

Jutta Ollila, Emma Paasikivi

# Spiroergometrisen rasituskokeen biologinen kontrollointi

Spirometria- ja kaasujenvaihduntatulosten  
vertailu HUS-Kuvantamisen yksiköissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Bioanalyttikko AMK

Bioanalytiikka

Opinnäytetyö

15.4.2014

Tekijät	Jutta Ollila, Emma Paasikivi
Otsikko	Spiroergometrisen rasisuskokeen biologinen kontrollointi: Spirometria- ja kaasujenvaihduntatulosten vertailu HUS-Kuvantamisen yksiköissä
Sivumäärä Aika	32 sivua + 3 liitettä 15.4.2014
Tutkinto	Bioanalyttikko AMK
Koulutusohjelma	Bioanalytiikka
Ohjaajat	Lehtori Hannele Pihlaja Erikoislääkäri, Dos. Päivi Piirilä Erikoislääkäri Timo Mustonen Sairaanhoitaja Helena Honkala
<p>Opinnäytetyössä tarkastellaan spiroergometrisen rasisuskokeen spirometria- ja kaasujenvaihduntamuuttujien tulostasojen vaihtelua biologisen kontrollon keinoin. Opinnäytetyö toteutettiin niissä HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian yksiköissä, joissa spiroergometrista rasisuskoeita suoritetaan potilastutkimuksina. Kliinisen fysiologian yksiköiden keskinäistä vertailua mahdollistavaa HUS-Kuvantamisen toimipaikkojen välistä biologista kontrollointia ei ole aiemmin tehty.</p> <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Meilahden kliinisen fysiologian yksikkö, yhteistyössä Peijaksen, Jorvin ja Hyvinkään sairaaloiden kliinisten fysiologian yksiköiden kanssa. Kliinisen spiroergometrisen rasisuskokeen biologinen kontrollointi suoritettiin yksittäisillä tutkimuskerroilla edellä mainituissa toimipaikoissa, minkä lisäksi Meilahdessa ja Peijaksessa suoritettiin toistettavuustutkimukset. Biologisena kontrollina toimi perusterve, tupakoimaton nainen, jonka osallistuminen opinnäytetyön toteutukseen perustui vapaaehtoisuuteen. Kliiniset spiroergometriset rasisuskokeet suoritettiin mahdollisimman lyhyen aikajakson sisällä toimipaikkojen omia työ- ja menetelmäohjeita noudattaen. Tulosten vertailtavuuden mahdollistamiseksi opinnäytetyön suorittamiseen käytettiin tilaajan määrittämää rasisusohjelmaa.</p> <p>Tulosten käsittelyssä ja analysoinnissa keskityttiin tilaajan määrittämiin mielenkiintomuuttujiin. Tarkasteltaviksi arvoiksi valittiin jokaisen kuormaportaan viimeisen mittapisteen arvot. Tuloksissa vertailtiin myös muuttujakohtaisesti rasisusjakson suurinta saavutettua arvoa ja sen ajallista esiintymistä toimipaikoittain. Toimipaikkojen välisen vaihtelun havaitsemiseksi tarkasteltiin muuttujakohtaisten arvojen suuntauksia muihin kliinisen fysiologian yksiköihin verraten.</p> <p>Sekä toistettavuustutkimuksissa että toimipaikkojen välisissä vertailuissa havaittiin mitasuureiden arvojen vaihtelua. Tuloksissa havaittiin mitattujen arvojen vaihtelun olevan vähäisintä rasisusjakson keskivaiheilla ja suurinta perustason sekä suurimman saavutetun kuormaportaan mittauksissa. Opinnäytetyö osoitti biologisen kontrollon hyötyarvon laitetoiminnan seurannassa ja sen pohjalta suositellaan biologisen kontrollon jatkamista HUS-Kuvantamisen toimipaikoissa osana laadunvarmistusta.</p>	
Avainsanat	kliininen spiroergometrinen rasisuskoe, spiroergometria, biologinen kontrollointi, kaasujenvaihdunta

Authors	Jutta Ollila, Emma Paasikivi
Title	Biological Quality Control for HUS Medical Imaging and Physiology on Cardiopulmonary Exercise Test
Number of Pages Date	32 pages + 3 appendices 15 April 2014
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Biomedical Laboratory Science
Instructors	Hannele Pihlaja, Senior Lecturer Päivi Piirilä, Consultant Specialist Physician Timo Mustonen, Specialist Physician Helena Honkala, Nurse
<p>The aim of this thesis was to determinate whether there are significant differences in the cardiopulmonary exercise test results between the four different departments of HUS Medical Imaging and Physiology. The commissioning party was Meilahti Hospital's department of Medical Imaging and Physiology in co-operation with the other departments. This study included Meilahti, Peijas, Jorvi and Hyvinkää Hospitals' HUS Physiology departments, which perform spiroergometric exercise testing as a patient study within The Hospital District of Helsinki and Uusimaa. Biological quality control is a part of these departments' quality control programs such as variety of lung function tests; however it has never been applied in the study of cardiopulmonary exercise test results' variability recorded in different departments.</p> <p>This study was outlined to analyse the variability of ventilatory and gas exchange results. To achieve as reliable results as possible, cardiopulmonary exercise tests were performed twice in Meilahti and Peijas Hospitals. Along with Jorvi and Hyvinkää Hospitals' tests, there were total of six separate test recordings. The biological quality control was carried out by a healthy, non-smoking volunteer who was familiar with testing procedures and operating principals of the necessary equipment. Each biological quality control test was performed as a patient study following associated department's official instructions and protocols, yet the primary instructor unit specified the incremental exercise testing protocol to ensure comparable results.</p> <p>The results of this thesis indicated that the variations within baseline and peak exercise values were significantly higher than the variation of values on other workloads during exercise testing. It was discovered that the biological quality control data varied depending upon the department. It should be noted that the analysed results may be affected by the performer's individual physiological variability. Because of the variations in results, it is recommended that HUS Medical Imaging and Physiology departments continue the biological quality controlling of cardiopulmonary exercise test.</p>	
Keywords	cardiopulmonary exercise testing, spiroergometry, biological quality control, gas exchange

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kliininen spiroergometrinen rasituskoe	2
2.1	Laitteistot ja menetelmäperiaatteet	2
2.2	Kalibroinnit ja vakiointi	4
2.3	Mitattavat suureet	5
2.4	Suoritus	6
2.4.1	Vasta-aiheet	6
2.4.2	Tutkittavan ohjeistus ja esivalmistelu	7
2.4.3	Lepovaihe	7
2.4.4	Rasitusvaihe	8
2.4.5	Palautumisvaihe	9
2.5	Virhelähteet	9
3	Biologinen kontrollointi	10
3.1	Tarkoitus	10
3.2	Edellytykset	11
4	Opinnäytetyön tarkoitus	11
5	Opinnäytetyön toteutus	12
5.1	Käytetyt laitteistot	13
5.2	Mittaus suureiden käsittely	13
6	Tulokset	14
6.1	Spirometriset ja fysiologiset tulokset	15
6.2	Kaasujenvaihduntatulokset	16
6.3	Rasituksen aikana saavutetut maksimiarvot	25
7	Pohdinta	26
7.1	Tulosten tarkastelu	26
7.1.1	Spirometriatulokset	27
7.1.2	Maksimitulokset	27
7.1.3	Toistettavuustutkimukset	27
7.2	Tulosten luotettavuus	28
7.3	Tutkimuksen eettisyys	29

8	Kokoavat suositukset	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Borgin asteikot	
	Liite 2. Porrastulostaulukot ja -kuvaajat	
	Liite 3. Maksimitulostaulukot ja -kuvaajat	

## 1 Johdanto

Kliininen spiroergometrinen rasituskoe on integroitu tutkimus, jossa hyödynnetään useita erilaisia mittausperiaatteita ja -menetelmiä. Tutkimuksella pyritään mittaamaan eri elinjärjestelmien kliinis-fysiologisia toimintoja, joista tärkeimpiä ovat verenkiertoon, kaasujenvaihtoon ja fyysiseen suorituskyykyyn kohdistuvat osatutkimukset. (Korhonen – Sovijärvi – Turjanmaa 2012: 16.) Spiroergometrisessä rasituskokeessa hengityskaasu- ja mitataan henkäys henkäykseltä reaaliajassa fyysisen rasitustilan aikana. Tutkimuksen tarkoituksena on suurten lihasryhmien kuormituksen kasvattaminen asteittain, jonka seurauksena hapenkulutus, sydämen ja keuhkojen minuuttitilavuus, syketaajuus ja verenpaine kasvavat. (Spiroergometria 2013.)

Henkäys henkäykseltä -mittausperiaatteella ja tietokoneohjauksella toimivien laitteistokokonaisuuksien kontrollointi on haasteellista, kun kontrollointikohteena on laitteistokokonaisuuden yhteistoimivuus. Biologisen kontrolloinnin keinoin laitteistossa voidaan havaita nopeasti yksittäiset poikkeavat tulokset sekä laitekokonaisuuden toimivuutta kuvaavat mittaustulosten suuntaukset. Biologisen kontrolloinnin avulla voidaan havaita sellaisia laitetoiminnan virheitä, joita ei ole todettu tavanomaisilla laadunvarmistuksellisilla toiminnoilla kuten kalibraatioilla ja vakioinneilla. (Morgan – Revill 2000.) Biologista kontrollointia käytetään yleisesti laadunvarmistuksen osana kliinisen fysiologian yksiköissä esimerkiksi spirometriatutkimuksissa. Biologinen kontrollointi on vähemmän käytössä rasitukseen liittyvissä tutkimuksissa, vaikka sen hyötyarvo on havaittu muissa käyttökohteissa.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään biologisen kontrolloinnin keinoin vastaavatko kliinisen spiroergometrisen rasituskokeen spirometria- ja kaasujenvaihduntatulokset toisiinsa HUS-Kuvantamisen toimipaikasta riippumatta. Opinnäytetyössä suoritettavaa biologista kontrollointia useiden toimipaikkojen välillä ei ole aiemmin tehty HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian yksiköissä.

Spiroergometrisen rasituskokeen biologinen kontrollointi suoritettiin HUS-Kuvantamiselle niissä kliinisen fysiologian yksiköissä, joissa spiroergometrisia rasituskokeita suoritetaan potilastutkimuksina. Biologinen kontrollointi toteutettiin Meilahden, Jorvin, Hyvinkään sekä Peijaksen sairaalan kliinisen fysiologian yksiköissä. Meilahden ja Peijaksen toimipisteissä suoritettiin lisäksi toistettavuustutkimukset.

## 2 Kliininen spiroergometrinen rasituskoee

Kliininen spiroergometrinen rasituskoee on kliinisen rasituskoeken johdannaistutkimus, jossa yhdistetään sydämen ja keuhkojen toimintakokeet (Korhonen 2012: 16). Kliininen rasituskoee on kliinisen fysiologian tutkimusmenetelmä, jota voidaan käyttää fyysisen suorituskyvyn rajoittumisen sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakyvyn tutkimiseen (Sovijärvi 2012a: 174–195). Rasitustilaan liittyvät oireet, kuten rintakipu ja hengenahdistus, ovat yleisimpiä rasituskoeken indikaatioita. Muita kliinisen rasituskoeken aiheita ovat hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakyvyn määrittäminen leikkausriskien, sairauksien vaikeusasteiden sekä työkyvyn arvioinnissa, sepelvaltimotautipotilaan taudin arvioinnissa ja hoidon seurannassa sekä tiettyjen riskiryhmien terveystarkastuksissa. (Kettunen – Sovijärvi 2008: 216–223.) Kliininen rasituskoee toteutetaan työjohtoisena valitulla rasituslaitteistolla niin, että rasitusta kasvatetaan asteittain, kunnes tutkitavan rasituksensiedon yläraja saavutetaan. Rasituskoeken aikana tutkitavan subjektiivisia tuntemuksia sekä mahdollisia oireita mitataan Borgin asteikkoja käyttäen. Rasitus voidaan keskeyttää ennenaikaisesti oireiden tai mittauslöydösten perusteella. (Sovijärvi 2012a: 174–195.)

Kliinisen rasituskoeken sovellutuksista spiroergometria on yhä useammin käytetty kliinisen fysiologian tutkimus, kun halutaan määrittää yksityiskohtaisemmin suorituskykyä sekä sen rajoittumisen häiriöitä ja syitä kaasujenvaihtanalyysin avulla (Sovijärvi 2012a: 174–195). Spiroergometria tutkimuksessa mitataan kaasujenvaihtoa kliinisen ergometrisen rasituskoeken ohella, jolloin saadaan monipuolinen kuva tutkitavan ventilaatioon liittyvistä poikkeamista, aerobisesta kaasujenvaihduntakapasiteetista ja aerobisen metabolian ilmaantumisherkyydestä (Sovijärvi 2012b: 119–128). Spiroergometrisen rasituskoeken tutkimustuloksiin sisältyy lääkärin lausunto, tutkimuslomake ja rekisteröidyt mittaus tulokset, hengityskaasujen mittaus- sekä EKG-tulosteet (Spiroergometria 2013).

### 2.1 Laitteistot ja menetelmäperiaatteet

Spiroergometrialaitteisto koostuu rasitus-, spirometria- ja oheislaitteistoista sekä kaasuanalysaattoreista. Tarvittavat laitteistot vakioidaan, kalibroidaan sekä verifioidaan laitevalmistajan ohjeiden mukaan.

Kliinisessä spiroergometrisessä rasituskokeessa rasituslaitteistona voidaan käyttää polkupyörä-, käsikampi- tai kävelymattoergometria, joista polkupyörälaitteistolla tapahtuva rasituskoe on Suomessa yleisin rasitustutkimusmalli (Sovijärvi 2012a: 178). Polkupyöräergometrin käyttö on suositeltavaa sen hyvän standardoitavuuden vuoksi muihin rasituslaitteistoihin verrattuna. Polkupyöräergometria käytettäessä kuormitus on riippumaton tutkittavan painosta. (Antila ym. 1994.) Muita rasituslaitteistoja käytetään lähinnä erikoistapauksissa esimerkiksi, kun tutkittava on estynyt polkemasta pyörää. Kävelymattoergometrit ovat yleisessä käytössä anglosaksisissa maissa, mutta niiden standardointi on haastavaa rasituksen jakautuessa erilailla eri lihaksiin tutkittavan painosta ja kävelytyylistä riippuen. (Sovijärvi 2012a: 177–179.)

Spiroergometriatutkimuksessa mitataan tutkittavan hengityskaasujenvaihtoa reaaliajassa henkäys henkäykseltä nenä-suunaamarin (maskin) kautta. Maskista ilmavirta johdetaan pneumotakografille virtausmäärittämiseen, jonka jälkeen kaasunäytettä johdetaan kaasuanalysointoreille määritettäväksi. Uloshengitysilman analysointiin käytetään tavallisimmin paramagneettista O<sub>2</sub>-analysointia. CO<sub>2</sub>-pitoisuutta mitataan infrapunaabsorptioon perustuvalla analysointilaitteella. (Sovijärvi 2012b: 120.)

Tutkimuksen aikana sydämen lyöntitaajuutta monitoroidaan jatkuvasti elektrokardiografian mittauseräkkeen mukaan. Potilaan iholle asetetaan Mason-Likarin modifikaatiokytkentöjen mukaan 12-kytkentäiset elektrodit, jotka mittaavat reaaliajassa EKG:tä lepo-, rasitus- ja palautumisvaiheissa. (Sovijärvi 2012a: 181–183.)

Happisaturaation mittaus tapahtuu pulssioksimetrianturilla. Mittaus perustuu punaisen valon sekä infrapunavalon absorptioon kapillaariverenkierrössä veren hemoglobiinin happipitoisuudesta riippuen. Pulssioksimetri kiinnitetään tutkittavan sormeen ja/tai korvalehteen. (Sovijärvi 2012a: 181, 184.)

Verenpaineen mittaukseen käytetään yleensä aneroidi- tai elohopeaverenpainemittaria, sillä oskillometriseen mittauseräkkeeseen perustuvat verenpainemittarit eivät tuota luotettavia mittaustuloksia rasitustilanteessa (Honkala – Piirilä 2013). Verenpainemittarit perustuvat kynnärvaltimon sisäisen paineen epäsuoraan mittaamiseen. Olkavarteen kiinnitettävällä mansetilla valtimon paine nostetaan niin korkeaksi, että Korotkovin ääniä ei enää eroteta auskultatorisen mittauseräkkeen mukaan. (Jula – Niiranen 2009.)



## 2.2 Kalibroinnit ja vakiointi

Kalibraatiolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla tietyissä olosuhteissa saadaan määritettyä mittauslaitteen tai -järjestelmän arvojen ja vastaavien mittasuureiden välinen yhteys tai suhde (Jaarinen – Niiranen 2005: 18). Laitteistokalibrointien tarkoituksena on parantaa mittaustulosten luotettavuutta (Kliininen rasituskoee, spiroergometria 2012).

Jotkin laitteistot vaativat korjauskertoimien ja muun laskennallisen analysoinnin suorittamiseen erityistietoja esimerkiksi ilmanpaineesta, jolloin tarvittavat lisätiedot on ilmoitettava analysaattorille ennen kalibraation ja potilastutkimuksien suorittamista (Kliininen rasituskoee, spiroergometria 2012). Kalibroinnin onnistumisen kannalta laitteiston on oltava toimintavalmiudessa, joka yleisimmin kirjallisuudessa on käsitelty riittävänä analysaattoreiden lämpenemisenä ennen kalibrointimittausten suorittamista.

Spiroergometrisessä rasituskoeksessa käytettävät kaasuanalysaattorit kalibroidaan syöttämällä niille kahta tai useampaa tunnetun pitoisuuden kaasuseosta, sisältäen tutkittavia analyytteja O<sub>2</sub> ja CO<sub>2</sub>. Tunnetun pitoisuuden kaasuseoksella suoritettuna kalibrointimittauksen tuloksen tulee vastata kaasuseoksen ilmoitettua pitoisuusaluetta, jotta kaasuanalysaattorin voidaan todeta mittaavan kaasupitoisuuksia luotettavasti ja riittäväällä tarkkuudella. (Hansen - Sietsema - Stringer - Sue - Wasserman - Whipp 2012: 138.)

Vakioinnilla pyritään tutkimuksen edustavuuden parantamiseen vakioimalla suoritustavat ja -olosuhteet mahdollisimman samanlaisiksi tutkimuksen suorituskerrasta tai suorittajasta riippumatta. (Korhonen ym. 2012: 15.) Vakioinnilla pyritään minimoimaan ulkoisten muuttujien vääristävä vaikutus tutkimustuloksiin.

Spirometrialaitteiston vakiointi suoritetaan vähintään kerran päivässä, virtausanturin vaihdon yhteydessä tai ympäristöolosuhteiden (lämpötila, ilmankosteus ja ilmapaineen) muuttuessa. Ympäristöolosuhteiden vakiointi suoritetaan joko huoneilman ympäristöolosuhteiden kontrolloinnilla tai niiden reaaliaikaisella seurannalla. Seurantatulokset syötetään kaasuanalysaattorille, joka suorittaa tarpeelliset laskennalliset korjaukset. (Kliininen rasituskoee, spiroergometria 2012.)

Tilavuusvakiointi spirometrialaitteistolle suoritetaan useimmiten tilavuuksien pumppuvakioinnilla, joka on olennainen osa tutkimustulosten luotettavuuden maksimointia.

Pumppuvakioinnissa suoritetaan nopeita ja hitaita ulos- ja sisäänhengityksiä jäljitteleviä virtauksia, joiden tulisi vastata niille laadittuja tavoitearvoja. (Hansen ym. 2012: 138.)

