

Niina Turunen

SÄTEILYN SIRONTA O-KAARIAVUSTEISISSA LEIKKAUKSISSA

SÄTEILYN SIRONTA O-KAARIAVUSTEISISSA LEIKKAUKSISSA

Niina Turunen
Syksy 2013
Radiografian ja sädehoidon
koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Tekijä(t): Niina Turunen
Opinnäytetyön nimi: Säteilyn sironna O-kaariavusteisissa leikkauksissa
Työn ohjaaja(t): Anja Henner ja Anneli Holmström
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2013
Sivumäärä: 55+22 liitesivua

Työn taustalla on Oulun seudun ammattikorkeakoulun (OAMK) ja Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) pitkäaikainen yhteistyö, jonka tiimoilta nousi ajatus mitata henkilökunnan säteilyannoksia keskusleikkausosastolla O-kaariavusteisten leikkausten aikana. O-kaaren käyttö ei ole vielä kovin yleistä ja siksi toimenpiteissä henkilökunnalle aiheutuvista säteilyannoksista ei ole paljon julkaistua tietoa.

Tämän työn tarkoituksena oli kuvailla henkilökunnalle aiheutuvia säteilyannoksia ja säteilyn siroamista O-kaariavusteisten leikkausten aikana OYSin keskusleikkausosastolla. Työn tavoitteena oli kehittää O-kaaren käyttöön liittyvää henkilökunnan säteilysuojelua sekä säteilyn käytön turvallisuuskulttuuria OYSin keskusleikkausosastolla.

Työssä mitattiin säteilyannoksia ja – annosnopeuksia leikkaussalissa ja heti sen läheisyydessä O-kaariavusteisten selkäleikkausten aikana. Mittaamiseen käytettiin DoseAware-säteilyannosmittausjärjestelmää. O-kaaren käyttöä havainnointiin leikkaussalin ikkunan takaa.

Mittaustulosten mukaan suurimmat annosnopeudet ja sironneen säteilyn annokset O-kaariavusteisissa selkäleikkauksissa ovat leikkaussalin ikkunan kohdalla, välinehuoltotilojen ovella ja O-kaaren lähellä. O-kaarella kuvaavan lääkintävahtimestarin säteilyannos on pieni, jos hän on sijoittunut kuvatessaan O-kaaren säätöpöydän ja liikuteltavan lyijylasin taakse.

Keskusleikkausosastolla kannattaa jatkaa käytäntöä, jonka mukaan O-kaarikuvauksen ajaksi leikkaussalista poistuvat kaikki henkilöt lukuun ottamatta O-kaarella kuvaava lääkintävahtimestaria. Henkilökunta on paremmin suojassa salin ulkopuolella, koska salissa ollessaan kaikkien henkilöiden olisi vaikea suojautua sironneelta säteilyltä. Salista poistuttaessa tulee siirtyä pois salin ikkunan edestä ja salien väliseltä käytävältä. Parhaiten henkilökunta on suojassa tarpeeksi kaukana salista tai betoniseiniä takana. O-kaarella kuvauksesta olisi hyvä kertoa välinehuollossa työskenteleville, jotta he voivat siirtyä kuvauksen ajaksi kauemmas salista.

Asiasanat: säteilyannokset, säteilysuojelu, säteilyturvallisuus, dosimetrit, reaaliaikaisuus, leikkaussalit

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Radiography and Radiotherapy

Author(s): Niina Turunen

Title of thesis: Scattered Radiation During O-arm Guided Surgery

Supervisor(s): Anja Henner and Anneli Holmström

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2013

Number of pages: 55 + 3 appendices

The background of this study is the long-running cooperation with Oulu University of Applied Sciences and Oulu University Hospital. The cooperation raised a thought of measuring scattered radiation during O-arm guided surgery on the central surgery ward in Oulu University Hospital. The O-arm is quite a new device so there are not many studies regarding radiation exposure to the medical staff caused by O-arm use.

The aim of the study was to describe scattered radiation in the operation room and its immediate vicinity and to describe radiation exposure to the medical staff during O-arm use.

This study used a combination of quantitative and qualitative methods for data collection. Radiation doses and radiation dose rates were measured during O-arm guided back surgeries. Doses were measured with DoseAware Dosimeters. The surgeries were also observed behind the operation room window during the O-arm use.

The study showed that the biggest dose rates and radiation doses were just behind the operation room window, behind the door of the instruments cleaning room and in the immediate vicinity of the O-arm. The radiation dose to the person using the O-arm is quite small if the person is standing behind the control panel of the O-arm and behind a protective shield.

It is justified to continue the practice that the operating room staff leaves the operating room during the O-arm use. People are best protected behind concrete wall or far enough from the operation room. The personnel working in the instruments cleaning room should be informed about the O-arm use.

The results of this study can be used in the radiation protection training of the operating room staff.

Keywords: radiation dose, dose rate, dosimeters, operation room, radiation protection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LEIKKAUSSALISSA SÄTEILYN KÄYTTÖÖN OSALLISTUVAN HENKILÖSTÖN SÄTEILYSUOJELUKOULUTUS.....	9
2.1	Kansainväliset säteilysuojeluohjeistukset.....	9
2.2	Terveystieteiden säteilysuojelukoulutuksen vaatimukset Suomessa	10
3	O-KAARI JA SEN KÄYTTÖ LEIKKAUSSALISSA	13
3.1	Liikuteltava röntgenkuvauslaite, O-kaari	13
3.2	O-kaaren käyttö leikkaussalissa.....	14
3.3	O-kaariavusteisten leikkausten säteilyannokset.....	15
4	TYÖNTEKIJÖIDEN SÄTEILYALTISTUKSEN MITTAAMINEN	17
4.1	Säteilyn mittaamiseen käytettävät laitteet	17
4.2	Työntekijöiden annostarkkailuun käytettävät mittarit.....	18
4.3	DoseAware-laitteisto henkilökunnan säteilyaltistuksen seurannassa.....	19
4.4	Annostarkkailussa käytettävät suureet.....	20
5	TUTKIMUSONGELMAT.....	25
6	TUTKIMUSMETODOLOGIA	26
7	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	27
7.1	Aineiston keruu	29
7.1.1	Sironneen säteilyn mittaaminen DoseAware-laitteistolla.....	29
7.1.2	O-kaaren käytön havainnointi.....	30
7.2	Aineiston analysointi	31
8	TUTKIMUKSEN TULOKSET	33
8.1	Sironneen säteilyn annosnopeudet O-kaariavusteisen leikkauksen aikana	34
8.2	Henkilökunnan säteilyannokset O-kaariavusteisen leikkauksen aikana..	37
9	TULOSTEN YHTEENVETO.....	41
10	POHDINTA	42
10.1	Tulosten tarkastelu	42
10.1.1	O-kaarella kuvaavan henkilön säteilyannos	42
10.1.2	Säteilyannokset leikkaussalin ulkopuolella	44

