

OULUN SEUDUN  
AMMATTIKORKEAKOULU



Heta Helakari

SYDÄMEN AUTONOMINEN SÄÄTELY KYLMÄSSÄ

# SYDÄMEN AUTONOMINEN SÄÄTELY KYLMÄSSÄ

Heta Helakari  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Hyvinvointiteknologia  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tekniikan yksikkö, Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma,  
ammattikorkeakoulututkinto (240op)

---

Tekijä: Heta Helakari

Opinnäytetyön nimi: Sydämen autonominen säätely kylmässä

Työn ohjaaja: yliopettaja (OAMK) Jukka Jauhiainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012 Sivumäärä: 49 + 14

---

Opinnäytetyö oli osa Kohonnut verenpaine ja kylmä -tutkimushanketta, jossa tutkittiin verenpaineen säätelyä kylmässä hypertensiivisillä (kohonnut verenpaine) ja normotensiivisillä (normaali verenpaine) miehillä. Sykevaihtelu (HRV) ja barorefleksiherkkyys (BRS) ovat tärkeitä tekijöitä sydämen autonomisessa säätelyssä. Tiedetään, että kylmältistus nostaa verenpainetta ja laskee sykettä, mutta sen yhteyttä sykevaihteluun ja barorefleksiin ei tunneta tarkasti. Opinnäytetyön tavoitteena oli analysoida sykevaihtelun ja barorefleksiherkkyuden muutoksia kylmässä ja siitä palautumisen aikana normotensiivisillä tutkittavilla.

Kylmältistustutkimukset tehtiin 51 hypertensiiviselle ja 32 normotensiiviselle tutkittavalle. Sykevaihtelun ja barorefleksiherkkyuden osalta mitattiin jatkuvana signaalina EKG, verenpaine sormesta ja hengitys rintakehän laajenemista mittaavalla pietsosähköisellä anturilla. Näistä aikasarjoista analysoitiin aika- ja taajuuskeskittämällä menetelmällä syke- ja verenpainevaihtelu sekä barorefleksiherkkyys perustasossa, kylmältistuksessa sekä siitä palautumisen aikana. Lopulliset analyysit tehtiin 16 tutkittavan aineistolle.

Matalataajuinen (LF) sykevaihtelu kasvoi kylmältistuksen ja aikana ja pysyi koholla koko palautumisen ajan. Korkeataajuinen (HF) sykevaihtelu kasvoi ja pysyi merkitsevästi koholla palautumisen keskivaiheille asti. Barorefleksiherkkyys ei muuttunut merkitsevästi kylmässä, mikä todetaan seuraavista tuloksista: matalataajuinen barorefleksiherkkyys ( $p=0,083$ ), korkeataajuinen barorefleksiherkkyys ( $p=0,163$ ) ja keskiarvoinen barorefleksiherkkyys ( $p=0,086$ ). Matalataajuinen barorefleksiherkkyys kuitenkin kasvoi kylmältistuksen aikana ja jäi hieman koholle palautumisen ajaksi. Systolinen verenpaine (yläpaine) kasvoi kylmältistuksen aikana lähes 26 mmHg ja diastolinen verenpaine (alapaine) lähes 11 mmHg ja jäi merkitsevästi koholle palautumisen 15 minuuttiin asti. Sykevaihtelu lisääntyi eli parasympaattisen hermoston aktiivisuus kasvoi kylmässä. Syke laski, mikä johtui osittain verenpaineen noususta ja kertoo baroreleksin aktiivisuudesta kylmältistuksen aikana. Terveillä henkilöillä barorefleksiherkkyys ei kylmän vuoksi heikentynyt, mikä kertoo sydämen säätelyjärjestelmän toimivan oikein kylmässä.

---

Asiasanat: Verenpaine (BP), kylmältistus, sykevaihtelu (HRV), barorefleksiherkkyys (BRS), normotensiivinen

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
School of Engineering, Medical Engineering (240 ECT)

---

Author: Heta Helakari

Title: Autonomic regulation of the heart during cold exposure

Supervisor: Principal lecturer (OAMK) Jukka Jauhainen

Completion season and year: Spring 2012 Pages: 49 + 14

---

The thesis is a part of Hypertension in Cold -project that was created for studying the effects of cold exposure on the regulation of blood pressure of hypertensive (high blood pressure) and normotensive (normal blood pressure) men. Heart rate variability (HRV) and baroreflex are important factors in autonomic regulation of the heart. Baroreflex sensitivity (BRS) is a dynamic gain, reflecting parallel fluctuations of arterial pressure and heart rate. Reflections of cold exposure to HRV and BRS are not known well enough. The aim of the Thesis was to analyze autonomic regulation of the heart especially focusing on HRV and BRS.

The laboratory measurements included 56 hypertensive and 32 normotensive volunteers. For HRV and BRS it was needed to measure continuing ECG, blood pressure from finger and respiration using a respiratory belt. HRV and blood pressure variability were analyzed during the baseline, cold exposure and recovery. The final analysis of data was carried out for 16 cases.

The low-frequency (LF) component of the HRV increased significantly (from  $4,8 \pm 1,2$  to  $5,9 \pm 1,1$ ,  $p=0,007$ ) during cold exposure and remained higher to the end of the recovery ( $5,3 \pm 1,2$ ,  $p=0,009$  and  $5,6 \pm 1,4$ ,  $p=0,020$ ). The high-frequency (HF) component of the HRV increased (from  $3,3 \pm 1,1$  to  $4,8 \pm 1,3$ ,  $p=0,001$ ) remained ( $4,8 \pm 1,3$ ,  $p=0,023$ ) part of the recovery. There were no significant effect of cold exposure or recovery on BRS (low-frequency BRS,  $p=0,083$ ; high-frequency BRS,  $p=0,163$ ; mean BRS  $p=0,086$ ). Systolic blood pressure (SBP) increased 26 mmHg ( $p=0,000$ ) and diastolic blood pressure by 11 mmHg ( $p=0,000$ ), which describes that cold exposure rises blood pressure. HRV increased which represents higher activity of parasympathetic nervous system during cold exposure. A higher parasympathetic activity was also detected because of increasing blood pressure and decreasing heart rate, which describes the activity of the baroreflex. No baroreflex failure was observed in results which describes that the regulation of heart behaves properly with healthy volunteers during exposure to cold.

---

Keywords: Blood pressure (BP), cold exposure, heart rate variability (HRV), baroreflex sensitivity (BRS), normotensive

## ALKUSANAT

Suuri kiitos siitä, että sain tehdä opinnäytetyön Kohonnut verenpaine ja kylmä - hankkeessa. Erityisesti haluan kiittää hankkeen väitöskirjan tekijää Heidi Hintsalaa, joka oli läsnä koko opinnäytetyöprosessin ajan ja Ympäristöterveyden ja Keuhko-sairauksien tutkimuskeskuksen ja Terveystieteiden laitoksen tutkijaa Tiina Ikäheimoa, jolta sain asiantuntevaa ohjausta ja apua aina tarpeen vaatiessa. Haluan kiittää Verven väkeä, Antti Kiviniemeä ja Mikko Tulppoa opastuksesta ja toimivasta yhteistyöstä. Kiitokset mittaushenkilöstölle ja erinomaisille tutkittaville, jotka mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen. Kiitän tekstiinhajaajaani Pirjo Partasta ja ohjaavaa opettajaani Jukka Jauhiaista. Kiitos myös kaikille muille, jotka ovat jollain tavoin osallistuneet opinnäytetyöni toteutukseen ja kiitos läheisilleni tuesta.

Oulussa 31.05.2012

Heta Helakari

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLTÖ

LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 KYLMÄN VAIKUTUKSET SYDÄN- JA VERENKIERTOELIMISTÖÖN	10
3 SYDÄMEN AUTONOMINEN SÄÄTELY	13
3.1 Autonominen hermosto	13
3.2 Vasomotorinen keskus ja baroreseptorit	13
3.3 Sydämen sykevaihtelu	15
3.4 Barorefleksiherkkyys (BRS)	17
3.5 Autonomisen hermoston tutkimukset	18
3.6 Autonominen säätely ja kylmä	19
4 TUTKIMUKSEN TAUSTAA	21
4.1 Tutkimuksen tausta ja merkitys	21
4.2 Seulonta ja kotimittaukset	22
4.3 Laboratoriomittaukset	23
4.4 Altistus	24
4.5 Taustamittaukset ja kylmämittaukseen valmistautuminen	24
5 KYLMÄMITTAUKSEN TOTEUTUS	29
5.1 Laitteet	29
5.2 Mittauksen kulku	30
6 AINEISTON ANALYSOINTI	34
6.1 Mitattujen signaalien alkukäsittely	34
6.2 Datan analysointi	37
6.3 SPSS-tilastoanalyysi	39
7 TULOKSET	40

8	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	49

## LYHENTEET

AR	autoregressiivinen malli (autoregressive model)
BMI	painoindeksi (body mass index)
BP	verenpaine (blood pressure)
BRS	barorefleksiherkkyys (baroreflex sensitivity)
DBP	diastolinen verenpaine eli alapaine (diastolic blood pressure)
EKG	sydänfilmi (electrokardiography)
FFT	nopea Fourier'n muunnos (fast Fourier transform)
HF	korkeataajuinen (high frequency)
HR	sydämen lyöntitiheys eli syke (heart rate)
HRV	sykevaihtelu (heart rate variability)
LF	matalataajuinen (low frequency)
LN	luonnollinen logaritmi (natural logarithm)
Rf	hengitystaajuus (respiratory frequency)
RRI	R-R-intervalli (R-R-interval)
SBP	systolinen verenpaine eli yläpaine (systolic blood pressure)
SD	keskihajonta (standard deviation)
SDNN	R-R-intervallien keskihajonta (standard deviation of R-R-intervals)



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö oli osa Kohonnut verenpaine ja kylmä -tutkimushanketta, jossa Heidi Hintsala tekee väitöskirjaansa. Työn tilaaja on Tiina Ikaheimo Ympäristöterveyden ja Keuhkosairauksien tutkimuskeskuksesta sekä Terveystieteiden laitokselta.

Sykevaihtelu (HRV) ja barorefleksiherkkyys (BRS) antavat tärkeää tietoa sydämen autonomisesta säätelystä. Barorefleksi on verenpaineen tärkein säätelymekanismi ja kuvaa verenpaineen aiheuttamaa vasteiden määrää sykkeessä. Kun verenpaine nousee, barorefleksi aktivoituu ja syke laskee. Barorefleksiherkkyys on nykyään tärkeässä asemassa sydän- ja verisuonisairauksien tutkimuksissa. Sykevaihdelun ja barorefleksin käyttäytymisestä kylmässä ei ole tarpeeksi tutkimustietoa.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sydämen autonomista toimintaa hyödyntäen sykkeen ja verenpaineen muuttujia. Tiedettävästi barorefleksiherkkyyttä koko kehon kylmäältistuksessa samanlaisella asetelmalla ei ole tutkittu, joten aihe on hyvin ajankohtainen. Tarkoitus on teknologiaa ja biosignaalien matemaattisia analysointimenetelmiä hyödyntäen saada uutta tärkeää tietoa sydämen toiminnan autonomisesta säätelystä kylmässä. Opinnäytetyön löydösten avulla voidaan tunnistaa riskitekijöitä fysiologisista signaaleista (EKG, jatkuva verenpaine ja hengitys). Tavoitteena oli oppia autonomisen säätelyn tutkimus- ja analysointimenetelmiä sekä sitä kautta ymmärtää sydän- ja verenkiertoelimistön toimintaa kylmässä.

Mittaukset suoritettiin 32 normotensiiviselle (normaali verenpaine) miehelle. Tutkitaville tehtiin alkumittaukset ja lämpöolosuhdelaboratoriossa tapahtuvat kylmäältistusmittaukset. Tulokseksi saatiin kylmän aiheuttamia muutoksia sykkeessä, verenpaineessa ja barorefleksiherkkyudessa.

## 2 KYLMÄN VAIKUTUKSET SYDÄN- JA VERENKIERTOELIMISTÖÖN

Elämme yhdessä kylmimmistä Pohjoismaista, Suomessa. Täällä 75 % ihmisistä altistuu kylmälle päivittäin ainakin talvisaikaan. Etelä-Suomessa talvi kestää 4–5, Keski-Suomessa 5–6 ja Lapissa 6–7 kuukautta. Tammikuun minimilämpötila Pohjoismaiden koillisosissa on -20 °C, keskiosissa ja Pohjanlahdella -13...-19 °C ja länsirannikolla -4 °C. Kylmyys ja kehon jäähtyminen laskee suorituskykyä, lisää sairastavuutta ja voi sitä kautta aiheuttaa epäsuorasti sekä suorasti kylmävaurioita sekä altistaa tapaturmille tai jopa aiheuttaa kuolemia. (1, s. 10, 14.)

Jäähtymisen vaikutukset ihmiseen riippuvat pääosin vallitsevista ympäristöolosuhteista, käytetystä vaateuksesta sekä fyysisen aktiivisuuden tasosta. Tämän lisäksi ihmisen kylmänsietokykyyn vaikuttaa useita tekijöitä kuten ikä, sukupuoli, kehon koko, ihonalaisen rasvakudoksen määrä, fyysinen kunto sekä terveydentila. Totuttuminen kylmään tapahtuu nopeasti, jo muutaman lyhyen kylmäaltistuksen jälkeen. Säännöllinen kylmäaltistuminen aiheuttaa muutoksia fysiologisissa toiminnoissa (mm. verenkierto ja hermosto), mikä havaitaan 2–4 viikon aikana. (2, s. 6.)

Verenpaine voi nousta ihmisillä jopa useita kymmeniä elohopeamillimetrejä äkillisen kylmäaltistuksen yhteydessä. Lisäksi verenpaine on pysyvästi koholla talvella kesään verrattuna. Kylmän aiheuttama verenpaineen nousu voi olla vakava terveyshaitta ja talvikauden aikana koholla oleva verenpaine saattaa pahentaa verisuonisairauksista kärsivien oireita, johtaa sairauskohtauksiin ja aiheuttaa jopa kuoleman. Esimerkiksi sydäninfarktit, aivoverenvuodot ja aivohalvaukset lisääntyvät talvikauden aikana. Kylmäkuolleisuus lisääntyy iän myötä ja siksi etenkin vanhusikäisten kuolemantapaukset ovat tavallisia kylmästä johtuen. Tämä voi johtua sekä verenpaineen äkillisestä ja pitkäkestoisesta noususta, kylmän aiheuttamista vaka-

vista rytmihäiriöistä, mutta myös muutoksista veren koostumuksessa, kuten veren väkevytymisestä ja veren lisääntyneestä hyytymistaipumuksesta. (2, s. 17–18.)

Noin puolella keski-ikäisistä miehistä ja noin kolmanneksella keski-ikäisistä naisista on koholla oleva verenpaine. Tämä voidaan todeta, kun raja-arvona pidetään 140/90 mmHg (taulukko 1). Jopa kolmanneksella ihmisistä on tietämättään kohonnut verenpaine. Ikääntymisen myötä yhä useammalla on kohonnut verenpaine. Lääkehoitoa suositellaan, jos systolinen arvo ylittää 160 mmHg tai diastolinen 100 mmHg. Erään tutkimuksen mukaan Lapissa asuvista kaikista ikäryhmistä vain alle 20 %:lla oli optimaalinen verenpaine, mikä voi myös liittyä pitkään kylmään vuodenaikaan. (3, s. 1.)

**TAULUKKO 1. Käypä hoito -luokittelun mukaiset verenpainearvot ja toimenpiteet.**

Luokka	SVP (mmHg)	DVP (mmHg)	Toimenpiteet
Optimaalinen	<120	ja <80	Tarkistusmittaus 5 vuoden välein
"Normaali"	<130	ja <85	Tarkistusmittaus 2 vuoden välein
"Tyydyttävä" (korkea normaali)	130–139	ja 85–89	Tarkistusmittaus 1 vuoden välein, elintapaohjeet
<b>Kohonnut verenpaine</b>			
Lievästi kohonnut	140–159	tai 90–99	Verenpainetason <sup>1</sup> arviointi 2 kuukauden aikana, elintapaohjeet
Kohtalaisesti kohonnut	160–179	tai 100–109	Verenpainetason <sup>1</sup> arviointi 1 kuukauden aikana, elintapaohjeet
Huomattavasti kohonnut	≥180	tai ≥110	Verenpainetason <sup>1</sup> arviointi 1–2 viikon aikana, elintapaohjeet
Hypertensiivinen kriisi	≥200	tai ≥130	Välitön hoito <sup>2</sup>
Isoloitunut systolinen hypertensio	≥140	ja <90	Verenpainetason <sup>1</sup> arviointi kuten yllä
<sup>1</sup> Vähintään neljän eri päivinä tehdyn kaksoismittauksen keskiarvo			
<sup>2</sup> Ks. kohta Hypertensiivinen kriisi			

Sekä äkillinen että jatkuva kylmäaltistus nostavat verenpainetta. Tutkimukset osoittavat, että verenpaine kohoaa laskevan sisä- ja ulkolämpötilan mukaan. Esimerkiksi on osoitettu, että ulkolämpötilan laskiessa 1 °C:lla verenpaine kohoaa 0,19 mmHg ja sisälämpötilan laskiessa 1 °C:lla verenpaine kohoaa 0,31 mmHg. (4, s. 3.)

