyviä seikkoja. Tutkittavat myös allekirjoittivat suostumuslomakkeet. Kuvassa 3 on havainnollistettu mittausjakson kulkua.



KUVA 3. Mittausjakson kulku.

6.3 Aineiston keruu ja mittaukset

Tutkittavien sykevälivaihtelua mitattiin ennen ja jälkeen 12 päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen. Cooperin testi oli suoritettu Maanpuolustuskorkeakoulun toimesta ennen harjoitusta joko 2023 syksyllä tai 2023 keväällä MPKK:n pääsykokeissa.

Sykevälivaihtelua mitattiin Polar Grit X, Polar Vantage V2 tai Polar M430 kellolla ja H10 sykesensorilla sekä ennen että välittömästi 12 päivän harjoituksen jälkeen. Molemmilla mittauskerroilla mittaus suoritettiin samalla tavalla. Ennen harjoitusta mittaukset suoritettiin tutkittaville klo 17–20 välillä kolmen päivän aikana. Harjoituksen jälkeen mittaukset suoritettiin kaikille illalla klo 18–00 välillä, heti kun tutkittavat tulivat harjoituksesta. Ensin suoritettiin isompaan tutkimukseen kuuluvat mittaukset: VR-ajosimulaatio EEG-mittaus tai EEG-lepomittaus, kyselylomakkeen täyttö sekä sylkinäyte. Tämän jälkeen tehtiin sykemittaus, jossa tutkittavat istuvat 6 minuuttia silmät auki, jonka ajan sykevälivaihtelua mitattiin. He saapuivat mittaushuoneeseen n. 4–8 henkilön ryhmissä. Jos tutkittavan epäiltiin nukkuvan tai hänellä oli silmät kiinni, tutkija varmisti hereillä pysymisen sanomalla ”silmät auki”.

Sykemittarin sykedata siirrettiin Polar Flow -sovellukseen, jossa se muutettiin CSV-muotoon, jota sykevälianalyysiohjelmisto tukee. Sykevälivaihteluanalyysi tehtiin Kubios Premium 3.4.3-ohjelmistolla (Kubios HRV, Kuopio, Finland). Sykemittauksesta analysoitava väli määritettiin 5 minuutin mittaiseksi ja se aloitettiin ensimmäisen 45 sekunnin jälkeen. Mittausdataa suodatettiin automatic correction -suodattimella. Tämän jälkeen kaikki data tallennettiin samaan Excel-tiedostoon. Analysointivaiheessa tippui pois 12 tutkittavaa liian häiriöisen datan vuoksi. Kriteerinä oli, että aineiston suodatus sai olla enintään 5 % analysoidusta viiden minuutin osiosta (Kubios HRV 2023). Tässä työssä käytettiin analysoiduista muuttujista keskimääräistä RR-intervallien aikaa RR_i, sykevälien keskihajontaa SDNN, RMSSD:tä ja korkeataajuisista sykevälivaihtelun muuttujaa HF sekä matalataajuisista muuttujaa LF.

6.4 Tilastolliset menetelmät

Aineiston tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 28.0 -ohjelmaa (Armonk, New York, USA) sekä Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa (Versio: 2311, Microsoft

Corp. Redmond, USA). Ensimmäistä tutkimuskysymystä käsiteltiin poikkileikkausasetelmasta ja toista kysymystä havainnointitutkimusasetelmasta.

HRV-arvojen muutosta taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena tarkasteltiin parittaisella T-testillä. Ennen testiä muutoksen normaalijakautuneisuus tarkastettiin Shapiro-Wilkinsin testillä, aineiston ollessa $n < 50$. Taajuusmuuttujat muutettiin luonnolliseen logaritmuotoon, jotta niiden muutoksesta saatiin normaalisti jakautunut. Sykevälivaihtelun (Pre) ja Cooper-testin tulosten korrelaatiota tarkasteltiin normaalisti jakautuneiden muuttujien osalta Pearsonin korrelaatiokertoimella ja ei normaalisti jakautuneiden osalta Spearmanin korrelaatiokertoimella. Normaalisti jakautuneita muuttujia olivat RRi ja LnLF ja ei normaalisti jakautuneita RMSSD, SDNN sekä LnHF. Tutkittavat jaettiin Cooperin testin tulosten perusteella korkean ($n=18$, Cooper >2810 m) ja matalan ($n=19$, Cooper ≤ 2810 m) kestävyysuorituskyvyn ryhmiin. Jako tehtiin Cooperin tulosten mediaaniarvon perusteella. Kahden eri ryhmän sykevälivaihtelun eroja tutkittiin normaalisti jakautuneiden muuttujien osalta riippumattomien otosten T-testillä ja ei normaalisti jakautuneiden osalta nonparametrisella Mann-Whitney U-testillä. Sykevälivaihtelun muutoksen ja Cooperin testin tulosten korrelaatiota mitattiin vielä Pearsonin korrelaatiokertoimella, koska kaikki HRV:n muutosarvot olivat normaalisti jakautuneita. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin kaikkien testien osalta $p < 0,05$. Korrelaatiokertoimien vahvuuksien rajat asetettiin seuraavasti: pieni: $0,2 < r < 0,5$, keskivahva: $0,5 < r < 0,8$, suuri: $0,8 < r < 1,0$ (Cohen 1988, 82).

7 TULOKSET

Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään Cooperin testin tulosten mediaanin perusteella (2810 m), jotta pystyttiin tarkastelemaan korkeamman (n=18) ja matalamman (n=19) kestävyysuorituskyvyn omaavien eroja sykevälivaihtelussa. Taulukossa 5 on esitelty tutkittavien taustatietoja eri ryhmissä. Ryhmien HRV:n vertailussa käytettiin ennen taistelu- ja johtamisharjoitusta mitattua sykevälivaihtelua. Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja missään sykevälivaihtelun muuttujissa (taulukko 6).

TAULUKKO 5. Korkean ja matalan kestävyysuorituskyvyn ryhmien taustatiedot. Arvot ilmaistu keskiarvo ± keskihajonta.

	Korkea Cooper > 2810 m	Matala Cooper ≤ 2810 m
n	18	19
Ikä (v)	22,1 ± 1,5	21,8 ± 1,6
Pituus (cm)	180,7 ± 4,1	183,8 ± 6,5
Paino (kg)	80,5 ± 6,5	83,9 ± 10,2
Harjoittelutausta	2–6	2–4
Cooper (m)	3023,6 ± 181,5	2727,1 ± 44,2

TAULUKKO 6. Korkeamman ja matalamman kestävyysuorituskykyryhmien sykevälivaihtelu ennen taistelu- ja johtamisharjoitusta. Arvot ilmaistu keskiarvo ± keskihajonta.