10.1.3 Henkilökunnan säteilysojautuminen O-kaaren käytön aikana	45
10.2 Tutkimuksen luotettavuus.....	46
10.3 Tutkimuksen tulosten hyödynnettävyys.....	48
10.4 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet.....	49
LÄHTEET	51
LIITE 1	56
LIITE 2	58
LIITE 3	77

1 JOHDANTO

Leikkaussalissa tehtävien toimenpiteiden yhteydessä hyödynnetään yleisesti röntgenkuvantamista. Jos työskentelyssä on puutteita säteilysuojelun kannalta, potilaiden ja henkilökunnan saamat säteilyannokset voivat helposti nousta hälyttävän suuriksi. Suomessa leikkaussalissa röntgenkuvantamisen avulla tehtäville toimenpiteille ei ole annettu säteilyannosten vertailutasoja, mutta annoksia seurataan kuitenkin tarkasti. Henkilökunnan toimenpiteiden aikaisia annostietoja seuraamalla ja analysoimalla voidaan havaita mahdollisia puutteita säteilyturvallisessa työskentelyssä. (Pirinen & Tenkanen-Rautakoski, 2011.) Leikkaussalissa kuvantamista hyödyntävissä toimenpiteissä työskentelee eri ammatillisen koulutuksen saaneita henkilöitä. Erityisesti tämän takia henkilökunnan säteilyturvallisuustietämyksen eteen on ponnisteltava, sillä henkilökunnan toiminta vaikuttaa potilaan saamaan säteilyannokseen ja samalla henkilökunnan omaan säteilyannokseen. (Vano 2010, 200.)

Tämän tutkimuksen taustalla on Oulun seudun ammattikorkeakoulun (OAMK) Sosiaali- ja terveystieteiden yksikön radiografian ja sädehoidon koulutusohjelman ja Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) pitkäaikainen yhteistyö. Yhteistyöhön on kuulunut muun muassa molemmin puolinen konsultaatio leikkaussalissa käytettävien röntgenlaitteiden osalta. Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma on hankkinut DoseAware-järjestelmän, jolla voidaan seurata reaaliajassa henkilökunnan säteilyannoksia läpivalaisutoimenpiteiden aikana. Järjestelmän hyödynnettävyyttä mietittäessä heräsi ajatus tehdä opinnäytetöitä, joissa tehdään mittauksia DoseAware-järjestelmällä OYSin läpivalaisua käyttävissä yksiköissä. Yhdeksi tutkimuskohteeksi ehdotettiin keskusleikkausosastoa ja siellä O-kaariavusteisia leikkauksia. OYSissa on käytössä Suomen ainoa O-kaari.

O-kaariavusteiset leikkaukset ovat otollinen tutkimuskohde, koska O-kaaren käyttö ei ole vielä kovin yleistä ja siksi toimenpiteissä henkilökunnalle aiheutuvista säteilyannoksista ei ole paljon julkaistua tietoa. O-kaaren monipuolisten käyttömahdollisuuksien johdosta tutkimustulokset ovat olleet myös jokseenkin

ristiriitaisia esimerkiksi verrattaessa säteilyannoksia C-kaaren käyttöön. O-kaaren käytöstä tarvitaankin vielä tutkimuksia arvioitaessa käytön hyöty–haittasuhdetta (Lin, Park, Whang, An & Phillips 2008, 213).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla henkilökunnalle aiheutuvia säteilyannoksia ja säteilyn siroamista O-kaariavusteisten leikkausten aikana Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosastolla. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää henkilökunnan O-kaaren käyttöön liittyvää säteilysuojelua sekä säteilyn käytön turvallisuuskulttuuria OYSin keskusleikkausosastolla.

Säteilyannosten reaaliaikainen seuranta ja tallennus DoseAware-laitteistolla tuo O-kaaren käyttöön liittyvää mielenkiintoista uutta tietoa henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimuksella saadaan säteilyannostietoja, jollaisia käytössä olevilla henkilökohtaisilla dosimetreilla tai ryhmädosimetreilla ei ole mahdollista saada. Tällaista tietoa on muun muassa henkilöön kohdistuva annosnopeus tietyllä hetkellä ja leikkauskohtainen säteilyannos. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi leikkaussalihenkilökunnan säteilysuojelukoulutuksessa.

2 LEIKKAUSSALISSA SÄTEILYN KÄYTTÖÖN OSALLISTUVAN HENKILÖSTÖN SÄTEILYSUOJELUKOULUTUS

2.1 Kansainväliset säteilysuojeluohjeistukset

Vuoden 2000 ICRP:n (International Commission on Radiological Protection) julkaisussa 85 "Avoidance on Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures" kuvailtiin säteilysuojelun ja toimenpideradiologian yleiset suositukset. Koska säteilyn käyttö erilaisten lääketieteellisten toimenpiteiden yhteydessä on lisääntynyt, ICRP painotti muun muassa säteilysuojelukoulutuksen tärkeyttä kaikille toimenpiteisiin osallistuville. ICRP on antanut säteilysuojelukoulutuksesta useita suosituksia, joista viimeisin on julkaisu 113 "Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures" vuodelta 2009. ICRP korostaa myös säteilysuojelukoulutuksen laatua ja kouluttajan pätevyyttä sekä palautteen keräämistä koulutuksista sen oikeanlaisen sisällön ja korkean tason takaamiseksi. Ennen kaikkea säteilysuojelukoulutuksen tulisi olla käytännönläheistä ja käsitellä asioita, joita henkilöstö tekee työssään päivittäin. (Vano 2010, 200–202.)

Maailman terveysjärjestö WHO (The World Health Organization) on edistänyt säteilysuojelua toimenpideradiologiassa. Tärkeimmässä julkaisussaan "Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology" vuonna 2000 annettiin suosituksia muun muassa säteilysuojeluun liittyvästä koulutuksesta. Julkaisu oli ensimmäinen, jossa kuvailtiin koulutuksen eri vaatimustasoja eri aihealueista sekä eri ammattiryhmille suunnattuna. Myös Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA (International Atomic Energy Agency) on tehnyt merkittäviä toimia tuottaakseen säteilysuojelukoulutusmateriaalia toimenpideradiologiaan ja edistääkseen säteilysuojelukurssien järjestämistä maailmanlaajuisesti. Nämä toimet ovat olleet osa hanketta "International Action Plan on The Radiological Protection of Patients". (Vano 2010, 201–202.)