Sydän- ja verisuonisairauksia sairastavan tai niihin taipuvaisen henkilön kannattaa suorittaa tiettyjä toimenpiteitä estääkseen verenpaineen liiallinen nousu. Kylmältä tulee suojautua asiallisella suojavaatetuksella erityisesti ääreisosia (kasvot, pää, kädet ja jalat) suojaten. Esimerkiksi pään suojaamisen on osoitettu kokeellisissa tutkimuksissa laskevan verenpainevastetta kylmässä (5). Liikunta kylmässä kannattaa aloittaa asteittain ja välttää äkillistä ja raskasta liikkumista. Kylmässä oleskelun jälkeen tulisi juoda pari lasillista vettä estääkseen kylmän aiheuttamia nestepoistumia verisuonissa. Talvella tulee tarkistaa verenpainelääkitys, sillä kylmä kohottaa verenpainetta huomattavasti. (1, s. 32.)

### 3 SYDÄMEN AUTONOMINEN SÄÄTELY

#### 3.1 Autonominen hermosto

Autonominen eli tahdosta riippumaton hermosto huolehtii verenkierron hermostollisesta ja hormonaalisesta säätelystä. Säätelyjärjestelmä kerää afferenttien eli tuovien hermosäikeiden välityksellä tietoa verenpaineen tilasta, tulkitsee tiedot keskushermostossa ja säätelee efferenttien eli vievien hermosäikeiden välityksellä verenkierron toimintaa. Autonominen hermosto koostuu sympaattisesta ja parasymptaattisesta hermostosta. Sympaattisen hermosto toimii pääasiassa stressitilanteissa ja fyysisessä rasituksessa ja sen ollessa aktiivisena sydämen lyöntitiheys kiihtyy ja ruuansulatus hidastuu. Parasymptaattisen hermoston ärsykkeen vaikutuksesta sydämen syke ja verenkierto hidastuvat, hengitystiheys pienenee ja ruuansulatuselimistön toiminta kiihtyy. Sydän- ja verenkiertoelimistössä on sekä parasymptaattista että sympaattista hermotusta, mutta parasymptaattista on huomattavasti vähemmän. Molemmat hermostot säätelevät sydämen lyöntitiheyttä. (6, s. 174, 411–412.)

#### 3.2 Vasomotorinen keskus ja baroreseptorit

Vasomotorinen keskus koostuu selkäydinjatkoksen ja aivosillan eli *ponsin* alueista, joissa ohjataan sydämen toimintaa kiihdyttäviä ja hidastavia sekä verisuonia supistavia ja laajentavia toimintoja. Baroreseptoriheijaste on tärkein verenkierron nopea säätelyjärjestelmä. Verenkierron säätelyjärjestelmän tulee toimia muuttuvan tilanteen mukaan, mistä huolehtivat sekä painetta eli venymää aistivat reseptorit että veren kemiallista koostumusta aistivat reseptorit. Paineen muutoksia aistivia reseptoreita eli baroreseptoreita sijaitsee aortan kaareissa, kaulavaltimoiden poukamissa ja keuhkovaltimoissa (kuva 1). Kun seisomaan noustessa verenpaine laskee, kau-

lavaltimon ja aortan kaaren baroreseptorit lähettävät hermosignaaleja vasomotoriseen keskukseen, joka muutaman sekunnin kuluttua lisää sydämen sykettä, supistaa verisuonia ja mahdollisesti lisää sydämen supistusvoimakkuutta. Tämä säätely palauttaa verenpaineen normaaliksi. Makuulle mentäessä reaktio on päinvastainen eli baroreseptoreista lähtevät, vasomotoriseen keskukseen menevät signaalit hidastavat sydämen sykkeen, pienentävät supistusvoimaa ja laajentavat verisuonia, mikä palauttaa verenpaineen normaaliksi. (6, s. 174–175.)

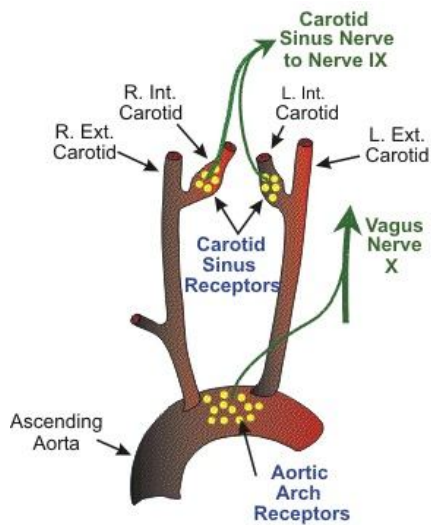


Figure 1. Location and innervation of arterial baroreceptors.

### KUVA 1. Baroreseptorien sijainti ja hermotus

Baroreseptoriheijasteen toiminta voi myös häiriintyä (esimerkiksi vanhuksilla), jolloin esimerkiksi seisaalleen noustessa verenpaine ei nouse riittävästi ja aivojen verenkierto häiriintyy, mikä voi aiheuttaa jopa tajunnan menettämisen. Kohonnut verenpaine aktivoi baroreseptoreita ja keskushermostoon menee enemmän impulsseja afferenttien hermojen välityksellä. Matalalla verenpaineella on päinvastainen vaikutus. Baroreseptorit voivat nostaa verenpaineen uudelle tasolle ja kehittää hypertension eli kohonneen verenpaineen. (6, s. 174–175; 7, s. 13.)

### 3.3 Sydämen sykevaihtelu

Sydämen sykevaihtelu heijastaa autonomisen hermoston ja muiden säätelyjärjestelmien vaikutuksia sydämeen. Sykevaihtelu on peräkkäisten sydämenlyöntien välisen ajan vaihtelua, joka johtuu pääasiassa muutoksista sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toiminnassa (8, s. 5). Sykevaihtelua voidaan analysoida lyhyt- tai pitkäaikaisista EKG:stä. Se voidaan määrittää kahdella lineaarisella menetelmällä: aikakenttäanalyysillä (time-domain analysis) ja taajuuskenttäanalyysillä (frequency-domain analysis). Taajuuskenttä- eli spektrianalyysillä voidaan mitata sykkeen taajuusvaihtelua ja määrittää eritaajuiset heilahtelut. Spektrianalyysissä käytetään autoregressiiviseen malliin (AR) ja Fourierin muunnokseen (FFT) perustuvia menetelmiä. Autoregressiivisessä mallissa aikasarjat on muotoiltu siten, että jokainen sarja on riippuvainen saman sarjan edellisen arvon painotetusta summasta lisättynä sisääntulon kohinaan. (8.)

Autoregressiivinen malli saadaan kaavasta 1 (7, s. 25).

$$y_k = -\sum_{i=0}^M a_i y_{k-i} + v_k$$

KAAVA 1

missä

$y_k$  on aikasarjojen  $k$ . arvo

$M$  on AR-mallin järjestys

$a_i$  on vakio

$v_k$  on sisääntulon kohina

Fourier-muunnos jatkuvasta aikafunktiosta  $x(t)$  saadaan kaavasta 2 (7, s. 23).

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

KAAVA 2

missä

$j$  on imaginaariyksikkö

$f$  on taajuus

Fourier muunnos on kompleksiluku eli saadaan myös kaavasta 3 (7, s. 23).

$$X(f) = |X(f)|e^{j\Phi(f)}$$

KAAVA 3

missä

$X(f)$  on signaalin  $x(t)$  amplitudispektri

$\Phi(f)$  on spektrin vaihe

Tehotiheyysspektri (kuva 2) saadaan kaavasta 4 (7, s. 23).

$$P(f) = X(f)X^*(f) = |X(f)|^2$$

KAAVA 4

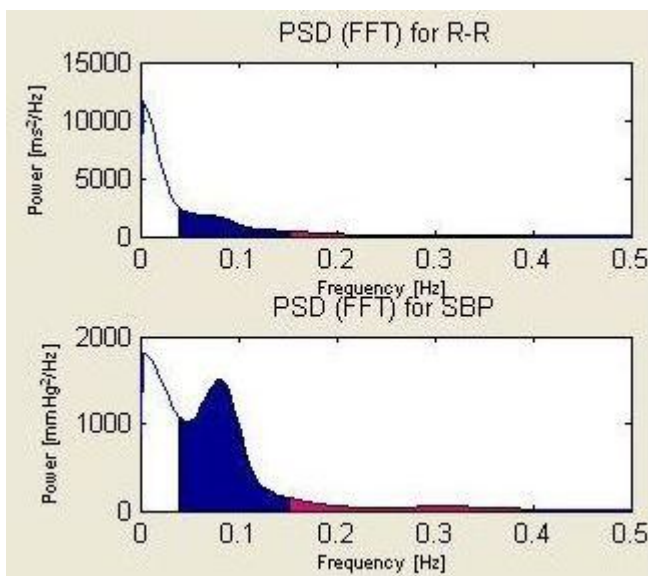
missä

\* on kompleksiliittoluku

Sydämen sykevaihtelussa esiintyvät korkeataajuiset muutokset (high-frequency power) kuvaavat muutoksia vagaalisessa eli parasympaattisessa aktiivisuudessa ja liittyvät pääosin hengitykseen. Korkeataajuinen alue (0,15 - 0,40 Hz) muodostuu 3–8 sekunnin välein toistuvista hengitysvaiheista, joita seuraavat sydämen lyöntien välit. Matalataajuiset muutokset (0,04 - 0,15 Hz; low-frequency power) johtuvat



pääasiassa barorefleksikaaren negatiivisesta takaisinkytkennästä, joka välittyy sekä sympaattisen että parasympaattisen aktiivisuuden mukaan pystyasennossa ja parasympaattisen aktiivisuuden mukaan makuuasennossa. Se muodostuu pääosin verenpaineen 8–25 sekunnin jaksoissa tapahtuvasta vaihtelusta, joka aiheuttaa baroreijasteen välityksellä sykevälien vaihtelua. Baroreseptorit säätelevät siis pääosin matalataajuisia sykevaihtelua. Kuvassa 2 on esitetty tehotiheyspektri, josta erottuvat matalataajuus (LF) -kaista sinisellä värillä ja korkeataajuus (HF) -kaista punaisella värillä. (9.)



KUVA 2. Tehotiheyspektri R-R-intervallille ( $ms^2/Hz$ ) ja systoliselle verenpaineelle ( $mmHg^2/Hz$ ) FFT:n (Fast Fourier Transform) avulla laskettuna. Sininen alue kuvaa LF-kaistaa ja punainen alue HF-kaistaa.

### 3.4 Barorefleksiherkkyys (BRS)

Barorefleksiherkkyys (BRS=baroreflex sensitivity) kuvastaa elimistön kykyä muuttaa sydämen lyöntitiheyttä tiettyä verenpaineessa tapahtuvaa muutosta kohden. Barorefleksiherkkyuden indeksejä käytetään laajalti kardiologiassa eli sydäntautiopissa. Barorefleksiherkkyuden yksikkönä käytetään  $ms/mmHg$ . Mitä suurempi barorefleksiherkkyys on, sitä herkemmin verenkiertojärjestelmä vastaa verenpai-

neessa esiintyviin muutoksiin. Barorefleksiherkkyys saadaan määritettyä mittaamalla EKG ja jatkuva verenpainesignaali. (10.)

Barorefleksiherkkyys mitataan sykevaihtelun ja verenpainevaihtelun välisestä taa-juusanalyysista. Se voidaan analysoida useilla menetelmillä, joista kolme yleisintä ovat sekvenssimenetelmä, alfa-kerroin ja siirtofunktiotekniikka. Luvusta 6.2 (Datan analysointi) löytyvät tarkemmat kuvaukset, miten barorefleksin analyysit on tässä opinnäytetyössä toteutettu. (7, s. ii.)

Barorefleksiherkkyys ( $BRS\alpha$ ) lasketaan kaavasta 5.

$$BRS\alpha = \sqrt{\frac{RRv}{SBPv}}$$

KAAVA 5

missä

$BRS\alpha$	on barorefleksiherkkyys
$RRv$ (LF_RRI)	on sykevaihtelu
$SBPv$ (LF_SBP)	on verenpainevaihtelu

### 3.5 Autonomisen hermoston tutkimukset

Terveillä henkilöillä on todettu olevan suuria eroja sykevaihtelussa. On todettu, että pieni sykevaihtelu on yhteydessä muun muassa sydän- ja verisuonisairauksiin, kuten kohonneeseen systoliseen verenpaineeseen ja sydämen heikentyneeseen pumppausvoimaan. Pieni sykevaihtelu voi olla sydäntapahtumia ennakoiva riskitekijä, ja nykyään sykevaihtelun tutkimukset ovatkin lisääntyneet. Sykevaihtelun on todettu vähentyneen verenpainetauti- ja diabetesta sairastavilla henkilöillä. Eniten sykevaihtelua on tutkittu akuutin sydäninfarktin jälkeen. Spektrikomponenttien fysiologista taustaa on tutkittu lähinnä koe-eläimillä ja terveillä henkilöillä. Monet sai-

raudet aiheuttavat sykevaihtelun muutoksia spektrikomponenteissa, mutta tutkimustietoa tarvitaan edelleen lisää. Fyysinen aktiivisuus parantaa kuntoa ja lisää sykevaihtelua. (9.)

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että barorefleksiherkkyys on yhteydessä sydämen vajaatoimintaan, sydäninfarkteihin, diabetekseen ja kohonneeseen verenväpaineeseen. Barorefleksiherkkyyttä käytetään laajalti muun muassa sydän- ja verisuonitautien tutkimuksissa. Barorefleksiherkkyden tutkimusmenetelmiä ovat muun muassa fyysiset rasitustestit, kehon kohottaminen pystyasentoon ja MSNA (muscle sympathetic nerve activity). On osoitettu, että barorefleksiherkkyys vähenee fyysisen ja psyykkisen kuormituksen sekä kipuärsyksen tai rasituksen yhteydessä. (7, s. 14; 8.)

### **3.6 Autonominen säätely ja kylmä**

Verenpaine kohoaa kylmässä. Ensimmäisten minuuttien aikana paine voi kohota jopa 20 mmHg:tä, ja oletuksena on, että verenpaine tasaantuu kylmässä oleskelun aikana. Kylmään astuttaessa oletuksena on, että verenpaine kohoaa ja syke laskee eli barorefleksiherkkyys aktivoituu. Tähän kuitenkin vaikuttavat useat muut tekijät, kuten liike. Kylmässä baroreseptoriheijaste ei kuitenkaan palauta verenväpainetta täysin normaalille tasolle, vaan pitää sen koholla. Aiemmat tutkimukset liittyvät muun muassa sukellusrefleksin tutkimiseen, jolloin kasvojen upottaminen veteen saa aikaan sykkeen hidastumisen eli bradykardian ja verisuonten supistumisen eli vasokonstriktion. Autonomisen hermoston toimintaa on myös tutkittu esimerkiksi käsi kylmään -testillä, jossa etsitään sydän- ja verenkiertoelimistön vastetta. (11.)

Stemperin ym. toteuttamassa kasvojen kylmäaltistustutkimuksessa selvitettiin, joutuuko sykkeen hidastuminen ensisijaisesti keskeisestä kardiovagaalisen aktiivisuuden säätelystä, baroreseptoreiden aktiivisuudesta vai hengityksen vaikutuksesta. Tutkimuksessa todettiin, että ensisijainen vaikuttaja olisi kardiovagaalinen aktiivi-

suus. Barorefleksiherkkyyden kuitenkin todettiin kasvavan kasvojen kylmäältistuksen yhteydessä. Tämä todettiin sykkeen ja verenpaineen välisistä LF-arvoista. (12, s. 82.)