Sykevälivaihtelun muuttuja	Korkea (n=18) Cooper > 2810 m	Matala (n=19) Cooper ≤ 2810 m	p-arvo
RRi (ms)	927,84 ± 120,47	892,63 ± 105,99	0,351
RMSSD (ms)	62,47 ± 48,16	57,89 ± 23,14	0,620
SDNN (ms)	71,77 ± 47,81	68,21 ± 26,30	0,641
LnLF (ms ²)	7,56 ± 1,48	7,67 ± 0,94	0,786
LnHF (ms ²)	6,62 ± 1,55	6,98 ± 0,85	0,480

RRi = RR-intervallien aika, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, SDNN = sykevälien keskihajonta, Ln = luonnollinen logaritmi, LF = matalataajuinen sykevälivaihtelu, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, * p < 0,05 = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä

Koko ryhmää tarkasteltaessa, ilman jakoa kahteen ryhmään, Cooperin testitulosten ja sykevälivaihtelun muuttujien välillä ei havaittu myöskään merkitseviä korrelaatioita (taulukko 7). Cooperin tulosten ja LnLF muuttujan välillä havaittiin pieni korrelaatio, mutta sekään ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

TAULUKKO 7. Cooperin -testitulosten ja sykevälivaihtelun muuttujien korrelaatiokertoimet.

	RRi (r)	SDNN (r _s)	RMSSD (r _s)	LnLF (r)	LnHF (r _s)
Cooper	0,116	-0,044	-0,034	0,243	-0,063

(m)

RRi = RR-intervallien aika, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, SDNN = sykevälien keskihajonta, Ln = luonnollinen logaritmi, LF = matalataajuinen sykevälivaihtelu, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, r = Pearsonin korrelaatio, r_s = Spearmanin korrelaatio, * p < 0,05 = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä

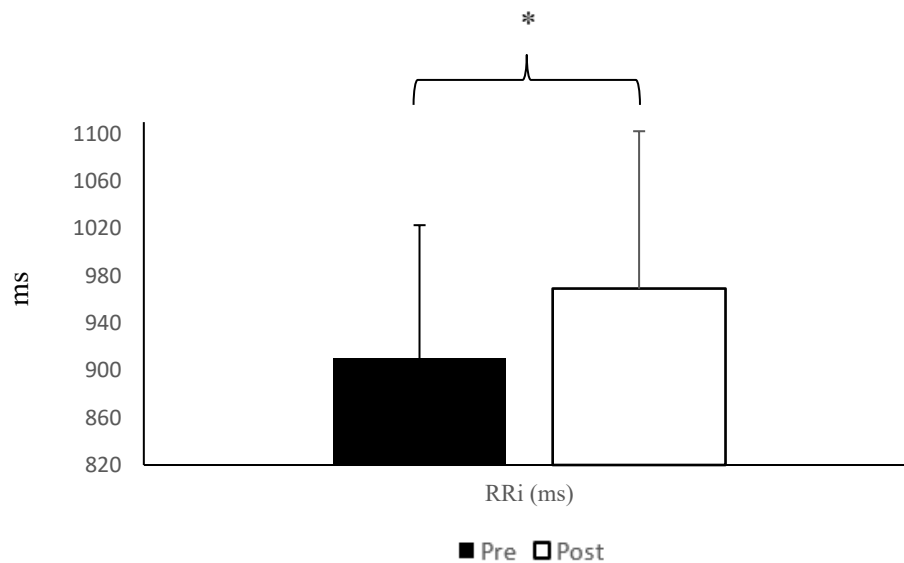
Kahdentoista päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena tutkittavien keskimääräinen RR-intervallien aika (p=0,026), RMSSD (p=0,018) sekä LnHF (p=0,031) kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi. Keskimääräinen RR-intervallien aika oli ennen harjoitusta 909,76 ms ja harjoituksen jälkeen 969,12 ms (kuva 4). RMSSD puolestaan oli pre-mittauksissa 60,12 ja post-mittauksissa 78,29 (kuva 5). Sykevälivaihtelun korkeataajuinen komponentti HF oli ennen harjoitusta 6,80 ms² ja sen jälkeen 7,32 ms² (kuva 6). Sykevälien keskihajonnassa (SDNN) ja matalataajuisessa sykevälivaihtelun komponentissa (LnLF) ei havaittu merkitsevää muutosta. Taulukossa 8 esitellään sykevälivaihtelun eri muuttujia ennen ja jälkeen harjoituksen.

TAULUKKO 8. Sykevälivaihtelu esitettynä keskiarvona ja keskihajontana ennen (pre) ja jälkeen (post) taistelu- ja johtamisharjoituksen.

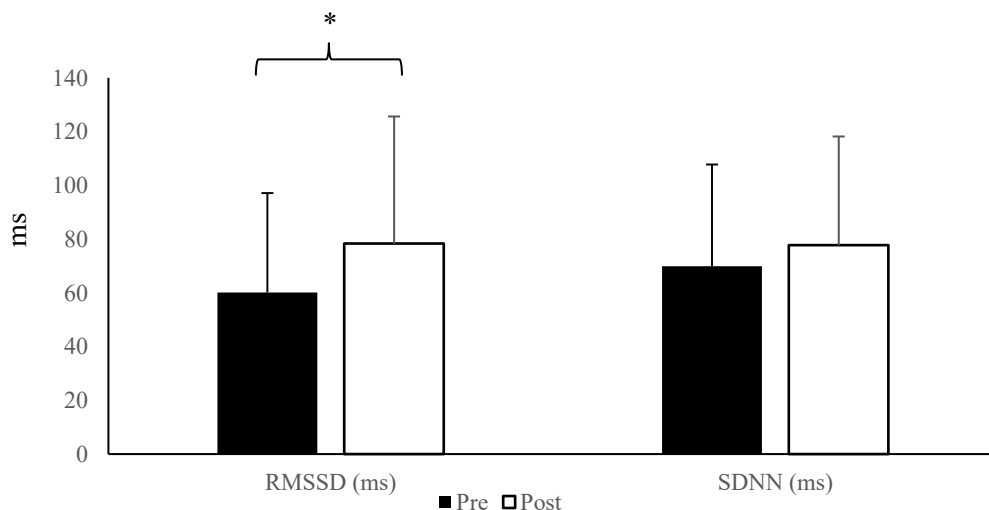
Sykevälivaihtelun muuttuja	Pre	Post	p-arvo
RRi (ms)	909,76 ± 113,08	969,12 ± 133,19	0,026 *
RMSSD (ms)	60,12 ± 36,99	78,29 ± 47,33	0,018 *
SDNN (ms)	69,94 ± 37,80	77,71 ± 40,46	0,297
LnLF (ms ²)	7,61 ± 1,22	7,64 ± 1,23	0,902
LnHF (ms ²)	6,80 ± 1,24	7,32 ± 1,42	0,031*

RRi = RR-intervallien aika, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, SDNN = sykevälien keskihajonta, Ln = luonnollinen logaritmi, LF =