Euroopan tasolla Euroopan neuvoston direktiivissä ”97/43/Euratom on Medical Exposures” käsitellään muun muassa toimenpideradiologiaa. Neuvosto painottaa, että jäsenvaltioiden tulisi varmistaa, että säteilyn käyttöön osallistuvalla henkilöstöllä on riittävä teoreettinen ja käytännön tason osaaminen säteilysuojelussa. Tämän varmistamiseksi jäsenvaltioiden tulisi järjestää asianmukaista koulutusta, josta saisi todistuksen. Euroopan komissio on luonut ohjeet, joilla helpotetaan Euroopan Unionin jäsenmaiden direktiivin noudattamista. Yksi näistä ohjeista on ”Guidelines for Education and Training in Radiation Protection for Medical Exposures. Radiation Protection 116”, joka on julkaistu vuonna 2000. (Vano 2010, 201.)

2.2 Terveysthuollon säteilysuojelukoulutuksen vaatimukset Suomessa

Terveysthuollon henkilöstön säteilyn käyttöön liittyvistä koulutus- ja pätevyysvaatimuksista säädetään säteilyn lääketieteellisestä käytöstä annetussa Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 423/2000. Säteilyturvakeskus vahvistaa säteilylain nojalla säteilyn käyttöorganisaatioon kuuluvien henkilöiden pätevyysvaatimukset ja arvioi niiden täyttymistä. Vaatimukset säteilyn käyttöorganisaatioon kuuluvien henkilöiden pätevydestä ja säteilysuojelukoulutuksesta annetaan ohjeessa ”Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja säteilysuojelukoulutus ST 1.8”. Terveysthuollon säteilyn käyttöön osallistuvan henkilöstön säteilysuojelukoulutuksen sekä täydennyskoulutuksen vaatimuksia, sisältöä ja määrää koskevat tavoitteet on esitetty ohjeessa Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa ST 1.7. Ohjeen uusin päivitetty versio astui voimaan 1.2.2013. (Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa 2012, 3–4.)

Terveysthuollossa säteilyn käytön toiminnan harjoittaja on vastuussa siitä, että säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivilla ja muilla säteilyn käyttöön osallistuvilla työntekijöillä on vaadittava pätevyys ja tarvittava säteilysuojelukoulutus. Ohjeistuksella pyritään varmistamaan, että ionisoivan säteilyn käyttöön osallistuva terveydenhuollon henkilöstö saa tarvittavan säteilysuojelukoulutuksen omansa, potilaiden sekä muiden henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi kaikissa säteilyn lääketieteellisen käytön vaiheissa. Säteilyn käyttöön osallistuvien tervey-

denhuollon ammattilaisten tulee saada säteilysuojelukoulutusta perus- ja jatkokoulutuksessaan, säännöllisesti täydennyskoulutuksena työssäoloaikanaan, käyttökoulutuksena uusia säteilylaitteita käyttöön otettaessa sekä uusia tutkimus- ja hoitomenetelmiä käyttöön otettaessa. Terveysthuollon henkilöstön säteilysuojelukoulutuksessa tulee käydä läpi säteilyfysiikan perusteet, säteilybiologian perusteet, säteilysuojelusäänöstö, säteilyturvallisuus työpaikalla ja säteilyn käyttö lääketieteessä. (Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa 2012, 3–4.)

Jos ST 1.7 (2012) ohjeessa esitetty säteilysuojelukoulutus ei ole sisältynyt säteilytyötä tekevän työntekijän peruskoulutukseen, toiminnan harjoittajan vastuulla on huolehtia siitä, että työntekijä saa tarvittavan säteilysuojelukoulutuksen ennen työn aloittamista. Toiminnan harjoittajan on tässä tapauksessa arvioitava työntekijän osaaminen ja tehtävä suunnitelma tarvittavasta säteilysuojelukoulutuksesta. Annettava koulutus on dokumentoitava. (Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa 2012, 4.)

Säteilysuojelun täydennyskoulutuksella huolehditaan, että säteilysuojeluun liittyvät tiedot ja taidot pidetään ajan tasalla. Täydennyskoulutuksessa paneudutaan erityisesti uusiin tutkimus- ja hoitomenetelmiin. Koulutukseen tulee sisältyä olennaisten säteilysuojeluperiaatteiden kertaus sekä painotettava tehtäväkohtaisia säteilyturvallisuuteen liittyviä erityispiirteitä. Koulutuksen tulee sisältää myös seuraavat asiat:

- kyseisellä säteilyn käyttöalalla tapahtuneet muutokset
- oikeutusarviointi ja optimointi uusissa tutkimus- ja hoitokäytännöissä sekä uusia radiologisia laitteita käytettäessä
- säteilylainsäädännön ja suositusten muutokset
- säteilylle altistavista tutkimuksista ja toimenpiteistä aiheutuvan säteilyaltistuksen ja säteilysuojelutietojen päivitys
- uusin tietämys säteilyn vaikutuksista. (Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa 2012, 5.)

Säteilysuojelukoulutuksen ja säännöllisen täydennyskoulutuksen lisäksi säteilylaitteen käyttäjän on perehdytettävä toimenpidekohtaisesti säteilyturvalliseen työskentelyyn ja säteilylaitteen optimaaliseen käyttöön. Tämä koskee erityisesti

muun muassa henkilöstöä, joka työskentelee toimenpideradiologiassa. Olenainen osa perehdytystä on laitetoimittajan antama käyttökoulutus, jossa opastetaan laitteen optimaaliseen ja säteilyturvalliseen käyttöön. Myös uusien tutkimus- ja hoitomenetelmiä käyttöönotossa sekä ohjelmistomuutosten tai muiden merkittävien muutosten jälkeen henkilöstölle on järjestettävä tarvittava säteily-suojelun täydennyskoulutus. (Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa 2012, 5–6.)