Yamazaki ym. totesivat tutkimuksessaan, että baroreseptorien toiminta on yhteydessä sykkeen hidastumiseen kylmäältistuksen aikana. Tutkimuksessa tutkittavilla oli yllään koko kehon (paitsi pää ja oikea käsivarsi) peittävä puku, jota jäähdytettiin tutkittavan maatessa sängyllä. Tutkimukset osoittivat, että barorefleksiherkkyys kasvoi merkittävästi kylmäältistuksen aikana. Se myös tuki aiempia löydöksiä, että sykkeen hidastumisen kannalta aortan kaaren baroreseptoreilla on suurempi merkitys kuin kaulavaltioimiden baroreseptoreilla. (13, s. 393–394.)

Aiemmista tutkimuksista siis tiedetään, että kylmäältistuksella ja baroreseptorien toiminnalla on mahdollisia yhteyksiä. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että ei ole selvää näyttöä, miten suuri osuus barorefleksillä on kylmäältistuksessa. Opinnäytetyössä pyrittiin saamaan lisää tietoa barorefleksiherkkyydestä kylmäältistuksessa. Kohonnut verenpaine ja kylmä -tutkimuksessa kylmäältistus kohdistui koko kehoon ympäristöolosuhteissa, jotka jäljittelevät tavanomaista kylmäältistusta (talvivaateetus, lämpötila ja tuuli). Täten voitiin saada uusia tutkimustuloksia autonomisen hermoston toiminnasta kylmäältistuksessa.

## 4 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

### 4.1 Tutkimuksen tausta ja merkitys

Aiemmista tutkimuksista tiedetään, että akuutti kylmäaltistus kohottaa verenpainetta ja lisäksi kylmänä vuodenaikana ihmisen verenpaine on pysyvästi koholla. Talviaikana lisääntyvät sairastavuus ja kuolleisuus, kuten sepelvaltimotautikohtaukset, sydäninfarktit ja aivohalvaukset. Arviolta 2400 ylimääräistä kuolemaa tapahtuu kylmänä vuodenaikana. Kohonneella verenpainella on keskeinen merkitys kylmästä aiheutuvan sairastavuuden ja kuolleisuuden riskitekijänä. Kohonnut verenpaine voi aiheuttaa taudin pahenemista talvella. Alustavat tutkimustulokset osoittavat, että kohonnutta verenpainetta sairastavien verenpaine on korkeampi talvella kuin terveiden. Vielä ei tunneta tarpeeksi hyvin, millaisia ovat verenpainetautia sairastavien henkilöiden verenpainemuutokset kylmässä. (11.)

Kohonnut verenpaine ja kylmä -hanke koettiin tarpeelliseksi, koska vastaavaa tutkimusasetelmaa, jossa on selvitetty kohonnutta verenpainetta sairastavien verenpainevasteita kylmässä, ei ole toteutettu. Tutkimus haluttiin tehdä väestötasolla ilman tiukkoja poissulkukriteerejä. Kohderyhmäksi haluttiin ikääntyviä kohonnutta verenpainetta sairastavia henkilöitä, joilla ei kuitenkaan ole verenpainelääkitystä. Hankkeen tarkoituksena on selvittää, eroaako kohonnutta verenpainetta sairastavien verenpainevaste terveiden vasteesta kylmäaltistuksessa, joka voi toteutua jokapäiväisessä elämässä talvella. Tutkimuksella voidaan vähentää tai ehkäistä kylmästä aiheutuvia terveyshaittoja, kuten valtimosairauksiin liittyviä oireiluja tai sairaskohtauksia, joita ovat muun muassa sydänkohtaukset, aivoverenvuodot- ja infarktit. Yksilötasolla saadaan tietoa kylmän varoitussignaalien tunnistamisesta, suojautumisesta, liikunnasta ja pukeutumisesta. Terveystieteiden henkilöstölle voidaan tuottaa tietoa, miten ohjeistaa kohonnutta verenpainetta sairastavia henki-

löitä tarkoituksenmukaiseen toimintaan kylmässä sekä kuinka kohdentaa lääkitys vuodenajan mukaan. (3, s. 4; 11.)

## 4.2 Seulonta ja kotimittaukset

Hankkeen toteutus lähti liikkeelle siitä, että mahdollisille tutkittaville (1001 henkilöä) lähetettiin kotiin tiedote tutkimuksesta. Henkilöt olivat 55–65-vuotiaita oululaisia miehiä. Myöhemmin heihin otettiin puhelimitse yhteyttä ja kysyttiin heidän halukkuudestaan osallistua tutkimusmittauksiin. Tutkimuksiin osallistuville esitettiin kysymyksiä heidän mahdollisista sydän- ja verisuonisairauksistaan sekä keuhkosairauksista. Haastattelun perusteella osalle (niille, joilla ei ollut keuhkosairautta tai sepelvaltiomotautia) tarjottiin mahdollisuus osallistua kotona tehtäviin verenpainemittauksiin. Tutkittavat saivat käyttöönsä Omronin kotimittarin (Digitaalinen automaattinen verenpainemittari, Malli M3, oskillometrinen menetelmä). Mittaus tuli suorittaa kaksi kertaa päivässä, aamulla ja illalla viikon ajan ja tutkittavien ohjeissa noudatettiin Käypä Hoito -suosituksia (taulukko 1). Kotimittauksen perusteella osa henkilöistä kutsuttiin laboratoriomittauksiin (taulukko 4), minkä taustasta on kerrottu luvussa 4.2 ja toteutuksesta luvussa 5. (Taulukko 2 ja taulukko 3.) (14; 15; 16.)

*TAULUKKO 2. Seulontavaiheeseen osallistuneet henkilöt*

<b>Hiö</b>	<b>%</b>	
1500		55-65-vuotiasta miestä (Oulu)
1001		lähetettyä tiedotuskirjettä
47	5 %	kieltäytyi tiedotuskirjeen kohdalla
658	66 %	tavoitettiin soittamalla
196	30 %	verenpainetutkimukseen sopivaa henkilöä
250	38 %	verenpainetutkimukseen sopimatonta henkilöä
204	31 %	kieltäytyi soitettaessa

### TAULUKKO 3. Kotimittauksiin osallistuneet henkilöt

Hiö	%	
189		7 päivän kotimittausjakso (aamuin illoin)
113	60 %	verenpaine normaali
64	34 %	verenpaine kohonnut
4	2 %	liian korkea verenpaine
8	4 %	ei tarpeeksi mittaustuloksia

#### 4.3 Laboratoriomittaukset

Tutkimuksen laboratoriomittaukset aloitettiin syksyllä 2011. Tarkoituksena oli toteuttaa mittaukset ennen talven kylmäjaksoa eli ennen tutkittavien tottumista talvi-kauteen. Mittausjakson kesto oli noin kolme kuukautta. Mittaukset suoritettiin lämpöolosuhdelaboratoriossa Työterveyslaitoksen tiloissa Kastellin tutkimuskeskuk-sessa. Mittauksessa talvivaatetettuja tutkittavia altistettiin kylmälle.

Kylmämittauksiin kutsuttiin henkilöitä, joilla kotimittausten perusteella oli joko normaali tai kohonnut verenpaine. Henkilöt olivat 55–65-vuotiaita oululaisia miehiä. Laboratoriomittaukseen saapui yhteensä 91 henkilöä. Tutkittavista 56 sairasti kotimittausten perusteella kohonnutta verenpainetta, mutta ei käyttänyt verenpainelääkitystä. Lopuilla 35 henkilöllä oli normaali verenpaine eli he olivat tutkimuksen verrokkeja. Osa kuitenkin jätettiin jo tässä vaiheessa pois turvallisuus- tai terveyssyistä, joten mahdollisia analysoitavia oli siis 51 hypertensiivista sekä 32 normotensiivista. (Taulukko 4.) Analyseissa käytettävä henkilömäärä vaihteli mittattavan muuttujan ja kerättävän aineiston laadun (muun muassa ihon lämpötila ja keskeinen verenpaine) mukaan. Tämän opinnäytetyön normotensiivisten tutkittavien syke- ja verenpainevaihtelun analyysien sekä barorefleksianalyysien määrä (n) oli 16. Signaalin huono laatu oli suurin tekijä, jolla määrää jouduttiin vähentämään. Opinnäytetyössä tarkoituksena oli löytää vastauksia, miten verenpaineen säätelyjärjestelmä reagoi kylmässä henkilöllä, jolla on normaali verenpaine.

#### *TAULUKKO 4. Laboriomittauksiin osallistuneet henkilöt*

##### **Hiö**

---

91	saapui laboriomittaukseen
56	kohonnut verenpaine: saapui mittaukseen
51	kohonnut verenpaine: hyväksytään
35	normaali verenpaine: saapui mittaukseen
32	normaali verenpaine: hyväksytään

Ennen laboriomittaukseen saapumista tutkittaville lähetettiin kotiin tiedote laboriomittauksista. He saivat tarkat ohjeet, miten toimia ennen mittauksia. (Liite 14.)

#### **4.4 Altistus**

Laboriomittauksissa tutkittaville suoritettiin mittaukset, joihin kuului 15 minuutin kylmäaltistus  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n pakkasessa, jossa tuulta oli  $3\text{ m/s}$ . Kontrollimittaukset (15 min) toteutettiin noin  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa ennen ja jälkeen kylmäaltistuksen. Yhden mittauksen suoritukseen tarvittiin 2–3 mittaajaa.

#### **4.5 Taustamittaukset ja kylmämittaukseen valmistautuminen**

Ennen varsinaista kylmämittausta tutkittaville suoritettiin taustamittaukset (kuva 3). Niihin kuuluivat pituuden mittaaminen, kehonkoostumusanalyysi (InBody) ja lepo-kuntotesti (Polar Electro). Pituus oli tärkeä kehonkoostumuksen kannalta, mutta myös kylmämittauksen Nexfin-laitteen alkuasetuksissa. Kehonkoostumusmittauksesta saatiin paino, jota myös käytettiin Nexfinin käyttäjätietojen asetuksessa, ja muuta tärkeää tietoa tulosten analyysia varten.





*KUVA 3. Taustamittausten suorituspaikka*

Kehonkoostumuksen jälkeen suoritettiin lepokuntotesti, jossa käytettiin Polarin sykemittaria. Ennen testiä tutkittavalle kerrottiin kylmämittauksen vaiheet ja täten pyrittiin tasaamaan syke ja verenpaine. Lepokuntotesti perustuu sykevaihteluun ja sillä kartoitettiin tutkittavan kuntoa. Testin tulokset arvioitiin Polarin taulukkojen mukaan, ja eri arvoja on nähtävissä taulukossa 5.

### TAULUKKO 5. Kehonkoostumuksen ja Polar -lepokuntotestin tuloksia

Hlö	Ikä	Paino (kg)	Pituus (cm)	BMI	Rasvaprocentti	Kuntoarvio	Own Index	Luokka nro	Luokka	HR-MAX
1	65	91,3	191	25,0	23,1	3	40	7	erinomainen	
2	61	97,6	177	31,2	32,1	2	35	5	hyvä	
3	65	61,7	170	21,3	11,1	2	49	7	erinomainen	169
4	60	83,7	176	27,0	28,6	2	36	5	hyvä	173
5	55	83,7	176	27,0	22,4	3	42	6	erittäin hyvä	171
6	62	72,7	175	23,7	18,0	1	32	4	keskiverto	172
7	56	102,1	189	28,6	20,7	1	30	4	keskiverto	170
8	60	82,6	181	25,2	23,9	2	42	7	erinomainen	170
9	55	89,4	186	25,8	25,4	2	38	6	erittäin hyvä	168
10	63	74,2	175	24,2	26,5	2	32	4	keskiverto	169
11	56	84,9	179	26,5	17,1	1	28	3	välttävä	161
12	64	68,3	167	24,5	22,1	3	47	7	erinomainen	171
13	64	71,8	180	22,1	16,9	1	35	5	hyvä	170
14	57	75,9	179	23,7	22,6	2	45	7	erinomainen	174
15	55	76,2	182	23,0	15,4	1	32	4	keskiverto	175
16	65	77,7	173	26,0	10,7	3	48	7	erinomainen	163
17	61	85,1	167	30,5	27,3	2	40	7	erinomainen	166
18	60	74,4	173	24,9	22,5	1	30	4	keskiverto	169
19	65	95,8	181	29,3	28,0	1	26	3	välttävä	159
20	59	75,7	176	24,4	27,6	1	24	2	huono	162
21	60	87,3	183	26,1	26,0	2	43	7	erinomainen	168
22	62	99,5	189	27,8	24,3	2	43	7	erinomainen	168
23	59	87,7	176	28,3	25,5	2	40	6	erittäin hyvä	169
24	58	82,4	180	25,4	20,8	2	41	6	erittäin hyvä	170
25	58	76,3	168	27,0	29,9	1	31	4	keskiverto	167
26	61	60,5	167	21,7	8,9	3	50	7	erinomainen	161
27	57	90,4	173	30,2	25,2	2	40	6	erittäin hyvä	165
28	62	86,4	182	26,1	20,7	1	30	4	keskiverto	164
29	56	65,0	174	21,5	16,0	2	41	6	erittäin hyvä	168
30	57	72,9	174	24,1	27,4	3	49	7	erinomainen	173
31	64	75,2	169	26,3	19,7	3	34	5	hyvä	170
32	64	66,5	168	23,6	21,0	2	41	7	erinomainen	167
33	64	94,9	195	24,9	19,5	1	28	3	välttävä	171
<b>KA</b>	<b>60</b>	<b>80,9</b>	<b>177,3</b>	<b>25,7</b>	<b>22,0</b>	<b>2</b>	<b>37,6</b>	<b>5,4</b>		<b>168</b>

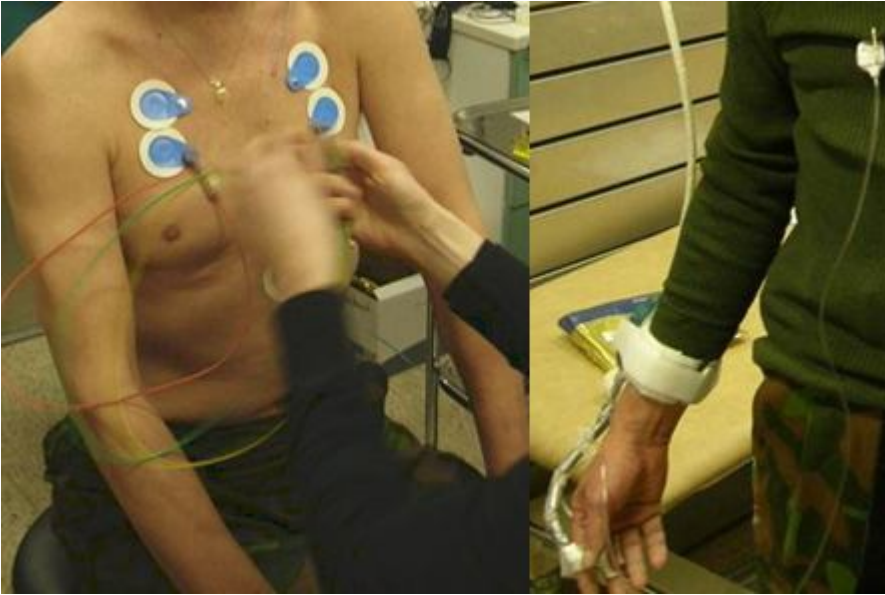
Taulukko 5 sisältää tärkeitä taustatietoja, joita ovat muun muassa ikä, paino ja pituus. Taulukosta nähdään myös tutkittavien rasvaprocentti sekä kuntotestin tulokset. Tutkittavien painoindeksin (BMI) keskiarvo on 25,7, mikä sijoittuu painoindeksitaulukossa lievän ylipainon (25,0 - 29,9) puolelle. Painoindeksi saadaan laskeamalla paino jaettuna pituuden neliöllä. Rasvaprocenttien keskiarvo on 22,0, mikä sijoittuu viitearvotaulukossa normaalialueelle. Taulukosta 5 kuitenkin huomaa, että yksilöiden välistä vaihtelua on runsaasti. (17.)

Tutkittavat antoivat itse arvion omasta kunnostaan kyselylomakkeessa. Arvot 1-4 perustuvat siis Polarin kuntoarviointiin (1=low, 2=middle, 3=high, 4=top). Lepokuntotesti antoi tulokseksi Own index -luvun, joka sijoitettiin Polarin ikä-sukupuoli-

taulukkaan, josta saatiin luokkanumero (1–7). Taulukkoa 4 katsottaessa nähdään, että tutkittavien luokkanumeron keskiarvo sijoittuu hyvän ja erittäin hyvän kunnon välille. Tutkittavien maksimisykkeen (HR-MAX) keskiarvo on 168. Maksimisyke on siis raja, jolloin syke ei enää nouse, vaikka rasitus lisääntyisi.