### 2.3 Mitattavat suureet

Spiroergometrisessa rasituskokeessa tarkastellaan kliiniselle rasituskokeelle ominaisia muuttujia sekä spirometrisia ja kaasujen vaihduntaa kuvaavia suureita. Kliinisessä rasituskokeessa mitattavia suureita ovat verenpaine (RR), sydänkäyrä (EKG) sekä happisaturaatio (SpO<sub>2</sub>). Lisäksi diagnoosin kannalta tärkeä mittaussuure on potilaan subjektiiviset tuntemukset kuorman rasittavuudesta sekä oireiden ilmaantuvuudesta rasituksen aikana, joiden havainnointi tapahtuu Borgin asteikkoja hyödyntäen. Potilas osoittaa asteikkoa lääkärin pyynnöstä, jolloin subjektiivinen rasittavuuden aste (6-20) tai oireen voimakkuusaste (0-10) voidaan kirjata rasituskoetta ja kaasujenvaihtomittauksista keskeyttämättä. (Sovijärvi 2012a: 183.) Kaksi käytössä olevaa Borgin asteikkoa rasituksen kuormittavuudesta ja subjektiivisista oiretuntemuksista on esitelty liitteessä 1 Borgin asteikot.

Lisäksi spiroergometrisessa rasituskokeessa voidaan rekisteröidä erilaisia spirometrisia muuttujia. FEV<sub>1</sub>-seurannan avulla voidaan todeta esimerkiksi rasitusastmareaktioita kun lepovaiheen spirometria ja aiemmin suoritettut keuhkojen toimintatutkimukset puoltavat normaalia toiminnallisuutta (Piirilä – Sovijärvi 2003: 239–240). Virtaus-tilavuussilmukoiden rekisteröinnillä voidaan havaita mahdollista poikkeavaa hengityksen virtauksen rajoittumista rasituksen aikana. Virtaus-tilavuussilmukat mitataan eri rasisportilla ja niitä verrataan ennen rasitusta mitattuun, maksimaaliseen virtaus-tilavuuskäyrään. (Sovijärvi 2012b: 119, 125.)

Edellä esiteltyjen muuttujien lisäksi spiroergometrisessa rasituskokeessa seurataan hengityskaasujen vaihdunnan tutkimiseen käytettäviä suureita. Kaasujenvaihdunta-muuttujien lyhenteet, selitykset sekä niiden yksiköt on esitelty taulukossa 1. Osa suureista on laskennallisia ja osa saadaan suorana mittaustuloksena käytössä olevasta kaasuanalysaattorista.

Taulukko 1. Kaasujenvaihduntamuuttujat (Sovijärvi 2003: 245).

Lyhenne	Selitys ja yksikkö
VE	Minuuttiventilaatio (l / min)
VT	Hengityksen syvyys (l)
BF	Hengitystaajuus
VO <sub>2</sub>	Hapen kulutus (l / min)
EQO <sub>2</sub>	Hapen hengitysekvivalentti
VCO <sub>2</sub>	Hiilidioksidin tuotto (l / min)
EQCO <sub>2</sub>	Hiilidioksidin hengitysekvivalentti
RQ, RER	Hengitysosamäärä
AT	Aerobinen kynnys (l / min VO <sub>2</sub> )
FetCO <sub>2</sub>	Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidin prosenttiosuus (%)
VD / VT	Kuolleen tilan ventilaatio-osuus
VO <sub>2</sub> / HR	Happipulssi (ml)
BR	Ventilatorinen hengitysreservi (%)
W / VO <sub>2</sub>	Ulkoisen työn metabolinen hyötysuhde (%)

## 2.4 Suoritus

Kliinisen spiroergometrisen rasituskokeen mittaustapahtumat voidaan jakaa lepo- vaiheeseen, rasituksen aikaisiin sekä palautumisvaiheessa tapahtuviin rekisteröinteihin. Lisäksi spiroergometrisessä tutkimuksessa seurataan jatkuvasti kaasujenvaihtoa, happisaturaatiota sekä EKG-tulostetta. Spiroergometrisen rasituskokeen suorittamiseen kuuluu myös mahdollisten vasta-aiheiden tarkastelu, potilaan ohjeistaminen ja esivalmistelu tutkimusta varten.

### 2.4.1 Vasta-aiheet

Spiroergometrinen rasituskoe vaatii potilaalta hyvää yhteistyökykyä ja fyysistä valmiutta tutkimuksesta suoriutumiseksi, mistä johtuen tutkimusta ei suositella suoritettavaksi alle 6-vuotiaille lapsille (Sovijärvi 2012a: 175–176). Päätöksen spiroergometrisen rasituskokeen suorittamisesta tekee aina lääkäri esitietojen ja alkuhaastattelun perusteella potilaskohtaisesti ennen rasituskokeen aloittamista (Antila ym. 1994).

Vasta-aiheita spiroergometrisen rasituskokeen suorittamiselle ovat akuutit infektiosairaudet sekä muut sydänperäiset sairaudet, esimerkiksi akuutti sydäninfarkti tai vaarallinen rytmihäiriö. Keuhkoperäisiä vasta-aiheita tutkimuksen suorittamiselle ovat esimerkiksi akuutit hengitystieinfektiot sekä keuhkoemboliat. Vasta-aiheeksi voidaan luokitella myös esimerkiksi korkea verenpaine, vaikea astma, keuhkojen vajaatoiminta tai muut akuutit sairaudet. (Sovijärvi 2012a: 175–176.)

#### 2.4.2 Tutkittavan ohjeistus ja esivalmistelu

Ohjeistukset tutkimukseen osallistuvalla ovat kliinisen rasituskokeen ja spirometriatutkimuksen johdannaisohjeita. Ennen spiroergometrista rasituskoetta tutkittavan tulee välttää raskasta ateriaa kaksi tuntia sekä nautintoaineita seuraavasti: tupakkaa neljä tuntia, kahvia ja muita piristäviä aineita kaksi tuntia sekä alkoholia 1,5 vuorokautta. (Sovijärvi 2012a: 176–186.) Esivalmisteluihin kuuluu potilasohjeistuksen noudattamisen varmistaminen ennen tutkimuksen suorittamista.

Tutkimuksen suorittamisen kannalta on tärkeää, että lähetetiedoissa mainitaan kliiniset diagnoosit, kysymyksenasettelu spiroergometrisen rasituskokeen kannalta, tärkeimmät kliiniset oireet ja tutkimukseen mahdollisesti vaikuttavien lääkitysten tiedot, joista vaadittuina lisätietoina ovat määrätyt lääketauot. Esivalmisteluihin kuuluu tutkittavan painon ja pituuden mittaaminen, jotka vaikuttavat olennaisesti tutkimustulosten tulkintaan. Lisäksi lääkäri suorittaa muun muassa hengitys- ja sydänäänien kuuntelemisen ja arvioi haastattelun jälkeen vielä mahdolliset vasta-aiheet tutkimuksen suorittamiselle. Ennen tutkimuksen aloittamista lääkäri tai hoitaja kertoo tutkittavalle tutkimuksen suorittamisen kulun ja esittelee rasitusvaiheessa käytettävät Borgin asteikot. (Sovijärvi 2012a: 176–186.)

#### 2.4.3 Lepovaihe

Lepovaiheen tarkoituksena on minimoida tutkimuspaikalle kulkemisesta, jännityksestä ja muusta liikunnasta aiheutuneet mahdolliset preanalyttiset vaihtelut. Lepovaihe kestää kymmenen minuuttia makuuasennossa, jonka aikana asennetaan seuraavat mittalaitteet ja -anturit: 12-kytkeintäinen EKG, verenpainemansetti sekä pulssioksimetri. (Sovijärvi 2012a: 180.)

10 minuutin levon jälkeen ennen rasitusvaiheen alkamista rekisteröidään sydänkäyrä ja mitataan syketaajuus, verenpaine, hengitysfrekvenssi, happisaturaatio sekä tarvittavat spirometriset tutkimukset sisältäen FEV<sub>1</sub>- tai PEF-arvot (Sovijärvi 2012a: 180).

Ennen rasitusvaihetta tutkittavalle valitaan sopiva maski kaasujen vaihdon seuraamiseksi sekä tarkistetaan maskin tiiviys vuotokohtien minimoimiseksi. Maskin kuollut tila tulee kirjata koneelle. Rasituspyörän satula säädetään sopivalle korkeudelle niin, että tutkittavan polvi oikenee lähes suoraksi polkimen ollessa alhaisimmassa asennossa. (Kliininen rasituskoe, spiroergometria 2012.) Lisäksi EKG-kytkennät muokataan Mason-Likarin modifikaation mukaisiksi, jotka mahdollistavat vapaamman liikkumisen rasitustilanteessa sekä parempilaatuisen EKG-rekisteröinnin perinteisiin raajakytkentöihin verrattuna (Antila ym. 1994).

#### 2.4.4 Rasitusvaihe

Tutkittavan rasitusohjelma valitaan niin, että tavoiteltu rasitustaso saavutettaisiin 10 - 12 minuuttia rasituksen alkamisesta (Spiroergometria 2013). Aloituskormen määrä riippuu tutkittavan iästä, sukupuolesta, koosta, oireista, kysymyksenasettelusta sekä anamnestisesta suorituskyvystä. Päätöksen aloituskormasta tekee aina tutkimuksen suorittava lääkäri, ja yleisin käytetty aloituskorma on 25 - 50 wattia edellä mainitut muuttujat huomioon ottaen. (Sovijärvi 2012a: 178.)

Rasitusvaiheen tavoitteena on nostaa tutkittavan kuormitustaso noin 90 % maksimi-kuormitustasosta. Kaasujenvaihduntamuuttujan RQ avulla voidaan arvioida tutkittavan metabolista rasituksen tasoa, jonka arvon ylittäessä 1,00 voidaan rasitustasoa pitää riittävänä. Rasituksen astetta voidaan myös määrittää tavoitesykkeen avulla. (Sovijärvi 2012a: 187; Sovijärvi 2012b: 125.) Tavoitesyke on 85 % tutkittavan huippusyketaajuudesta, joka lasketaan kaavalla  $205 - 0.5 \times \text{tutkittavan ikä}$  (Huippu- ja tavoitesyke rasituskokeessa 2011). Polkupyöräergometria käytettäessä tutkittava ohjeistetaan pitämään kierrosnopeus, esimerkiksi 60 kierrosta minuutissa, samana kuormaportaista riippumatta työtehon vakioimiseksi ja siten tulosten luotettavuuden takaamiseksi. (Sovijärvi 2012a: 178.)

Jokaisella kuormaportaalla rekisteröidään SpO<sub>2</sub>, EKG sekä RR ja tarkastellaan tutkittavan subjektiivisia tuntemuksia rasituksen kuormittavuudesta ja mahdollisista oireista

käyttäen Borgin asteikkoja (Sovijärvi 2012a: 180). Jatkuvana mittauksena klinisen spi-roergometrisen rasiuskokeen aikana seurataan kaasujenvaihduntamuuttujia, jotka esiteltiin luvussa 2.3 Mitattavat suureet.

Rasitusvaihe jatkuu niin kauan, että lopettamiselle on syynä joko tutkittavan subjektiivinen tuntemus tai tarkkailijan objektiivinen havainto (Antila ym. 1994). Subjektiivisia lopettamisaiheita ovat esimerkiksi tutkittavan tuntemukset vaikeasta väsymyksestä (kuormittuneisuuden Borgin asteikolla 17 - 19 kun maksimikuormittuneisuus on 20), voimakkaasta rintakivusta (oireiden Borgin asteikolla 5 kun oireiden maksimivoimakkuus on 10) tai muista voimakkaista oireista. Objektiivisia lopettamisaiheita ovat esimerkiksi tekniset epäluotettavuudet erityisesti EKG-tulosteessa tai verenpaineen mittauksissa, ihon värin muutokset (kalpeneminen tai syanoosi) ja tietyt muutokset EKG-tulosteessa. Lopettamispäätöksen tekee aina lääkäri. (Sovijärvi 2012a: 182 - 186.)

#### 2.4.5 Palautumisvaihe

Rasituksen päätyttyä tutkittava riisuu maskin tarpeellisen kaasujenvaihduntaseurannan päätyttyä (Kliininen rasiuskoe, spi-roergometria 2012). Tämän jälkeen puhallutetaan spirometriatutkimuksena vielä FEV<sub>1</sub>- tai PEF-arvot, valvotaan syketaajuuden ja verenpaineen normalisoitumista sekä tarvittaessa lopettamisindikaatioiden häviämistä, esimerkiksi EKG-muutosten normalisoitumista tai tutkittavan voinnin kohentumista (Sovijärvi 2012a: 186). Tarvittaessa FEV<sub>1</sub>-seuranta jatketaan palautumisvaiheessa (Honkala – Piirilä 2013). Tutkittavan valvonnan tulee kestää kuitenkin vähintään viisi minuuttia rasiitusvaiheen jälkeen potilasturvallisuuden takaamiseksi (Sovijärvi 2012a: 186).

Palautumisvaiheen aikana tutkittavaa haastatellaan tarkentavilla kysymyksillä. Tutkittavan haastatteluun kuuluu subjektiivisen oireiston kuvaaminen ja keskittyminen erityisesti tutkimuksen lopettamiseen johtaneeseen oiretuntemukseen. Tarvittaessa lääkäri tarkastaa tutkittavan voinnin vielä kuuntelemalla keuhkoja tai palpomalla rintakehää. (Sovijärvi 2012a: 186.)

#### 2.5 Virhelähteet

Spiroergometrisessä rasiuskokeessa yleisimpiä virhelähteitä ovat spirometrin ja kaasu-analysointilaitteiden (O<sub>2</sub> ja CO<sub>2</sub>) puutteelliset kalibroinnit, maskin tai muun letkuston

vuodot, epäsopiva kuormitusohjelma sekä kosteusabsorberin toiminnan virheet (Sovi-järvi 2012b: 128).

Virhelähteitä ovat myös häiriöinen EKG- tai epävarma SpO<sub>2</sub>-signaali sekä riittämätön rasisusaste (Spiroergometria 2013). Virhelähteiksi luetaan myös tutkittavan puutteellinen valmistautuminen tutkimukseen, jonka kriteerit on määritelty luvussa 2.4.2 Tutkittavan ohjeistus ja esivalmistelu.

### **3 Biologinen kontrollointi**

Biologinen kontrollointi on halpa ja yksikertainen tapa testata laitteiston toimivuutta. Biologisessa kontrolloinnissa sama yksilö toistaa tutkimusta tietyin määrävälein tuottaen keskenään vertailukelpoisia arvoja. (Hansen ym. 2012: 139.) Metropolia Ammattikorkeakoulussa on vuonna 2010 tuotettu opinnäytetyö, jossa vertailtiin biologisen ja teknisen kontrolloinnin korrelaatiota spirometriatutkimuksessa. Opinnäytetyössä todettiin biologisen kontrolloinnin tuottavan keskenään vertailukelpoisempaa ja toistettavampaa tuloskehystä kuin tekninen, pumpulla tapahtuva kontrollointi. (Leppälampi – Mertanen 2010.)

#### **3.1 Tarkoitus**

Säännöllinen biologinen kontrollointi muodostaa kokonaiskuvaa laitteiston toimivuudesta ja sillä voidaan havaita normaalissa kalibroinnissa huomaamatta jääneitä virhelähteitä. Biologinen kontrollointi mahdollistaa yksittäisten huomattavasti poikkeavien arvojen sekä poikkeavien arvosuuntausten havainnoinnin, joita on lähes mahdotonta havainnoida mekaanisilla kalibroitimenetelmillä. (Morgan – Revill 2000.)

Biologinen kontrollointi on tehokas keino spiroergometrisessä rasisuskokeessa erityisesti kaasujenvaihdon mittausviiveiden, spirometristen virtausvirheiden ja itse ergometrin toimivuuden tarkastelussa (Hansen ym. 2012: 139). Biologinen kontrollointi toimii kokonaiskuvaa laitteistosta muodostavana kontrollointikeinona, joka tuottaa arvokasta tietoa laitteiston yhteistoiminnallisuudesta sekä osoittaa mahdolliset puutteet laitteistoissa osa-alueittain (Morgan – Revill 2000).

### 3.2 Edellytykset

Biologisena kontrollina toimijan tulisi olla perehtynyt mittausperiaatteisiin sekä laitteiston toimintaan. Riittävällä tietoperustalla pystytään minimoimaan yksilökohtaisista vaihteluista johtuvat kontrollitulosten poikkeamat, kun laitteiden käyttö ja tutkimusperiaatteet ovat biologiselle kontrollille ennestään tuttuja. (Morgan – Revill. 2000.)

Lisäksi biologisena kontrollina toimijan tulee olla vapaaehtoinen sekä perusterve. Biologiselle kontrolloijalle tulisi laskea mitattavien arvojen luontainen vaihteluväli, joka on jokaiselle kontrollina toimivalle yksilöllinen. Arvoja käsitellään lisäksi laskennallisesti, jolloin voidaan havainnoida esimerkiksi tulosten keskiarvoa ja mediaania. (Booker ym. 2009: 134.)

## 4 Opinnäytetyön tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää spiroergometrisen rasisuskokeen kaasujenvaihduntatulosten vaihtelua HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian toimipisteiden välillä biologisen kontrolloinnin keinoin. Tulosten luotettavuuden parantamiseksi suoritetaan toistettavuustutkimukset Meilahden ja Peijaksen yksiköissä. Opinnäytetyössä vertaillaan spiroergometrisestä rasisuskokeesta saatuja arvoja toisiinsa tilastollisilla ja taulukkolaskennallisilla menetelmillä sekä huomioidaan tuloksissa ilmeneviä eroja ja pohditaan poikkeamien syitä. Tutkimuskysymyksenä opinnäytetyössä on vastaavatko spiroergometrisen tutkimuksen kaasujenvaihduntatulokset toisiaan HUS-Kuvantamisen alueella toimipaikasta riippumatta.

Kliinisen spiroergometriatutkimuksen biologista kontrollointia opinnäytetyöaiheeksi ehdottivat erikoislääkärit Päivi Piirilä ja Timo Mustonen sekä sairaanhoitaja Helena Honkala Meilahden kliinisen fysiologian yksiköstä. Opinnäytetyö laajennettiin koskemaan kaikkia HUS-Kuvantamisen fysiologian toimipisteitä, joissa spiroergometrista rasisuskoetta suoritetaan potilastutkimuksena. Toimipaikossa on aiemmin biologisesti kontrolloitu laitteiden toimivuutta yksikkökohtaisesti, joskaan toimipaikkojen välistä biologista kontrollointia ei ole aiemmin toteutettu. Näin ollen tarvetta biologisen kontrollin kautta suoritetuille vertausmittauksille on tarvetta. (Honkala – Mustonen – Piirilä 2013.)



Tilaajalähtöisenä rajauksena saaduista tuloksista kiinnitetään huomiota erityisesti spirometriseen muuttujaan FEV<sub>1</sub>, fysiologiseen muuttujaan HR sekä kaasujenvaihdunta-muuttujiin VE, BF, VO<sub>2</sub>, EQO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, EQCO<sub>2</sub>, RQ, FetCO<sub>2</sub> ja BR. Tarkasteltavat muuttajat on esitelty tarkemmin opinnäytetyön luvussa 2.3 Mitattavat suureet.

## 5 Opinnäytetyön toteutus

Biologisena kontrollina toimi vapaaehtoinen ja perusterve nainen, jolla ei ole tupakointihistoriaa. Kontrollina toimija perehtyi laitteiden käyttöön ja tutkimusperiaatteisiin sekä noudatti HUS-Kuvantamisen klinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen potilasohjeita johdonmukaisesti kaikilla tutkimuskerroilla.

Biologinen kontrollointi suoritettiin Meilahden, Peijaksen, Jorvin sekä Hyvinkään klinisen fysiologian yksiköissä. Tulosten luotettavuuden lisäämiseksi Meilahden ja Peijaksen yksiköissä suoritettiin rinnakkaispolkemiset, jotka on nimetty suorittamisjärjestyksessä Meilahti 1, Meilahti 2 sekä Peijas 1 ja Peijas 2. Biologinen kontrollointi eri toimipaikoissa suoritettiin mahdollisimman lyhyen aikavälin sisällä kahden viikon aikana, huomioiden tutkimuskertojen välillä kontrollin riittävään palautumiseen vaadittu aika.