3 O-KAARI JA SEN KÄYTTÖ LEIKKAUSSALISSA

3.1 Liikuteltava röntgenkuvauslaite, O-kaari

O-kaari on kirurgisissa toimenpiteissä käytettävä liikuteltava kuvantamislaitte. Sen kanturiosa on O-kirjaimen muotoinen ja se voidaan avata, kun potilasta asetellaan kuvausta varten. Röntgenputki ja detektori ovat kanturin sisällä, jolloin putken suuntaa voidaan muuttaa ilman O-kaaren asennon muutosta. O-kaarella pystytään kuvaamaan 360 astetta potilaan ympäriltä ja sillä saadaan kaksi- ja kolmiulotteista kuvaa. O-kaari on ikään kuin yhdistelmä läpivalaisuun käytettävästä C-kaaresta ja liikuteltavasta tietokonetomografialaitteesta. Laitte on hyödyllinen erityisesti traumojen, selkärangan, ja ortopedisten leikkausten yhteydessä. O-kaareen kuuluu erillinen liikuteltava näyttöyksikkö, jossa kuvia voidaan tarkastella ja käsitellä leikkauksen aikana. O-kaareen voidaan yhdistää erillinen navigointijärjestelmä, jonka avulla kohteiden paikantaminen on helppoa ja näin voidaan tehdä vähemmän invasiivisia toimenpiteitä. Samalla voidaan vähentää tarvittavan läpivalaisuun määrää. (Medtronic 2012a, hakupäivä 29.4.2012.)

O-kaareessa on digitaalinen detektori, jonka matriisi on amorfisesta piistä. Laitteella saadaan kaksiulotteista reaaliaikaista läpivalaisukuvaa ja kolmiulotteisia leikekuvia. Läpivalaisu on pulsattua, taajuudella 30 kertaa sekunnissa. O-kaaren voi asettaa myös ennalta määrättyjä asentoja, jolloin läpivalaisukuvaa saadaan useasta tasosta referenssipisteen nähden automaattisilla siirroilla ilman paikannuskuvausta. Kolmiulotteista kuvaa O-kaarella saadaan 15 cm korkeasta ja 20 cm halkaisijaltaan olevasta sylinteristä. 3D-kuvaus kestää 13–26 sekuntia kuvanlaadun mukaan. Saman verran aikaa kuluu myös kuvanoton jälkeen kuvan rekonstruktioon. Rekonstruktioita saadaan aksiaali-, sagittaali- ja koronaalitasossa. (Medtronic 2012b, hakupäivä 6.5.2012.)

O-kaareen liitettävän navigointijärjestelmän avulla leikkaava kirurgi pystyy paikantamaan leikkausinstrumentit suhteessa potilaan anatomiaan. Leikkausten

aikaisten kuvien perusteella määritellään automaattisesti referenssipisteet. Näin preoperatiivisia CT- tai MRI-kuvia ei tarvitse ottaa navigoinnin suunnittelua varten. Leikkausinstrumentit näkyvät navigointiohjelmiston avulla leikkauksessa otettujen rekonstruoitujen kuvien päällä, jolloin kirurgi voi suunnitella esimerkiksi fiksaatoruuvien laittoa. O-kaareen yhdistettävä navigointijärjestelmä mahdollistaa esimerkiksi kuvaohjatut selkäleikkaukset. (Lin, Park, Whang, An & Phillips 2008, 211; Medtronic 2012c, hakupäivä 6.5.2012.)

O-kaaren tärkeimmät hyödyt C-kaareen verrattuna ovat kolmiulotteiset kuvat ja kuvarekonstruktiot, suurempi kuvausalue sekä kuvaus ilman uudelleen asettelua. O-kaaren avulla voidaan ottaa myös postoperatiiviset tomografiakuvat leikkaussalissa esimerkiksi selkäleikkauksen yhteydessä ennen leikkaushaavan sulkemista. Tämä pienentää implanttien aiheuttamien komplikaatioiden riskiä ja vähentää uusintaleikkauksien tarvetta. Potilaan säteilyannokset ovat 40–60% pienemmät normaaliin CT-kuvaukseen verrattuna. (Lin, Park, Whang, An & Phillips 2008, 209, 211–212.)

3.2 O-kaaren käyttö leikkaussalissa

O-kaarta käytetään ortopedisten ja neurokirurgisten leikkausten yhteydessä. Yleisimmin potilaasta otetaan kolmiulotteisia kuvia, joiden avulla kirurginen toimenpide tehdään navigointiohjatusti. Oulun yliopistollisessa sairaalassa on Suomen ainoa O-kaari. Sitä hyödynnetään yleensä selkä-, lantio-, ja nilkkaleikkauksissa sekä aivoihin asennettävien syväelektronien laitossa. Oulussa tehdään vuodessa noin 250 leikkausta, joissa hyödynnetään O-kaarta. 80 % näistä leikkauksista on selän fiksaatioita. Leikkaussalissa voidaan ottaa myös postoperatiiviset kuvat, jotka siirtyvät sairaalan kuva-arkistoon. Näin potilasta ei tarvitse erikseen kuvata leikkauksen jälkeen röntgenissä. (Katisko 2010, 26–28; Katisko 2.4.2012, keskustelu.)

O-kaaren aiheuttama sironneen määrä on noin 2/3 normaalin CT-laitteen aiheuttamasta sironnasta. 3D-kuvauksessa sironneen säteilyn määrä on moninkertainen perinteisen C-kaaren läpivalaisukuvauksen sironneen säteilyn määrään

verrattuna. O-kaaren aiheuttama säteilyjakauma on perhosen muotoinen, jolloin suurimmat annokset ovat O-kaaren aukon molemmin puolin. Paras paikka suojautua sironneelta säteilyltä on laitteen säätöyksikön takana. O-kaaren aiheuttamasta isommasta säteilyannoksesta huolimatta henkilökunnan säteilyannokset ovat kuitenkin pienemmät kuin perinteisestä läpivalaisua käytettäessä. Tämän on mahdollistanut O-kaaren käyttötapa. Säteilyn käytön ajaksi henkilökunta pääsääntöisesti poistuu leikkaussalista tai menee säteilysuojaseinien taakse. Toistuvien läpivalaisukontrollikuvien otosta voidaan luopua esimerkiksi käyttämällä navigaatiojärjestelmää. 3D-kuvauksen aikana leikkaussalissa on vain O-kaarta käyttävä henkilö, joka on asianmukaisesti suojautunut. Leikkausalueen paikannuksen aikana salissa voi olla laitetta käyttävän henkilön lisäksi myös kirurgi. Kun kuvauksen ajaksi poistutaan leikkaussalista säteilyn ulottumattomiin, voidaan luopua painavista päälle puettavista säteilysuojista. Tämä parantaa huomattavasti työskentelyergonomiaa. (Katisko 2010, 26–28; Katisko 2.4.2012, keskustelu.)