Taustamittausten jälkeen valmistauduttiin laboratoriomittaukseen. Laboratoriomittausten mitattavina muuttujina olivat verenpaine (sormenpästä, olkavarresta ja keskeinen verenpaine ranteesta), sydämen sähköinen toiminta (syke, sykevaihtelu ja barorefleksiherkkyys), ihon lämpötila, lämpötuntemukset ja taustamuuttujat (paino, pituus, fyysinen kunto, kehonkoostumus ja terveystarkastus).

Ennen varsinaisen mittauksen alkua tutkittavaan kiinnitettiin tarvittavat elektrodit ja mittauslaitteistot (kuva 4). Barorefleksiherkkyuden analyysia varten tarvittiin jatkuvana muuttujana EKG, verenpaine sormenpästä ja hengityssignaali. Tutkittavan iholle kiinnitettiin kolme elektrodia, yksi vasempaan rintaan, yksi oikeaan rintaan ja yksi vasempaan kylkeen. Oikean käden sormenpäähän asetettiin verenpainemansetti ja ranteeseen kiinnitettiin ranneyksikkö. Rintakehälle kiinnitettiin rintakehän laajenemista mittaavaa pietsosähköisellä anturilla toimiva hengitysvyö. Tutkittavaan kiinnitettiin myös viisi elektrodia pitkäkestoista EKG-rekisteröintiä varten, olkavarsiverenpainemansetti ja ihon lämpötilaa mittaavat anturit. Tutkittava puettiin jo valmiiksi takkia myöten, jotta siirtyminen lämpimästä kylmään kävisi mahdollisimman vaivattomasti.



*KUVA 4. Vasemmalla EKG-kiinnitykset ja oikealla jatkuvan verenpaineen sormi-rannekiinnitys*

## 5 KYLMÄMITTAUKSEN TOTEUTUS

### 5.1 Laitteet

Laboratoriomittauksessa laitteisto oli monipuolinen. Tämän työn kannalta olennaisia laitteita olivat Cardiolife, Nexfin monitor, Pneumotrace, AD-muunnin, Schiller ja Labchart-ohjelmalla varustettu kannettava tietokone. Tarkemmat tiedot esitetään alla.

- Cardiolife. Nihon Kohden. Tec 7100H. *EKG-laite sydämen sähköisen toiminnan mittaamiseen. Signaali nähdään reaaliaikaisena LabChartissa.*
- Nexfin monitor, model 1. Bmeye. Amsterdam. *Jatkuvaa verenpainesignaalia mittaava non-invasiivinen verenpaineen mittauksen menetelmä. Mittaus tapahtuu sormimansetilla.*
- Pneumotrace. *Hengitysvyö, jossa pietsosähköinen anturi mittaa rintakehän laajenemista. Hengityssignaali näkyy reaaliaikaisena LabChart -ohjelmassa.*
- AD-muunnin. Powerlab 8/35. AD-instruments. *Analogia-digitaalimuunnin, jolla analogiset signaalit (Nexfin, Cardiolife ja Pneumotrace) saadaan digitaaliseen muotoon ja kannettavalle tietokoneelle.*
- Schiller BP-200 Plus. Made in Switzerland. *Mittaus tapahtuu olkavarresta verenpainemansetilla (medium 25-35cm, latex free, pvc free, made in Germany).*
- Astar ja Cielo-sekuntikellot.
- LabChart-ohjelmalla varustettu kannettava tietokone.

## 5.2 Mittauksen kulku

Tutkittava ohjattiin laboratoriohuoneeseen, ja hän asettui seisomatukeen, jossa käsivarret olivat tuettuina. Tutkittava yhdistettiin laitteisiin, jotka rekisteröivät EKG:tä, jatkuvaa verenpainetta ja hengitysfrekvenssiä. Jatkuva verenpaine mitattiin noninvasiivisella menetelmällä sormenpäältä (kuva 5). Tämän jälkeen testattiin kaikkien laitteiden toimivuus ja tehtiin mahdollisia muutoksia. Nexfin-laitteeseen ohjelmoitiin käyttäjän tiedot (sukupuoli, ikä, paino ja pituus). Kaikki signaalit saatiin ulos AD-muuntimen kautta kannettavan tietokoneen LabChart-ohjelmaan, jolla pystyttiin nauhoittamaan reaaliaikaista signaalia.

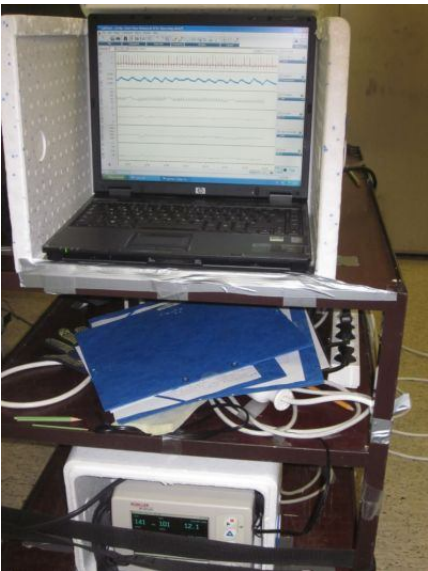


*KUVA 5. Nexfin: 1. Monitori 2. Ranneyksikkö 3. Sormimansetti 4. HRS*

Ensimmäiset 15 minuuttia tutkittava seiso paikallaan noin 18 asteen kontrollihuoneessa (kuva 6). Mittauksen aikana häneltä mitattiin EKG:tä, jatkuvaa verenpainetta ja hengitystä, joiden signaalit näkyivät reaaliaikaisena tietokoneen näytöllä (kuva 7). Ohjelmistoon tehtiin mittauksen aikana tarvittavat kommentoinnit. Schillerillä mitattiin olkavarresta verenpaine kolmen minuutin välein. Tutkittavalta kysyttiin lämpötuntemuksia kolme kertaa. Noin viiden minuutin kohdalla aloitettiin keskeisen verenpaineen mittaus ranteesta.



*KUVA 6. Tutkittavan asettelu sekä reaaliaikaisten signaalien (EKG, jatkuva verenpaine ja hengitys) tarkkailua kannettavalta tietokoneelta*



*KUVA 7. Ylempänä reaaliaikaiset signaalit Labchart-ohjelmassa ja alapuolella Schiller-olkavarsiverenpainemittari*

Kontrollitilasta siirryttiin tuulitunneliin, jossa pakkasta oli  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tuuli oli  $3\text{ m/s}$ . Tutkittava kulki edellä ja mittaajat laitteiden kanssa perässä. Tuulitunnelissa oltiin 15 minuuttia ja toteutettiin samat toiminnot kuin kontrollimittauksen aikana. (Kuva 8.)



*KUVA 8. Tutkittava kylmäaltistuksessa (-10 °C ja tuuli 3 m/s)*



*KUVA 9. Nexfin mittaamassa jatkuvaa verenpainetta sormenpäältä altistuksen aikana*

Tuulitunnelista siirryttiin takaisin kontrollitilaan palautumisen ajaksi (kuva 10). Tutkittavalta vähennettiin vaateusta ja palautumisjakso aloitettiin. Palautuminen kesti noin 20 minuuttia, ja sen aikana toteutettiin samat toiminnot kuin kontrollimittauksen ja altistuksen aikana.





*KUVA 10. Siirtyminen kylmäaltistustilasta kontrollihuoneeseen*

## 6 AINEISTON ANALYSOINTI

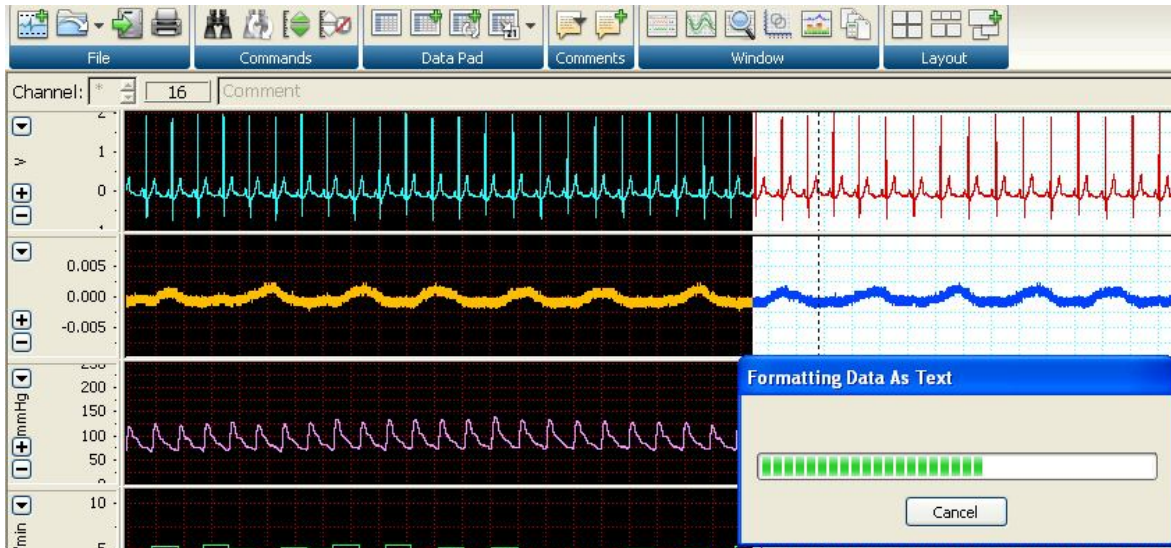
Tässä luvussa kuvataan LabChart- (v7.3.2, AdInstruments, Australia) ja Baro-ohjelmassa (Biosignaaliitiimi, Tietotekniikan laboratorio, Oulun yliopisto) tapahtuvat analyysihin tarvittavat toimenpiteet. Siinä kerrotaan signaalien esikäsittelystä sekä itse analyysin toteutuksesta.

### 6.1 Mitattujen signaalien alkukäsittely

Mitattua sydänsähkökäyrää ja jatkuvaa verenpainesignaalia saatiin yhteensä yli tunnin verran. Data jaettiin osiin mittauksen vaiheiden (kontrolli, altistus ja palautuminen) perusteella. Kontrollin ja altistuksen kesto oli noin 15 minuuttia ja palautumisen kesto noin 20 minuuttia.

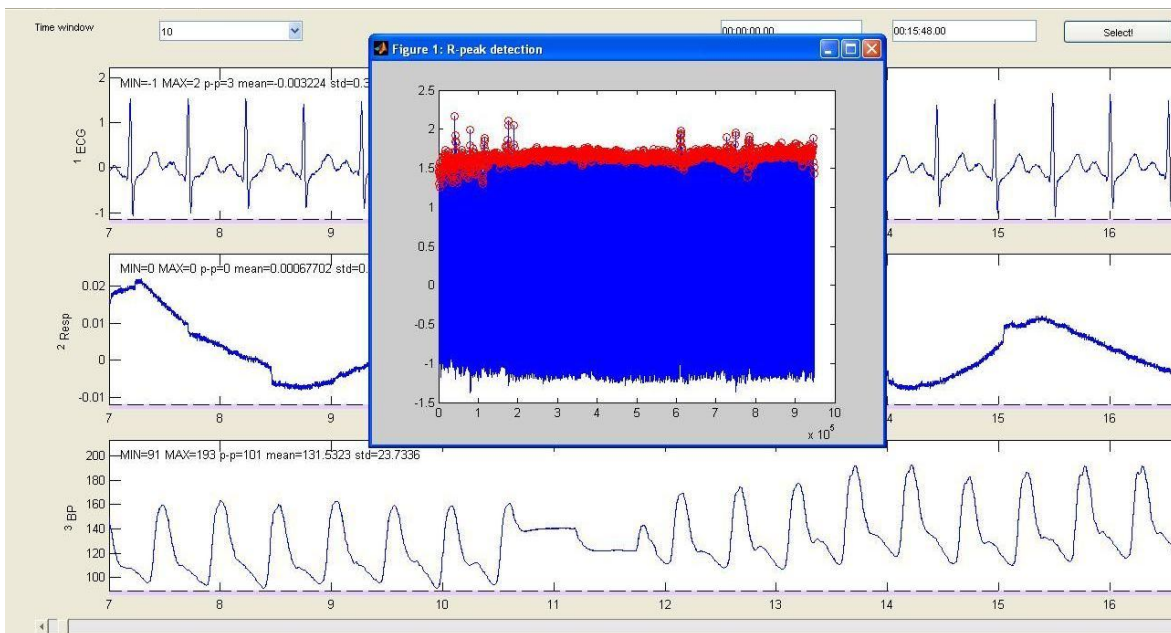
Mittauksen aikana reaaliaikaista signaalia kommentoitiin LabChartiin. Tällä helpotettiin myöhemmin tapahtuvaa osiin jakoa sekä signaalien käsittelyä. Osiin jakamisen kannalta tärkeimmät kommentit ovat seuraavat: kontrolli alkaa, kontrolli loppuu, kylmään meno, kylmä alkaa, kylmä loppuu, palautuminen alkaa ja palautuminen loppuu. Näillä kommenteilla data pystyttiin jakamaan kolmeen osaan. Sykevaihtelun ja barorefleksiherkkyyden analysoinnin kannalta altistus-osion kesto on kylmään menosta kylmän loppuun. Myöhemmin tapahtuvassa Barolla tehtävässä analysointivaiheessa datojen käytettävyyttä tarkkaillaan lisää. (Kuva 12, kuva 13 ja kuva 14.)

Kaikkien 32 tutkittavan datojen jokaisesta osasta (kontrolli, altistus ja palautuminen) tehtiin LabChart-ohjelmassa tekstitiedosto (kuva 11), jotta se saatiin avattua Barolla. Tekstitiedostoksi muuttaminen tapahtui maalaamalla valittu osa ja valitsemalla export-toiminto.



KUVA 11. *Datan muuntaminen tekstitiedostoksi LabChart-ohjelmalla*

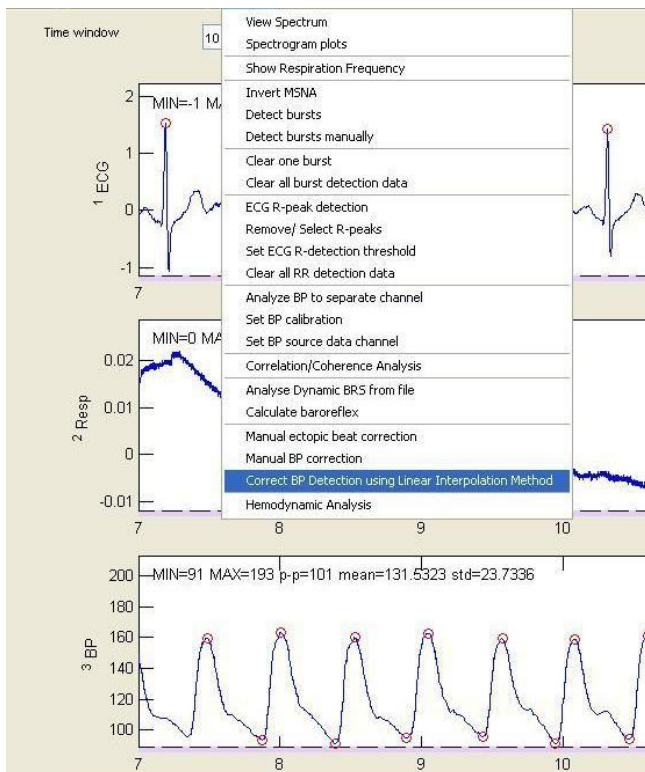
Barossa etsittiin kaikki R-piikit sekä jatkuvan verenpaineen systoliset ja diastoliset paineet. Tämä tapahtui käyttämällä automaattista detect-toimintoa. (Kuva 12.)