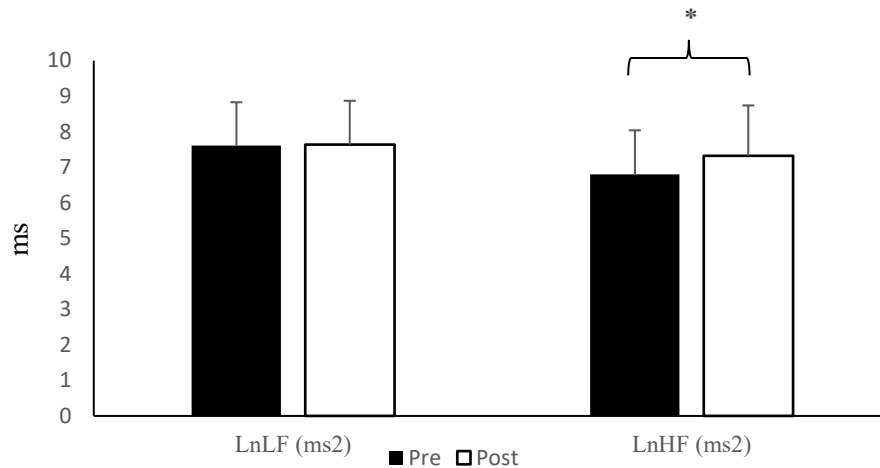
matalataajuinen sykevälivaihtelu, HF = korkeataajuinen sykevälivaihtelu, * $p < 0,05$ = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä



KUVA 4. Sykevälien aika (RRi) millisekunneina ennen ja jälkeen kahdentoista päivän taistelun ja johtamisharjoituksen. Arvot on ilmaistu keskiarvoina ja hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. * $p < 0,05$ = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä



KUVA 5. RMSSD ja sykevälien keskihajonta (SDNN) millisekunneina ennen ja jälkeen kahdentoista päivän taistelun ja johtamisharjoituksen. Arvot on ilmaistu keskiarvoina ja hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. * $p < 0,05$ = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä



KUVA 6. Sykevälvaihtelun taajuusmuuttujat luonnollisessa logaritimuodossa LnLF ja LnHF ennen ja jälkeen kahdentoista päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen. Arvot on ilmaistu keskiarvoina ja hajontapylväät kuvaavat keskihajontaa. * $p < 0,05$ = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä

Taistelu- ja johtamisharjoituksen aiheuttaman sykevälvaihtelun muutoksen sekä Cooperin testin tulosten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. RMSSD:n ja LnLF muutoksen ja Cooperin testin tulosten välillä havaittiin pienet korrelaatiot (Δ RMSSD: 0,215, Δ LnLF: 0,320), mutta ne eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Korrelaatiokertoimet ovat näkyvillä taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Sykevälvaihtelun muutoksen ja Cooperin testin tulosten korrelaatiot.

	Δ RRi (r)	Δ SDNN (r)	Δ RMSSD (r)	Δ LnLF (r)	Δ LnHF (r)
Cooper (m)	0,032	0,270	0,215	0,320	0,123

Δ = muutos, RRi = RR-intervallien aika, RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, SDNN = sykevälien keskihajonta, Ln = luonnollinen logaritmi, LF = matalataajuinen sykevälvaihtelu, HF = korkeataajuinen sykevälvaihtelu, r = Pearsonin korrelaatio, * $p < 0,05$ = tilastollisesti merkitsevä ero mittapisteiden välillä

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Cooperilla arvioitun kestävyys suorituskyvyn sekä sykevälivaihtelun yhteyttä ja korkeamman sekä matalamman suorituskyvyn ryhmien eroja HRV-muuttujissa. Lisäksi tutkittiin kahdentoista päivän raskaan taistelu- ja johtamisharjoituksen vaikutusta sykevälivaihteluun. Viimeisenä selvitettiin vielä taistelu- ja johtamisharjoituksen aiheuttaman sykevälivaihtelun muutoksen sekä Cooperin testin tulosten korrelaatiota. Tutkimuksessa Cooperin testin tulosten ja sykevälivaihtelun väliltä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Sykevälivaihtelun muutoksen ja kestävyys suorituskyvyn väliltä ei myöskään löydetty yhteyttä. Taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena kadettien RR-intervallien aika, RMSSD sekä korkeataajuinen muuttuja LnHF kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi, mikä kertoo sykevälivaihtelun kasvusta.

8.1 Kestävyys suorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteys

Korkeamman ja matalamman kestävyys suorituskyvyn ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja missään sykevälivaihtelun muuttujissa. Sykevälivaihtelun muuttujien ja Cooperin testin tulosten väliltä ei myöskään löydetty tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Kahden ryhmän tuloksista voidaan havaita, että korkeamman kestävyys suorituskyvyn ryhmällä oli hieman korkeammat arvot RRi-, RMSSD- ja SDNN-muuttujissa, mutta tuloksia ei voida sanoa tilastollisesti merkitseviksi. Tutkittavat jaettiin ryhmiin koko ryhmän Cooperin testin mediaanin (2810 m) perusteella. Korkeamman ryhmän keskimääräinen Cooperin tulos oli $3023,6 \pm 181,5$ m ja matalamman $2727,1 \pm 44,2$.

Vaikka aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu sykevälivaihtelun olevan korkeampaa paremman kestävyys suorituskyvyn ryhmällä verrattaessa heikomman suorituskyvyn ryhmiin (De Meersman 1993; Goldsmith ym. 1992; Materko 2018), ei tässä tutkimuksessa havaittu eroa ryhmien välillä. Aikaisemmissa tutkimuksissa sykevälivaihtelun ja kestävyys suorituskyvyn väliltä on myös löydetty merkitsevä korrelaatio (Barbosa de Lima Pinto ym. 2021; Pereira ym. 2019), jota ei myöskään tässä tutkimuksessa havaittu. Näissä sykevälivaihtelun ja kestävyys suorituskyvyn yhteyttä puoltavissa tutkimuksissa kestävyys suorituskyky arvioitiin maksimaalisella hapenotto kykytestillä tai YoYoIR1-testillä. Näistä tutkimuksista poiketen, Grant ym. (2013) eivät löytäneet korrelaatiota Cooperin testillä arvioitun VO₂max:in ja HRV

muuttujien välillä. Myöskään Bosquet ym. (2007) eivät havainneet eroa sykevälivaihtelussa aerobisen kynnyksen perusteella jaettujen korkeamman ja matalamman kestävyysuorituskykyryhmän välillä. Ryhmien välillä ei kuitenkaan ollut eroa maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Aiheen tutkimustieto on siis osittain ristiriitaista, eikä aikaisemmassakaan tutkimuksessa ole löydetty yhteyttä Cooperin testillä arvioitun kestävyysuorituskyvyn ja HRV:n väliltä.