Biologinen kontrollointi kliinisessä spiroergometrisessä rasituskokeessa suoritettiin kuten normaalit potilastutkimukset noudattamalla HUS-Kuvantamisen työ- ja menetelmäohjeita. Rasitusohjelmana käytettiin johdonmukaisesti tilaajan määrittämää 40 watin aloituskuormaa, johon lisättiin kolmen minuutin välein aloituskuorman suuruinen vastus. Tulosten vertailtavuuden mahdollistamiseksi spirometrisistä arvoista valittiin suoritettavaksi FEV<sub>1</sub>-arvot. FEV<sub>1</sub>-seuranta on toteutettu suorittamalla spirometriapuhallukset lepovaiheessa, ennen rasitusvaiheen alkua (pre-arvo) sekä rasitusvaiheen päätyttyä neljän ja kymmenen minuutin kohdalla palautumisvaihetta (4 min ja 10 min arvot). Lisäksi Meilahden klinisen fysiologian yksikössä käytäntöön kuuluu spirometriatutkimuksen suorittaminen välittömästi rasitusvaiheen päätyttyä (post-arvo). Muutoin HUS-Kuvantamisen klinisen fysiologian yksiköt suorittivat spiroergometrisen tutkimuksen toimipaikkakohtaisten ohjeistuksien ja käytänteiden mukaan.

## 5.1 Käytetyt laitteistot

HUS-Kuvantamisella on käytössään erilaisia laitetyppejä klinisen spiroergometrisen rasituskokeen suorittamiseen. Tässä opinnäytetyössä rasituslaitteistona käytetään polkupyöräergometriä, joka yleisimmin käytettynä rasituslaitteistona antaa tilaajataholle eniten hyötyarvoa opinnäytetyön tuloksista. Meilahden klinisen fysiologian yksikössä käytetään polkupyöräergometrialaitteistona GE:n Ergolinea, Jorvissa käytössä on GE:n eBike ja Hyvinkäällä sekä Peijaksessa Loden pyöräergometri.

Kaasujenvaihdunta- ja spirometrialaitteistoina Peijaksessa, Hyvinkäällä ja Jorvissa käytetään Jaeger Oxygon Pro -laitteistoa, kun Meilahdessa vastaavaa laitteistoa edustaa Vmax Encore. Oheislaitteistot vaihtelevat toimipaikoittain verenpainemittareiden, puls-sioksimetriä ja kertakäyttöisen välineistön (esimerkiksi EKG-elektrodit) osalta.

## 5.2 Mittaussuureiden käsittely

Mittaussuureiden käsittely on suoritettu taulukointi- ja tilastointiohjelmistoilla kokoamalla toimipaikkojen tulokset suurekohtaisiin taulukoihin. Spiroergometrisen rasituskokeen tulosteet kuitenkin eroavat toisistaan HUS-Kuvantamisen klinisen fysiologian yksiköissä sekä ohjelmisto- että käyttäjäkohtaisista syistä. Osaa mittausarvoista ei saatu rekisteröityä ja Hyvinkään yksikön kaasujenvaihduntalaitteisto käsittelee joitakin kaasujenvaihdunta-arvoja vain kuvaajamuodoissa. Tulostaulukoihin (liitteet 2 ja 3) on erikseen merkitty toimipaikoista puuttuvat yksittäiset mittausarvot sekä kuvaajatulkinnat, joiden merkitys opinnäytetyön tulosten tulkinnassa käsitellään myöhemmissä luvuissa.

Porrastulostaulukoissa (liite 2) mittausarvot on valittu taulukointiin kuormaportaiden perusteella. Henkäys henkäykseltä tapahtuva kaasujenvaihduntamuuttujien rekisteröinti on jatkuvaa tutkimuksen aikana, mistä johtuen arvojoukon johdonmukainen valinta tulosten käsittelyn kannalta on ollut tarpeellinen. Tässä opinnäytetyössä käsiteltäviksi tuloksiksi on valittu perustason (baseline) sekä 40, 80, 120 ja 160 watin kuormaportaiden viimeiseksi rekisteröidyt arvot. Perustasolla tarkoitetaan lepovaihetta ennen kuormaportaita ja rasitusvaiheen aloittamista. Uloshengityksen sekuntikapasiteettia kuvaavaan tulostaulukokoon on valittu seurantavaiheittain rinnakkaisista virtaustilavuusrekisteröinneistä paras FEV<sub>1</sub>-tulos.

Suurekohtaisissa maksimitulostaulukoissa (liite 3) tarkasteltaviksi arvoiksi on valittu rasituksen aikaisista mittausarvoista suurimmat. Lisäksi maksimitulostaulukoissa on esitetty maksimiarvon saavutusajankohta sekä kuormaporras, jolla arvo on esiintynyt. Jotkin toimipaikat käynnistivät rasitusvaiheen mittaukset ennen pyörälle nousua ja toiset vasta polkemisen alettua ensimmäisellä kuormaportaalla, jolloin rasitusvaiheen alkamisajankohta on vaihdellut toimipaikoittain. Näin ollen maksimisuureiden käsittelyssä on jouduttu käyttämään aikakorjausta maksimiarvojen aikaesiintyvyyden vertailun mahdollistamiseksi. Aikakorjaus on toteutettu niin, että rasituksen alku (lähtöaika 0:00:00) on määritetty alkamaan ensimmäisen kuormaportaan (40 wattia) ensimmäisestä rekisteröinnistä.

Porrastulostaulukoista on tuotettu muuttujakohtaisten arvojen välistä hajontaa kuvaavat Box Plot -kuvaajat. Box Plot -kuvaajissa ilmenee pienin ja suurin havaittu arvo, muuttujan mediaani sekä 25 % havaituista arvoista mediaanin molemmin puolin (yhteensä 50 % kaikista havaituista arvoista).

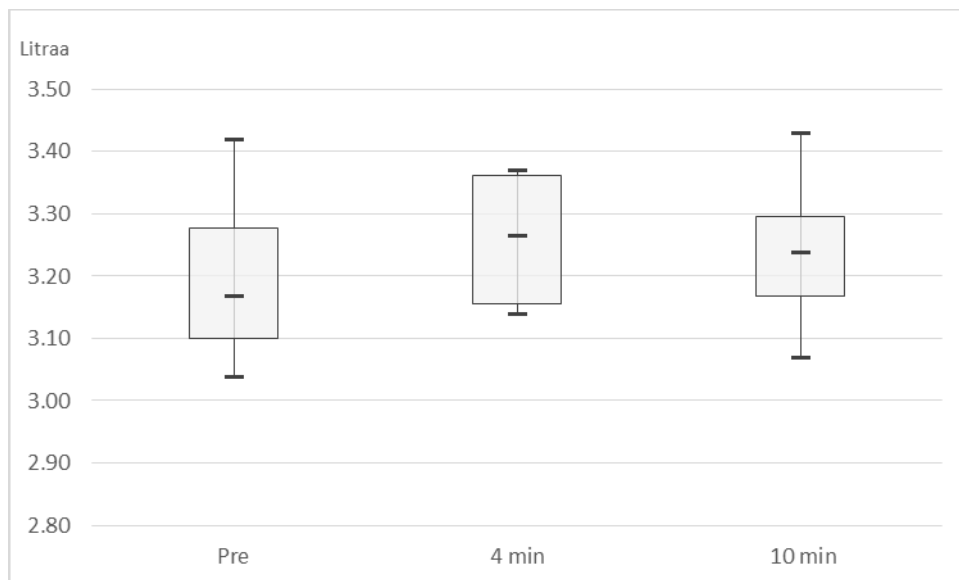
## 6 Tulokset

Suurimmat vaihteluvälit havaittiin baselinen ja 160 watin kuormaportaiden kohdalla lähes kaikissa mittaussuureissa. Rasituksen aikana 40, 80 ja 120 watin kuormaportailla mittausarvoissa havaittiin keskimäärin vähiten toimipaikkojen välisiä poikkeavuuksia. Meilahden sairaalan kliinisen fysiologian yksikön toistettavuustutkimuksien tulokset vastasivat hyvin toisiaan. Sen sijaan Peijaksen sairaalan kliinisen fysiologian yksikön vastaavissa toistettavuustutkimuksissa havaittiin mittausuurekohtaisesti enemmän eroavaisuuksia. Porrastulostaulukot ja niiden havainnollistavat kuvaajat on esitelty liitteessä 2.

Joidenkin tarkasteltavien kaasujenvaihduntamuuttujien tulosten osalta havaittiin maksimiarvojen jäämistä sitä matalammiksi, mitä enemmän spiroergometrisia rasituskokeita biologinen kontrolli oli suorittanut. Maksimiarvojen saavutusajankohtien tarkastelussa ei havaittu suurta vaihtelua toimipaikkojen välillä muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Maksimitulostaulukot ja niistä tuotetut havainnollistavat kuvaajat on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 3.

## 6.1 Spirometriset ja fysiologiset tulokset

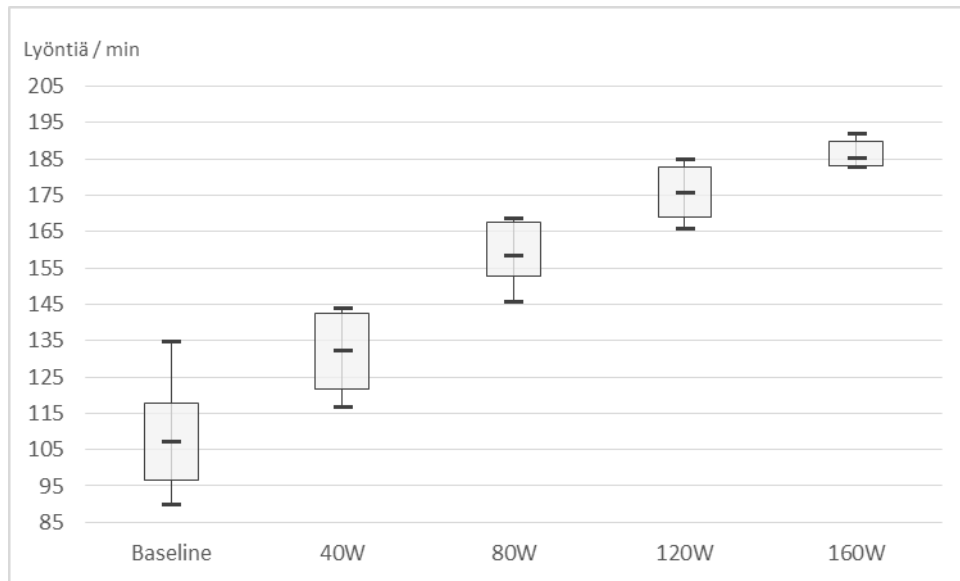
Uloshengityksen sekuntikapasiteetissa havaittiin toimipaikoittain suurin vaihtelu pre-vaiheen ja 10 minuutin palautumisvaiheen puhalluksissa. Mediaaniarvot sijoittuvat arvojoukossa minimi- ja maksimiarvojen keskivaiheille. Kuviossa 1 havainnollistetaan uloshengityksen sekuntikapasiteetin arvojen välistä vaihtelua.



Kuvio 1. Uloshengityksen sekuntikapasiteetin vaihtelu FEV<sub>1</sub>-seurantavaiheissa.

Uloshengityksen sekuntikapasiteetin suurimmat vaihtelut muihin toimipaikkoihin nähden havaittiin Jorvin sairaalan kliinisen fysiologian yksikössä pre-vaiheen ja 10 minuutin palautumisvaiheen puhalluksissa.

Sydämen lyöntitaajuuden vaihtelua esittävässä kuviossa 2 havaitaan vaihteluvälien pienenemistä kuormaportaiden kasvaessa. Suurin vaihteluväli havaitaan baselinen kohdalla ja pienin 160 watin kuormaportaalla. Mediaanit painottuvat 120 watin kuormaportaalle asti arvojoukon keskivaiheille, mutta 160 watin kuormaportaalla mediaani on painottunut arvojen alaneljänneksen suuntaan.

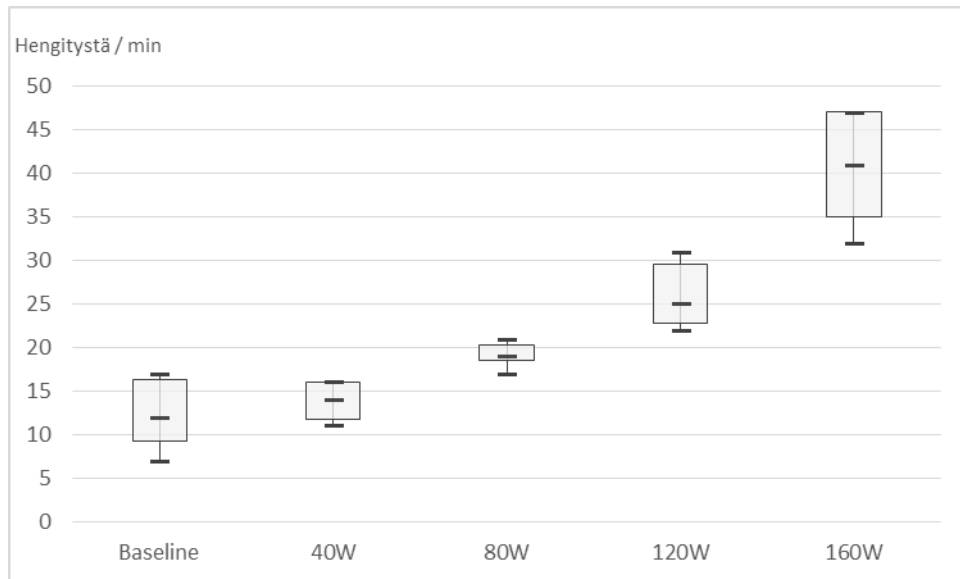


Kuvio 2. Sydämen lyöntitaajuuden vaihtelu kuormaportaittain.

Sydämen lyöntitaajuuden vaihtelua kuvioon 2 baselinen kuormaportaalla aiheuttaa Meilahti 1 maksimiarvo, joka eroaa Peijas 2 tutkimustuloksen minimiarvosta 45 yksikköä ja mediaanista 27 yksikköä. Sydämen lyöntitaajuuden minimiarvo baselinen kuormaportaalla eroaa mediaanista 18 yksikköä.

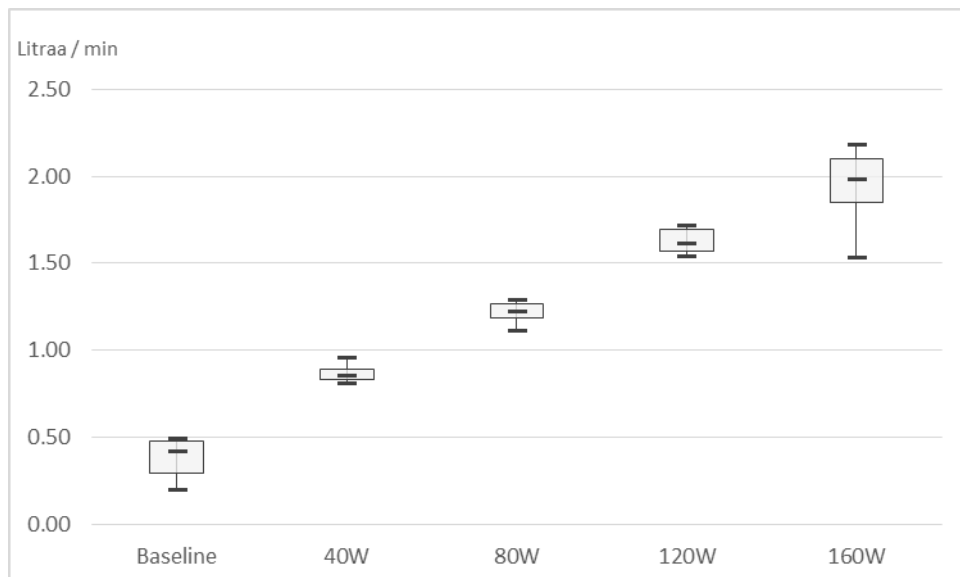
## 6.2 Kaasujenvaihduntatulokset

Hengitystaajuuden arvot vaihtelivat suurimmin perustasolla sekä rasituksen loppuvaiheessa, mikä voidaan havaita myös porrastulostaulukoiden kuvaajassa baselinetasolla ja 160 watin kuormaportaalla. 40 watin kuormaportaalla 120 watin kuormaportaalle toimipaikkojen väliset vaihtelut ovat vähäisiä, mikä havaitaan myös arvojen pieninä vaihteluväleinä kuviossa 3. Kuviossa nähdään myös hengitystaajuuden vaihtelun kohdistuvan enemmän minimiarvojen suuntaan, mistä johtuen myös mediaanit suuntautuvat baselinen, 80 ja 120 watin kuormaportailla arvojen alaneljänneksen suuntaan.



Kuvio 3. Hengitystaajuuden vaihtelu kuormaportaittain.

Hapen kulutuksen vaihtelua kuormaportaittain on havainnollistettu kuviossa 4, jossa 40 watin kuormaportaalta 120 watin kuormaportaalle arvojen keskinäinen vaihtelu on vähäistä. Suurin arvojen hajonta ja matalampien arvojen esiintyvyys voidaan kohdistaa baseliiniin ja erityisesti 160 watin kuormaportaille.

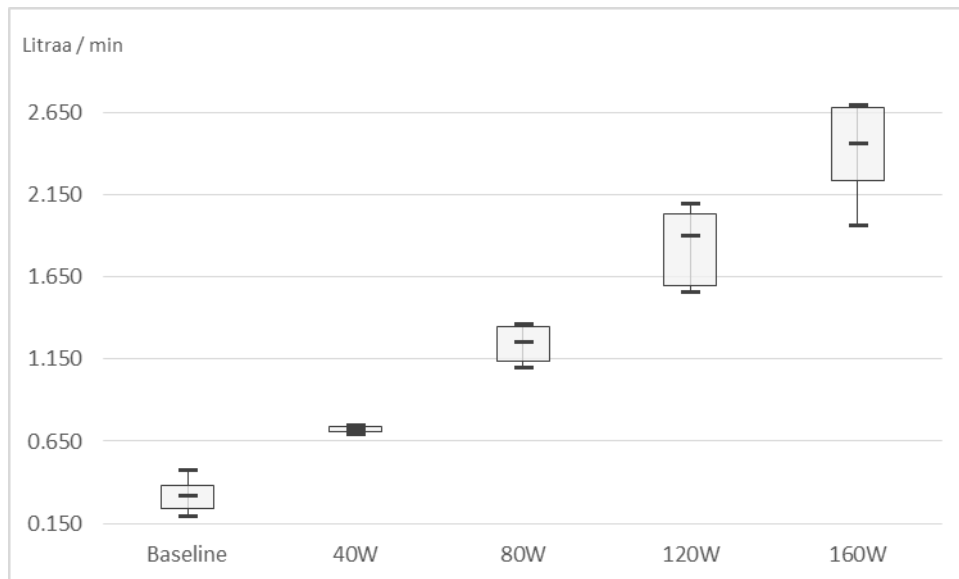


Kuvio 4. Hapen kulutuksen vaihtelu kuormaportaittain.

Jorvin sairaalan kliinisen fysiologian yksikön hapen kulutuksen arvo 160 watin kuormaportaalla on selkeästi matalampi kuin muiden toimipaikkojen vastaavat arvot. Tämä voi

selittää kuvion 4 viimeisen kuormaportaan suurta vaihteluväliä. Perustason arvovaihteluiden taustalla on vastaavasti Peijas 2 tutkimuskerran matala baseline arvo.