KUVA 12. *Baro-ohjelma ja R-piikkien detektointi*

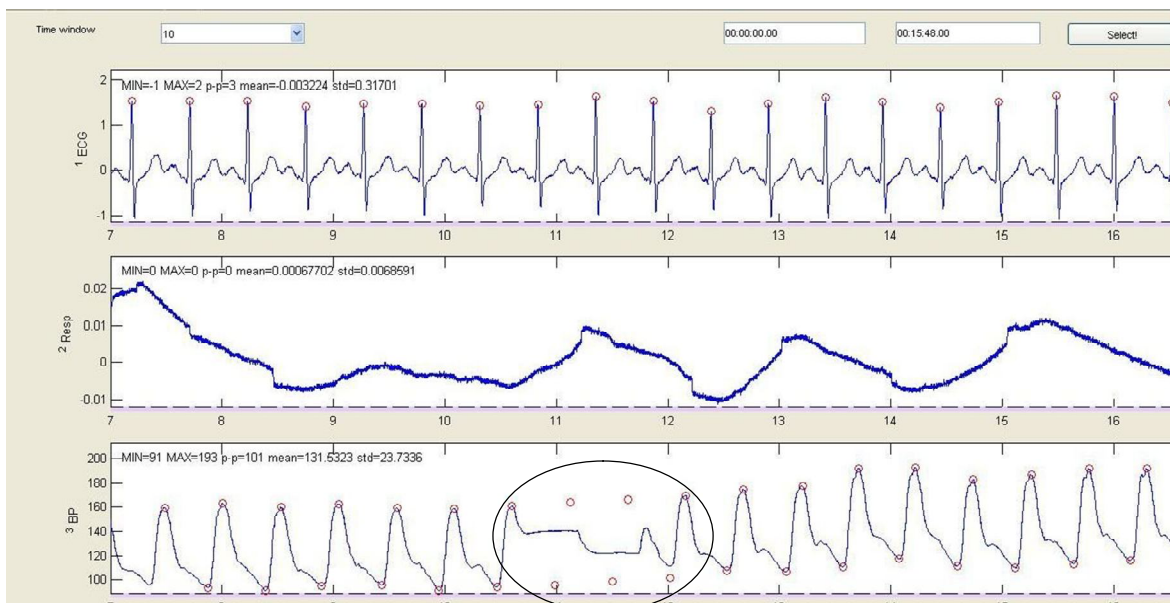
Physiocal-kalibrointimenetelmällä jatkuvan verenpaineen taso saatiin pidettyä normaalina. Kylmämittauksissa kalibrointimenetelmän käyttäminen jatkuvana oli

välttämätöntä. Signaalin säilyessä hyvänä kalibrointien välit olivat yli minuutin, mutta signaalin heiketessä laite kalibroi useammin. Etenkin kylmässä useilla henkilöillä tapahtuva verisuonten supistuminen eli vasokonstriktio aiheutti helposti signaalin heikkenemistä. Kalibroinnin aikana laite haki oikeaa tasoa signaaliin ja aiheutti siihen niin sanotun katkoksen (kuva 12, alin sarake).



KUVA 13. Baro-ohjelman analyysimenetelmien näkymä

Käyttämällä automaattista lineaarista korjausta signaali saatiin pidettyä oikealla tasolla. Lineaarinen korjaus tapahtui valitsemalla "Correct BP" -toiminto (kuva 13) ja klikkaamalla ennen Physiocallia olevaa luonnollista systolisen verenpaineen piikkiä ja Physiocallin jälkeen olevaa systolisen verenpaineen piikkiä. Ohjelma lasi lineaariset arvot näiden kahden piikin välille. (Kuva 14.) Tarvittaessa myös lisälyönnit korjattiin siihen tarkoitetulla automaattisella menetelmällä (Manual etopic beat correction) (kuva 13).



KUVA 14. Jatkuvan verenpaineen automaattinen lineaarinen korjaus

## 6.2 Datan analysointi

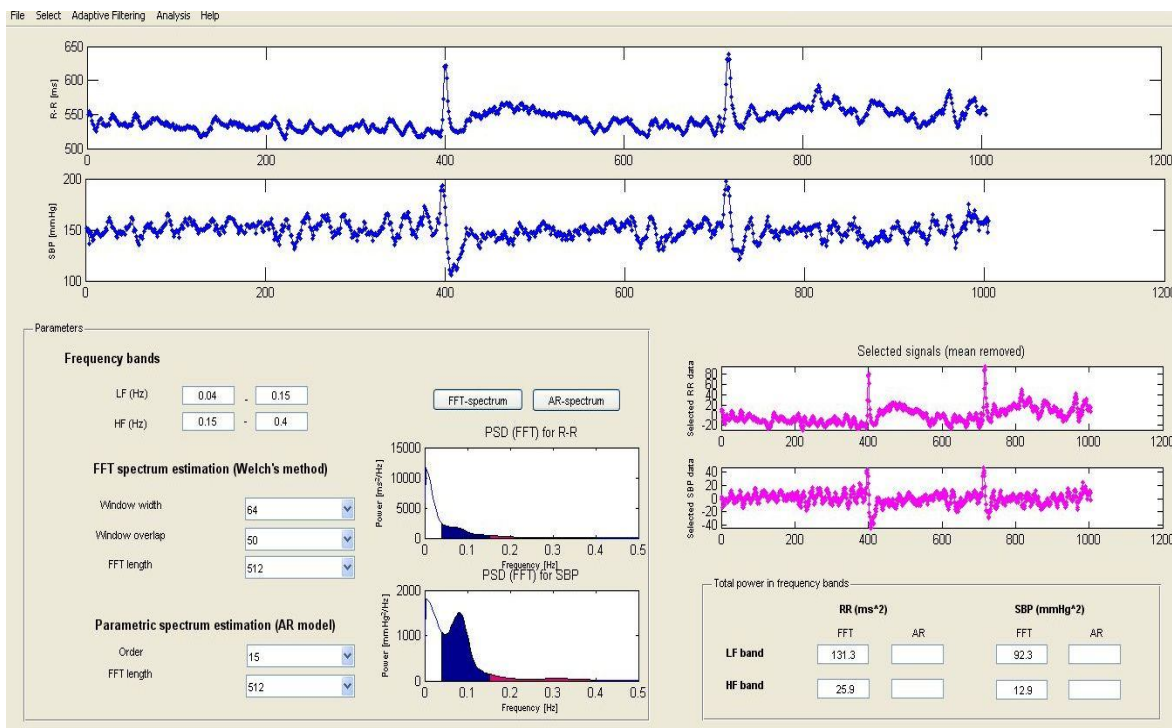
Työssä analysoitiin 16 tutkittavan mittaustulokset. Perustasosta pyrittiin analysoimaan viimeiset 5 minuuttia, altistuksesta viimeiset 5 minuuttia ja palautumisesta 5 minuuttia 10–15 minuutin kohdalta sekä 5 minuuttia 15–20 minuutin kohdalta. Näin saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Analyysien ajoituksia valittaessa huomioitiin signaalien laadut. Hengitysfrekvenssin analyysissä käytettiin vain 12 tutkittavan dataa heikon signaalin vuoksi.

Analyysit toteutettiin Barolla suurimmaksi osaksi massa-ajoina alfa-kertoimen avulla. Analyyseissa käytettiin ristispektrimenetelmää eli verenpainevaihtelun ja sykevaihtelun korrelaatiota taajuustasossa. Tämä kertoo sen, kuinka paljon verenpainevaihtelu aiheuttaa sykevaihtelua. Analyyseissa hyödynnettiin matalataajuus- ja korkeataajuus-muutoksia. Sekä massa-ajoissa että manuaalisesti tehtynä ohjelma laski AR-spektrit ja barorefleksiherkkyyden näytteistystaajuudella 2 Hz. Kaikista analyyseista saatiin tekstiversiot, eli ne olivat avattavissa Excel-taulukossa. Yksittäisistä tuloksista laskettiin keskiarvot. Keskiarvoista tehtiin ku-



vaajat käyttäen x-akselina mittauksen osioita kontrolli (baseline), altistus (exposure), palautuminen1 (recovery1) ja palautuminen2 (recovery2) (kontrollin lopusta 5 min, kylmän lopusta 5 min, palautumisen keskeltä 5 min ja palautumisen lopusta 5 min). Tuloksista kerrotaan luvussa 7 ja tulosten kuvaajat on esitetty liitteissä (liitteet 1–13).

Kuvan 16 yläpalkissa ovat R-R-välit (s) ja alapalkissa systolinen verenpaine, SBP (mmHg). Alempana näkyvät parametrit. Tässä opinnäytetyössä tuloksissa tarkastellaan erityisesti AR-mallia. Parametriosiossa sijaitsevien spektrien siniset värit kuvaavat matalataajuuskaistaa ja punaiset värit korkeataajuuskaistaa (katso tarkemmin kuva 2).



KUVA 15. Barorefleksiherkkyyden analyyseihin tähtäävä näkymä.

Analyyseista saatiin laajat tulokset Excel-taulukkoon. Tuloksista poimittiin oleelliset muuttujat ja niistä kerrotaan luvussa 7. Excel-taulukkoa käsiteltiin ja muun muassa Nexfin-laitteen antamia systolisen verenpaineen arvoja korjattiin olkavarsilukemien mukaan.

### 6.3 SPSS-tilastoanalyysi

Baro-ohjelmalla tehtyjen analyysien muuttujille suoritettiin SPSS-tilastoanalyysi. Jakaumat muuttujille tutkittiin Shapiro-Wilk-testillä. Mikäli muuttuja ei ollut normaalisti jakautunut, tehtiin siitä luonnollinen logaritmuunnos, mikä mahdollisti parametristen tilastomenetelmien käytön. Muuttujien välisiä eroja kontrollijakson, kylmäaltistuksen ja palautumisen välillä vertailtiin varianssianalyysillä. Tuloksen ollessa tilastollisesti merkitsevä suoritettiin post hoc- analyysi käyttäen Bonferroni-testiä, jossa verrattiin kylmäaltistuksen ja palautumisen aikaisia arvoja perustasoon. Tulos katsottiin tilastollisesti merkitseväksi, kun p-arvo oli  $<0,05$ .

## 7 TULOKSET

Tulokset esitetään taulukossa 6. Taulukossa esiintyvien muuttujien nimitykset löytyvät Lyhenteistä työn alusta. LF\_RRI\_LN kuvaa tässä sykevaihtelua matalataajuuskaistalla ja HF\_RRI\_LN sykevaihtelua korkeataajuuskaistalla. Sykevaihtelun, verenpainevaihtelun ja barorefleksiherkkyyden muuttujille on tehty siis luonnolliset logaritmuunnokset. Kuvaajat tuloksista löytyvät liitteistä 1–13.

Sykevaihtelu lisääntyi kylmässä eli parasympaattinen aktiivisuus lisääntyi. LF\_RRI\_LN kasvoi ( $4,8 \pm 1,2$  vs.  $5,9 \pm 1,1$ ,  $p=0,007$ ) kylmäaltistuksessa ja pysyi koholla koko palautumisen ajan ( $5,3 \pm 1,2$ ,  $p=0,009$  ja  $5,6 \pm 1,4$ ,  $p=0,020$ ). HF\_RRI\_LN kasvoi ( $3,3 \pm 1,1$  vs.  $4,8 \pm 1,3$ ,  $p=0,001$ ) ja pysyi merkitsevästi koholla ( $4,8 \pm 1,3$ ,  $p=0,023$ ) palautumisen keskivaiheille asti. (Taulukko 6; Liitteet 7 ja 8.)

Barorefleksiherkkyys ei muuttunut merkitsevästi kylmässä, mikä todetaan seuraavista tuloksista: LF\_BRS\_LN ( $p=0,083$ ), HF\_BRS\_LN ( $p=0,163$ ) ja MEAN\_BRS\_LN ( $p=0,086$ ). LF\_BRS\_LN oli kuitenkin koholla ( $1,2 \pm 0,6$  vs.  $1,4 \pm 0,6$ ) sekä kylmäaltistuksen että palautumisen aikana. Sama havaittiin HF\_BRS\_LN:n ( $1,0 \pm 0,7$  vs.  $1,3 \pm 0,7$ ) ja MEAN\_BRS\_LN:n ( $1,1 \pm 0,6$  vs.  $1,4 \pm 0,6$ ) kohdalla. Verenpaine nousi kylmässä ja aiheutti sykkeen laskun, eli barorefleksi lisäsi parasympaattista aktiivisuutta kylmässä. (Taulukko 6; Liitteet 10–12.)

SBP kohosi kylmäaltistuksen aikana lähes 26 mmHg ( $p=0,000$ ) ja DBP lähes 11 mmHg ( $p=0,000$ ) ja jäi merkitsevästi (3 mmHg,  $p=0,024$ ) koholle lähes koko palautumisjakson ajaksi (liitteet 1 ja 2). SDNN kohosi merkitsevästi kylmäaltistuksen aikana ( $26 \pm 12$  vs.  $41 \pm 22$   $p=0,032$ ) (liite 9). Merkitsevät erot altistusten välillä (main effect,  $p<0,05$ ) löytyivät edellä mainittujen lisäksi myös muuttujalta HR ( $p=0,018$ ) (liite 5). Hengitysfrekvenssi ei vaikuttanut merkitsevästi muuttujien arvoihin ( $p=0,998$ ) (liite 13). (Taulukko 6.)



TAULUKKO 6. Kylmäaltistuksen vaikutukset valittuihin sykkeen ja verenpaineen muuttujiin normotensiivisillä tutkittavilla. \_LN-loppuisille muuttujille on tehty luonnollinen logaritimuunnos ja muut ovat absoluuttisia arvoja. Arvot ovat keskiarvoja (n=16) ± keskihajonta, paitsi Rf:n kohdalla n=12. \*\*p<0,01 ja \*p<0,05 verrattuna kontrolliin (baseline).

	<b>Baseline</b>	<b>Exposure</b>	<b>Recovery1</b>	<b>Recovery2</b>
SBP	129 ± 12	155 ± 16**	130 ± 13	131 ± 14
DBP	81 ± 11	92 ± 10**	84 ± 9*	84 ± 10
HR	78 ± 16	72 ± 15	73 ± 15	74 ± 15
RRI	803 ± 155	865 ± 156	845 ± 145	837 ± 144
SDNN	26 ± 12	41 ± 22*	35 ± 23	38 ± 18*
LF_RRI_LN	4,8 ± 1,2	5,9 ± 1,1**	5,3 ± 1,2**	5,6 ± 1,4*
HF_RRI_LN	3,3 ± 1,1	4,8 ± 1,3**	4,0 ± 1,2*	4,0 ± 1,4
LF_SBP_LN	2,4 ± 0,8	2,9 ± 0,6	2,2 ± 0,7	2,5 ± 0,8
HF_SBP_LN	1,3 ± 0,8	2,1 ± 0,6**	1,5 ± 0,6	1,4 ± 0,6
LF_BRS_LN	1,2 ± 0,6	1,4 ± 0,6	1,4 ± 0,6	1,5 ± 0,7
HF_BRS_LN	1,0 ± 0,7	1,3 ± 0,7	1,2 ± 0,8	1,2 ± 0,7
MEAN_BRS_LN	1,1 ± 0,6	1,4 ± 0,6	1,3 ± 0,6	1,4 ± 0,6
Rf	0,24 ± 0,05	0,25 ± 0,05	0,25 ± 0,05	0,25 ± 0,05

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksella etsittiin kylmäaltistuksen aiheuttamia muutoksia sydämen autonomisessa toiminnassa normotensiivisillä tutkittavilla. Tulokset osoittivat, että sykevaihtelu lisääntyi kylmässä, mutta barorefleksiherkkyys ei kylmäaltistuksessa muuttunut merkitsevästi.

Tuloksista nähtiin, että sykevaihtelu matalataajuuskaistalla lisääntyi kylmässä ja pysyi koholla koko palautumisen ajan. Tämä kuvastaa ensisijaisesti sympaattisen aktiivisuuden kohoamista ja on kylmässä kytkeytyneenä muun muassa verenpaineen kohoamiseen sekä lisääntyneeseen noradrenaliinin eritykseen. Korkeataajuuskaistalla havaittiin myös nousu kylmän aikana sekä koholla pysyminen palautumisen puoliväliin asti. Sykevaihtelun korkeataajuuskaistan muutokset kuvastavat parasympaattisen hermoston toiminnan aktivoitumista. Lämpötila siis vaikuttaa merkitsevästi sykevaihteluun. Sykevaihtelun lisääntyminen kertoo sekä parasympaattisen että sympaattisen aktiivisuuden lisääntymisestä ja keskinäisestä vuorovaikutuksesta.

Terveillä henkilöillä kylmä ei vaikuttanut merkitsevästi barorefleksiherkyyteen. Voidaan kuitenkin todeta, että matalataajuuskaistalla p-arvon ollessa suhteellisen pieni merkitsevyys ei ole kaukana. Kylmän kuitenkin huomattiin kohottavan barorefleksiherkyyttä, mikä kuvastaa baroreseptorien lisääntynyttä aktiivisuutta. Verenpaineen nousun ja siten sykkeen laskun vuoksi barorefleksin todetaan lisäävän parasympaattisen hermoston aktiivisuutta kylmässä. Terveiden kannalta tärkeä havainto oli, että terveillä henkilöillä ei ollut havaittavissa barorefleksin heikkenemistä kylmän vuoksi. Tämä kertoo siitä, että autonominen säätelyjärjestelmä toimii kylmässäkin oikein, eli keho vastaa ja pyrkii sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin.