Cooperin testillä arvioituun kestävyysuorituskykyyn liittyy rajoitteita, jotka ovat voineet vaikuttaa oleellisesti tuloksiin. Testi suoritettiin Suomen maanpuolustuskorkeakoulun toimesta 2023 keväällä pääsykokeiden yhteydessä tai 2023 syksyllä ennen taistelu- ja johtamisharjoitusta. Yksi tulokseen vaikuttava tekijä on mm. yksilön motivaatio suorittaa testi niin hyvin kuin pystyy. Pääsykokeissa suoritettua testissä osalle tärkeintä voi olla saavuttaa tulos, jolla pääsee sisälle kouluun, eikä välttämättä suorittaa testiä ääri rajoille asti. Motivaation lisäksi tutkittavat, jotka suorittavat testin jo keväällä, ovat voineet kehittää kestävyysuorituskykyään syksyyn mennessä. Tällöin erot esimerkiksi matalamman ja korkeamman kestävyysuorituskykyryhmän välillä eivät välttämättä ole tulleet niin hyvin esille. Nämä tekijät voivat osittain selittää sitä, miksi kestävyysuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun väliltä ei löydetty merkitseviä yhteyksiä.

8.2 Kovan kuormituksen vaikutus sykevälivaihteluun ja kestävyysuorituskyvyn yhteys HRV:n muutokseen

Kahdentoista päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena tutkittavien sykevälivaihtelu nousi. Merkitsevin ero havaittiin sykevälivaihtelun RMSSD-muuttujassa sen ollessa ennen harjoitusta $60,12 \pm 36,99$ ms (keskiarvo \pm keskihajonta) ja harjoituksen jälkeen $78,29 \pm 47,33$ ms ($p=0,018$). Myös keskimääräisessä sykevälien ajassa RRi (pre $909,76 \pm 113,08$ ms vs. post $969,12 \pm 133,19$ ms, $p=0,026$) sekä korkeataajuisen sykevälivaihtelun muuttujassa luonnollisessa logaritimuodossa LnHF (pre $6,80 \pm 1,24$ ms² vs. post $7,32 \pm 1,42$ ms², $p=0,031$) havaittiin merkitsevä ero. Keskimääräisessä sykevälien hajonnassa (SDNN) havaittiin kasvava trendi (pre $69,94 \pm 37,80$ ms vs. post $77,71 \pm 40,46$ ms), mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä p-arvon ollessa 0,297. Matalataajuisessa sykevälivaihtelun muuttujassa LnLF ei havaittu muutosta. Näiden tulosten valossa tutkimuskysymyksen 2 hypoteesi piti tältä osin

paikkaansa. Kestävyyssuorituskyvyn ja sykevälivaihtelun muutoksen yhteyttä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa havaittu kaikkien korrelaatiokertoimien ollessa tilastollisesti merkitsemättömiä. Toinen osa hypoteesista ei siis pitänyt paikkaansa.

Sykevälivaihtelun RMSSD- ja HF-muuttujan nousu kuvastaa parasympaattisen hermoston aktiivisuuden kasvua. Näiden muuttujien on todettu korreloivan keskenään. (Shaffer & Ginsberg 2017) Myös hengitysrytmin on osoitettu vaikuttavan sydämen autonomiseen säätelyyn. Sisäänhengityksen aikana vasomotorinen keskus inhiboi vagaalista säätelyä, jolloin syke kiihtyy. Uloshengityksen aikana vagaalinen säätely palautuu ja syke laskee. Tätä ilmiötä kutsutaan RSA:ksi (respiratory sinus arrhythmia). Sykevälivaihtelun HF-muuttujan tiedetään vastaavan hengitysrytmin aiheuttamiin sykkeen muutoksiin, jonka vuoksi se ei yksinomaan välttämättä kerro pelkistä parasympaattisen hermoston muutoksista. (Grossman & Taylor 2007; Shaffer & Ginsberg 2017) Tässä tutkimuksessa hengitystiheyteen ei puututtu vaan tutkittavat hengittivät spontaanisti, joka on voinut osaltaan vaikuttaa HRV-muuttujiin. Ilman harjoittelua hengitysrytmin vakioiminen voi kuitenkin olla vaikeaa ja saada tutkittavan esimerkiksi hyperventiloimaan tai hengittämään liian hitaasti, joka voisi myös vaikuttaa tuloksia väärin tavalla (Grossman & Taylor 2007). Keskimääräisten sykevälien hajonnan (SDNN) on todettu olevan tarkempi pidemmissä 24 tunnin mittauksissa kuin esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyissä lyhyissä mittauksissa. SDNN:ään vaikuttavat niin sympaattinen kuin myös parasympaattinenkin hermosto ja se korreloi vahvasti muun muassa matalataajuisen sykevälivaihtelumuuttujan LF kanssa. (Shaffer & Ginsberg 2017) Tutkimuksessa ei havaittu merkitseviä muutoksia SDNN- eikä LF-muuttujissa, mikä on linjassa sen kanssa, että muuttajat korreloivat keskenään. Aikaisemmin tässä tutkielmassa on myös todettu LF-muuttujaan vaikuttavien tekijöiden olevan hieman epäselviä, kun taas HF-muuttujan on osoitettu olevan yhteydessä parasympaattisen aktiivisuuden kasvuun. Näiden tietojen valossa voidaan todeta parasympaattisen hermoston mahdollisesti dominoivan enemmän taistelu- ja johtamisharjoituksen jälkeen kuin ennen sitä, joka näkyy sykevälivaihtelun kasvuna.

Sykevälivaihtelun kasvua taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena voidaan mahdollisesti selittää muun muassa ”parasymphathetic rebound” -efektillä tai voimakkaalla univajeella. Mezzacappa ym. (2001) havaitsivat parasympaattisen hermoston aktiivisuuden nousua stressaavan tilanteen jälkeen verrattuna lähtötilanteeseen. Tätä ilmiötä perusteltiin parasymphathetic rebound -efektillä, joka tarkoittaa parasympaattisen hermoston voimakkaampaa aktivoitumista palautumisvaiheessa sen jälkeen, kun se on ensin ollut

vähemmän aktiivisena esimerkiksi stressaavassa tilanteessa. Mezzacappa ym. (2001) pohtivat parasympaattisen aktiivisuuden kasvun edistävän palautumista kuormittavasta tilanteesta, jotta elimistön tasapainotila saavutettaisiin. Taistelu- ja johtamisharjoituksen ollessa erityisen kuormittava useiden eri stressitekijöiden seurauksena, on hyvinkin mahdollista, että tutkittavien päästessä maastosta sisälle lämpimään on parasympaattinen hermosto aktiivisuuden nousullaan aloittanut pyrkimyksen palauttaa elimistön homeostaasi.