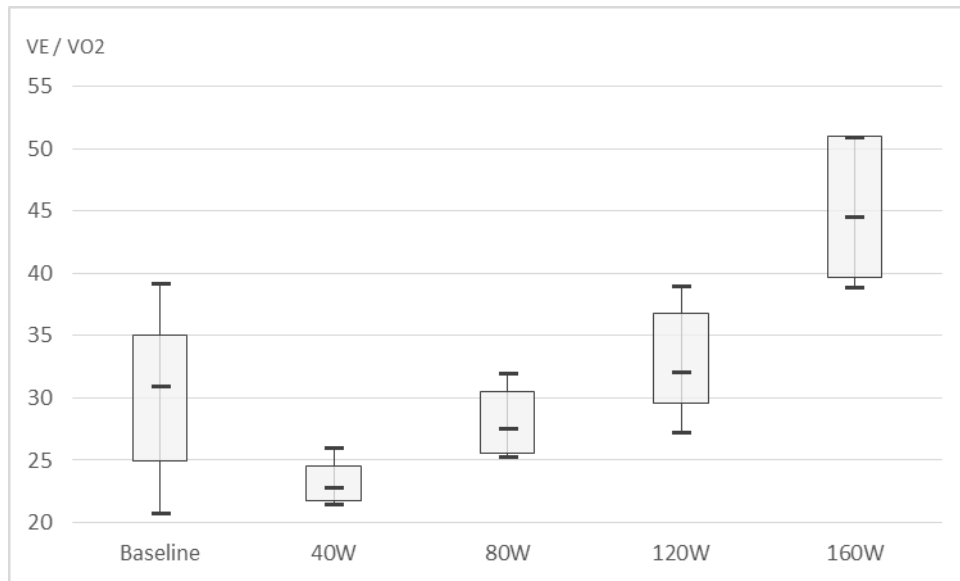
Hiilidioksidin tuoton vaihtelua havainnollistavasta kuviosta 5 huomataan hyvin vähäinen arvojen hajonta 40 watin kuormaportaan arvoissa. 40 watin kuormaportaan jälkeen arvojen välinen vaihtelu kasvaa kuormaportaiden noustessa. 160 watin kuormaportaalta rekisteröidyistä arvoista 50 % sijoittuu lähelle maksimiarvoa.



Kuvio 5. Hiilidioksidin tuoton vaihtelu kuormaportaittain.

Peijaksen sairaalan yksikössä rinnakkaispolkemisien arvot ovat yhtenevät, lukuun ottamatta baselinen hiilidioksidin tuoton minimi- ja maksimiarvoja, joiden keskinäinen vaihtelu on suuri. Nämä arvot muokkaavat kuvion 5 baselinen kuormaportaan vaihteluväliä, kun muiden toimipaikkojen vastaavien arvojen keskinäinen vaihtelu on pientä. 160 watin kuormaportaan kohdalla Jorvin kliinisen fysiologian yksikössä rekisteröity hiilidioksidin tuoton minimiarvo aiheuttaa kuvioon 5 samantyyppisen muutoksen kuin hapen kulutusta havainnollistavaan kuvioon 4. Tämä minimiarvo aiheuttaa 160 watin kuormaportalla vaihteluvälin suurenemista myös kuviossa 5.

Hapen hengitysekvivalentin arvojen vaihtelu on suurinta baselinen kohdalla. Lisäksi hapen hengitysekvivalentin arvojen vaihtelua esittävässä kuviossa 6 havaitaan tasaista vaihteluvälien kasvua 40 watin kuormaportaalta lähtien. 40 watin, 80 watin ja 120 watin kuormaportilla mediaani sijoittuu lisäksi lähemmäs arvojen alaneljännestä.

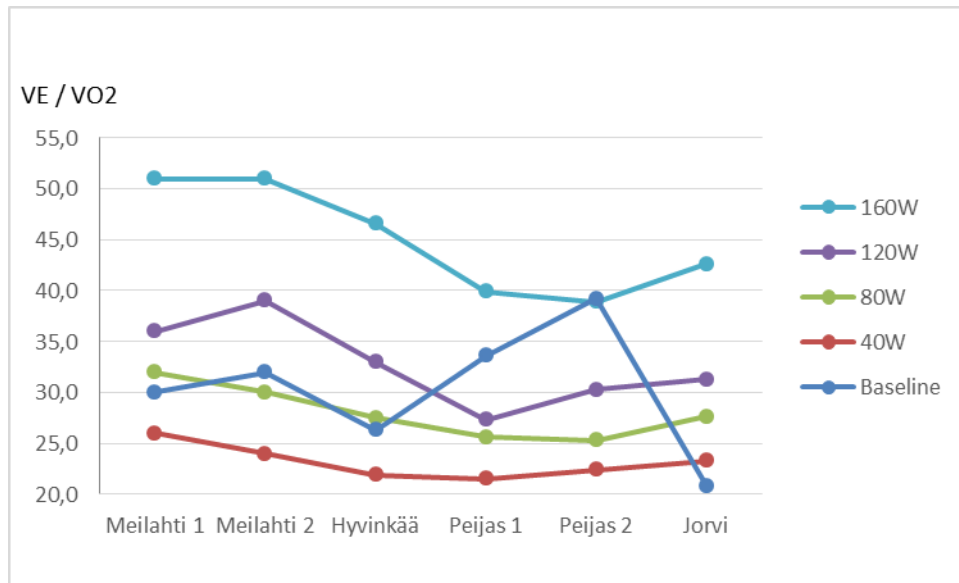


Kuvio 6. Hapen hengitysekvivalentin vaihtelu kuormaportaittain.

Baseline-tason mediaaniin verraten Jorvin yksikössä rekisteröidyn hapen hengitysekvivalentin minimiarvo on lähes kymmenen yksikköä matalampi, joka osaltaan vaikuttaa kuvion 6 suureen baselinen arvojen vaihteluväliin. Lisäksi baselinen maksimiarvo (Peijas 2) on lähes yhtä suurta vaihtelua tuottava, kun sen ero mediaaniin on kahdeksan yksikköä.

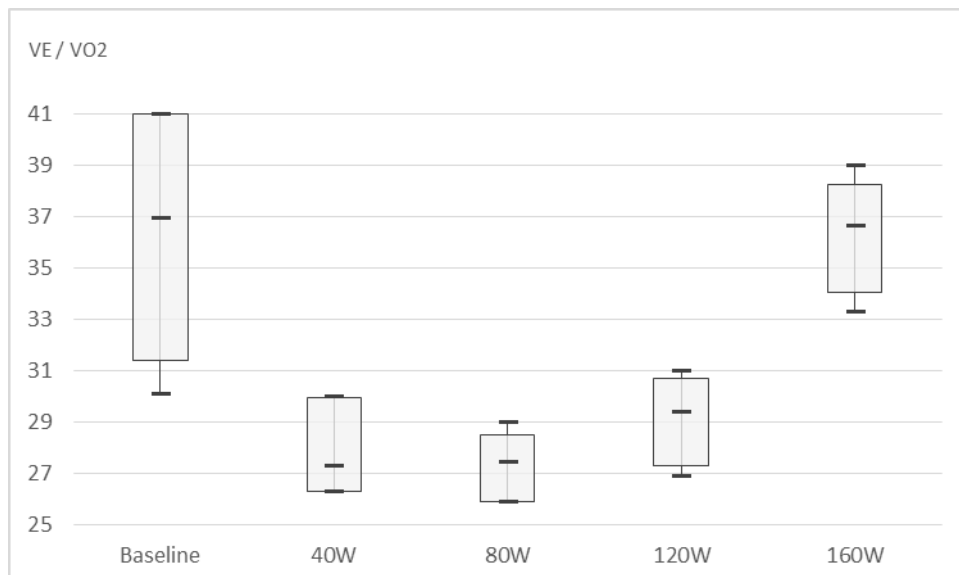
Peijas 1 hapen hengitysekvivalentin kasvu baselinen ja 160 watin kuormaportaiden välillä on vain 6,3 yksikköä, kun Meilahden ja Hyvinkään yksiköissä vastaava ero on keskimäärin 20 yksikköä. Lisäksi Peijas 2 osalta baseline-arvo on suurempi kuin 160 watin kuormaportaan arvo, mikä poikkeaa kaikkien muiden toimipaikkojen hapen hengitysekvivalentin arvojen suuntauksesta. Hapen hengitysekvivalentin baseline-arvojen suuntausta havainnollistetaan toimipaikkakohtaisella kuvaajalla kuviossa 7.





Kuvio 7. Hapen hengitysekvivalentin vaihtelu toimipaikoittain eri kuormaportilla.

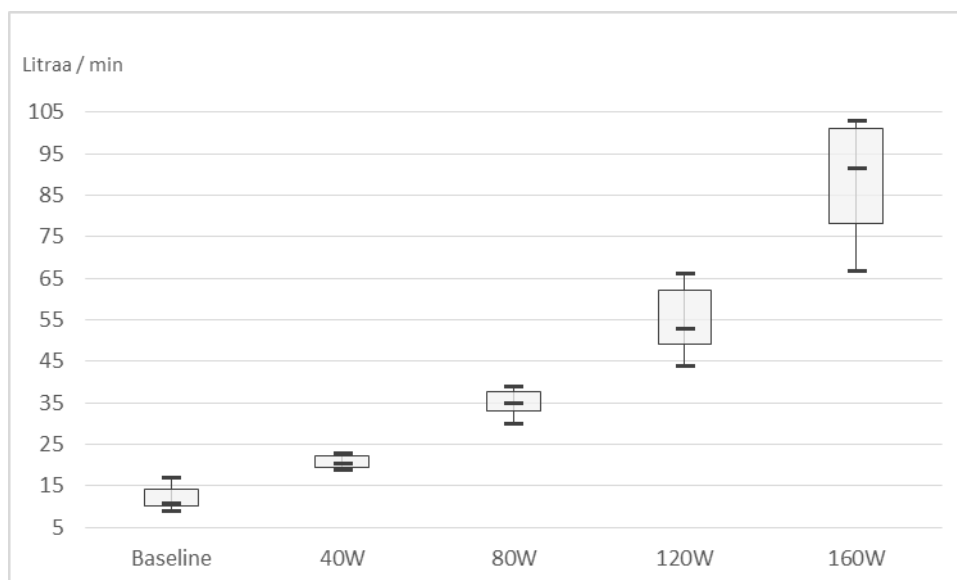
Hiilidioksidin hengitysekvivalentin vaihtelua on esitetty kuviossa 8. Arvojen keskinäistä vaihtelua huomataan eniten baseline-tason mittauksissa, joissa 50 % arvoista havaitaan lähes kymmenen yksikön vaihteluväli. 40 watin kuormaportaan mediaani sijoittuu lähelle arvojen alaneljännestä, kun muilla kuormaportilla mediaanit sijoittuvat arvovaihteluiden keskivaiheille. Baselinen arvojen vaihteluväliä lukuun ottamatta kuormaportaiden vaihteluvälit ovat tasaisia.



Kuvio 8. Hiilidioksidin hengitysekvivalentin vaihtelu kuormaportaittain.

Vaihteluväliä hiilidioksidin hengitysekvivalentin baselinen arvojen suhteen kuviossa 8 selittää vaihtelun jakautuminen tasaisesti kahteen osaan toimipaikkojen kesken. Meilahden toistettavuustutkimukset sekä Peijas 2 tutkimuskerta nostavat arvojoukkoa asteikolla ylöspäin, kun Hyvinkään, Jorvin ja Peijas 1 tutkimuskerrat laskevat niitä vastaavasti alaspäin. Vaihteluväliä nostavien ja laskevien yksiköiden sisällä vaihtelu on erityisen vähäistä: Meilahti 1 ja 2 sekä Peijas 2 tutkimuskertojen arvot eroavat toisistaan vain 0,4 yksikköä ja vastaavasti Hyvinkään, Jorvin ja Peijas 1 arvot eroavat 3,2 yksikköä (suurimman ja pienimmän arvon ero).

Minuuttiventilaation arvojen vaihtelu baselinen, 40 watin ja 80 watin kuormaportaiden kohdalla on ollut vähäistä. Kuviossa 9 havaitaan kuitenkin kyseisten kuormaportaiden sekä 120 watin kuormaportaan arvojen mediaanien sijoittumista lähelle arvojoukon alaneljänneestä.

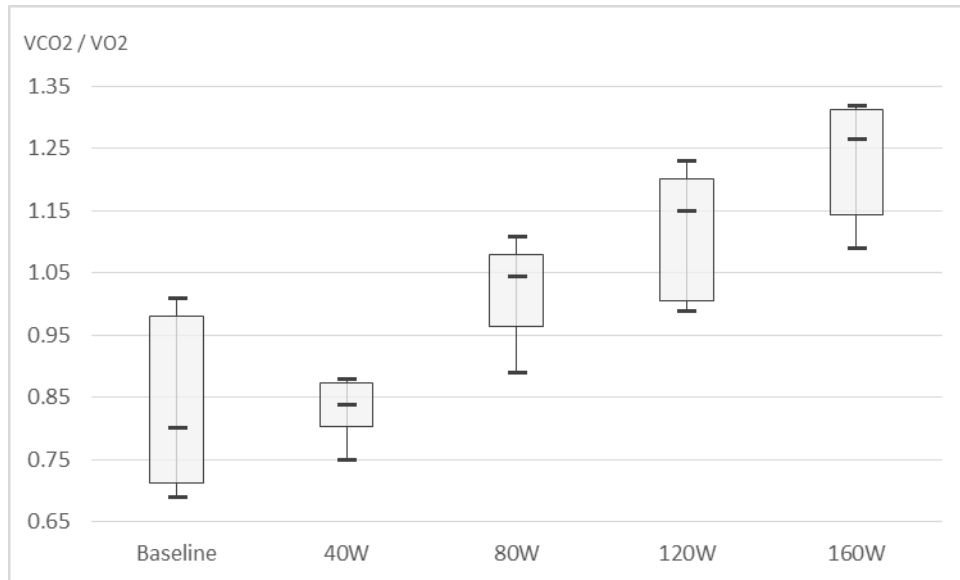


Kuvio 9. Minuuttiventilaation vaihtelu kuormaportaittain.

Jorvin sairaalan yksikön minuuttiventilaation minimiarvo poikkeaa mediaanista 45 yksikköä, selittäen osittain kuviossa 9 nähtävän 160 watin kuormaportaan kasvaneen vaihteluvälin. Minimi- ja maksimiarvoa lukuun ottamatta toimipaikoissa rekisteröidyt minuuttiventilaation arvot sijoittuvat 50 % arvojoukkoon, jonka sisäinen vaihtelu on kuitenkin suurin kuviossa 9 kuormaportaittain esitetyistä vastaavista vaihteluista.

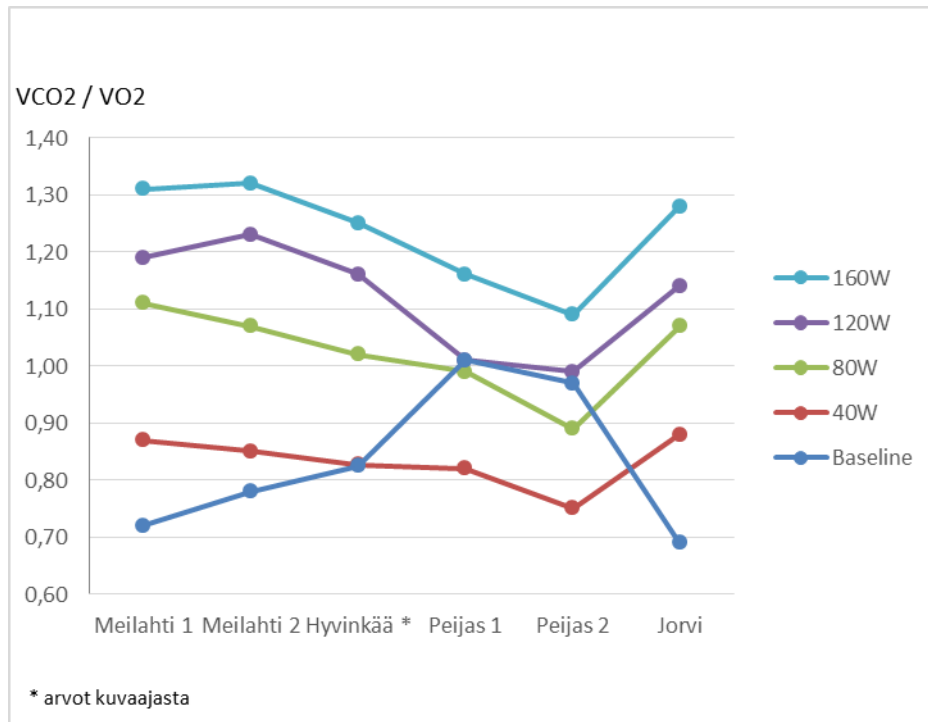
Hengitysosamäärän vaihtelua on havainnollistettu kuviossa 10, josta huomataan baselinen arvoissa kuvion suurin vaihteluväli. Lisäksi baselinen mediaani on sijoittunut

alaneljänneksen suuntaan, kun 80 watin kuormaportaalta lähtien mediaanin sijoittautumisen suuntaus on lähemmäs arvojen yläneljännestä. Hengitysosamäärän vaihteluväleihin kuormaportaittain kuviossa 10 vaikuttaa olennaisesti Peijaksen toistettavuustutkimusten arvojen suuntauksen eroavuus muiden toimipaikkojen suuntauksista.



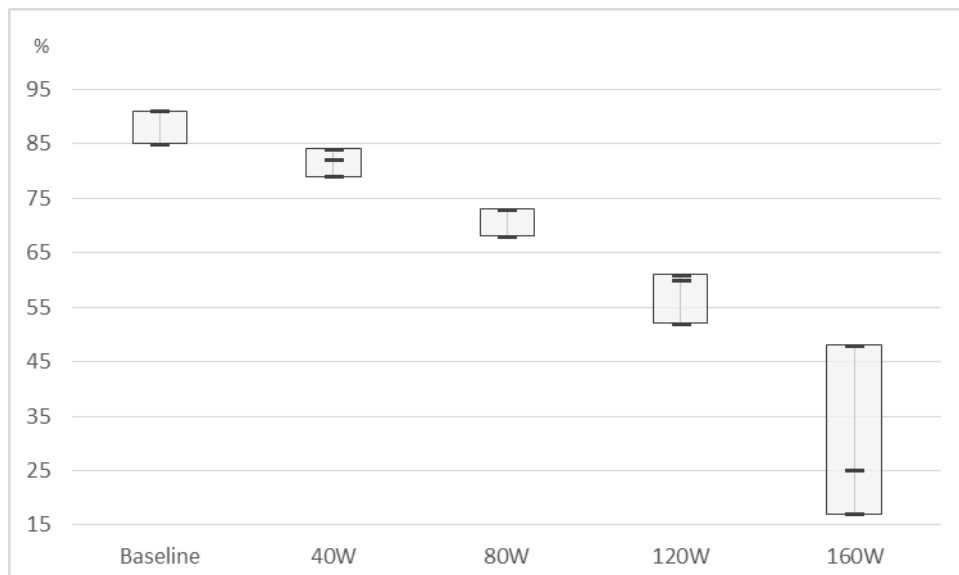
Kuvio 10. Hengitysosamäärän vaihtelu kuormaportaittain.

Peijaksen kliinisen fysiologian yksikön hengitysosamäärän baselinen arvot ovat huomattavasti muita toimipaikkoja korkeammat. Kuviossa 11 havainnollistetaan Peijaksen toistettavuustutkimuksien poikkeamat suuntauksissa muihin toimipaikkoihin nähden. Lisäksi 40 watin kuormaportaalta lähtien arvot jäävät systemaattisesti muita toimipaikkoja matalammiksi myöhemmillä kuormaportaitailla.



Kuvio 11. Hengitysosamäärän vaihtelu toimipaikoittain eri kuormaportilla.