Kuten aiemmissa kokeellisissa tutkimuksissa, myös tässä tutkimuksessa havaittiin sykkeen lasku, eli parasympaattisen aktiivisuuden lisääntyminen kylmässä. Syke ei täysin palautunut ennalleen kylmäältistuksen jälkeen. Toki on otettava huomioon ihmisen normaali sykevaihtelu. Tuloksista todettiin, että hengitysfrekvenssi (liite 13) ei vaikuta ensisijaisesti verenpaineen ja sykkeen muutoksiin kylmäältistuksessa.

Kylmäältistus kohotti selvästi verenpainetta. Verenpaineen äkillinen nousu (jopa 20 mmHg) akuutissa kylmäältistuksessa on osoitettu aiemmissa tutkimuksissa. Tämä tutkimus osoitti myös, että verenpaine ei täysin palaudu ennalleen edes 20 minuutin palautumisjakson aikana. Systolinen verenpaine palautui käytännössä paremmin kuin diastolinen verenpaine, mutta myös kohoaminen oli suurempaa.

Aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että iän myötä barorefleksiherkkyys vähenee eli keho vastaisi hitaammin esimerkiksi kylmäältistukseen. Tässä tutkimuksessa todettiin, että normotensiivisillä 55–65-vuotiailla tutkittavilla barorefleksin heikkeymistä ei havaittu. Kohonneen verenpaineen on todettu heikentävän barorefleksin toimintaa, joten hypertensiivisillä tilanne voi olla erilainen.

Tutkimuksessa henkilöt vaadettiin täysin samalla tavalla, jotta päästäisiin mahdollisimman yhdenmukaisiin tuloksiin. Esimerkiksi kehonkoostumuksen eroavaisuudet voivat vaikuttaa tuloksiin. On todettu, että kehon suuri koko ja runsas rasvanmäärä parantavat kylmänsietokykyä, kun taas toisaalta hyväkuntoinen kestää paremmin kylmää. Tämän lisäksi tutkittavien käyttämä lääkitys (muun kuin kohonneen verenpaineen lääkitys) voi myös vaikuttaa tuloksiin. Barorefleksiherkkyden kylmävasteiden on todettu olevan erilaisia naisilla ja miehillä, sillä naiset jäähtyvät kylmässä helpommin kuin miehet. Tässä tutkimuksessa ikähaarukka oli 55–65 ja sukupuoli mies, minkä perusteella yksilöiden välinen vaihtelu on pienempää. Usein kylmänsieto on kuitenkin tottumiskysymys eli esimerkiksi kylmätyötä tekevä kestää paremmin kylmää. Nämä seikat on otettava huomioon tuloksissa.

Tämän opinnäytetyön analyysien toteutuksen kannalta mittauksissa käytettävät laitteet ja niiden toimivuudet olivat oleellisia. EKG:n ja verenpaineen mittaaminen jatkuvana oli välttämätöntä, jotta eri muuttujia kuten syke- ja verenpainevaihtelua ja barorefleksiherkkyyttä pystyttiin analysoimaan. Oli tärkeää, että aineistoa oli tarpeeksi, koska kaikkea mittattua signaalia ei kuitenkaan voitu käyttää. Mittauksen aikainen kommentointi helpotti huomattavasti siirtymävaiheiden tunnistamista.

Analyysit toteutettiin kylmäältistuksen viimeiselle viidelle minuutille, joten siirtyminen kylmään ei todennäköisesti enää vaikuttanut tuloksiin. Tältä osin mittaukset kylmäältistuksen alussa olisivat voineet tuottaa erilaisia vasteita ja muun muassa liikkuminen olisi voinut häiritä tulosten luotettavuutta. Mittauksissa käytettiin laitteita, joiden toimivuutta kylmässä ei vielä tunnettu. Laitteistohäiriöt aiheuttivatkin ajoittain ongelmia, mutta siitä huolimatta saatiin kerättyä riittävästi tutkimustietoa. Mittauksien onnistuminen myös osoitti, että vastaavia laitteita on mahdollista käyttää kylmässä lyhyitä ajanjaksoja.

Tutkimuksen avulla saadaan uutta tietoa akuutin kylmäältistuksen sydämen ja verenkiertojärjestelmän toimintaan. Tämä opinnäytetyö käsitteli normotensiivisten tutkittavien autonomista säätelyä kylmässä. Opinnäytetyön tuloksia voidaan verrata hypertensiivisten tutkittavien tuloksiin ja saada tärkeää tietoa sydämen ja verisuoniston toiminnasta kylmässä. Kansanterveydellisesti tämä on tärkeä tieto, koska kohonnut verenpaine on tärkeä sydän- ja verisuonisairastavuuden ja kuoleisuuden riskitekijä.

Lämpöolosuhdelaboratoriossa suoritettaviin mittauksiin osallistuminen oli erittäin opettavaista ja mielenkiintoista. Työtehtävät olivat monipuolisia. Mittausten aikana pääsi tekemään kehonkoostumusanalyysseja, lepokuntotestejä sekä itse lämpöolosuhdelaboratoriossa tapahtuvan mittauksen aikaisia toimia kuten EKG:n sekä muiden signaalien tarkkailua ja keskeisen verenpaineen mittaamista. Signaalien tarkkailu reaaliajassa opetti niiden ymmärtämistä ja poikkeustilojen havainnointia. Laboratoriomittauksissa oppi projektityöskentelyä, suunnittelutaitoa ja tutkimusti-

lanteen vetämistä. Mittausten yhteydessä pääsi sisälle tutkimusmaailmaan ja sai kokea yllättäviä tilanteita, jotka olivat tärkeää oppia tulevaisuutta varten. Signaalien käsittely- ja analysointivaiheessa huomasi, miten tärkeää oli olla itse mukana mittaustilanteessa, jotta pystyi muistamaan ja hahmottamaan, mistä esimerkiksi signaalien heikkoudet voivat johtua. Opinnäytetyöprosessi oli kaikin puolin arvokas kokemus.

## LÄHTEET

1. Hassi, Juhani – Mäkinen, Tiina – Holmer, Ingvar – Päsche, Arvid – Risikko, Anja – Toivonen, Liisa – Hurme, Maisa (in memorian). Oulu 2002. Opas kylmätyöhön. Työterveyslaitos Helsinki. Arbetslivsinstitutet Thelma As Trondheim. Stockholm.
2. Hassi, Juhani – Ikäheimo, Tiina – Kujala, Veikko (toim). Terveysthuollon Kylmä -kuumaopas. Shutterstock. Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin kuntayhtymä. Oulun Yliopisto, Ympäristöterveyden ja keuhkosairauksien tutkimuskeskus.
3. Kohonnut verenpaine ja kylmä -hanke. Tutkimusesittely 11 08 2011. Powerpoint-esitys. Oulun yliopisto. Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. Työterveyslaitos. Verve. Puolustusvoimat.
4. Ikäheimo, Tiina Maria – Lehtinen, Taru – Antikainen, Riitta – Jokelainen, Jari – Näyhä, Simo – Hassi, Juhani – Keinänen-Kiukaanniemi, Sirkka – Jaakkola, Jouni – Laatikainen, Tiina – Jousilahti, Pekka. Cold related cardiovascular and respiratory symptoms of hypertensive subjects. The national FINRISK study 2002. Institute of Health Sciences and the Center for Environmental and Respiratory Health Research, University of Oulu, Finland. National Institute for Health and Welfare, Helsinki, Finland.
5. Li, Y. – Alshaer, H. – Fernie, G. 2009. Blood pressure and thermal responses to repeated whole body cold exposure: effect of winter clothing. Eur J Appl Physiol. Dec;107(6):673-85. Epub 2009 Aug 29.

6. Leppäluoto, Juhani – Kettunen, Raimo – Rintamäki, Hannu – Vakkuri, Olli – Vierimaa, Heidi – Lätti, Sole 2007. Anatomia ja fysiologia: Rakenteesta toimintaan. Wsoy Oppimateriaalit Oy. 1.painos. 2008. Helsinki.

7. Tiinanen, Suvi 2005. Baroreflex Sensitivity: Assessment and Effect of Adaptive Filtering. Master Thesis. Department of Physical Sciences. University of Oulu.

8. Sukanen, Tiia 2004. Erilaisten tehoharjoitusten akuutti vaikutus sykevaihteluun kestävyysurheilijoilla. Pro gradu -tutkielma. Liikuntafysiologia. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Saatavissa:  
<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/9282/G0000512.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 7.5.2012.

9. Huikuri, Heikki – Valkama, Juhani – Niemelä, Matti – Airaksinen, Juhani 2011. Sydämen sykevaihtelun mittaaminen ja merkitys. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 1995;111(4):307 Katsaukset. Artikkelin tunnus: duo50084 (95040307). Suomalainen Lääkäriseura Duodecim.

Saatavissa:

[http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/etusivu?p\\_p\\_id=dlehtihaku\\_view\\_article\\_WAR\\_dlehtihaku&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&dlehtihaku\\_view\\_article\\_WAR\\_dlehtihaku\\_spape=%2Fportlet\\_action%2Fdlehtihakuartikkeli%2Fviewarticle%2Faction&dlehtihaku\\_view\\_article\\_WAR\\_dlehtihaku\\_tunnus=duo50084&dlehtihaku\\_view\\_article\\_WAR\\_dlehtihaku\\_p\\_frompage=uusinnumero](http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/etusivu?p_p_id=dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku&p_p_action=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_spape=%2Fportlet_action%2Fdlehtihakuartikkeli%2Fviewarticle%2Faction&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_tunnus=duo50084&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_p_frompage=uusinnumero).

Hakupäivä 27.3.2012.

10. Baroreflex sensitivity, emka.

Saatavissa: <http://www.emka.fr/baroreflex-sensitivity-104.html#.T6jenllt3j4>. Hakupäivä: 8.5.2012.

11. Ikäheimo, Tiina 2012. Ohjeet. 26.01.2012

12. Stemper, B. – Hilz, M. J. – Rauhut, U. – Neundörfer, B. 2002. Evaluation of cold face test bradycardia by means of spectral analysis. Clin Auton Res 12 : 78–83. © Steinkopff Verlag. Research article.

13. Yamazaki, Fumio – Sone2, Ryoko. Modulation of arterial baroreflex control of heart rate by skin cooling and heating in humans. Department of Clinical Pathophysiology, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Yahatanishi-ku, Kitakyushu. Department of Exercise and Health Sciences, Faculty of Education, University of Yamaguchi, Yamaguchi, Japan. Research article.

14. Hiltunen, Liisa – Keinänen-Kiukaanniemi, Sirkka. Sydän- ja verisuonitautien vaaratekijät. Oulun yliopiston kansanterveystieteen ja yleislääketieteen laitos. Saatavissa: [http://kelo.oulu.fi/tutkimus/Lapin\\_terveyskatsaus/Luku%2012.pdf](http://kelo.oulu.fi/tutkimus/Lapin_terveyskatsaus/Luku%2012.pdf). Hakupäivä 10.4.2012.

15. Hintsala, Heidi 2012. Re:Lukuja opparia varten. Sähköpostiviesti. 27.1.2012.

16. Omron Digitaalinen automaattinen verenpainemittari Malli M3 -käyttöohje (IMHEM-7200-E-01-10/09). Kieli: Suomi. Valmistaja: Omron Healthcare CO, LTD Japani, Tuotantolaitos Omron Dalian CO, LTD Kiina, Maahantuoja: Normomedical Oy, Helsinki.

17. Rasvaprosentin mittaaminen. 2012. Tohtori.

Saatavissa: <http://www.tohtori.fi/?page=7481805&id=6362126>. Hakupäivä: 12.3.2012.



## LIITTEET

Liite 1: SBP

Liite 2: DBP

Liite 3: LF\_SBP\_LN

Liite 4: HF\_SBP\_LN

Liite 5: HR

Liite 6: RRI

Liite 7: LF\_RRI\_LN

Liite 8: HF\_RRI\_LN

Liite 9: SDNN

Liite 10: LF\_BRS\_LN

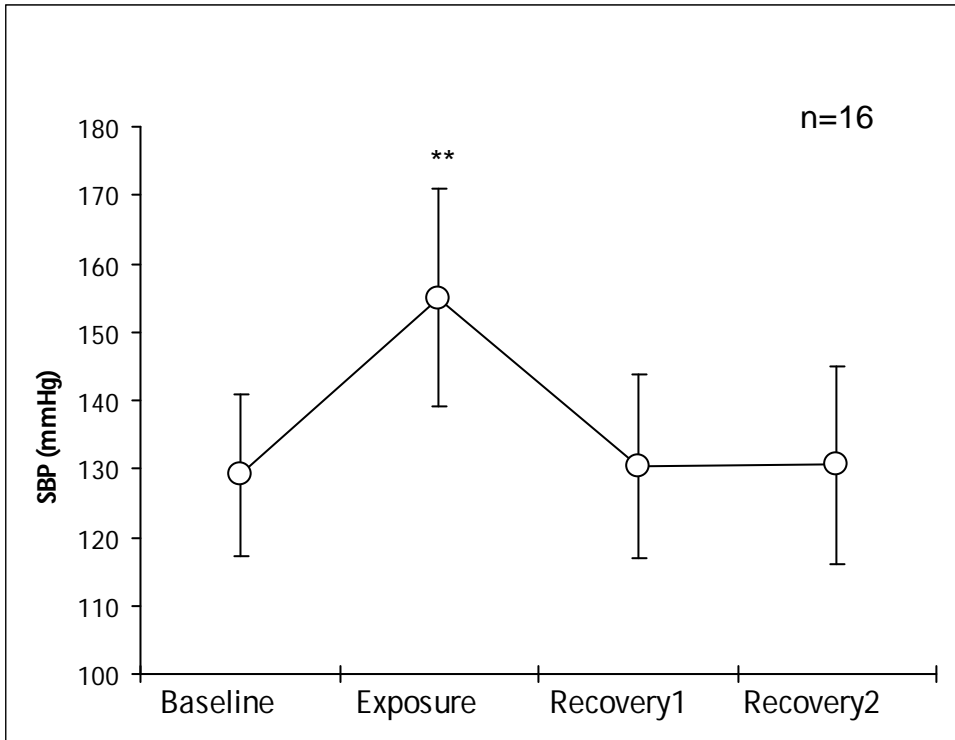
Liite 11: HF\_BRS\_LN

Liite 12: MEAN\_BRS\_LN

Liite 13: Rf

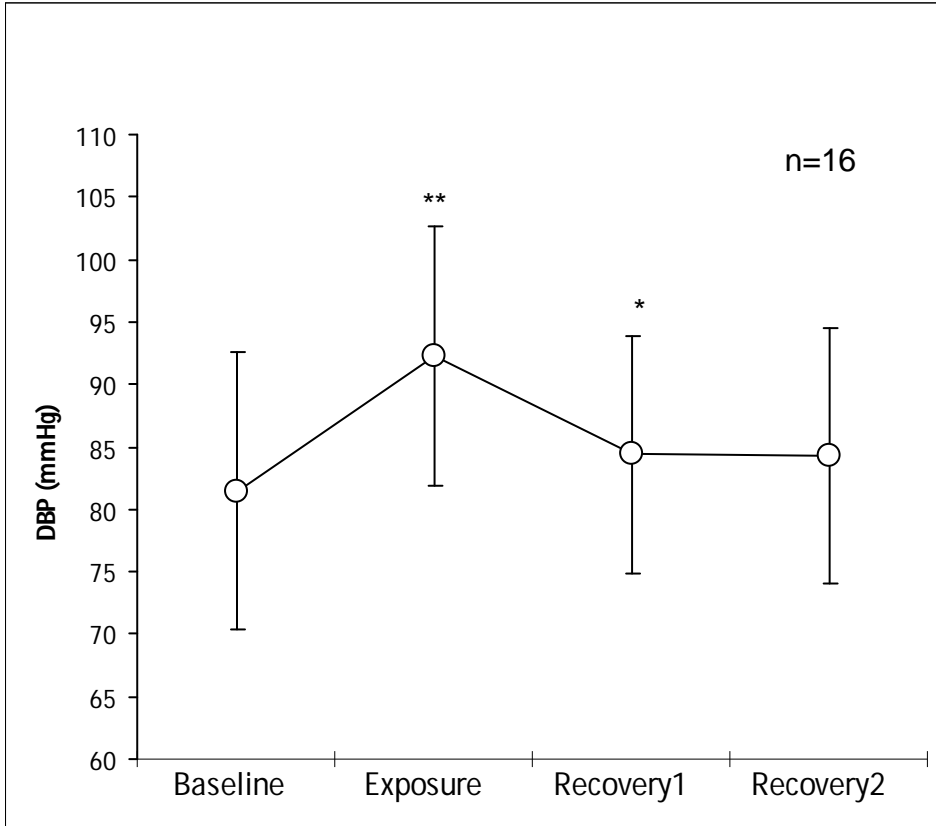
Liite 14: Kohonnut verenpaine ja kylmä: mittauksiin osallistuvan valmistautumishjeet