Parasympathetic rebound -efektin lisäksi toisena selittävänä tekijänä voidaan pitää mahdollisesti univajetta. Taistelu- ja johtamisharjoituksen aikana tutkittavat altistuivat monille päällekkäisille psyykkisesti ja fyysisesti kuormittaville tekijöille kuten fyysiselle ja psyykkiselle stressille, univajeelle sekä epävarmuudelle haastavissa olosuhteissa. Sotilaallisissa kontekstissa tehdyissä aikaisemmissa tutkimuksissa sykevälivaihtelua ja autonomisen hermoston toiminnan muutoksia on käytetty tutkimaan niin akuuttia stressireaktiota taistelutilanteessa (Clemente-Suarez ym. 2018) kuin myös pidemmän raskaan sotilaallisen harjoituksen tai koulutuksen fysiologisia vaikutuksia (Corrigan ym. 2023; Jouanin ym. 2004; Salonen ym. 2013). Sekä Corrigan ym. (2023) että Jouanin ym. (2004) havaitsivat sykevälivaihtelun kasvavan maastossa suoritetun useamman päivän raskaan sotilaallisen harjoituksen seurauksena. Corrigan ym. (2023) pohtivat tulosten johtuvan muun muassa suuresta univajeesta, jonka on tutkimuksissa osoitettu sekä nostavan (Vaara ym. 2009) että laskevan (Morales ym. 2019) sykevälivaihtelua. Univajeen aiheuttaman parasympaattisen aktiivisuuden kasvun on ajateltu olevan kehon suojaava reaktio, jotta pitkittyneen valveillaolon aiheuttamasta epätasapainotilasta toivuttaisiin (Holmes ym. 2002; Vaara ym. 2009). Univajeen seurauksena moni tutkittava oli post mittauksissa niin väsynyt, että meinasi nukahtaa kuuden minuutin sykemittauksen aikana useita kertoja. Eräässä tutkimuksessa sykevälivaihtelun taajuusmuuttujien LF ja HF on huomattu kasvavan mikrounien aikana verrattuna valveillaoloon (Dorfman Furman ym. 2008). Voidaan siis pohtia ovatko jotkut tutkittavista nukkuneet sykemittauksen aikana lyhyitä mikrounipätkiä, jotka olisivat vaikuttaneet HRV:hen.

Aikaisemmissa tutkimuksissa sykevälivaihtelun on havaittu laskevan muun muassa työstressin (Clays ym. 2011), erilaisten laboratorio-olosuhteissa tehtyjen stressitestien (Delaney & Brodie 2000; Seipäjärvi ym. 2022), kovatehoisen fyysisen aktiivisuuden (Hynynen ym. 2010) sekä akuutin taistelutilanteen (Clemente-Suarez ym. 2018) seurauksena. Vastoin näitä aiempia tutkimuksia tässä tutkimuksessa tutkittavien sykevälivaihtelu kasvoi, vaikka taistelu- ja johtamisharjoitus sisälsi paljon sekä psyykkistä että fyysistä stressiä. Tutkittavat olivat

kuitenkin suorittaneet 12 päivän harjoituksen ääriolosuhteissa altistuen myös muun muassa voimakkaalle univajeelle, jolloin useat stressitekijät ovat vaikuttaneet päällekkäisesti. Stressitekijöiden vaikutusta sykevälivaihtelun kasvuun tässä tutkimuksessa on vaikea erotella, sillä niitä ei mitattu harjoituksen aikana millään tavalla. Koska aikaisemmin univajeen on todettu nostavan sykevälivaihtelua, voidaankin pohtia olisiko univaje tärkein sykevälivaihtelun nousua selittävä stressitekijä tässä tutkimuksessa.

Niin kuin aikaisemmin mainittiin, sykevälivaihtelun muutoksen ja Cooperin testin tulosten välillä ei havaittu yhteyttä. Tämä voi osittain selittyä rajoitteilla, jotka liittyvät Cooperin testin suorittamiseen. Yhtenä rajoitteena on esimerkiksi tutkittavien motivaatio juosta Cooperin testiä niin hyvin kun he pystyvät, jolloin on mahdollista, että heikoimman tuloksen juosseilla voisi olla todellisuudessa korkeampi kestävyys suorituskyky. Samoin kestävyyskunnan paraneminen kevään pääsykokeista 2023 syksyyn voi olla yksi tekijä, joka voi vääristää kestävyyskunnan tuloksia.

8.3 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet sekä jatkotutkimusaiheet

Tieteelliseen tutkimukseen liittyy aina myös rajoitteita. Tässä tutkimuksessa oli kaksi tutkimuskysymystä, joista ensimmäiseen vastattiin poikkileikkausasetelmassa. Toista tutkimuskysymystä käsiteltiin havainnointiasetelmassa. Itse poikkileikkausasetelmaan liittyy rajoitteita. Koska poikkileikkaustutkimuksessa aineistoa kerätään vain yhdessä tietyssä aikapisteessä, edustaa tämä aineisto vain tätä spesifiä ajankohtaa. Tutkimuksessa sykevälidataa kerättiin sekä ennen, että jälkeen taistelu- ja johtamisharjoituksen, mutta kestävyys suorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyksien tutkimiseen käytettiin vain ennen harjoitusta kerättyä dataa. Sykevälivaihteluun vaikuttavat monet psyykkiset, fyysiset ja ympäristön tekijät (Kim ym. 2018), jolloin vain yhtenä päivänä kerätty data ei välttämättä luotettavasti kerro yksilön HRV:n perustaso. Pre-mittauksia edeltävien päivien sisällöstä ei myöskään ole tarkkaa tietoa, jolloin ei voida tietää mahdollisia sykevälivaihteluun vaikuttavia tapahtumia. HRV:n perustason luotettavuutta olisi voitu lisätä esimerkiksi suorittamalla useammat pre-mittaukset eri päivinä ennen taistelu- ja johtamisharjoitusta. Poikkileikkaustutkimuksella voidaan selvittää yhteyksiä, mutta ei syy-seuraus suhteita. Tässä tutkimuksessa tämä ei kuitenkaan saa paljoa painoarvoa, sillä kestävyys suorituskyvyn ja sykevälivaihtelun yhteyttä ei pystytty todistamaan tilastollisesti merkitseväksi.

Jo aikaisemmin mainitut rajoitteet liittyen kestävyysuorituskyvyn arviointiin ovat voineet vaikuttaa siihen, että kestävyysuorituskyvyn ja HRV:n väliltä ei löydetty korrelaatiota eikä kahden eri ryhmän välisiä eroja. Cooperin testi suoritettiin Suomen Maanpuolustuskorkeakoulun toimesta joko 2023 keväällä pääsykokeiden yhteydessä tai 2023 syksyllä ennen taistelu- ja johtamisharjoitusta. Cooperin testiä ei siis pystytty valvomaan tutkimushenkilökunnan toimesta, vaan MPKK vastasi sen suorittamisesta, jolloin testin kulusta ei ole täysin tarkkaa tietoa. Se oli kuitenkin suoritettu Cooperin testin ohjeiden mukaisesti. Cooperin testin tulokseen vaikuttaa oleellisesti yksilön motivaatio suorittaa testi omien kykyjen mukaisesti. MPKK:n pääsykokeissa tiedetään olevan 2600 m minimivaatimus Cooperin testissä ja täydet pisteet saa 3000 metristä (Valintaopas, MPKK 2023, 47). Koska osa tutkimuksessa käytetyistä 12 minuutin juoksutestin tuloksista oli mitattu MPKK:n pääsykokeissa on mahdollista, että testin rajat tietäessään kaikki eivät ole suorittaneet testiä niin hyvin kun pystyvät, vaan ainoastaan riittävän hyvin päästäkseen sisälle kouluun. Näin ollen on mahdollista, että matalamman kestävyysuorituskyvyn ryhmällä olisi todellisuudessa korkeampi suorituskyky, jolloin näillä ryhmäjäoilla mahdolliset erot sykevälivaihtelussa eivät ole tulleet esille. Voidaan pitää myös mahdollisena, että keväällä Cooper-testin suorittaneiden kestävyysuorituskyky on ehtinyt parantua puolen vuoden aikana, jolloin kevään tulokset eivät enää ole luotettavia arvioimaan näiden yksilöiden suorituskykyä. Aikaisemmassa tutkimustiedossa on osoitettu kestävyysuorituskyvyn parantavan sekä kestävyysuorituskykyä että sykevälivaihtelua (Costa ym. 2022; Nummela ym. 2010; Nummela ym. 2017). Kaikki tutkittavat ovat kuitenkin pääsykokeiden jälkeen suorittaneet samaa koulutusta, jolloin mahdolliset suorituskykyerot ovat voineet hieman jo tasoittua syksyyn 2023 mennessä. Erot sykevälivaihtelussa eivät siis välttämättä ole tulleet esille näiden tekijöiden mahdollisesti väärinä tuloksia, jolloin tutkittavat ovat ehkä olleet enemmän tasavertaisia kestävyysuorituskyvyssä, kun mitä tulokset antavat olettaa.