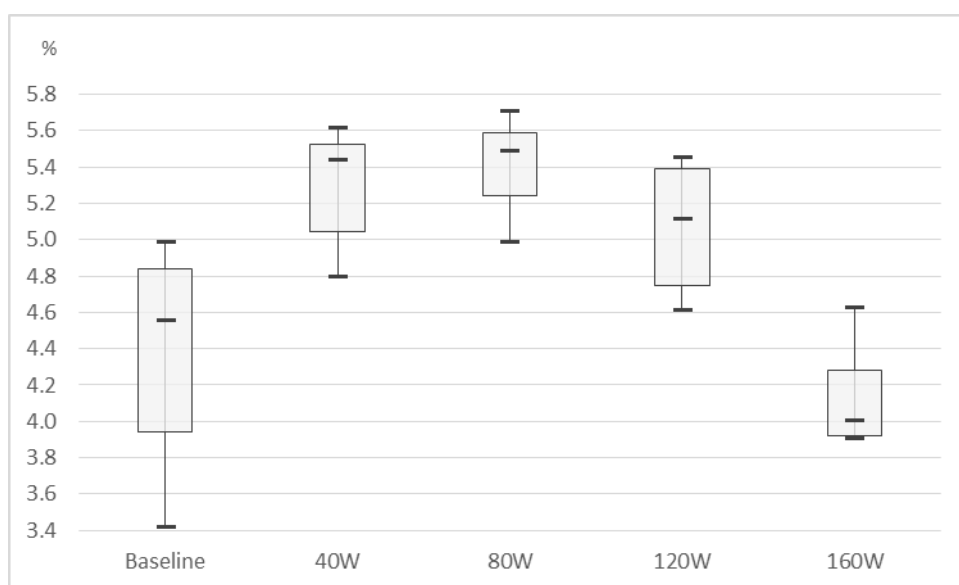
Ventilatorista hengityseserviä havainnollistavassa kuviossa 12 esitetään vain Peijaksen toistettavuustutkimuksien sekä Jorvin tutkimuskerran tulokset. Kuvioista 12 havaitaan arvojoukkojen pienet vaihtelut 120 watin kuormaportalle asti.



Kuvio 12. Ventilatorisen hengityseservin vaihtelu kuormaportaittain Peijaksen ja Jorvin toimipaikoissa.

Kuviosta 12 havaitaan, että mediaanit näillä kuormaportilla sijoittuvat johdonmukaisesti arvojen yläneljänneksen suuntaan. Ventilatorisen hengitysreservin 160 watin suurta vaihteluväliä aiheuttaa Jorvin maksimiarvon ja Peijas 2 minimiarvon 31 yksikön ero, kun muilla kuormaportilla minimi- ja maksimiarvojen ero on ollut alle 10 yksikköä.

Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidipitoisuuksien arvoissa suurin hajonta havaitaan baseline-tason mittauksissa. Kuviossa 13 havainnollistettujen arvojen hajonta on tasaista 40 watin kuormaportaalta alkaen. Mediaanit sijoittuvat 120 watin kuormaportalle asti arvojoukon yläneljänneksen suuntaan, mutta 160 watin kuormaportalla mediaani on lähellä mittaustulosten minimiarvoa.



Kuvio 13. Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu kuormaportaittain.

Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidipitoisuuden arvojen vaihtelua 120 watin kuormaportalle asti aiheuttaa Peijas 2 mittaustulosten minimiarvot, jotka poikkeavat lähes yhden yksikön verran maksimiarvoista. Baselineen suuressa vaihteluvälissä kuviossa 13 Peijas 2 tutkimuskerran minimiarvo poikkeaa jopa 1,57 yksikköä maksimiarvoon nähden. Kuviossa 13 havaitun 160 watin arvojen painottuminen lähelle minimiarvoja osoittaa maksimiarvon olevan muusta arvojoukosta poikkeava. Tämä maksimiarvo on tuotettu Jorvin kliinisen fysiologian yksikössä ja se eroaa minimiarvosta 0,72 yksikköä sekä mediaanista 0,62 yksikköä.

### 6.3 Rasituksen aikana saavutetut maksimiarvot

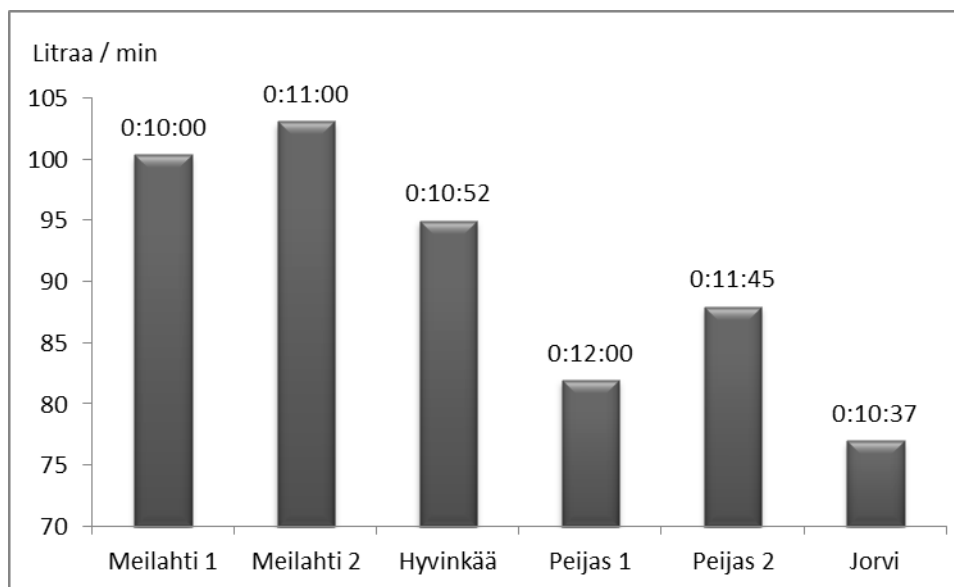
Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta rasituksen aikana saavutetut maksimiarvot ovat jääneet Peijaksen toistettavuustutkimuksissa sekä Jorvin sairaalan kliinisen fysiologian yksiköissä Meilahden toistettavuustutkimuksia sekä Hyvinkään sairaalan yksikön tuloksia matalammiksi. Lisäksi Peijaksen kliinisen fysiologian yksikössä toistettavuustutkimuksien rasituksen aikaiset maksimiarvot on saavutettu keskimäärin muita toimipaikkoja myöhemmin ja rasitus on kestänyt ajallisesti pidempään.

Taulukossa 2 havainnollistetaan rasituksen aikaisen uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvojen saavutusajankohtien ja maksimiarvovaihteluiden suuntausta. Taulukosta on havaittavissa Peijaksen sairaalan kliinisen fysiologian yksikön (erityisesti Peijas 1) rasituksen aikaisten maksimiarvojen muita toimipaikkoja myöhäisempi saavutusajankohta. Lisäksi huomataan rasitusten aikaisten maksimiarvojen esiintyminen eri kuormaportailta, kun muissa maksimitulostaulukoissa maksimiarvot esiintyvät johdonmukaisesti samoilla kuormaportailta toimipaikasta riippumatta.

Taulukko 2. Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidipitoisuuden (%) maksimiarvot ja saavutusajat toimipaikoittain.

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	6,03	0:04:00	81
Meilahti 2	6,27	0:04:00	81
Hyvinkää	5,86	0:04:10	80
Peijas 1	6,02	0:07:00	120
Peijas 2	5,33	0:04:15	80
Jorvi	6,34	0:04:00	80

Kuviossa 14 esitetään kuvaajamuodossa minuuttiventilaation maksimiarvot sekä niiden saavutusajankohdat toimipaikoittain. Kuvioista havaitaan edelleen Peijaksen kliinisen fysiologian yksikön rasitusten aikaisten maksimiarvojen myöhäisemmät saavutusajat sekä arvojen jääminen matalammiksi Peijaksen sekä Jorvin sairaalan kliinisen fysiologian yksiköissä.



Kuvio 14. Minuuttiventilaation maksimiarvot ja saavutusajat toimipaikoittain.

## 7 Pohdinta

Tutkimuskysymyksenä opinnäytetyössä esitettiin vastaavatko spiroergometrisen tutkimuksen kaasujenvaihduntatulokset toisiaan HUS-Kuvantamisen alueella toimipaikasta riippumatta. Opinnäytetyön tulokset osoittavat, että rasituksen keskivaiheilla suoritetuissa kaasujenvaihduntamittauksissa ei toimipaikkojen välillä havaittu merkittäviä eroja. Sen sijaan rasituksen alun ja loppuosan kaasujenvaihduntamittauksissa todettiin eroja, joiden tutkimiseksi opinnäytetyössä esitetään erilaisia jatko- ja lisätutkimusehdotuksia.

### 7.1 Tulosten tarkastelu

Tuloksissa havaitut baselinen ja 160 watin kuormaportaan suuret vaihteluvälit voivat selittyä erilaisten käytänteiden sekä biologisen kontrollin sisäisellä vaihtelevuudella. Esimerkiksi Hyvinkään sairaalan klinisen fysiologian yksikössä baselinen mittausta edelsi tutkittavalle suoritettu lyhyt ortostaattinen koe toimipaikan normaalikäytänteitä mukaillen. Tuloksiin voi merkittävästikin vaikuttaa tutkimuspaikan ilmapiiri sekä biologisen kontrollin jännitystilän vaihtelu ennen tutkimuksen suorittamista.

### 7.1.1 Spirometriatulokset

Spirometrisen muuttujan FEV<sub>1</sub>-arvojen havaittiin vaihtelevan erityisesti Jorvin klinisen fysiologian yksikössä, jossa spirometriatutkimukset puhallutettiin ilman muissa toimipaikoissa ohjeistuksen mukaan käytettyä bakteerisuodatinta. Lisäksi spirometria- ja kaasujenvaihduntalaitteistot olivat lainalaitteistoa, sillä yksikön oma laitteisto oli opinnäytetyön suorittamishetkellä huollossa. Laitteisto oli kuitenkin läpäissyt vakioinnit ja kalibraatiot ennen tutkimuskertaa.

Laitemuutoksesta johtuen tutkimusta suorittaneen hoitajan oli haasteellista seurata biologisen kontrollin sisään- ja uloshengityksiä, mikä vaikeutti spirometriapuhallusten ajoitusten ohjeistusta. Biologinen kontrolli tunsu joutuneensa pidättämään henkeä ennen maksimaalisen ulospuhalluksen suorittamista, joskin FEV<sub>1</sub>-seuranta-arvot olivat toimintamallien poikkeamista huolimatta muita toimipaikkoja korkeampia. Lisätutkimuksena suositellaan tutkittavaksi onko bakteerisuodattimien käytöllä tai sen poisjättämisellä vaikutusta spiroergometrisen rasituskokeen yhteydessä suoritettaviin spirometriatutkimusten tuloksiin.

### 7.1.2 Maksimitulokset

Biologinen kontrolli suoritti spiroergometriset rasituskokeet kahden viikon aikana, kuitenkin mahdollisimman lyhyellä aikavälillä. Maksimitulosten jäädessä matalammiksi tutkimuskertojen edetessä, voidaan tuloksiin vaikuttavana tekijänä esittää oletamus biologisen kontrollin fysiologisista muutoksista.

Opinnäytetyön jatkotutkimuksena ehdotetaan spiroergometrisen rasituskokeen biologista kontrollointia niin, että kaikkia toimipaikkoja biologisesti kontrolloivalle on laskettu yksilökohtaiset mitattavien arvojen vaihteluvälit ja biologinen kontrollointi tapahtuu säännöllisin väliajoin kaikissa siihen osallistuvissa klinisen fysiologian yksiköissä kontrollonin luotettavuuden lisäämiseksi.

### 7.1.3 Toistettavuustutkimukset

Toistettavuustutkimuksissa Meilahden klinisen fysiologian yksikön tulokset olivat mittausuureista riippumatta keskimäärin keskenään hyvin korreloivia, sen sijaan Peijaksen



kliinisen fysiologian yksiköissä toistettavuustutkimuksissa havaittiin eroavaisuuksia. Peijaksen toistettavuustutkimuksien yhteydessä huomattiin Peijas 1 ja Peijas 2 tutkimuskertojen välillä selviä tulostasojen muutoksia. Nämä muutokset toistettavuustutkimuksien välillä voivat johtua erikokoisen maskin käytöstä. Tutkimuksen suorittaneet hoitajat varmistivat maskin sopivuuden ja tiiviyn molemmilla tutkimuskerroilla sekä syöttivät maskin kuolleen tilavuuden kaasuanalysaattorille tulosten laskemista varten.

Jatkotutkimuksena suositellaan spiroergometrisessä rasituskokeessa käytettyjen maskien kuolleen tilan tilavuuden tarkistamista sekä tutkimusta siitä, vaikuttaako erikokoisten maskien kuollut tilavuus kaasujenvaihduntatuloksiin. Lisätutkimuskohteena voidaan myös pitää maskien käyttöä vaikutusta kuolleeseen tilavuuteen ja tiivyyteen.

## 7.2 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyön tulosten luotettavuuden arviointiin vaikuttaa olennaisesti toisen suunnitellun biologisen kontrollin sairastuminen toteutusvaiheen aikana. Sairastumisesta johtuen opinnäytetyön tulokset jäivät odotettua suppeammiksi. Biologiselle kontrollille ei myöskään laskettu mitattavien arvojen henkilökohtaista vaihteluväliä työn kertaluontoisuudesta johtuen, jolloin biologisen kontrollin yksilökohtaisten virhelähteiden vaikutusta tuloksiin ei pystytty todentamaan. Jatko- ja lisätutkimusten tulosten luotettavuuden lisäämiseksi suositellaan edellä mainittujen epäkohtien minimoimista useammalla henkilökontrollilla sekä henkilökohtaisten vaihteluvälien laskennalla.

Spiroergometrisen rasituskokeen tulosten luotettavuuden parantamiseksi tämä opinnäytetyö suoritettiin käyttämällä johdonmukaisesti polkupyöräergometreja. Polkupyöräergometrien toiminta oli varmennettu asianmukaisesti laitevalmistajan toimesta normaalikäytänteiden mukaan. Rasitusvaihe kesti huomattavasti pidempään Peijaksen sairaalan kliinisen fysiologian yksikössä muihin toimipaikkoihin verrattuna, vaikka Peijaksen yksikössä suoritettut tutkimuskerrat eivät olleet rasituskerroista viimeisiä. Näin ollen fysiologisen vaihtelun ja rasitukseen fyysisesti sopeutumisen näkökulmia ei voida pitää rasitusvaiheen pidentynyttä kestoja selittävinä tekijöinä. Biologinen kontrolli myös koki subjektiivisesti polkemisen olleen helpompaa. Esitetyistä syistä johtuen opinnäytetyön jatkotutkimuksena suositellaan Peijaksen kliinisen fysiologian yksikön polkupyöräergometrin toimivuuden tarkastamista.

Muista toimipaikoista poiketen Hyvinkään yksikössä rasituksenaikaisia Borgin asteikkojen tiedustelua toteutettiin osoittamisen sijaan ilmoittamalla sanallisesti rasituksen aste. Tämä hengitystahdin poikkeama voi osaltaan vaikuttaa kaasujenvaihduntatuloksiin. Opinnäytetyön tulosten luotettavuutta heikentää myös Hyvinkään sairaalan kliinisen fysiologian yksikön tulosteiden puutteellisuus. Muista toimipaikoista poiketen hiilidioksidin tuoton ja hengitysosamäärän tulokset saatiin ainoastaan kuvaajamuodoissa. Tästä johtuen näiden arvojen tarkkuus on kyseenalaistettava eikä niitä voida pitää yhtä luotettavina kuin muista toimipaikoista rekisteröityjä hengityskaasumittaustulosteita.

Hengityskaasumittaustulosteissa ventilatorisen hengitysreservin tulokset puuttuivat kokonaan Meilahden ja Hyvinkään kliinisen fysiologian yksiköistä. Lisäksi FEV<sub>1</sub>-seurannan post-vaiheen puhalluksia suoritti ainoastaan Meilahden kliinisen fysiologian yksikkö. Täten ventilatorisen hengitysosamäärän ja FEV<sub>1</sub>-seurannan post-vaiheen tulokset eivät palvelleet opinnäytetyön tarkoitusta toimipaikkojen tulostasojen vertailun osalta.

HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian yksiköissä on havaittu tämän opinnäytetyön yhteydessä spiroergometrisen rasituskokeen toimintamallien eroavaisuuksia. Havaitut erot painottuivat erilaisiin henkilökohtaisiin työtapoihin sekä laitteiston eroavaisuuksista johtuviin työskentelyn eroihin. Opinnäytetyön tulosten pohjalta suosittelemme HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian yksiköille työ- ja menetelmäohjeiden, hengityskaasumittaustulosteiden sekä laitteisto-ohjelmistojen yhtenäistämistä. Esiitettyjen yhtenäistämisten avulla spiroergometrisen rasituskokeen tulosten vertailtavuus eri toimipaikkojen välillä paranee.

### 7.3 Tutkimuksen eettisyys

Opinnäytetyön eettistä suorittamista varmennettiin ennen opinnäytetyön aloittamista HUSin Tutkimuseettiseltä toimikunnalta, sillä tutkimus puuttui tutkittavan fyysiseen koskemattomuuteen maksimaalisen fyysisen suorituksen tavoittelun kautta. HUSin Tutkimuseettisen toimikunnan mukaan tutkimuksen perustuessa tutkittavan vapaaehtoisuuteen eikä tutkimusmuoto ole lääketieteelliseen hyötyyn tähtäävä, ei tarvetta lausunnonle ollut.

Tässä opinnäytetyössä biologinen kontrolli oli tietoinen tutkimuksen kulusta ja sen suorittamisen vaatimuksista. Toimipaikoittain suoritettu ajanvaraus tapahtui potilasvaraus-

järjestelmän kautta normaalikäytänteiden mukaan ja tulokset kirjautuivat tutkittavan henkilötunnukselle. Biologisen kontrollin henkilötietoja ei välitetty missään vaiheessa kolmansille osapuolille eikä kontrollin henkilötietoja tuoda esille tässä opinnäytetyössä. Biologisen kontrolloinnin jatkotutkimuksiin ja sen mahdollisesti jatkuvaan käytäntöön suositellaan luotavaksi kontrollina toimivalle henkilölle tutkimustunnukset kontrollin anonyymiyden sekä henkilön yksityisyyden suojan takaamiseksi.

## **8 Kokoavat suositukset**

Spiroergometrisen rasituskokeen kokonaisuuden tarkastelemiseksi suositellaan HUS-Kuvantamisen kliinisen fysiologian yksiköille jatkotutkimusta, johon sisällytetään tässä opinnäytetyössä tarkasteltujen spirometria- ja kaasujenvaihduntamuuttujien lisäksi myös fysiologiset muuttujat. Näin menetellen biologisesta kontrolloinnista saadaan tuotettua siihen osallistuville kliinisen fysiologian yksiköille suurin mahdollinen hyöty.

Opinnäytetyön kehitysehdotuksena HUS-Kuvantamiselle suositellaan biologisen kontrolloinnin vakinaistamista osaksi kliinisen spiroergometrisen rasituskokeen laadunvarmistusta. Biologisen kontrolloinnin luotettavuuden parantamiseksi sen tulisi olla henkilökohtain ja tietyin määräajoin suoritettua opinnäytetyötä pidemmällä aikavälillä.

Tämä opinnäytetyö osoittaa, että kliinisessä spiroergometrisessä rasituskokeessa voidaan biologisen kontrolloinnin keinoin havaita eroavaisuuksia sekä yksittäisissä mittausuureiden tuloksissa että analysaattorien tulostasojen suuntauksissa. Eroja voidaan havaita toimipaikkakohtaisesti sekä useampien toimipaikkojen välillä yhdellä suoritettulla tutkimuskierroksella. Siten suosittelimme biologisen kontrolloinnin käyttöönottoa kliinisen fysiologian laadunvarmistuksen osaksi myös muille kliinisen fysiologian tutkimuspalveluita tuottaville terveys- ja hoitoalan yrityksille.

## Lähteet

Antila, Kari – Arstila, Matti – Ikäheimo, Markku – Siltanen, Pentti (toim.) – Sovijärvi, Anssi – Tikanoja, Tero – Tikkanen, Heikki – Uusitalo, Arto – Vuori, Ilkka 1994. Kliininen rasiuskoe. Suomen kardiologisen seuran ja Suomen kliinisen fysiologian yhdistyksen suositus. Suomen Lääkärilehti 49 (3). Verkkodokumentti.

<<http://www.fimnet.fi/cgi-cug/brs/artikkeli.cgi?docn=000002987>>. Luettu 4.11.2013.