## SBP



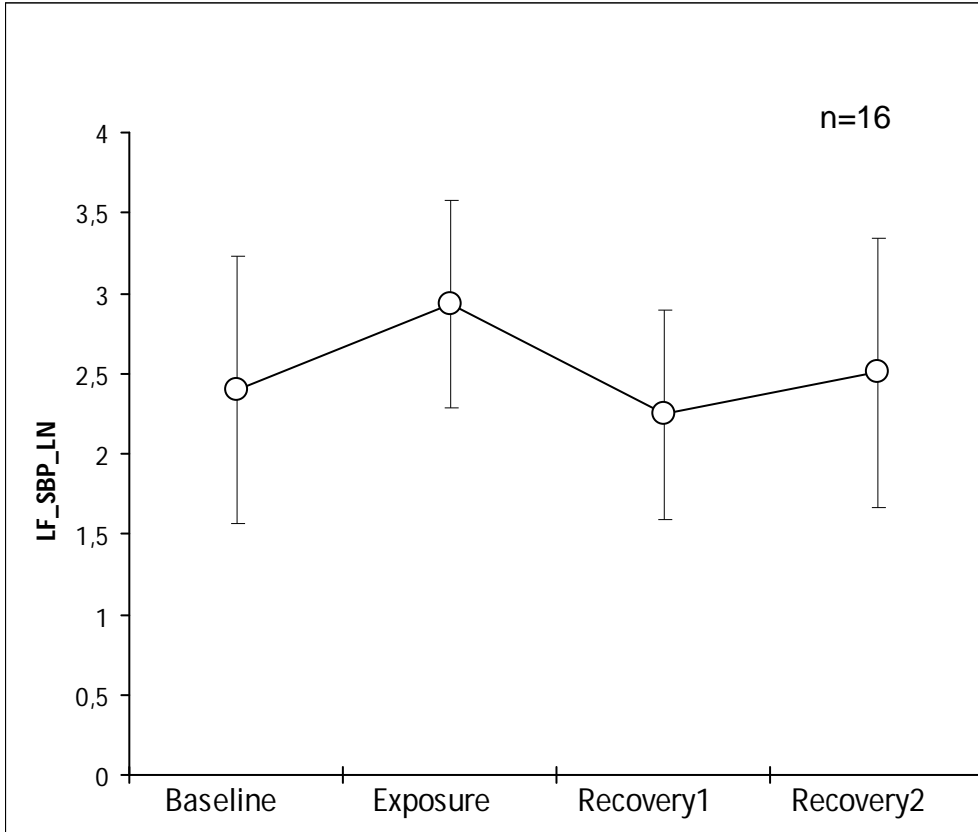
*KUVAAJA 1. Systolinen verenpaine (SBP) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja (n=16) ± keskihajonta. \*\*p<0,01 verrattuna kontrolliin. Päävaikutus (main effect) p=0,000.*

## DBP



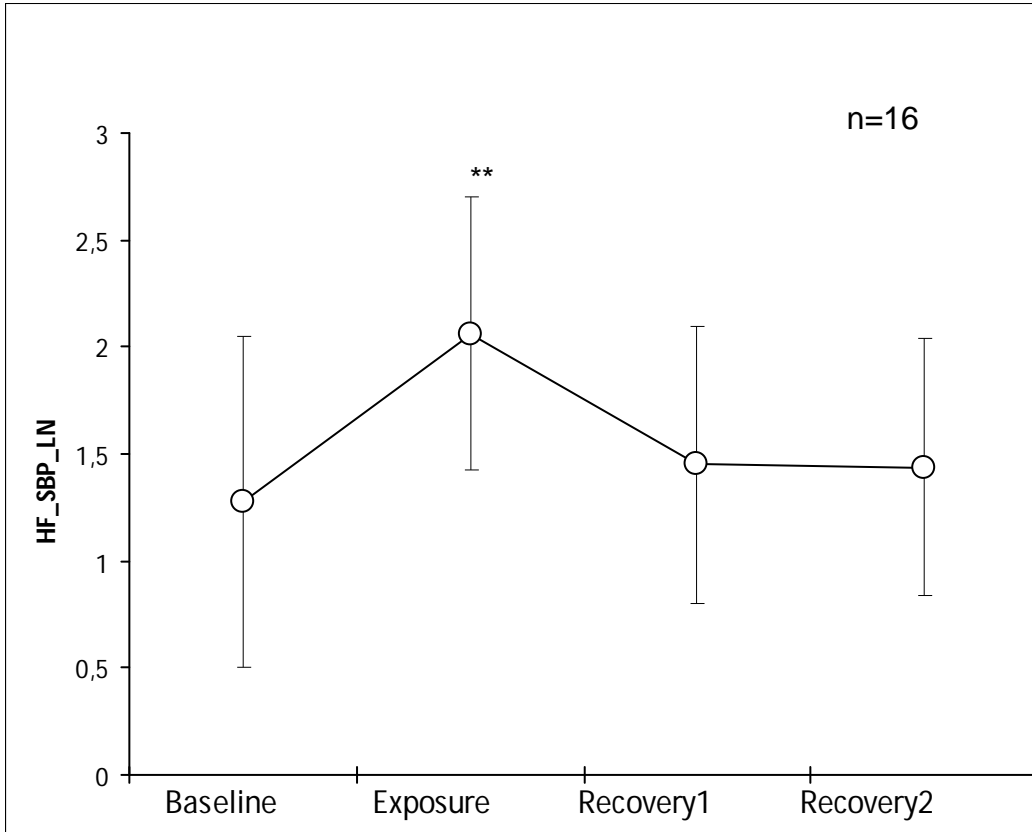
KUVAAJA 2. Diastolinen verenpaine (DBP) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. \*\* $p<0,01$  ja \* $p<0,05$  verrattuna kontrolliin. Päävaikutus  $p=0,000$ .

## LF\_SBP\_LN



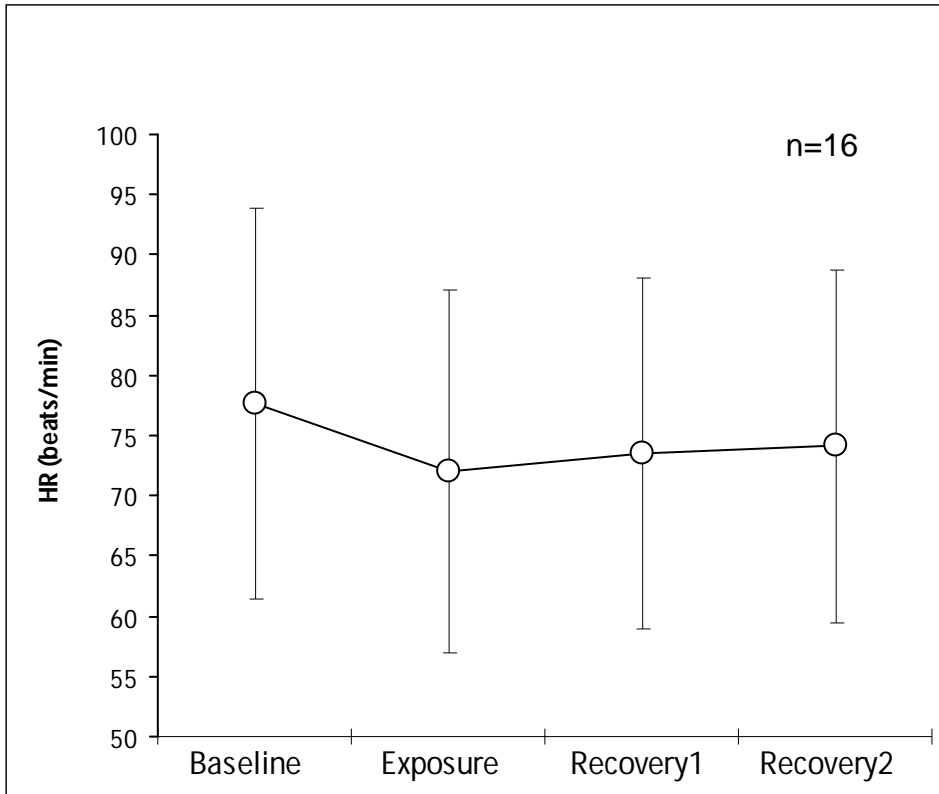
KUVAAJA 3. Luonnollinen logaritmi systolisesta verenpaineesta matalataajuuskais-talla (LF\_SBP\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. Päävaikutus löytyi ( $p=0,001$ ).

## HF\_SBP\_LN



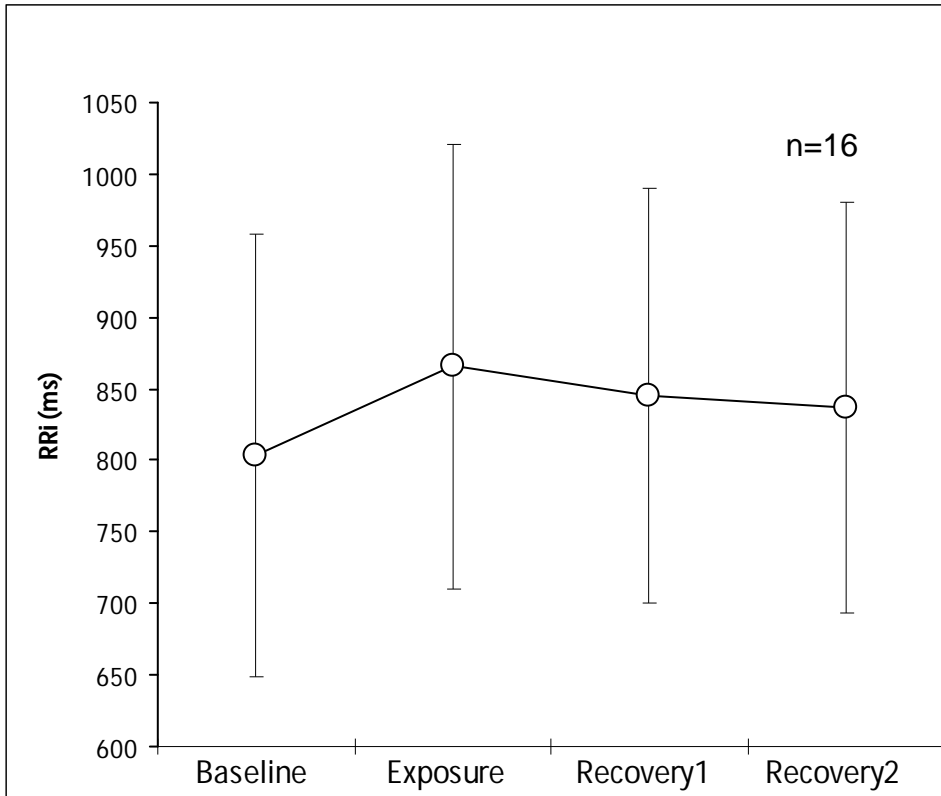
KUVAAJA 4. Luonnollinen logaritmi systolisesta verenpaineesta korkeataajuuskais-talla (HF\_SBP\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta.  $**p<0,01$  verrattuna kontrolliin. Päävaikutus  $p=0,000$ .

## HR



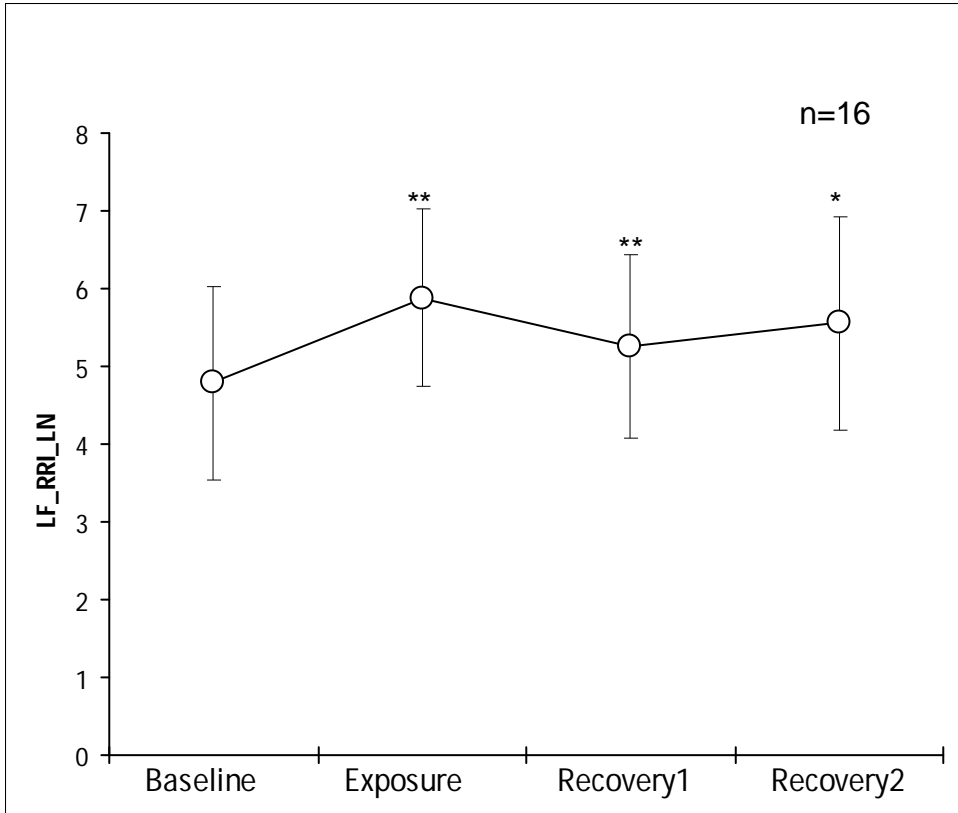
*KUVAAJA 5. Syke (HR) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja (n=16) ± keskihajonta. Päävaikutus löytyi (p=0,018).*

## RRI



*KUVAAJA 6. R-R-intervallit (RRI) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja (n=16) ± keskihajonta. Ei tilastollista merkitsevyyttä.*

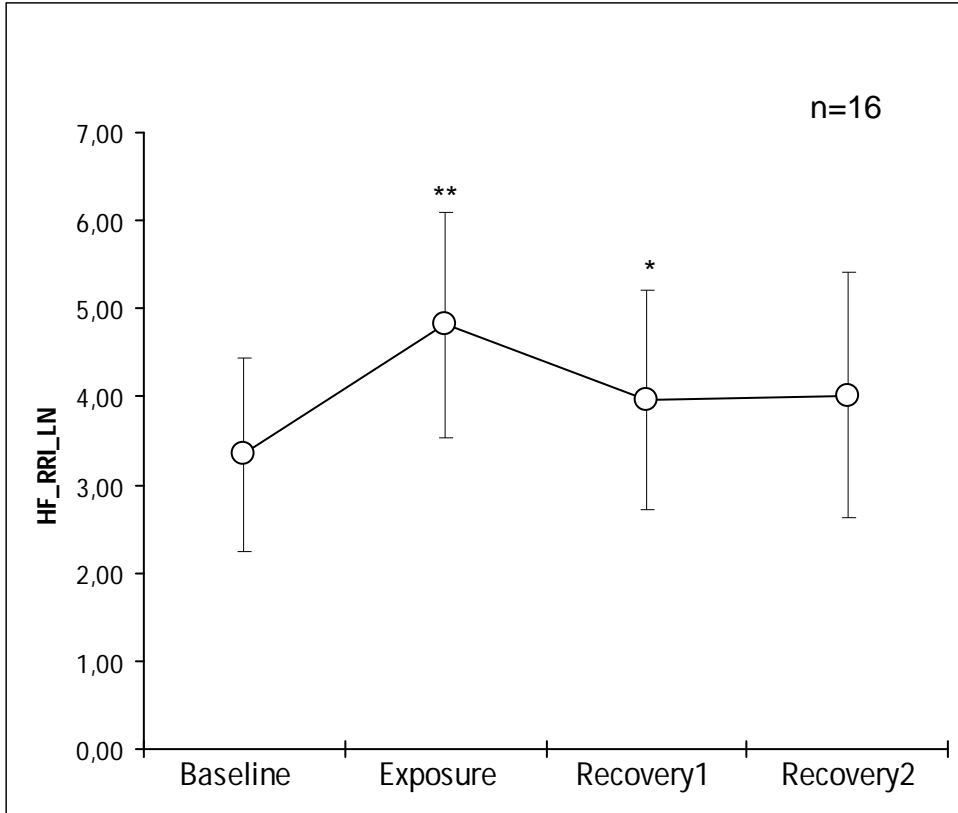
## LF\_RRI\_LN



KUVAAJA 7. Luonnollinen logaritmi sykevaihtelusta matalataajuuskaistalla (LF\_RRI\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. \*\* $p<0,01$  ja \* $p<0,05$  verrattuna kontrolliin. Päävaikutus löytyi ( $p=0,000$ ).