Taistelu- ja johtamisharjoituksessa tutkittavat altistuivat useille kuormittaville tekijöille kuten fyysiselle ja psyykkiselle stressille sekä energia- ja univajeelle. Koska näitä tekijöitä ei mitattu, on vaikea erotella tarkemmin mitkä tekijöistä ovat vaikuttaneet eniten sykevälivaihtelun muutokseen. Tutkijat eivät myöskään olleet havainnoimassa taistelu- ja johtamisharjoituksen suorittamista, eikä sen tapahtumista ole tarkkaa tietoa. Rajoitteeksi kuitenkin muodostuu se, että kaikkia tutkittavia ei ole harjoituksen aikana altistettu välttämättä samoille kuormittaville tekijöille yhtä paljon. Jotkut tutkittavista ovat esimerkiksi saattaneet joutua marssimaan

pidempiä matkoja, jolloin fyysisen rasituksen aiheuttama kuormittuneisuus on eri tutkittavilla eri suuruista. Muun muassa fyysisen kuormituksen vahvuuden on todettu vaikuttavan sykevälivaihteluun (Flatt ym. 2017). Tutkittavat ovat myös toimineet erilaisissa tehtävissä, jolloin esimerkiksi psyykkinen stressi ja univajeen määrä voivat olla eri suuruisia. Tällöin harjoitus ei ole ollut kaikille tutkittaville täysin samanlainen, joten tuloksissa voi olla paljon yksilöllisiä eroja.

Niin kuin aikaisemmin jo todettiin, sykevälivaihtelun arvoihin on todennäköisesti vaikuttanut myös tutkittavien kykenemättömyys pysyä hereillä kuuden minuutin sykemittauksen aikana taistelu- ja johtamisharjoituksen jälkeen. Vaikka mittaustilanne oli vakioitu ja se suoritettiin samalla tavalla, kun pre-mittauksissa, on suuri väsymys aiheuttanut muutoksia mittaustilanteeseen. Yksi tällainen muutos oli esimerkiksi tutkijan puhe ”silmät auki”, aina jos joku tutkittavista meinasi nukahtaa. Tämä aiheutti varmasti joissakin tutkittavissa tietynlaisen säikähdysreaktion, kun he havahtuivat unen rajamailta takaisin valveille. Voidaan siis ajatella, että se on mahdollisesti vaikuttanut sykkeeseen ja näin ollen myös sykevälivaihteluun.

Myös aineiston analysointivaiheeseen liittyy rajoitteita. Muun muassa sykeaineiston suodattaminen vaikuttaa huomattavasti HRV-tuloksiin. Aineiston analysoijan on valittava miten hän aineiston suodattaa, jolloin tietyn suodattimen (beat correction) käyttö vaikuttaa tuloksiin. Tämän vuoksi voi olla jopa vaikeaa vertailla eri tutkimusten tuloksia, joissa on käytetty eri suodatinta. (Alcantara ym. 2020) Myös Kubios HRV (2023) käyttäjän oppaan mukaan, eri suodattimien käyttö vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. Tässä tutkimuksessa käytettiin automaattista suodatinta, joka on suositeltu ja validoitu tapa suodattaa sykedataa (Kubios HRV 2023). Corrigan ym. (2023) puolestaan käyttivät sykeaineiston suodattamiseen Kubios -ohjelmiston alinta mahdollista suodatinta. Analysoija voi siis valita suodattavansa sykedataa eri suodattimien avulla, valiten parhaimman suodatustason jokaisen yksilön kohdalla erikseen tai valita automaattisen suodatuksen, jolloin ohjelmisto suodattaa jokaisen datan laskukaavojen mukaan. Yksi vaihtoehto on myös suodattaa dataa manuaalisesti, jolloin analysoija voi itse poistaa datasta epämääräisiä sykepiikkejä tai jaksoja. Suositeltavaa olisi käyttää alinta mahdollista suodatinta, joka tunnistaa kaikki poikkeavuudet, mutta ei kuitenkaan suodata liikaa normaaleja RR-intervalleja.

Tutkimuksessa oli myös vahvuuksia. Sykemittauksiin oli selkeä protokolla ja ne pyrittiin vakioimaan niin hyvin kuin tilanteessa pystyi. Tutkijat olivat harjoitelleet mittaustilannetta

etukäteen useamman kerran, jolloin oikeassa mittaustilanteessa kiireestä huolimatta kaikki tiesivät miten toimia ja mittaukset sujuivat ongelmitta. Ennen varsinaista mittausjaksoa tutustumiskäynnillä tutkittaville opastettiin Polarin kellon ja sykevyön käyttöä sekä sykkeen mittaamista ja he pääsivät harjoittelemaan sitä. Tutkittavilta oli otettu kuuden minuutin sykemittaus pre-mittausten jälkeen useita kertoja myös taistelu- ja johtamisharjoituksen aikana, jolloin post-mittauksiin tullessa tutkittavat itsekin tiesivät, miten mittaukset suoritetaan. Tämä osaltaan helpotti post-mittausten kiirettä ja vähentää mittausrvirheiden mahdollisuutta.