Tyypilliseen leikkaukseen osallistuvaan tiimiin kuuluu yksi tai useampi kirurgi, anestesia lääkäri ja -sairaanhoitaja, sekä kaksi leikkaussairaanhoitajaa, joista toinen on instrumentoiva hoitaja ja toinen valvova hoitaja. O-kaarta leikkauksissa käyttää lääkintävahtimestari. Leikkausta valmisteltaessa O-kaari on auki, jolloin sen kanturiosa on C-kirjaimen muotoinen ja laite voidaan asettaa leikkaukspöydän päälle. Laite suojataan steriileillä muoveilla ja sen kanturi voidaan sulkea. Leikkauksen aikana kirurgi voi käsitellä otettuja kuvia, suunnitella ja navigoida leikkausta O-kaaren liikuteltavalla näyttöyksiköllä. Kun O-kaarta ei käytetä, se voidaan laittaa "Park"-asentoon, jolloin se on kauempana leikkausalueesta. (Lin ym. 2008, 212; Sivonen 2.4.2012, keskustelu.)

3.3 O-kaariavusteisten leikkausten säteilyannokset

Park ym. tutkivat C-kaaren ja O-kaaren läpivalaisukäytön sironneen säteilyn määrää simuloitussa tilanteessa. Tutkimuksessa käytettiin C-kaaren "Thorax"-kuvausarvoja (80 kVp, 4.68 mA) ja O-kaaren "Chest"-kuvausarvoja (80 kVp, 10.2 mA). O-kaaren aiheuttamat sironneen säteilyn arvot laitteen lähellä seiso-

valle henkilölle olivat eri kehon osille kauttaaltaan isommat kuin C-kaaren aiheuttamat. (Park, Lee, Lee, Min, Kim, Jeon, Huh & Lee 2012, 432–436.) Weir ym. tutkimuksen mukaan O-kaaren läpivalaisun sironneen säteilyn määrä on samansuuruinen kuin C-kaaren (Weir, Zhang, Fajardo, Hsiung, & Ritenour 2008, hakupäivä 25.5.2012).

Toisaalta on näyttöä myös päinvastaisista tuloksista oikeiden leikkausten aikana tehdyissä mittauksissa. Foley ym. vertasivat tutkimuksessaan C-kaaren ja O-kaaren avulla tehtävien lannerangan fiksaatioleikkausten läpivalaisuaikoja ja henkilökunnan säteilyannoksia. Tutkimusten tulosten mukaan käyttämällä O-kaarta läpivalaisuun lannerangan selkäleikkauksissa voidaan päästä lyhyempiin kuvausaikoihin kuin perinteisillä C-kaarilla. Myös henkilökunnan säteilyannokset olivat pienemmät O-kaarta käytettäessä, mutta tulokset eivät saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä. (Foley, Park, Smith, Vaccaro, Solomito, Papadopoulos & Yuan 2006, hakupäivä 24.5.2012.)

Myös O-kaaren 3D-kuvauksen henkilökunnalle aiheuttamaa säteilyannosta on tutkittu. Weir ym. (2008, hakupäivä 25.5.2012) mukaan O-kaaren 3D-kuvauksen sironneen säteilyn määrä on vastaava kuin 64-leikkeisen CT-laitteen. Abdullah ym. tutkivat O-kaaren 3D-kuvausta käytettäessä kirurgin saamia säteilyannoksia lantion ja rintarangan fuusioleikkauksissa. Keskimääräiset säteilyannokset rinnalla lyijyessun päällä olivat $44,22 \pm 17,4 \mu\text{Rem}$ (17,71 - 70,76 μRem) eli $0,4422 \pm 0,174 \mu\text{Sv}$ (0,1771 – 0,7076 μSv). Kirurgin etäisyys O-kaaresta oli $4,56 \pm 0,32 \text{ m}$ ja säteilyaltistuksen pituus oli $19,6 \pm 5,7 \text{ s}$ (8.05 s - 28.7 s). (Abdullah, Bishop, Lubelski, Steinmetz, Benzel, & Mroz 2012, abstrakti.)

O-kaaren erilaisten käyttötapojen aiheuttamaa henkilökunnan säteilyaltistusta on tutkittu jonkin verran ja tutkimustulokset ovat olleet osittain ristiriitaisia. Vielä tarvitaan siis tutkimuksia, kliinisiä kokeita ja taloudellisia arviointeja määriteltäessä O-kaaren käytön hyöty–haitta-suhdetta ja kustannustehokkuutta. (Lin ym. 2008, 212–213.)

4 TYÖNTEKIJÖIDEN SÄTEILYALTISTUKSEN MITTAAMINEN

4.1 Säteilyn mittaamiseen käytettävät laitteet

Säteilyn mittaaminen perustuu säteilyn ja aineen vuorovaikutuksiin, joissa säteily menettää energiaansa ionisoimalla ja virittämällä väliaineen atomeja sekä tuottamalla lämpöä. Väliaine voi olla kiinteää ainetta, nestettä tai kaasua. Oleellista on, että väliaineessa tapahtuu muutoksia, jotka voidaan havaita. Signaalinkäsittelyn avulla havainnot muutetaan sellaisiin muotoihin, joita voidaan kerätä, laskea ja lajitella. (Klemola 2002, 116.)

Yksinkertaisimmillaan säteilyilmaisin on kaasun täyttämä tila kahden elektrodin välisessä sähkökentässä. Ionisoivan säteilyn osuessa tilaan syntyy ionipareja, jotka kerätään elektrodeille. Ionisaatioiden aiheuttaman virran perusteella voidaan määrittää säteilytys tai absorboitunut annos. Tällaisia kaasutäytteisiä ilmaisimia ovat ionisaatiokammio, verrannollisuuslaskuri ja geiger-putki. Ionisaatiokammio sopii hyvin monipuolisesti röntgen- ja gammasäteilyn mittaamiseen. Verrannollisuuslaskuria käytetään yleensä pintakontaminaation mittaamiseen alfa- ja beetasäteilylle, mutta raskaampia jalokaasuja täytekaasuna käytettäessä ilmaisimella voi mitata myös matalaenergistä fotonisäteilyä. Neutroneja absorboivaa kaasua käytettäessä verrannollisuuslaskuri soveltuu myös neutronisäteilyn mittaamiseen. Geiger-putki on vanhin ja yleisimmin käytetty säteily-suojelumittari. (Klemola 2002, 116–118, 120.)