Booker, Rachel – Cooper, Brendan – Holmes, Stephen – Levy, Mark – Small, Iain – Quanjer, Philip 2009. Diagnostic Spirometry in Primary Care. Proposed standards for general practice compliant with American Thoracic Society and European Respiratory Society recommendations. Primary Care Respiratory Journal 18 (3). 130–147. Luettavissa sähköisesti. <[http://www.theprcj.org/journ/vol18/18\\_3\\_130\\_147.pdf](http://www.theprcj.org/journ/vol18/18_3_130_147.pdf)>.

Hansen, James – Sietsema, Kathy – Stringer, William – Sue, Darryl – Wasserman, Karlman – Whipp, Brian 2012. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. Lippincott Williams & Wilkins, Wolters Kluwer. 5. painos. Philadelphia, USA.

Honkala, Helena – Mustonen, Timo – Piirilä, Päivi 2013. Sairaanhoidaja, erikoislääkäri, erikoislääkäri. Suullinen tiedonanto 24.9.2013.

Honkala, Helena – Piirilä, Päivi 2013. Sairaanhoidaja, erikoislääkäri. Suullinen tiedonanto 30.9.2013.

Honkala, Helena – Piirilä, Päivi 2013. Sairaanhoidaja, erikoislääkäri. Suullinen tiedonanto 25.11.2013.

Huippu- ja tavoitesyke rasiuskokeessa. 2011. Apuohjelma, Lääkärin tietokannat. Terveysportti. Kustannus Oy Duodecim. Verkkodokumentti. <[http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti?p\\_artikkeli=pgr00020&p\\_haku=kliininen%20rasiuskoe](http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=pgr00020&p_haku=kliininen%20rasiuskoe)>. Luettu 4.11.2013.

Jaarinen, Soili – Niiranen, Jukka 2005. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Prima Oy.

Jula, Antti – Niiranen, Teemu 2009. Verenpaineen kotimittaus. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 125 (18). 1959–1966. Verkkodokumentti. <[http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/arkisto?p\\_p\\_id=Article\\_WAR\\_DL6\\_Articleportlet&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&viewType=viewArticle&tunnus=duo98287#refs](http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/arkisto?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&p_p_action=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&viewType=viewArticle&tunnus=duo98287#refs)>. Luettu 29.10.2013.

Kainu, Annette – Malmberg, Pekka – Pekkanen, Leena – Piirilä, Päivi – Sovijärvi, Anssi 2006. Spirometria- ja PEF-mittausten suoritus ja arviointi. Spirometria. Moodi 5/2006. 10. painos. 187.

Kettunen, Raimo – Sovijärvi, Anssi 2008. Kliininen rasiuskoe. Teoksessa Airaksinen, Juhani – Heikkilä, Juhani – Huikuri, Heikki – Kupari, Markku – Nieminen, Markku – Peuhkurinen, Keijo (toim.): Kardiologia. 2., uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. 216–233.

Kliininen rasituskoe, spiroergometria. 2012. Työohje. HUS-Kuvantaminen.

Korhonen, Ilkka – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö 2012. Kliinisen fysiologian metodiikan perusteet. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliinisen fysiologian perusteet. Keuruu: Kustannus Oy Duodecim. 12–16.

Leppälampi, Niina – Mertanen, Eevi 2010. Spirometriassa käytettävän biologisen kontrollin käyttöönotto HUSLABin kliinisen fysiologian yksikössä Hyvinkäällä. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki. 27.10. Verkkodokumentti. <[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23733/Mertanen\\_Eevi\\_ja\\_Leppälampi\\_Niina.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23733/Mertanen_Eevi_ja_Leppälampi_Niina.pdf?sequence=1)>. Luettu 5.11.2013.

Morgan, M D L – Revill, M S 2000. Biological quality control for exercise testing. BMJ Publishing Group Ltd & British Thoracic Society. Thorax 55. 63–66. Luettavissa sähköisesti. <<http://thorax.bmj.com/content/55/1/63.full?sid=bc5816dc-7977-4bec-8063-d88407795a15>>.

Piira, Olli-Pekka 2006. Kliininen rasituskoe: menetelmät, indikaatiot ja tulkinta. Oulun yliopisto, sisätautien klinikka. Verkkodokumentti. <<http://cc oulu.fi/~sisawww/esit/060302.htm>>. Luettu 20.3.2014.

Piirilä, Päivi – Sovijärvi Anssi 2003. Keuhkojen toimintakokeet kliinisen rasituskokeen yhteydessä. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Hämeenlinna: Kustannus Oy Duodecim. 239–244.

Piirilä, Päivi – Sovijärvi Anssi 2012. Ventilaatiokyvyn ja keuhkotilavuuksien mittaukset. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliinisen fysiologian perusteet. Keuruu: Kustannus Oy Duodecim. 82–99.

Sovijärvi, Anssi 2003. Spiroergometria. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Hämeenlinna: Kustannus Oy Duodecim. 245–254.

Sovijärvi, Anssi 2012a. Kliininen rasituskoe. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliinisen fysiologian perusteet. Keuruu: Kustannus Oy Duodecim. 174–195.

Sovijärvi, Anssi 2012b. Spiroergometria. Teoksessa Ahonen, Aapo – Hartiala, Jaakko – Länsimies, Esko – Savolainen, Sauli – Sovijärvi, Anssi – Turjanmaa, Väinö – Vanninen, Esko (toim.): Kliinisen fysiologian perusteet. Keuruu: Kustannus Oy Duodecim. 119–128.

Spiroergometria. 2013. Menetelmäohje. HUS-Kuvantaminen.

## Borgin asteikot

Koetun kuormituksen asteikko Sovijärveä (2012:183) mukaillen:

Mikä luku mielestänne parhaiten vastaa tuntemaanne kuormitusta tällä hetkellä?

6	
7	erittäin kevyt
8	
9	hyvin kevyt
10	
11	kevyt
12	
13	hieman rasittava
14	
15	rasittava
16	
17	hyvin rasittava
18	
19	erittäin rasittava
20	äärimmäisen rasittava

Subjektivisten oireiden mittaaminen Borgin asteikolla. Sovijärveä (2012:183) mukaillen:

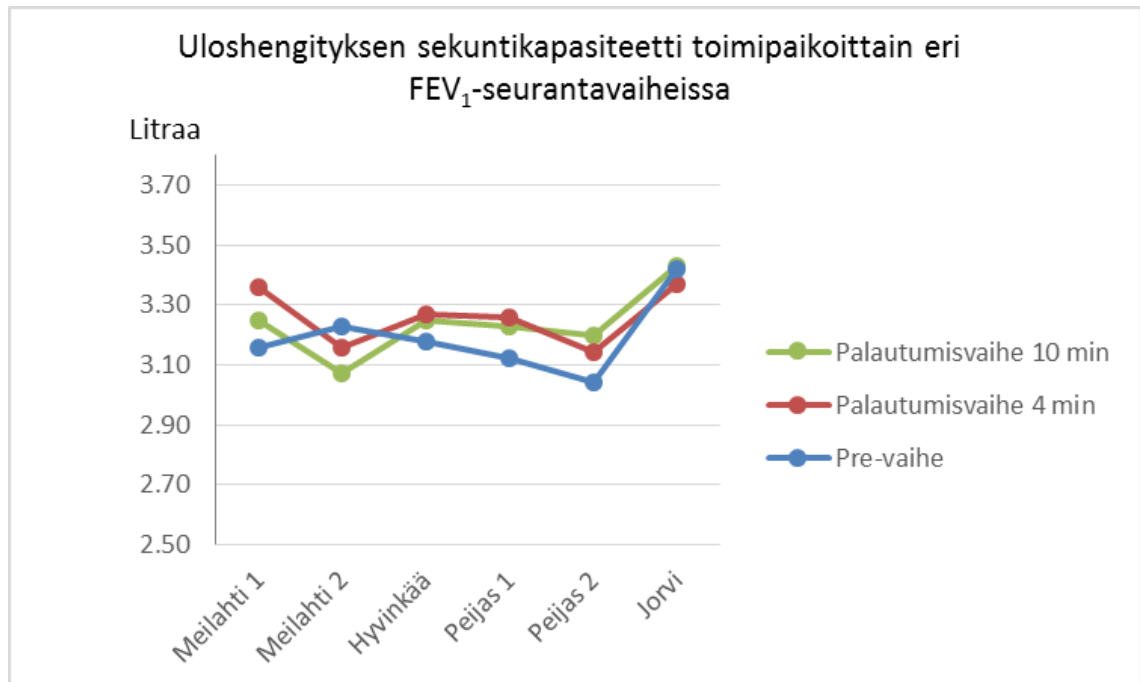
Mikä luku mielestänne parhaiten vastaa tuntemaanne oireen voimakkuutta tällä hetkellä?

0	ei ollenkaan
0,5	erittäin heikko
1	hyvin heikko
2	heikko (vähäinen)
3	kohtalainen
4	melko voimakas
5	voimakas
6	
7	hyvin voimakas
8	
9	
10	erittäin voimakas (melkein maksimaalinen)
xx	maksimaalinen

## Porrastulostaulukot ja -kuvaajat

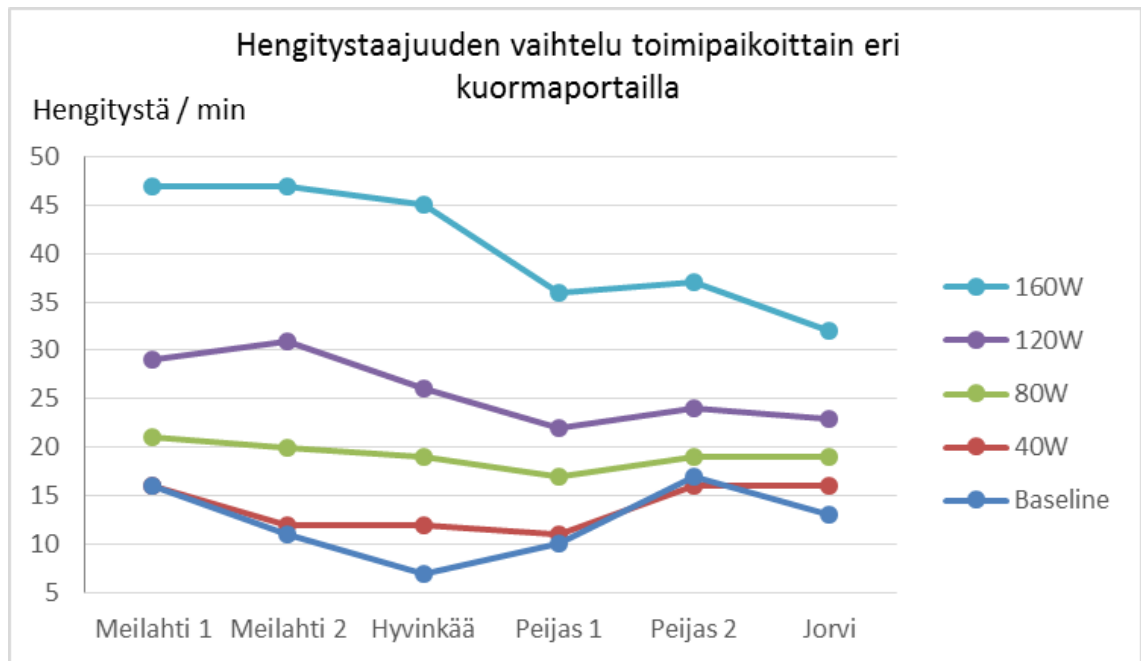
Uloshengityksen sekuntikapasiteetti (FEV<sub>1</sub>) l

Toimipaikka	Pre-vaihe	Post-vaihe	Palautumisvaihe 4 min	Palautumisvaihe 10 min
Meilahti 1	3.16	3.50	3.36	3.25
Meilahti 2	3.23	3.41	3.16	3.07
Hyvinkää	3.18	-	3.27	3.25
Peijas 1	3.12	-	3.26	3.23
Peijas 2	3.04	-	3.14	3.20
Jorvi	3.42	-	3.37	3.43
Minimi	3.04	3.41	3.14	3.07
Mediaani	3.17	3.46	3.27	3.24
Maksimi	3.42	3.50	3.37	3.43
Keskiarvo	3.19	3.46	3.26	3.24
Keskihajonta	0.13	0.06	0.10	0.12



Hengitystaajuus (BF)

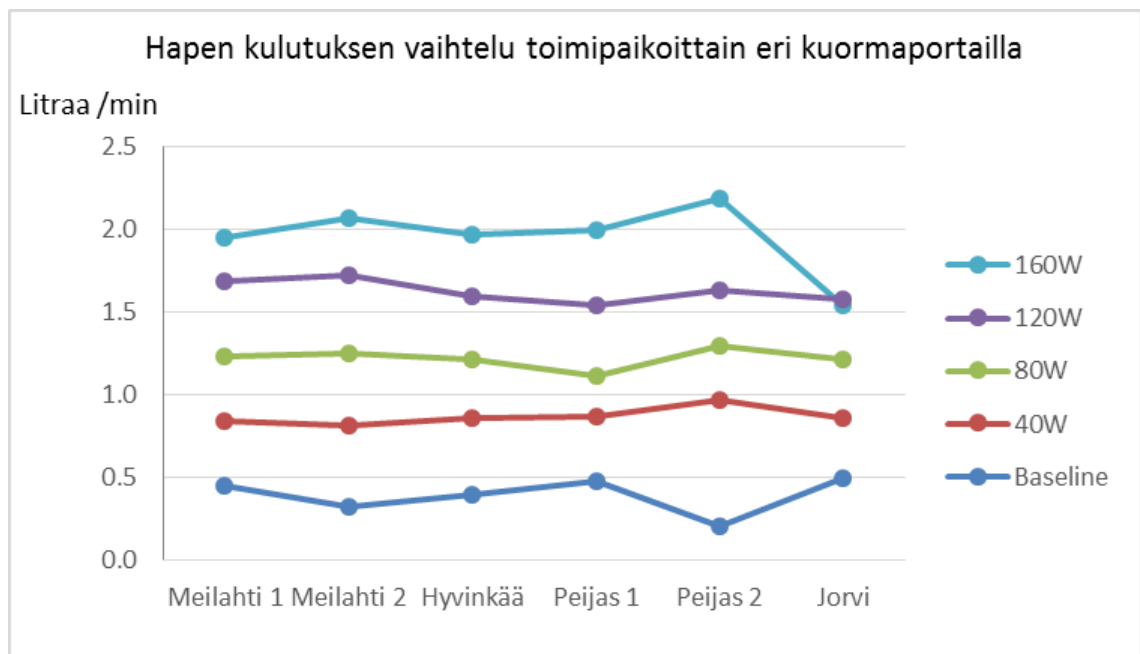
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	16	16	21	29	47
Meilahti 2	11	12	20	31	47
Hyvinkää	7	12	19	26	45
Peijas 1	10	11	17	22	36
Peijas 2	17	16	19	24	37
Jorvi	13	16	19	23	32
Minimi	7	11	17	22	32
Mediaani	12	14	19	25	41
Maksimi	17	16	21	31	47
Keskiarvo	12	14	19	26	41
Keskihajonta	4	2	1	4	6





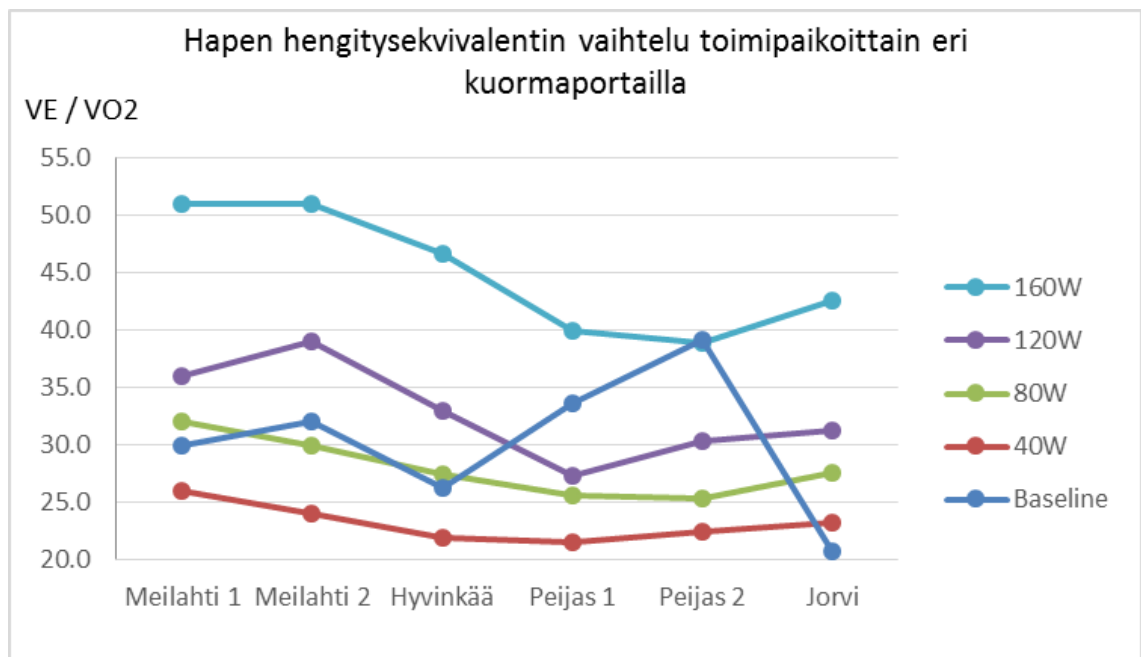
Hapen kulutus (VO2) l/min

Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	0.455	0.843	1.233	1.689	1.950
Meilahti 2	0.328	0.815	1.255	1.722	2.067
Hyvinkää	0.394	0.863	1.212	1.600	1.970
Peijas 1	0.475	0.868	1.116	1.543	1.995
Peijas 2	0.205	0.965	1.293	1.630	2.187
Jorvi	0.499	0.859	1.218	1.581	1.539
Minimi	0.205	0.815	1.116	1.543	1.539
Mediaani	0.425	0.861	1.226	1.615	1.983
Maksimi	0.499	0.965	1.293	1.722	2.187
Keskiarvo	0.393	0.869	1.221	1.628	1.951
Keskihajonta	0.111	0.051	0.059	0.067	0.220



Hapen hengitysekvivalentti (EQO2)