Kadettikoulutuksen aikana oppilaat kohtaavat useita kuormittavia hetkiä ja harjoituksia, jotka varmasti vaikuttavat heidän arkipäivissäänkin fysiologisiin toimintoihin kuten sykevälivaihteluun. Kadettina opiskelemista ei välttämättä voida täysin verrata muiden opiskeltavien alojen koulutukseen. Tämän tiedostaessa, tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koskemaan koko Suomen nuorta miesväestöä, vaan lähtökohtaisesti vain kadettikoulun miesoppilaita. Koska maastossa suoritettavissa useiden päivien sotilaallisissa harjoituksissa kadetit altistuvat monille päällekkäisille stressitekijöille, joita tässä tutkimuksessa ei eroteltu, jatkotutkimuksissa olisi hyvä pyrkiä mittaamaan eri stressitekijöiden suuruutta kuten unta, energiankulutusta, fyysistä aktiivisuutta sekä stressiä. Lisäksi voisi pohtia sykevälivaihtelun mittaamista yön aikana ennen ja jälkeen harjoituksen. Tällöin harjoituksen jälkeen väsyneiden tutkittavien ei tarvitsisi yrittää pysyä väkisin hereillä mittauksen aikana, joka tässä tutkimuksessa osoittautui kohtuullisen haastavaksi. Yön aikainen mittaus ei kuitenkaan välttämättä mahdollistaisi harjoituksen aikaisia sykevälivaihtelumittauksia, sillä tämän kaltaisissa sotilaallisissa harjoituksissa tutkittavat eivät välttämättä nuku joka yö.

8.4 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa kestävyysuorituskyvyssä ja ennen harjoitusta mitatussa sykevälivaihtelussa ei havaittu mitään yhteyksiä eikä eroja korkeamman tai matalamman kestävyysuorituskyvyn välillä. Myöskään sykevälivaihtelun muutoksen ja Cooperin testillä arvioitun kestävyysuorituskyvyn väliltä ei löydetty korrelaatiota.

Kahdentoista päivän taistelu- ja johtamisharjoituksen seurauksena mieskadettien sykevälivaihtelu kasvoi. Tilastollisesti merkitsevä muutos ennen ja jälkeen harjoituksen tehtyjen mittausten välillä havaittiin RR-intervallien ajassa, RMSSD:ssä sekä korkeataajuisessa

sykevälivaihtelun muuttujassa luonnollisessa logaritmuodossa LnHF. Tulos on linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa on tutkittu raskaita useamman päivän sotilaallisia harjoituksia ja sen voidaan mahdollisesti ajatella olevan seurausta äärimmäisestä univajeesta ja niin kutsutusta ”parasympathetic rebound” -efektistä. Sykevälivaihtelun nousun tarkkaa yksittäistä tekijää ei kuitenkaan pystytä määrittämään. Tulokset heijastelevat parasympaattisen hermoston korkeampaa aktiivisuutta harjoituksen jälkeen. Sotilaskontekstissa tehtyjä tutkimuksia raskaista useita kuormittavia tekijöitä sisältävistä harjoituksista on kuitenkin vielä varsin vähän, joten lisää tutkimusta aiheesta tarvitaan, jotta tällaisten harjoitusten fysiologisia vaikutuksia voidaan raportoida luotettavammin sekä erotella vasteisiin vaikuttavia tekijöitä.

LÄHTEET

- Alcantara, J. M. A., Plaza-Florido, A., Amaro-Gahete, F. J., Acosta, F. M., Migueles, J. H., Molina-Garcia, P., Sacha, J., Sanchez-Delgado, G. & Martinez-Tellez, B. (2020). Impact of Using Different Levels of Threshold-Based Artefact Correction on the Quantification of Heart Rate Variability in Three Independent Human Cohorts. *Journal of Clinical Medicine* 9 (2). doi:10.3390/jcm9020325.
- Barbosa de Lima Pinto, J. C., Vitor Medeiros, R. M., Mortatti, A. L., Yuzo Nakamura, F., de Sousa Fortes, L., da Silva Machado, D. G. & Igor Fonteles, A. (2021). Do heart rate variability is related to endurance performance in female futsal players? / A variabilidade da frequência cardíaca está relacionada ao desempenho de resistência em jogadoras de futsal? *Brazilian Journal of Kineanthropometry & Human Performance* 23, 1–11.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y. & Buckley, J. D. (2016). Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine* 46 (10), 1461–1486. doi:10.1007/s40279-016-0484-2.
- Bosquet, L., Gamelin, F.-X., Berthoin, S. & Gamelin, F.-X. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European Journal of Applied Physiology* 100 (3), 363–369.
- Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J. & Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 287 (6), H2813–H2818. doi:10.1152/ajpheart.00490.2004.
- Clays, E., De Bacquer, D., Crasset, V., Kittel, F., de Smet, P., Kornitzer, M., Karasek, R. & De Backer, G. (2011). The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 84 (2), 185–191. doi:10.1007/s00420-010-0537-z.
- Clemente-Suarez, V. J., Palomera, P. R. & Robles-Pérez, J. J. (2018). Psychophysiological response to acute-high-stress combat situations in professional soldiers. *Stress and Health* 34 (2), 247–252. doi:10.1002/smi.2778.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2. Paines. New York, Yhdysvallat: Lawrence Erlbaum Associates Publisher, 82.

- Cooper, K. H. (1968). A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake: Correlation Between Field and Treadmill Testing. *JAMA* 203 (3), 201–204. doi:10.1001/jama.1968.03140030033008.
- Corrigan, S. L., Roberts, S. S. H., Warmington, S. A., Drain, J. R., Tait, J. L., Bulmer, S. & Main, L. C. (2023). Overnight heart rate variability responses to military combat engineer training. *Applied Ergonomics* 107, 103935. doi: 10.1016/j.apergo.2022.103935.
- Costa, J. A., Brito, J., Nakamura, F. Y., Dores, H. & Rebelo, A. (2022). Associations between 24-h heart rate variability and aerobic fitness in high-level female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 32 (S1), 140–149. doi:10.1111/sms.14116.
- De Meersman, R. E. (1993). Heart rate variability and aerobic fitness. *American Heart Journal* 125 (3), 726–731. doi:10.1016/0002-8703(93)90164-5.
- Delaney, J. P. A. & Brodie, D. A. (2000). Effects of Short-Term Psychological Stress on the Time and Frequency Domains of Heart-Rate Variability. *Perceptual and Motor Skills* 91 (2), 515–524. doi:10.2466/pms.2000.91.2.515.
- Dorfman Furman, G., Baharav, A., Cahan, C. & Akselrod, S. (2008). Early detection of falling asleep at the wheel: A Heart Rate Variability approach. *Computers in Cardiology* 35, 1112. doi:10.1109/CIC.2008.4749240.
- Flatt, A. A., Esco, M. R. & Nakamura, F. Y. (2017). Individual Heart Rate Variability Responses to Preseason Training in High Level Female Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 31 (2), 531. doi:10.1519/JSC.0000000000001482.
- Goldsmith, R. L., Bigger, J. T., Steinman, R. C. & Fleiss, J. L. (1992). Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *Journal of the American College of Cardiology* 20 (3), 552–558. doi:10.1016/0735-1097(92)90007-A.
- Grant, C., Murray, C., Janse Van Rensburg, D. & Fletcher, L. (2013). A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Frontiers in Physiology* 4. doi: 10.3389/fphys.2013.00337
- Grossman, P. & Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological Psychology* 74 (2), 263–285. doi: 10.1016/j.biopsycho.2005.11.014.
- Hall, J. E. & Hall, M. E. (2021) *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. 14. painos. Elsevier: Philadelphia.