Tuokeilmaisimissa säteilyn aiheuttaman viritystilan purkautuessa syntyy näkyvää valoa tai ultraviolettifotoneja, jotka rekisteröidään herkällä valonmonistinputkella ja muutetaan sähkövirraksi. Tuikeaine voi olla orgaanista kiinteää ainetta, nestettä tai kaasua. Tuikeaineena voidaan käyttää myös epäorgaanisia jalokaasuja tai kiteitä. Yhdistämällä eri tuikeaineita kerroksittain samaan ilmaisimeen voidaan mitata ja erotella eri säteilylajeja, esimerkiksi alfa-, beeta- ja gammasäteilyä. (Klemola 2002, 122–123.)

Kiinteää ainetta sisältävissä ilmaisimissa hyödynnetään yleensä puolijohdemateriaaleja. Puolijohdeilmaisimen toimintaperiaate on samanlainen kuin ionisaatiokammion, mutta säteilyn osuessa kiinteään aineeseen syntyy elektroniaukko-pareja ionien sijaan. Puolijohdeilmaisimien on monta tuhatta kertaa herkempi kuin ionisaatiokammio. Ilmaisimissa käytetyimpiä puolijohteita ovat pii ja germanium, mutta myös erilaisia yhdistelmämateriaaleja on kehitetty. Puolijohdeilmaisimia käytetään yleensä spektrometrisissä mittauksissa. (Klemola 2002, 126, 128.)

Vanhin säteilynlmaisimena on valokuvausfilmi, jonka toiminta ilmaisimena perustuu siihen, että ionisoiva säteily aiheuttaa valoherkkään emulsioon mustuman. Mustuman määrä on verrannollinen säteilyannokseen. Filmiä käytetään erityisesti henkilöannosmittareiden ilmaisimena ja autoradiografiassa. Myös kuvantamislevyä voidaan käyttää joissain tapauksissa säteilynlmaisimena. Se on käyttökelpoinen erityisesti pienenaktiivisten näytteiden autoradiografiassa. (Klemola 2002, 126, 131, 133.)

4.2 Työntekijöiden annostarkkailuun käytettävät mittarit

Ionisoivalle säteilylle työssään altistuvan työntekijän säteilyannoksia mitataan henkilökohtaisella annosmittarilla eli henkilödosisimetrillä. Lisäksi käytössä on dosimetreja, joita käytetään käsien, sormien ja silmien säteilyannosten mittaamiseen sekä erilaisia mittausten menetelmiä työolojen tarkkailua varten. Säteilyannosten mittaamiseen käytetään yleensä termoloisteannosmittaria (TL-dosimetri, TLD). (Doseco 2012a, hakupäivä 30.9.2012.) Termoloistedosimetrin keräämä kumulatiivinen annostieto luetaan lukulaitteella jälkikäteen. TL-dosimetriä voidaan käyttää uudelleen, kun se luennan yhteydessä tyhjennetään. (Doseco 2012b, hakupäivä 30.9.2012.) Käytössä on myös DIS-dosimetreja, joiden keräämät annokset voidaan lukea erillisellä lukulaitteella koska tahansa. Luenta ei tyhjennä dosimetrin lukemia. (Doseco 2012c, hakupäivä 30.9.2012.) Suomessa säteilytyöntekijöiden annostietojen keräämisen ja dosimetrien luennan hoitaa Säteilyturvakeskuksen hyväksymänä annosmittauspalvelu Doseco. Säteilytyön-

tekijöiden annosrekisteriä ylläpitää Säteilyturvakeskus. (Doseco 2012d, hakupäivä 30.9.2012.)

Termoloistedosimetri (thermoluminescence dosimeter) on passiivinen säteilyilmäisin, jonka keräämä annos luetaan lukulaitteella jälkikäteen. Sen toiminta perustuu siihen, että säteilyn osuessa dosimetrissa olevaan kiteiseen aineeseen osa absorboituneesta energiasta varastoituu metastabiileihin energiatiloihin ja vapautuu myöhemmin kuumennettaessa eli luennan aikana. Kidettä kuumennettaessa osa vapautuvasta energiasta emittoituu valona, joka voidaan rekisteröidä. Valon intensiteetti on verrannollinen absorboituneeseen annokseen. Kidettä voidaan käyttää uudelleen, kun viritystilat on tyhjennetty kumentamalla. (Klemola 2002, 132–133.)

DIS-dosimetrin (direct ion storage) toiminta perustuu puolijohdehilaan, jonka muistiin on tallennettu sähkövaraus. Hila on muovilla tai alumiinilla suljetussa pienessä ilmatilassa eli ionisaatiokammiossa. Ionisoivan säteilyn vaikutuksesta materiaalista irtoaa elektroneja, jotka sitoutuvat ilman happimolekyyleihin saaden aikaan ioneja. Ionit kulkeutuvat hilalle ja muuttavat sen sähkövarausta. Dosimetrin luennassa sähkövarausta verrataan alkuperäiseen varaukseen. Säteilyannos saadaan suoraan varausten erotuksesta. DIS-dosimetrissä on useita mittakammioita ja jokaisella kammionalla on oma mittausalue ja -kapasiteetti. Kammion täytyessä se täytyy tyhjentää eli niin sanotusti kovanollata. (Klemola 2002, 131–132; Doseco 2012c, hakupäivä 30.9.2012.)

4.3 DoseAware-laitteisto henkilökunnan säteilyaltistuksen seurannassa

Monimutkaisten leikkausten yhteydessä käytetään yhä useammin röntgensäteilyä toimenpiteiden helpottamiseksi. Tämä on lisännyt huolta henkilökunnan säteilyannoksien kasvamisesta. Philips on kehittänyt vastikään uuden DoseAware-laitteiston henkilökunnan säteilyannosten mittaukseen. Laitteistolla pystytään havainnollistamaan henkilökunnan säteilyannoksia reaaliajassa, kun taas perinteisen termoloistedosimetrin (TLD) keräämät arvot kertovat jonkin aikajakson kumulatiivisen annoksen. DoseAware-laitteisto ei kuitenkaan korvaa lakisäätei-

siä TLD-dosimetreja. DoseAware-järjestelmä koostuu henkilökohtaisista annosmittareista (Personal Dose Meter, PDM) ja BaseStationista, johon henkilökunnan annostiedot siirtyvät langattomasti sekä DoseView- ja DoseManager-ohjelmistoista, joilla annostiedot voidaan siirtää tietokoneelle analysoitavaksi. (Philips 2012, hakupäivä 9.5.2012.)