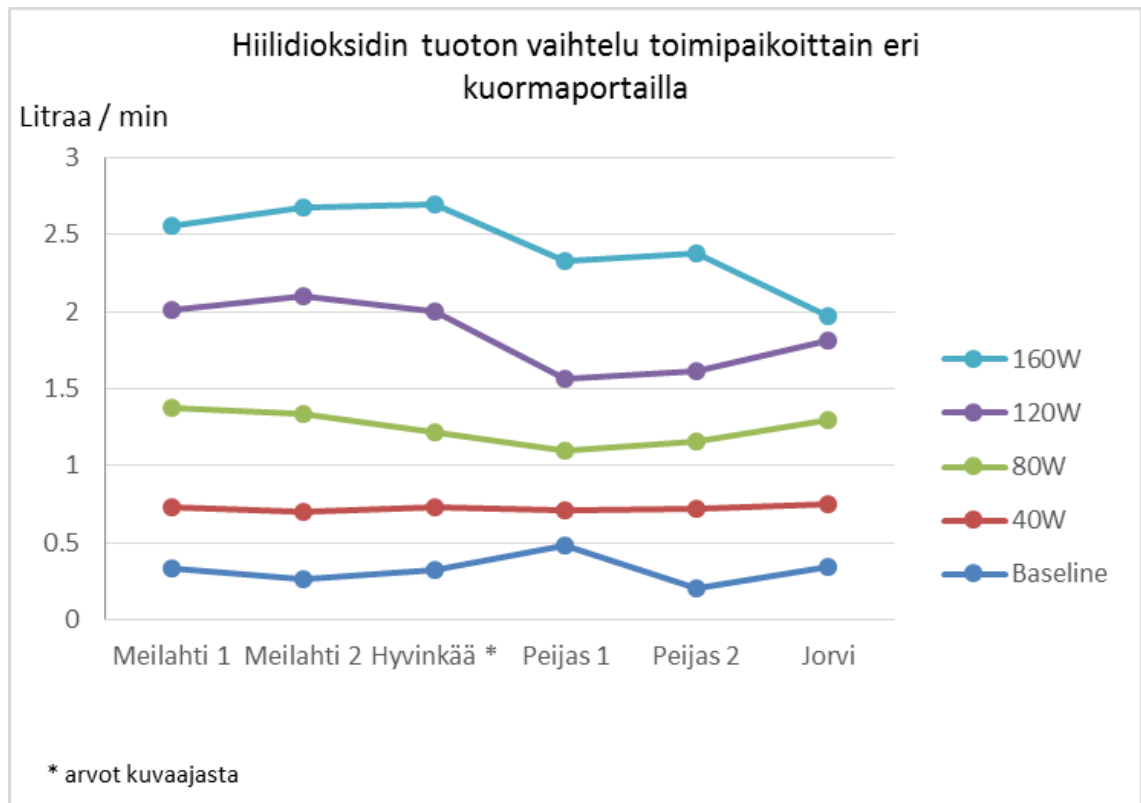
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	30.0	26.0	32.0	36.0	51.0
Meilahti 2	32.0	24.0	30.0	39.0	51.0
Hyvinkää	26.3	21.9	27.5	33.0	46.6
Peijas 1	33.6	21.5	25.6	27.3	39.9
Peijas 2	39.2	22.4	25.3	30.3	38.9
Jorvi	20.8	23.3	27.6	31.3	42.6
Minimi	20.8	21.5	25.3	27.3	38.9
Mediaani	31.0	22.9	27.6	32.2	44.6
Maksimi	39.2	26.0	32.0	39.0	51.0
Keskiarvo	30.3	23.2	28.0	32.8	45.0
Keskihajonta	6.3	1.7	2.6	4.2	5.4



Hiilidioksidin tuotto (VCO<sub>2</sub>) l/min

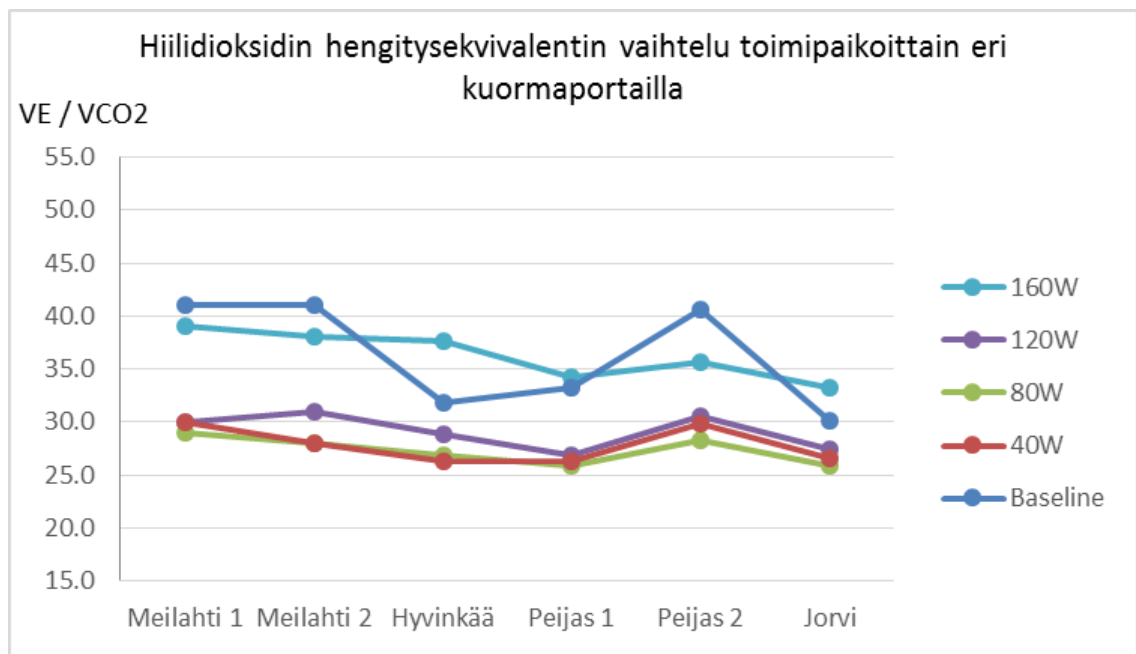
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	0.327	0.731	1.371	2.009	2.559
Meilahti 2	0.258	0.696	1.339	2.101	2.678
Hyvinkää *	0.320	0.726	1.220	2.000	2.700
Peijas 1	0.479	0.709	1.101	1.565	2.324
Peijas 2	0.198	0.723	1.154	1.613	2.381
Jorvi	0.346	0.753	1.297	1.808	1.970
Minimi	0.198	0.696	1.101	1.565	1.970
Mediaani	0.324	0.725	1.259	1.904	2.470
Maksimi	0.479	0.753	1.371	2.101	2.700
Keskiarvo	0.321	0.723	1.247	1.849	2.435
Keskihajonta	0.095	0.019	0.107	0.224	0.274

\* arvot kuvaajasta



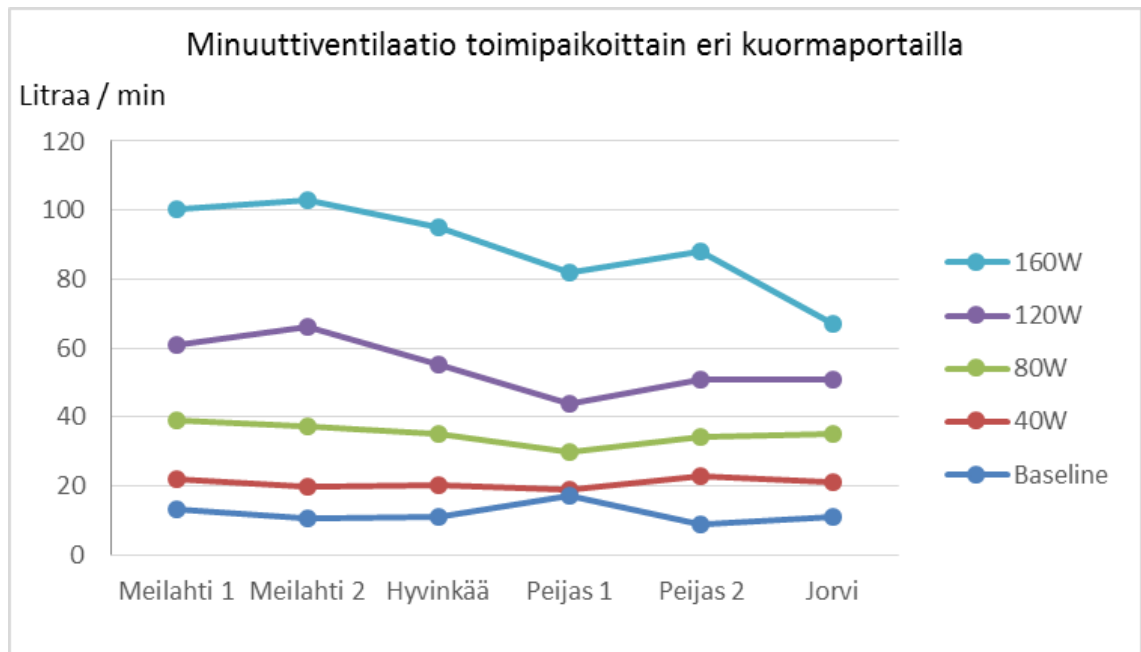
Hiilidioksidin hengitysekvivalentti (EQCO2)

Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	41.0	30.0	29.0	30.0	39.0
Meilahti 2	41.0	28.0	28.0	31.0	38.0
Hyvinkää	31.8	26.3	26.9	28.8	37.6
Peijas 1	33.3	26.3	25.9	26.9	34.3
Peijas 2	40.6	29.9	28.3	30.6	35.7
Jorvi	30.1	26.6	25.9	27.4	33.3
Minimi	30.1	26.3	25.9	26.9	33.3
Mediaani	37.0	27.3	27.5	29.4	36.7
Maksimi	41.0	30.0	29.0	31.0	39.0
Keskiarvo	36.3	27.9	27.3	29.1	36.3
Keskihajonta	5.1	1.7	1.3	1.7	2.2



Minuuttiventilaatio (VE) l/min

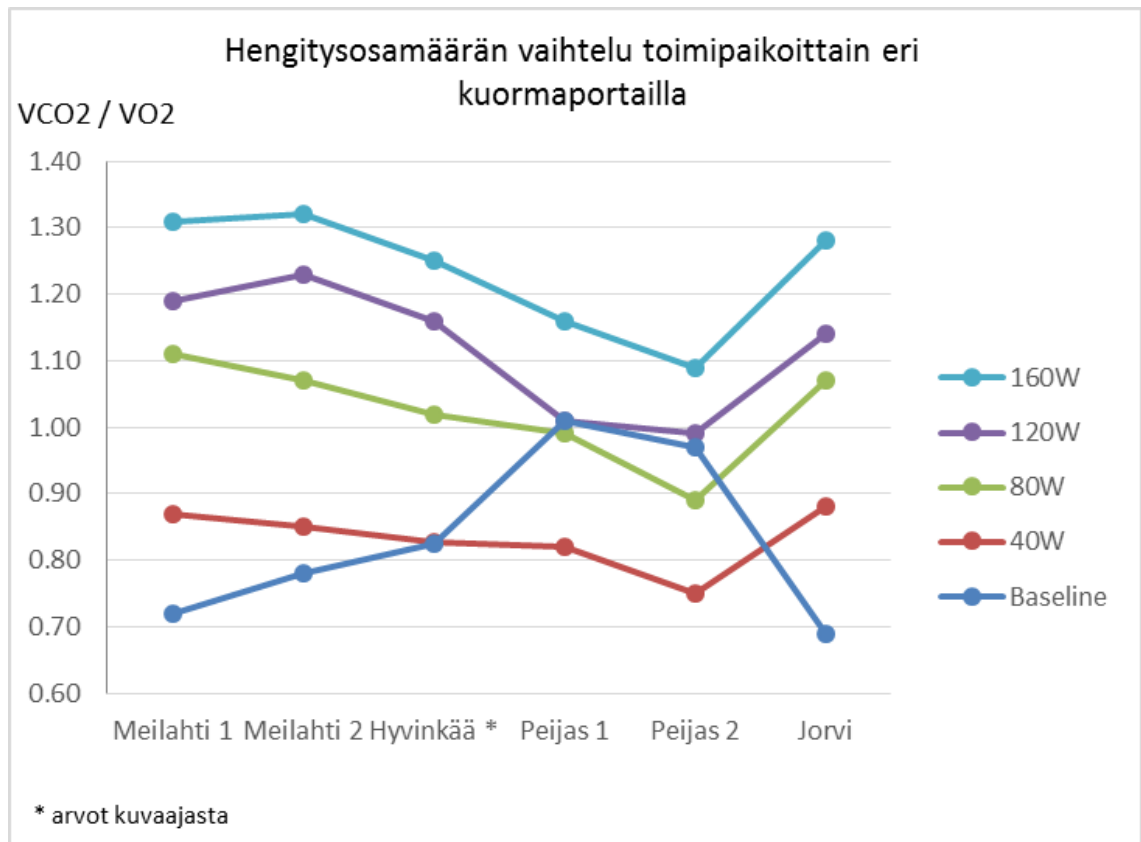
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	13	22	39	61	100
Meilahti 2	11	20	37	66	103
Hyvinkää	11	20	35	55	95
Peijas 1	17	19	30	44	82
Peijas 2	9	23	34	51	88
Jorvi	11	21	35	51	67
Minimi	9	19	30	44	67
Mediaani	11	21	35	53	92
Maksimi	17	23	39	66	103
Keskiarvo	12	21	35	55	89
Keskihajonta	3	2	3	8	13



Hengitysosamäärä (RQ)

Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	0.72	0.87	1.11	1.19	1.31
Meilahti 2	0.78	0.85	1.07	1.23	1.32
Hyvinkää *	0.83	0.83	1.02	1.16	1.25
Peijas 1	1.01	0.82	0.99	1.01	1.16
Peijas 2	0.97	0.75	0.89	0.99	1.09
Jorvi	0.69	0.88	1.07	1.14	1.28
Minimi	0.69	0.75	0.89	0.99	1.09
Mediaani	0.80	0.84	1.05	1.15	1.27
Maksimi	1.01	0.88	1.11	1.23	1.32
Keskiarvo	0.83	0.83	1.03	1.12	1.24
Keskihajonta	0.13	0.05	0.08	0.10	0.09

\* arvot kuvaajasta

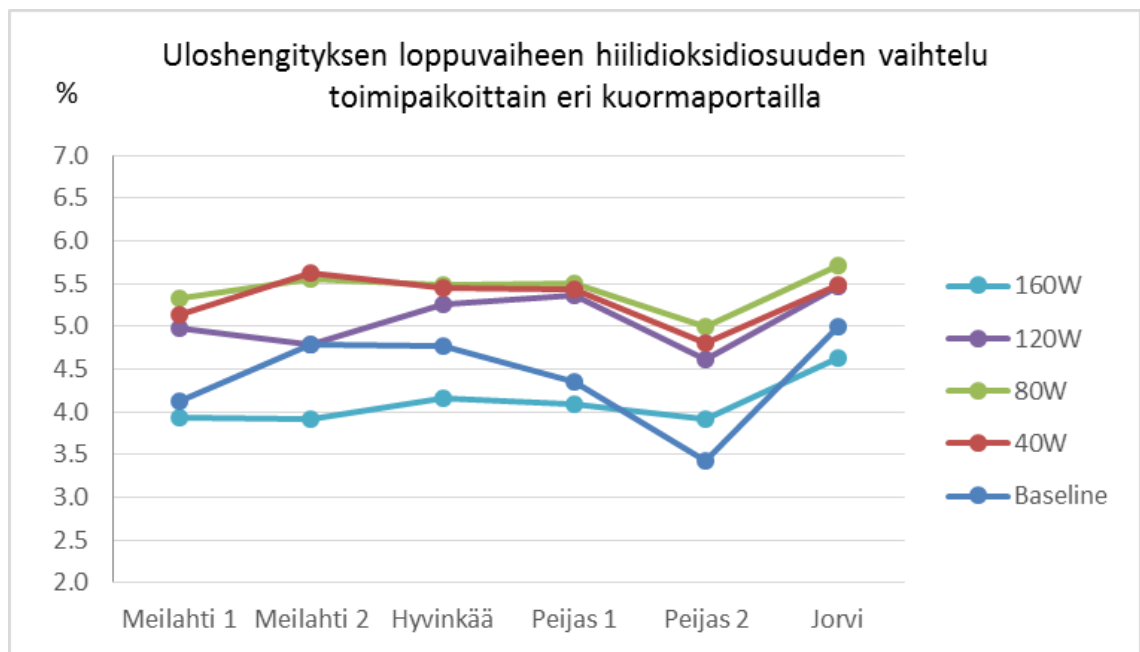


Ventilatorinen hengitysreservi (BR) %

Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	-	-	-	-	-
Meilahti 2	-	-	-	-	-
Hyvinkää	-	-	-	-	-
Peijas 1	85	82	73	60	25
Peijas 2	91	79	68	52	17
Jorvi	91	84	73	61	48
Minimi	85	79	68	52	17
Mediaani	91	82	73	60	25
Maksimi	91	84	73	61	48
Keskiarvo	89	82	71	58	30
Keskihajonta	3	3	3	5	16

Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidiosuus (FetCO2) %

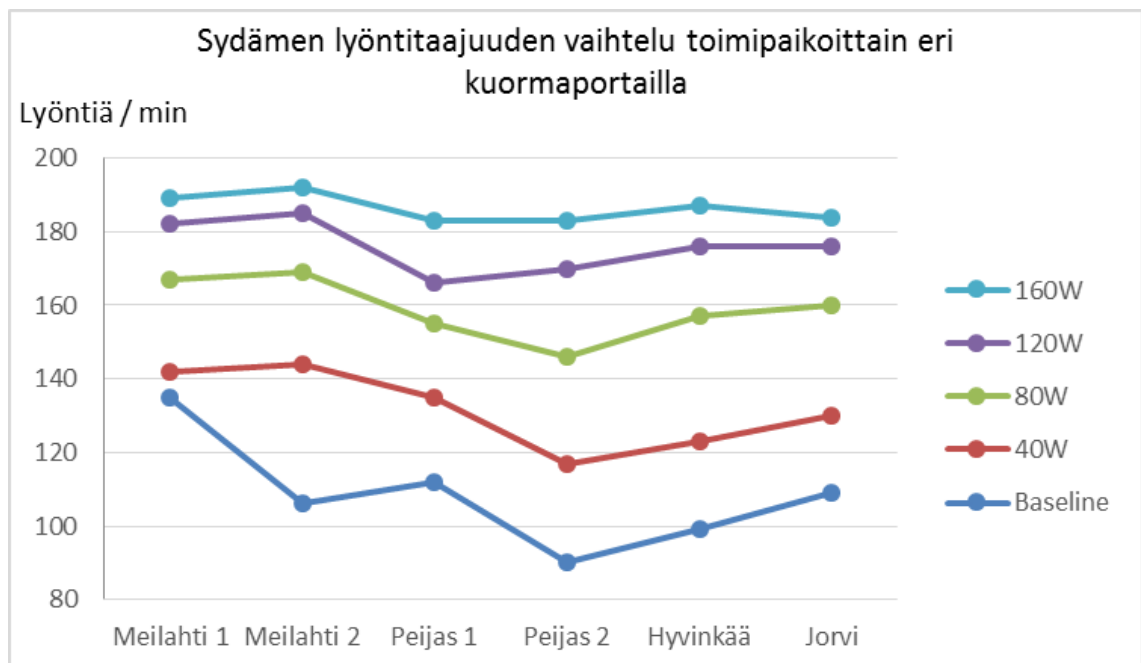
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	4.12	5.13	5.33	4.98	3.93
Meilahti 2	4.79	5.62	5.55	4.79	3.92
Hyvinkää	4.77	5.45	5.49	5.26	4.16
Peijas 1	4.35	5.43	5.50	5.37	4.09
Peijas 2	3.42	4.80	4.99	4.62	3.91
Jorvi	4.99	5.49	5.71	5.46	4.63
Minimi	3.42	4.80	4.99	4.62	3.91
Mediaani	4.56	5.44	5.50	5.12	4.01
Maksimi	4.99	5.62	5.71	5.46	4.63
Keskiarvo	4.41	5.32	5.43	5.08	4.11
Keskihajonta	0.58	0.30	0.25	0.34	0.28





Sydämen lyöntitaajuus (HR)

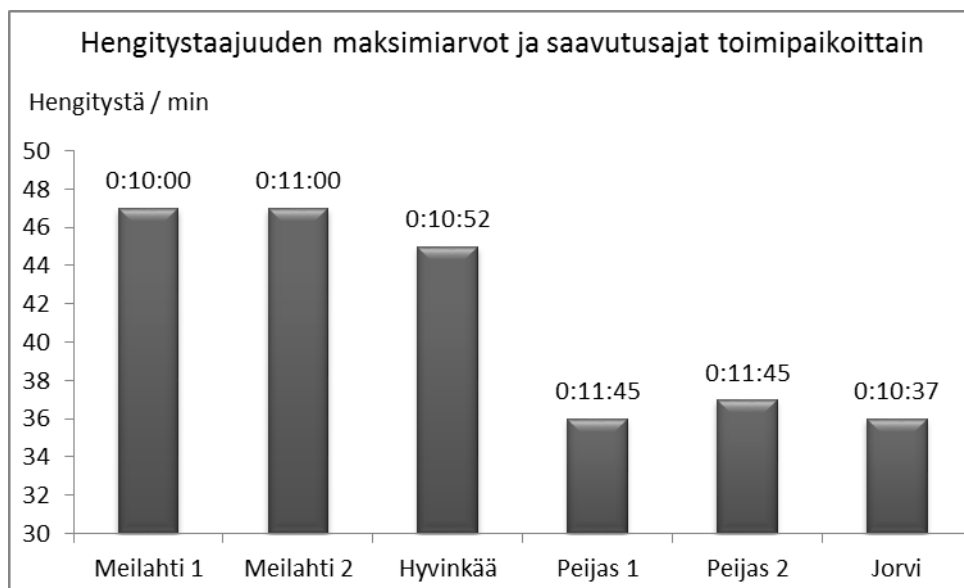
Toimipaikka	Baseline	40W	80W	120W	160W
Meilahti 1	135	142	167	182	189
Meilahti 2	106	144	169	185	192
Peijas 1	112	135	155	166	183
Peijas 2	90	117	146	170	183
Hyvinkää	99	123	157	176	187
Jorvi	109	130	160	176	184
Minimi	90	117	146	166	183
Mediaani	108	133	159	176	186
Maksimi	135	144	169	185	192
Keskiarvo	109	132	159	176	186
Keskihajonta	15	11	8	7	4