- Hauswirth, C. & Le Meur, Y. (2012). Physiological Demands of Endurance Performance. Teoksessa I. Mujika (toim.) *Endurance Training – Science and Practice*. Donostia: Inigo Mujika S.L.U., 3–7.
- Holmes, A. L., Burgess, H. J. & Dawson, D. (2002). Effects of sleep pressure on endogenous cardiac autonomic activity and body temperature. *Journal of Applied Physiology* 92 (6), 2578–2584. doi:10.1152/jappphysiol.01106.2001.
- Hynynen, E., Vesterinen, V., Rusko, H. & Nummela, A. (2010). Effects of Moderate and Heavy Endurance Exercise on Nocturnal HRV. *International Journal of Sports Medicine* 31 (6), 428–432.
- Jouanin, J.-C., Dussault, C., Pérès, M., Satabin, P., Piérard, C. & Guézennec, C. Y. (2004). Analysis of heart rate variability after a ranger training course. *Military Medicine* 169 (8), 583–587. doi:10.7205/milmed.169.8.583.
- Kageyama, T., Nishikido, N., Kobayashi, T., Kurokawa, Y., Kaneko, T. & Kabuto, M. (1998). Self-Reported Sleep Quality, Job Stress, and Daytime Autonomic Activities Assessed in Terms of Short-Term Heart Rate Variability among Male White-Collar Workers. *Industrial Health* 36 (3), 263–272. doi:10.2486/indhealth.36.263.
- Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H. & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig* 15 (3), 235–245. doi:10.30773/pi.2017.08.17.
- Kubios HRV. User's Guide – Kubios HRV Scientific. (2023). Viitattu 14.1.2024. www.kubios.com
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal and Coping*. New York: Springer.
- Leppäluoto, J., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lauri, T. (2019) *Anatomia ja fysiologia – rakenteesta toimintaan*. 9. painos. Sanoma Pro Oy: Helsinki.
- Lovallo, W. R. & Thomas, T. L. (2000) Stress hormones in psychophysiological research. Emotional, Behavioral, and Cognitive Implications. Teoksessa J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (toim.) *Handbook of Psychophysiology*. 2. painos. Cambridge: University of Cambridge, 343-352.
- Martinmäki, K., Häkkinen, K., Mikkola, J. & Rusko, H. (2008). Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *European Journal of Applied Physiology* 104 (3), 541–548. doi:10.1007/s00421-008-0804-9.
- Materko, W. (2018). Stratification of the level of aerobic fitness based on heart rate variability parameters in adult males at rest. *Motricidade* 14 (1), 51–57.

- McArdle, W. D, Katch, F. I & Katch, V. L. (2008). *Exercise Physiology – Nutrition, Energy, and Human Performance*. 8. Painos. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Mezzacappa, E. S., Kelsey, R. M., Katkin, E. S. & Sloan, R. P. (2001). Vagal Rebound and Recovery From Psychological Stress. *Psychosomatic Medicine* 63 (4), 650.
- Morales, J., Yáñez, A., Fernández-González, L., Montesinos-Magraner, L., Marco-Ahulló, A., Solana-Tramunt, M. & Calvete, E. (2019). Stress and autonomic response to sleep deprivation in medical residents: A comparative cross-sectional study. *Plos One* 14 (4), e0214858. doi: 10.1371/journal.pone.0214858.
- Nummela, A. (2004). Kestävyyssominaisuuksien mittaaminen – kestävyys suorituskykyä selittävät tekijät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry, 51.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P. & Rusko, H. (2010). Endurance Performance and Nocturnal HRV Indices. *International Journal of Sports Medicine* 31 (3), 154–159.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P. & Rusko, H. (2017). High-intensity endurance training increases nocturnal heart rate variability in sedentary participants. *Biology of Sport* 34 (1), 7–13.
- Nummela, A., Mänttari, A., Keskinen, O. P. & Keskinen, K. L. (2018). *Kestävyys - Kenttätetit*. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen, M. Kallinen (toim.) *Fyysisen kunnan mittaaminen - käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Painos ei tiedossa. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 102.
- Peltonen, J. & Nummela, A. (2018). *Kestävyys - Kestävyyden fysiologiset perusteet*. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Fyysisen kunnan mittaaminen - käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Painos ei tiedossa. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 65.
- Pereira, L. A., Abad, C. C. C., Leiva, D. F., Oliveira, G., Carmo, E. C., Kobal, R. & Loturco, I. (2019). Relationship Between Resting Heart Rate Variability and Intermittent Endurance Performance in Novice Soccer Players. *Research Quarterly for Exercise & Sport* 90 (3), 355–361.
- Russell, G. & Lightman, S. (2019). The human stress response. *Nature Reviews. Endocrinology* 15 (9), 525–534. ProQuest Central; SciTech Premium Collection. doi:10.1038/s41574-019-0228-0.
- 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* 02. doi:10.4172/2324-9315.1000107.

- Schneiderman, N., Ironson, G. & Siegel, S. D. (2005). Stress and Health: Psychological, Behavioral, and Biological Determinants. *Annual review of clinical psychology* 1, 607–628. doi: 10.1146/annurev.clinpsy.1.102803.144141.
- Seipäjärvi, S. M., Tuomola, A., Juurakko, J., Rottensteiner, M., Rissanen, A.-P. E., Kurkela, J. L. O., Kujala, U. M., Laukkanen, J. A. & Wikgren, J. (2022). Measuring psychosocial stress with heart rate variability-based methods in different health and age groups. *Physiological Measurement* 43 (5), 055002. doi:10.1088/1361-6579/ac6b7c.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* 5, 258. doi:10.3389/fpubh.2017.00258.
- Shaffer, F., McCraty, R. & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology* 5. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040
- Sloan, R. P., Shapiro, P. A., Bagiella, E., Boni, S. M., Paik, M., Bigger, J. T., Steinman, R. C. & Gorman, J. M. (1994). Effect of mental stress throughout the day on cardiac autonomic control. *Biological Psychology* 37 (2), 89–99. doi:10.1016/0301-0511(94)90024-8.
- Stanley, J., Peake, J. M. & Buchheit, M. (2013). Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise: Implications for Training Prescription. *Sports Medicine* 43 (12), 1259–1277. doi:10.1007/s40279-013-0083-4.
- Task Force. 1996. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology 51 and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93.
- Tiwari, R., Kumar, R., Malik, S., Raj, T. & Kumar, P. (2021). Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Current Cardiology Reviews* 17 (5), e160721189770. doi:10.2174/1573403X16999201231203854.
- Vaara, J., Kyröläinen, H., Koivu, M., Tulppo, M. & Finni, T. (2009). The effect of 60-h sleep deprivation on cardiovascular regulation and body temperature. *European Journal of Applied Physiology* 105 (3), 439–444. doi:10.1007/s00421-008-0921-5.
- Valintaopas 2023 – Sotatieteellisten perustutkintojen opinnot. (2022) Maanpuolustuskorkeakoulu. Opintoasiaintoimisto. Viitattu 6.12.2023. www.maanpuolustuskorkeakoulu.fi, 47.