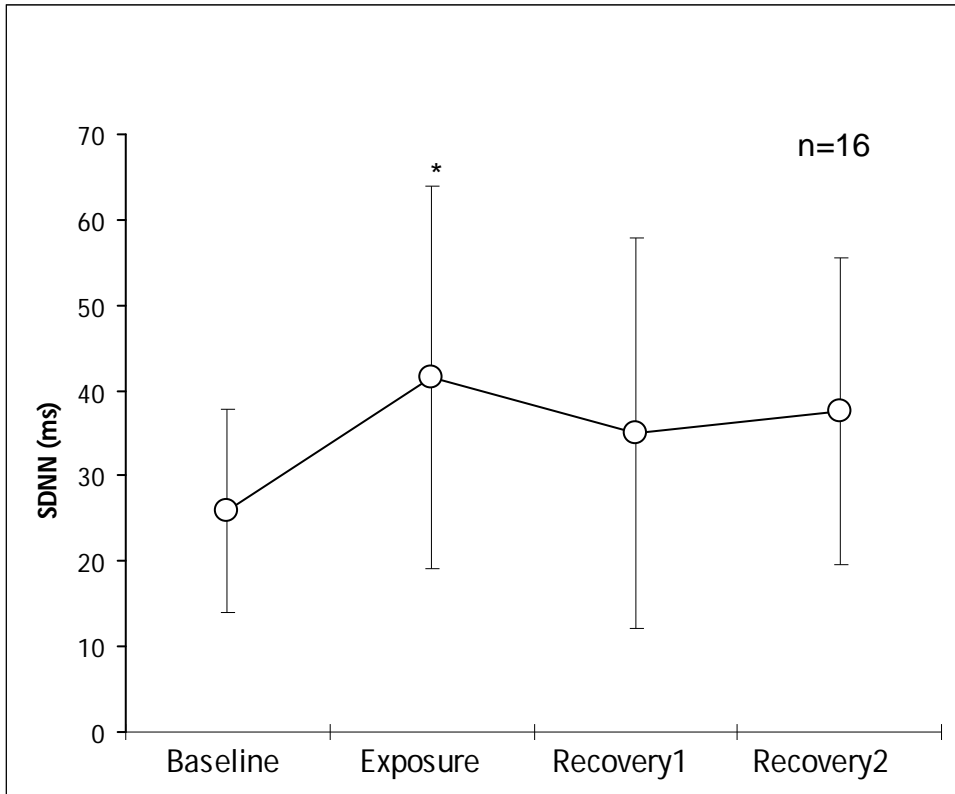


## HF\_RRI\_LN



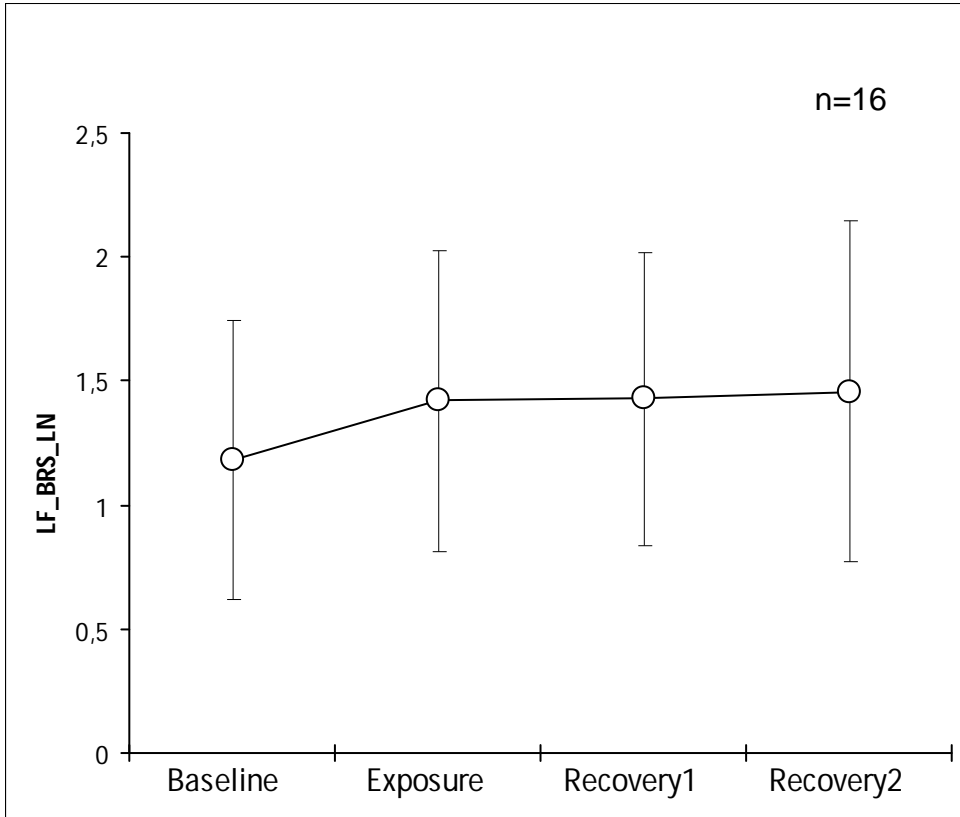
KUVAAJA 8. Luonnollinen logaritmi sykevaihtelusta korkeataajuuskaistalla (HF\_RRI\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. \*\* $p<0,01$  ja \* $p<0,05$  verrattuna kontrolliin. Päävaikutus löytyi ( $p=0,000$ ).

## SDNN



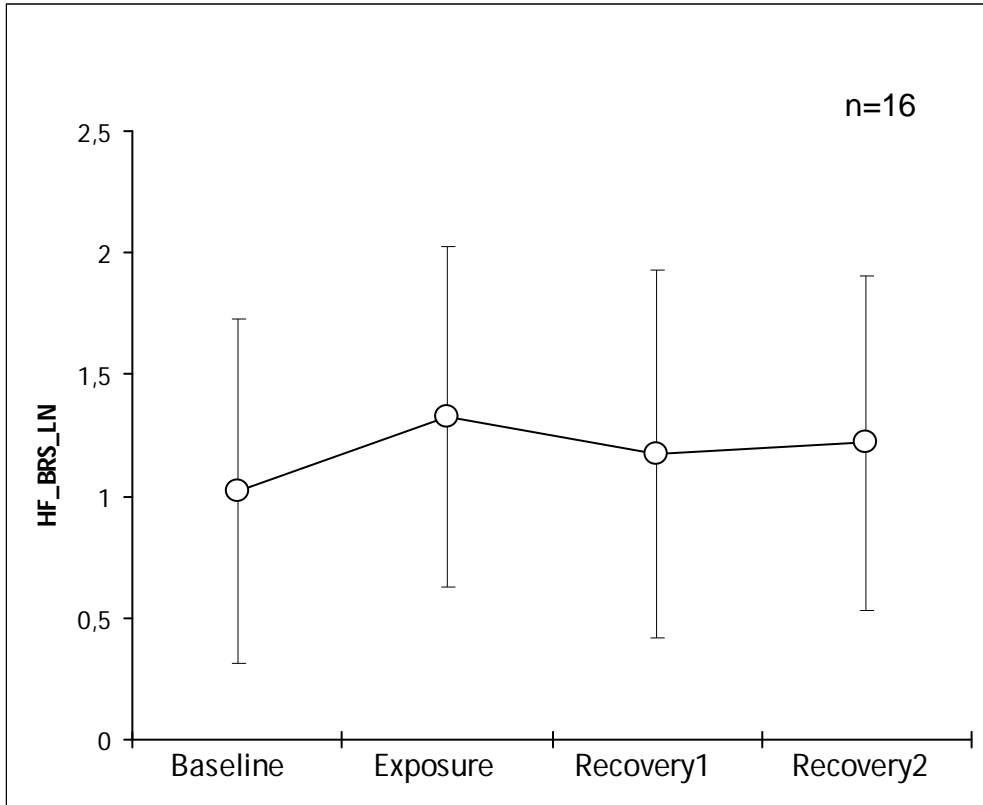
KUVAAJA 9. R-R-intervallien kokonaiskeskihajonta (SDNN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. \* $p<0,05$  verrattuna kontrolliin. Päävaikutus  $p=0,002$ .

## LF\_BRS\_LN

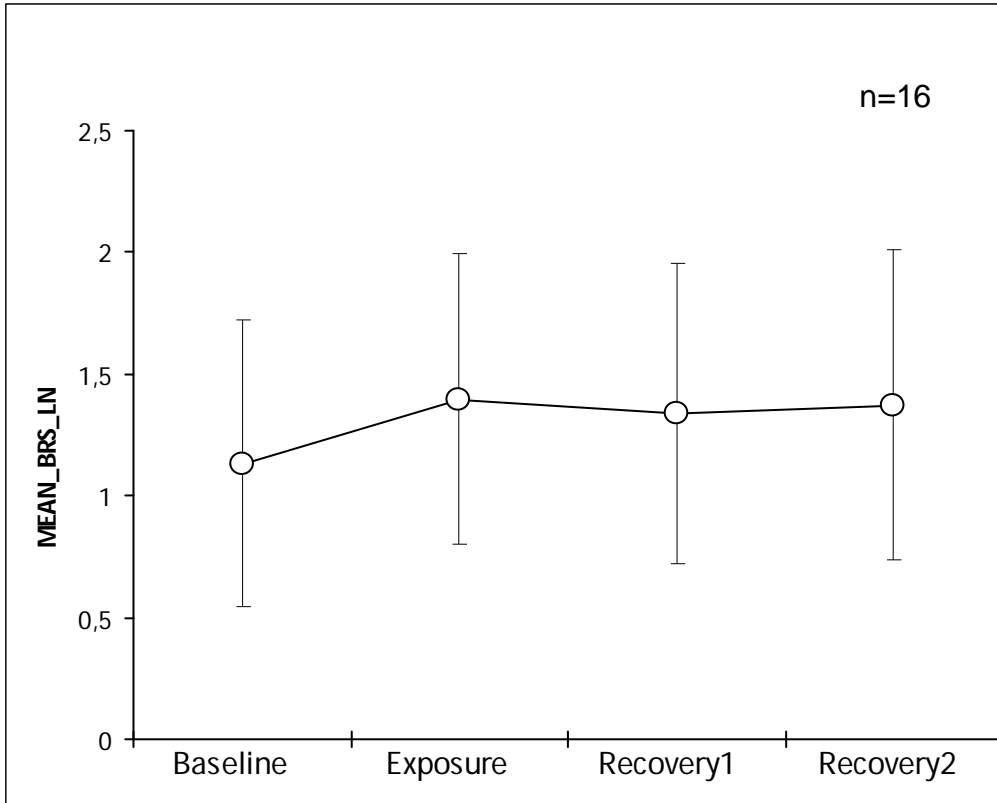


KUVAAJA 10. Luonnollinen logaritmi barorefleksiherkkyydestä matalataajuuskais-talla (LF\_BRS\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. Ei tilastollista merkitsevyyttä ( $p=0,083$ ).

## HF\_BRS\_LN

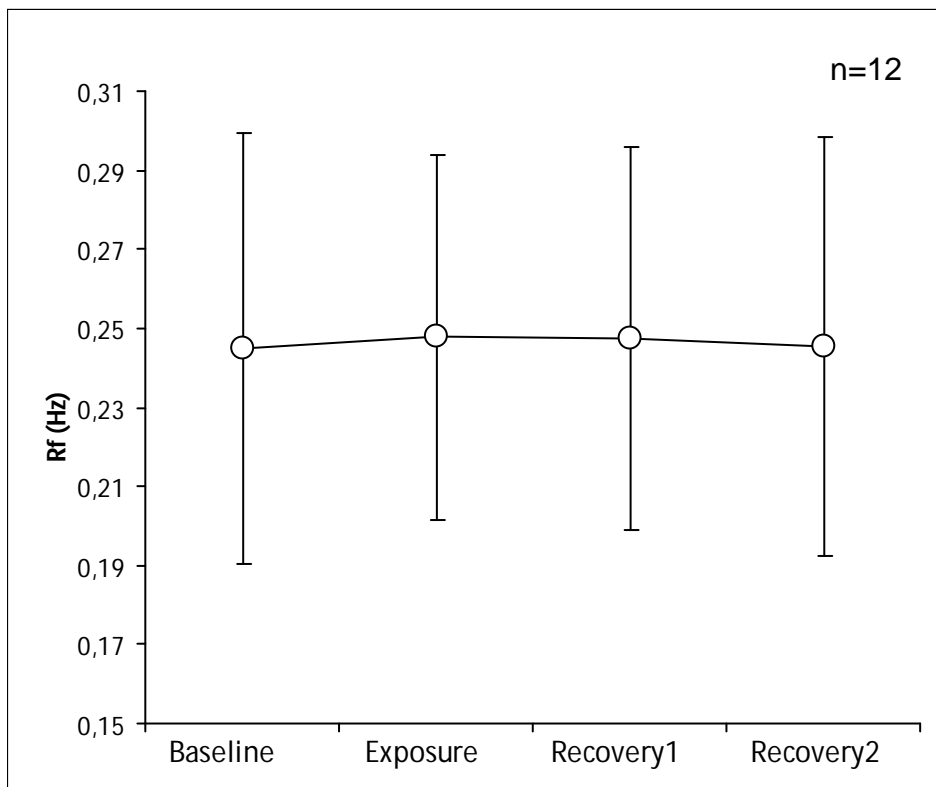


KUVAAJA 11. Luonnollinen logaritmi barorefleksiherkkyydestä korkeataajuuskais-talla (HF\_BRS\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=16$ )  $\pm$  keskihajonta. Ei tilastollista merkitsevyyttä ( $p=0,163$ ).

**MEAN\_BRS\_LN**

*KUVAAJA 12. Luonnollinen logaritmi keskiarvallisesta barorefleksiherkkyydestä (MEAN\_BRS\_LN) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja (n=16) ± keskihajonta. Ei tilastollista merkitsevyyttä (p=0,086).*

## Rf



KUVAAJA 13. Hengitystaajuus (Rf) kontrollissa (baseline), altistuksessa (exposure), palautumisen 10–15 minuutin aikana (recovery1) ja palautumisen 15–20 minuutin aikana (recovery 2). Arvot ovat keskiarvoja ( $n=12$ )  $\pm$  keskihajonta. Ei tilastollista merkitsevyyttä ( $p=0,988$ ).

## Kohonnut verenpaine ja kylmä: mittauksiin osallistuvan valmistautumisohjeet

### Mittausta edeltävänä päivänä

- Ei poikkeuksellisen rasittavaa fyysistä kuormitusta.
- Ajoissa nukkumaan.
- Tupakoinnin välttäminen: ei totuttua enempää.
- Alkoholin välttäminen.

### Mittauspäivänä

- Mikäli käytätte jotain lääkitystä, ottakaa lääkkeenne kuten tavanomaisena päivänä.
- Ei raskasta ateriaa n. 2 h ennen mittauksia (jos mittaus aamulla niin kevyt aamiainen, jos päivämittaus niin mielellään kevyehkö lounas n. 2 h ennen mittausta).
- Ei kahvia, teetä, kolajuomia tai energiajuomia, ei tupakointia, ei nuuskaa 2 h ennen mittausta. Näitä vältetään muutoinkin mittauspäivänä.
- Ottakaa talvikengät mukaan, kun saavutte mittauksiin. Tarpeen tullen laboratoriosta löytyy huopasaappaat.
- Välttäkää liikuntaa tullessanne mittaukseen, kuten pidempää kävelyä tai vauhdikasta pyöräilyä. Mikäli matkanne ei ole lyhyt, suosittelemme saapumaan mittaukseen autolla tai bussilla. Matkakulut korvataan kilometrikorvauksina.

**Kartta Kastellin tutkimuskeskukseen (Aapistie 1), parkkipaikka (P) tutkimuskeskuksen edessä.**