DoseAware-järjestelmällä mitattujen ja esitettyjen annostietojen perusteella henkilökunta voi hallita paremmin omaa säteilyaltistustaan. Esimerkiksi leikkauksalissa olevan BaseStationin näytöltä henkilökunta voi seurata leikkauksen aikana omaa reaaliaikaista annosnopeuttaan. Annosnopeudet kuvataan väripalkkeina. Palkin pituus ja väri kertovat annosnopeuden suuruudesta. Vihreä palkki kuvaa annosnopeutta alle 0,2mSv/h, keltainen alle 2mSv/h ja punainen yli 2mSV/h. DoseManager-ohjelmiston avulla henkilökohtaisista annosmittareista tallentuneista aikaleimatuista annostiedoista henkilökunta voi seurata oman säteilyannoksensa kertymistä esimerkiksi erilaisilla kaavioilla. Myös säteilyä käyttävä yksikkö voi tallentaa, raportoida ja analysoida henkilökunnan säteilyannoksia ja ylläpitää turvallista säteilytyöskentelyä. (Philips 2012, hakupäivä 9.5.2012.)

DoseAware-annosmittari on tarkoitettu henkilöannosekvivalentin Hp(10) eli syväannoksen mittaamiseen. Annosmittarissa on pii-sensoridiodi röntgensäteilyn mittaamiseen. Annosmittari sopii sironneen säteilyn mittaamiseen, kun käytettävän säteilyn energia on 33 keV–118 keV. DoseAwaren säteilyannoksen mittausalue on 1 µSv:stä 10 Sv:iin resoluution ollessa 1 µSv. Annoksen mittaus-epätarkkuus on 5 %. (Henner & Manninen 2011, hakupäivä 20.3.2012.)

4.4 Annostarkkailussa käytettävät suureet

Säteilyn energian siirtymistä aineeseen kuvaa absorboitunut annos (D). (Marttila, 2002, 68.) Absorboitunutta annosta on kuitenkin vaikeaa käyttää säteilysuojelutyössä, koska annosten välitön mittaaminen on lähes mahdotonta. (Marttila, 2002, 75.) Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta ICRP on kehittänyt suureita

kuvaamaan säteilyn aiheuttamaa kokonaisriskiä. Nämä suureet ovat elimen tai kudoksen ekvivalenttiannos (H_T) ja efektiivisen annos (E). (Marttila, 2002, 77.)

Elimen ekvivalenttiannos ja efektiivisen annos ovat laskennallisia keskimääräis-suureita, joiden laskentaan sisältyy tilastollisia elementtejä (Marttila, 2002, 69). Elimien tai kudoksen ekvivalenttiannos on siihen absorboituneiden annosten painotettu summa. Efektiivinen annos on säteilylle alttiina olevien elinten tai kudosten painotuskertoimilla painotettujen keskimääräisten ekvivalenttiannosten summa. Ekvivalentti ja efektiivisen annoksen yksikkö on sievert (Sv). Annosnopeus on tietyllä aikavälillä tapahtuva efektiivisen annoksen muutos jaettuna tämän aikavälin pituudella. Annosnopeuden perusyksikkö on sievertiä sekunnissa, sievertiä tunnissa tai vuodessa. ICRP:n suositukset ja niihin perustuvat Suomessa käytössä olevat annosrajoitukset tähtäävät efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen säätelyyn. (Marttila, 2002, 80, 82.) Taulukossa 1 on esitetty Säteilyasetuksen (1512/1991) luvussa 2 säädetyt säteilyaltistuksen enimmäisarvot eli vuosiannosrajat. (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2007, 3.)

TAULUKKO 1. Säteilyaltistuksen enimmäisarvot Suomessa (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2007, 4.)

Rajoituksen kohde	Annosraja, mSv vuodessa		
	Säteilytyötä tekevät työntekijät	16–17-vuotiaat opiskelijat ja harjoittelijat	Väestö
Efektiivinen annos			
▪ keskiarvo viiden vuodenaikana	20	-	-
▪ yhden vuoden aikana	50	6	1
Ekvivalenttiannos			
▪ silmän mykiö	150	50	15
▪ iho	500	150	50
▪ kädet ja jalat*	500	150	- **

*Kämmenet, kämmenselät, sormet, ranteet ja kyynärvarret sekä jalkaterät ja nilkat.
 **Annosrajaa ei ole erikseen säädetty, mutta ihon ekvivalenttiannoksen annosraja koskee myös käsien ja jalkojen ihoa.

Koska efektiivinen annos ja ekvivalenttiannos ovat laskennallisia suureita, niitä ei ole mahdollista mitata välittömästi. Annosrajojen noudattamisen tarkkailuun on käytännöllisempää käyttää suureisiin, jotka ovat mitattavissa ja joista voidaan arvioida riittävän tarkasti säteilykentässä olevan henkilön annos eli esimerkiksi efektiivinen annos tai ihon ekvivalenttiannos. Yleensä pyritään arvioimaan annoksen enimmäisarvo, koska säteilylle herkkiä kudoksia ja elimiä on kaikkialla kehossa. (Marttila, 2002, 82–83.) Yleisesti käytössä olevat menetelmät efektiivisen annoksen arviointiin perustuvat laskelmiin, joissa dosimetrin lukema muutetaan efektiiviseksi annokseksi erilaisia muunnoskertoimia käyttäen. Dosimetrin lukeman ja efektiivisen annoksen suhde riippuu paljon kuvausprojektioista ja röntgenputken jännitteestä sekä käytetyistä henkilökohtaisista suojaimista. (Siiskonen 2007, 48, 50.)

Arvioitaessa niin sanotun kovan säteilyn vaikutusta syvällä kehossa oleviin elimiin käytetään henkilöannosekvivalenttia syvyydellä 10 mm, Hp(10). Arvo ku-

vaa kehon pehmytkudoksen annosekvivalenttia kovalle säteilylle 10 millimetrin syvyydellä tietystä kehon pinnan kohdasta. Lähellä kehon pintaa olevien elinten annosekvivalenttia määritettäessä kovalle tai pehmeällä säteilylle käytetään henkilöannosekvivalenttia syvyydellä 0,07 mm, Hp(0,07). Se on kehon pehmytkudoksen annosekvivalentti pehmeälle säteilylle 0,07 millimetrin syvyydellä tietystä kehon pinnan kohdasta. Silmän henkilöannosekvivalentti Hp(3) määritetään kolmen millimetrin syvyydellä. Henkilöannosekvivalentista Hp(10) käytetään termiä syväannos. Pinta-annos tarkoittaa puolestaan henkilöannosekvivalenttia Hp(0,07). Henkilöannosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv). (Marttila, 2002, 85.)