## Maksimitulostaulukot ja -kuvaajat

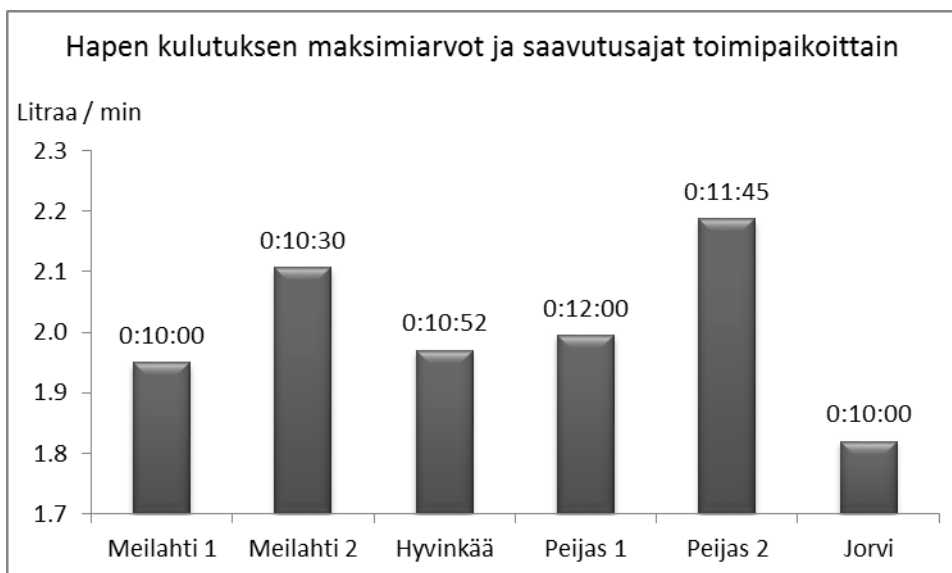
### Hengitystaajuus (BF)

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	47	00:10:00	160
Meilahti 2	47	00:11:00	160
Hyvinkää	45	00:10:52	160
Peijas 1	36	00:11:45	160
Peijas 2	37	00:11:45	160
Jorvi	36	00:10:37	160
Minimi	36		
Mediaani	41		
Maksimi	47		
Keskiarvo	41		
Keskihajonta	5.538		



Hapen kulutus (VO2) l/min

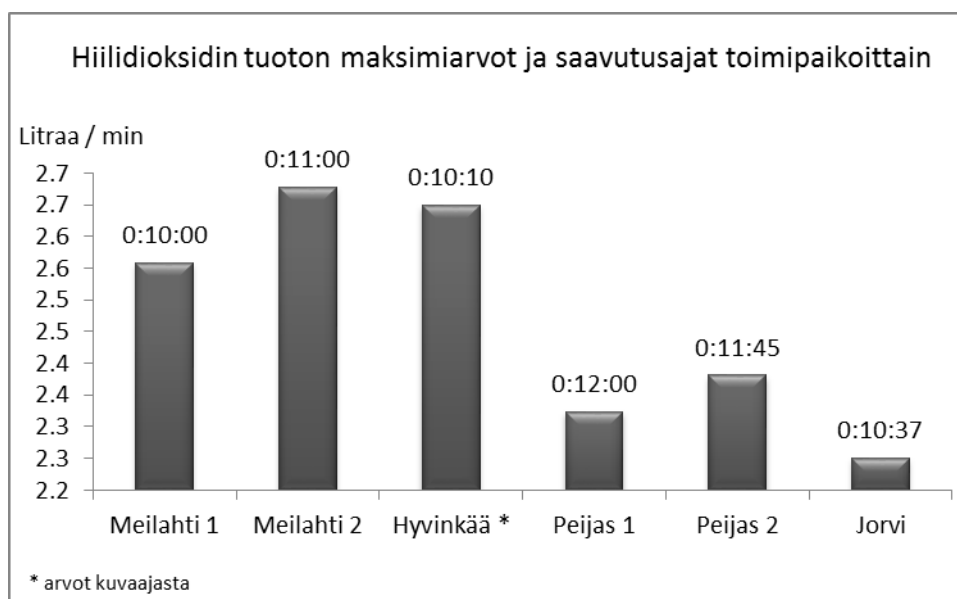
Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	1.950	00:10:00	160
Meilahti 2	2.107	00:10:30	160
Hyvinkää	1.970	00:10:52	160
Peijas 1	1.995	00:12:00	160
Peijas 2	2.187	00:11:45	160
Jorvi	1.820	00:10:00	160
Minimi	1.820		
Mediaani	1.983		
Maksimi	2.187		
Keskiarvo	2.005		
Keskihajonta	0.128		



Hiilidioksidin tuotto (VCO<sub>2</sub>) l/min

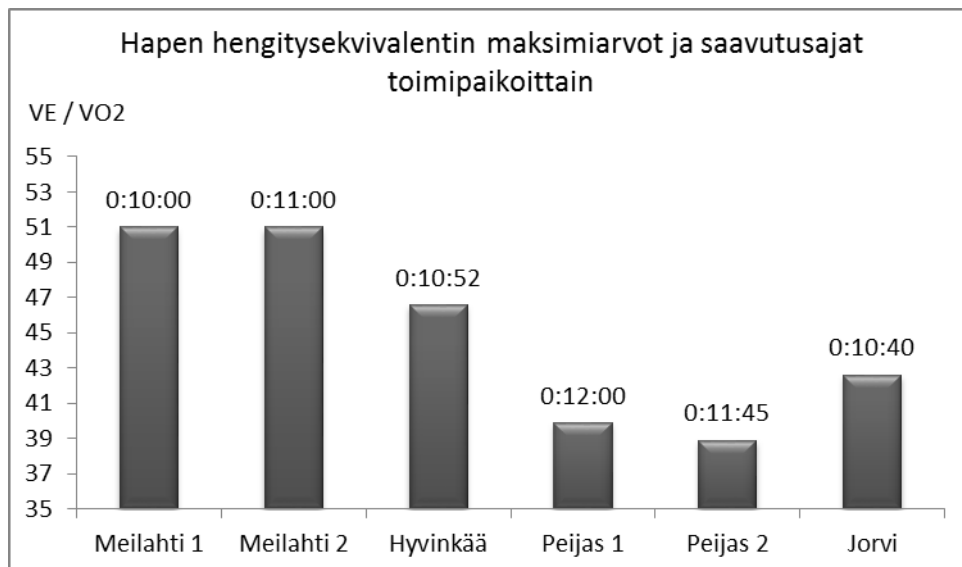
Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	2.559	00:10:00	160
Meilahti 2	2.678	00:11:00	160
Hyvinkää *	2.650	00:10:10	160
Peijas 1	2.324	00:12:00	160
Peijas 2	2.381	00:11:45	160
Jorvi	2.251	00:10:37	160
Minimi	2.251		
Mediaani	2.470		
Maksimi	2.678		
Keskiarvo	2.474		
Keskihajonta	0.179		

\* arvot kuvaajasta



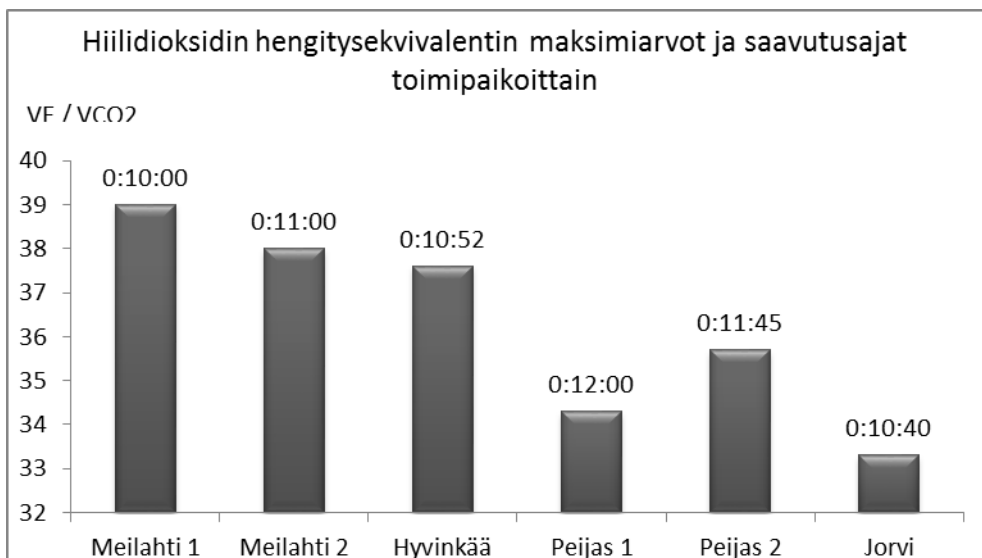
### Hapen hengitysekvivalentti (EQO2)

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	51.0	00:10:00	160
Meilahti 2	51.0	00:11:00	160
Hyvinkää	46.6	00:10:52	160
Peijas 1	39.9	00:12:00	160
Peijas 2	38.9	00:11:45	160
Jorvi	42.6	00:10:40	160
Minimi	38.9		
Mediaani	44.6		
Maksimi	51.0		
Keskiarvo	45.0		
Keskihajonta	5.358		



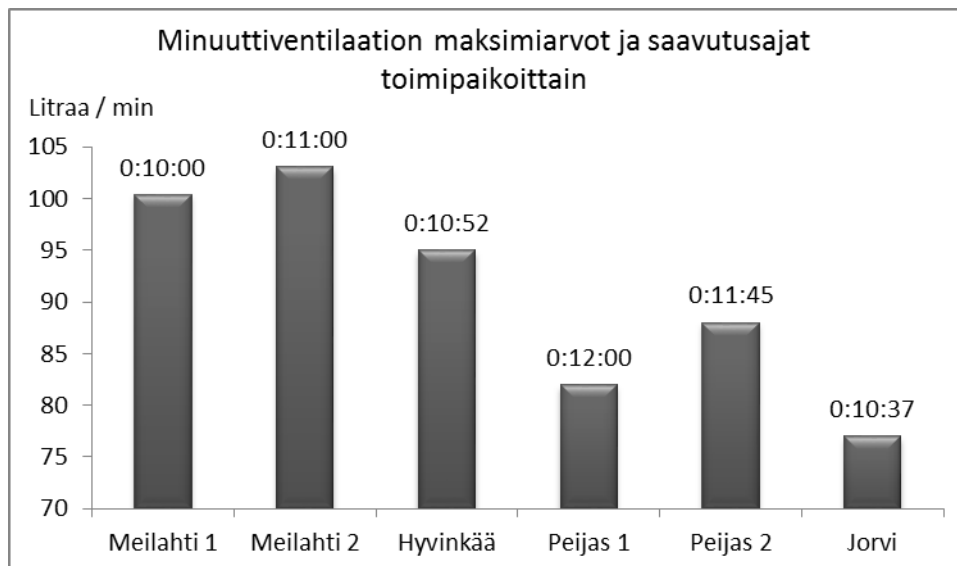
### Hiilidioksidin hengitysekvivalentti (EQCO<sub>2</sub>)

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	39.0	00:10:00	160
Meilahti 2	38.0	00:11:00	160
Hyvinkää	37.6	00:10:52	160
Peijas 1	34.3	00:12:00	160
Peijas 2	35.7	00:11:45	160
Jorvi	33.3	00:10:40	160
Minimi	33.3		
Mediaani	36.7		
Maksimi	39.0		
Keskiarvo	36.3		
Keskihajonta	2.246		



Minuuttiventilaatio (VE) l/min

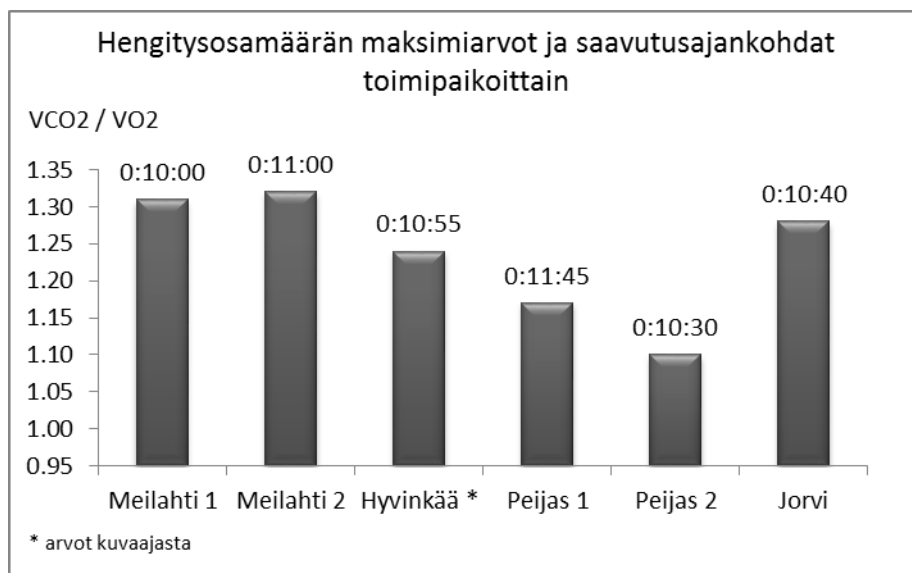
Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	100	00:10:00	160
Meilahti 2	103	00:11:00	160
Hyvinkää	95	00:10:52	160
Peijas 1	82	00:12:00	160
Peijas 2	88	00:11:45	160
Jorvi	77	00:10:37	160
Minimi	77		
Mediaani	92		
Maksimi	103		
Keskiarvo	91		
Keskihajonta	10.361		



Hengitysosamäärä (RQ)

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	1.31	00:10:00	160
Meilahti 2	1.32	00:11:00	160
Hyvinkää *	1.24	00:10:55	160
Peijas 1	1.17	00:11:45	160
Peijas 2	1.10	00:10:30	160
Jorvi	1.28	00:10:40	160
Minimi	1.10		
Mediaani	1.26		
Maksimi	1.32		
Keskiarvo	1.24		
Keskihajonta	0.086		

\* arvot kuvaajasta

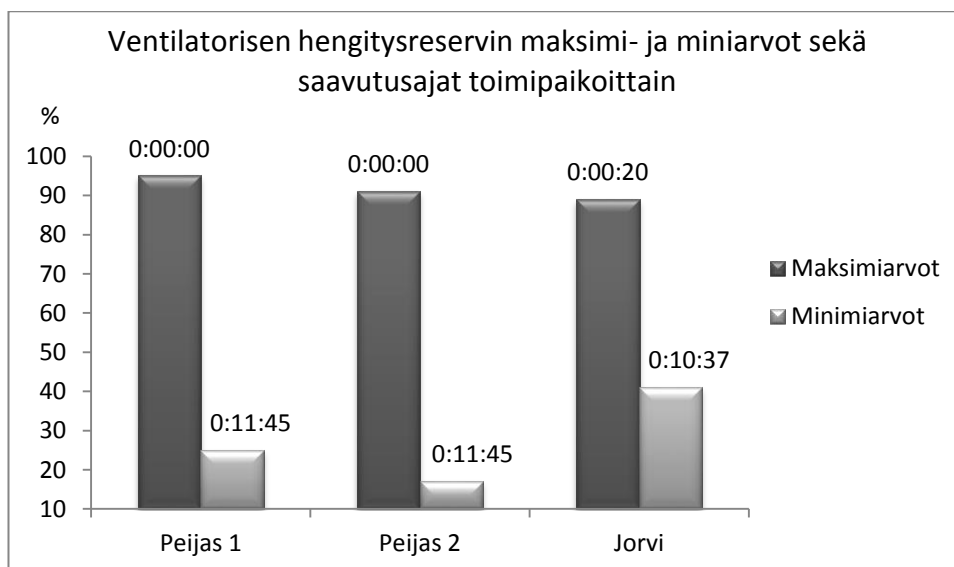




Ventilatorinen hengityseservi (BR) %

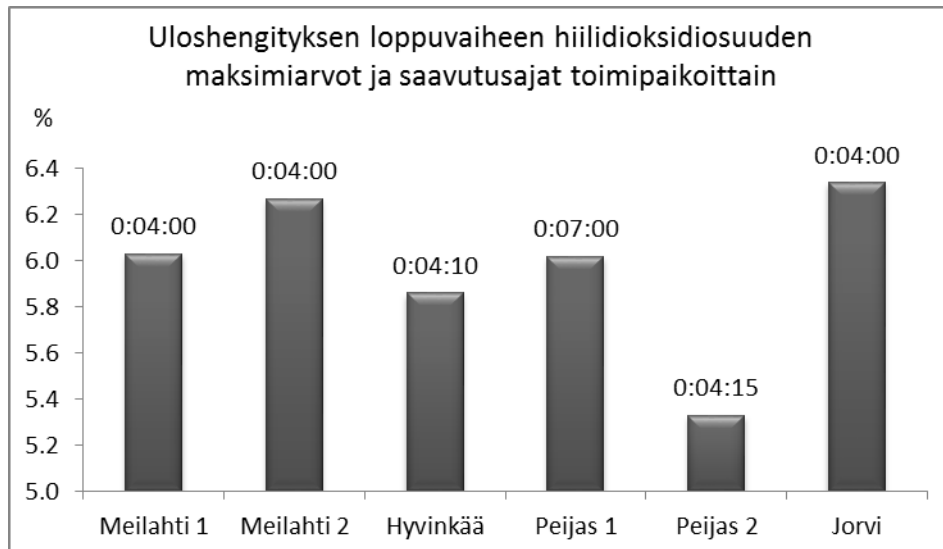
Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	-	-	-
Meilahti 2	-	-	-
Hyvinkää	-	-	-
Peijas 1	95	0:00:00	40
Peijas 2	91	0:00:00	40
Jorvi	89	0:00:20	40

Toimipaikka	Min	Aika	W
Meilahti 1	-	-	-
Meilahti 2	-	-	-
Hyvinkää	-	-	-
Peijas 1	25	0:11:45	160
Peijas 2	17	0:11:45	160
Jorvi	41	0:10:37	160



Uloshengityksen loppuvaiheen hiilidioksidiosuus (FetCO2) %

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	6.03	00:04:00	81
Meilahti 2	6.27	00:04:00	81
Hyvinkää	5.86	00:04:10	80
Peijas 1	6.02	00:07:00	120
Peijas 2	5.33	00:04:15	80
Jorvi	6.34	00:04:00	80
Minimi	5.33		
Mediaani	6.03		
Maksimi	6.34		
Keskiarvo	5.98		
Keskihajonta	0.362		



Sydämen lyöntitaajuus (HR)

Toimipaikka	Max	Aika	W
Meilahti 1	189	00:10:00	160
Meilahti 2	192	00:11:00	160
Hyvinkää	187	00:10:30	160
Peijas 1	184	00:11:00	160
Peijas 2	183	00:10:45	160
Jorvi	184	00:10:20	160
Minimi	183		
Mediaani	186		
Maksimi	192		
Keskiarvo	187		
Keskihajonta	3.507		