Henkilöannosekvivalentit Hp(10), Hp(0,07) ja silmän henkilöannosekvivalentti Hp(3) on mahdollista mitata ihon pinnalle asetetulla anturilla, joka peitetään vastaavan paksuisella kerroksella kudosekvivalenttia ainetta. (Marttila, 2002, 85.) Säteilytyöntekijöiden käytössä olevat dosimetrit kalibroidaan mittanormaalilaboratoriossa mittaussuureisiin syväannos Hp(10) ja pinta-annos Hp(0,07). (Doseco 2012a, hakupäivä 30.9.2012.)

Henkilökunnalle ulkoisesta säteilystä aiheutunut annos ilmoitetaan annosrekisteriin edellä mainittuja suureita käyttäen. Laskennallisella menetelmällä määritetty ulkoisesta säteilystä aiheutuva annos on ilmoitettava käyttäen suuretta efektiivinen annos. Annokset on ilmoitettava käyttäen yksikköä millisievert (mSv). Kirjauskynnystä pienemmät annokset kirjataan annosrekisteriin annoksena 0 mSv. Henkilökunnalle ulkoisesta säteilystä aiheutuneen annoksen kirjaamiskynnykset on esitetty Taulukossa 2. Laskennallisella menetelmällä arvioidun ulkoisesta säteilystä aiheutuneen efektiivisen annoksen kirjauskynnys on 0,1 mSv. (Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen 2008, 4.)

Säteilytyöluokkaan A kuuluvilla työntekijöillä tarkkailujakson pituus on enintään yksi kuukausi ja muilla enintään kolme kuukautta. Jos työntekijä on luokiteltu säteilytyöluokkaan A vain sen takia, että hän voi joutua poikkeavassa tapahtumassa alttiiksi säteilylle, voi tarkkailujakso poikkeuksellisesti olla pidempi kuin yksi kuukausi. Työntekijän on siinä tapauksessa käytettävä tarkoitukseen sovel-

tuvaa jatkuvanäyttöistä elektronista annosmittaria tai säteilyhälytintä, jotta poikkeava säteilyaltistus voidaan havaita. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 7.)

TAULUKKO 2. Henkilökunnalle ulkoisesta säteilystä aiheutuneen säteilyannoksen kirjaamiskynnykset (Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen 2008, 4.)

Suure	Kirjauskynnys (mSv)	
	Mittausjakso 1 kk	Mittausjakso 3 kk
Syväännos (fotonisäteily)	0,1	0,3
Syväännos (neutronisäteily)	0,2	0,6
Pinta-annos	2	6
Sormiannos	2	6
Silmäännos	0,6	1,8

5 TUTKIMUSONGELMAT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla henkilökunnalle aiheutuvia säteilyannoksia ja säteilyn siroamista O-kaariavusteisten leikkausten aikana Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosastolla.

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää henkilökunnan säteilysuojelua sekä säteilyn käytön turvallisuuskulttuuria O-kaarta käytettäessä Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosastolla.

Tutkimusongelmat ovat:

- Minkä suuruisia säteilyannoksia henkilökunta saa O-kaariavusteisissa leikkauksissa?
- Minkä suuruisia annosnopeudet ovat eri puolilla leikkaussalia tai heti sen läheisyydessä O-kaariavusteisten leikkausten aikana?

6 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tässä opinnäytetyössä tavoitellaan määrällistä mitattavaa tietoa säteilyannok-
sista O-kaariavusteisten leikkausten aikana, joten tutkimusotteeksi on valittu
kvantitatiivinen tutkimus. Tutkimuksella on myös laadullisia eli kvalitatiivisia
ominaisuuksia, koska tutkimukseen sisältyy havainnointia. Kvantitatiivisessa eli
määrällisessä tutkimuksessa tutkimustieto on numeroina tai tutkija ryhmittelee
laadullisen aineiston numeeriseen muotoon. Tutkija tulkitsee ja selittää tulosten
olennaisen numerotiedon sanallisesti. (ks. Vilka 2007, 14.) Kvalitatiivisen tut-
kimuksen piirteisiin kuuluu, että tutkimuksella pyritään saamaan kokonaisval-
taista tietoa, jota kerätään todellisessa tilanteessa. Kvalitatiivisella tutkimusot-
teella tutkimuksen toteutus on joustavaa ja suunnitelmia voidaan tarvittaessa
muuttaa olosuhteisen mukaisesti. Tutkimuksen kohdejoukko on kuitenkin valittu
tarkoituksenmukaisesti. Tapaukset ovat ainutlaatuisia ja tuloksia käsitellään sen
mukaisesti. (ks. Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 160.)

Tutkimuksen strategiaksi on valikoitunut usean tapauksen tapaustutkimus, jon-
ka avulla kuvaillaan sironneen säteilyn eli primaarikeilan ulkopuolella havaitta-
van säteilyn käyttäytymistä Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosas-
ton O-kaariavusteisissa leikkauksissa. (ks. Hirsjärvi ym. 2007, 130–133.)

Opinnäytetyössä dokumentoidaan säteilyannoksia O-kaaren käytön aikana, jo-
ten tutkimuksen tarkoituksena on kuvailu. Tutkimuksella kuvaillaan leikkauk-
seen osallistuvan henkilökunnan leikkauksen aikaiset säteilyannokset sekä sä-
teilyannokset leikkaussalissa ja heti sen läheisyydessä. Tutkimus on poikittais-
tutkimus, eli se on kohdennettu tiettyyn ajankohtaan ja se voidaan toteuttaa
suhteellisen lyhyessä ajassa. (ks. Hirsjärvi ym. 2007, 133–135, 172–173.)

7 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimusta suunniteltiin yhdessä yliopettaja Anja Hennerin, keskusleikkausosaston sairaalafyysikon Jani Katiskon ja opintokoordinaattori Pirkko Sivosen kanssa. Tutkimuksen kohteeksi rajattiin henkilökunnan O-kaariavusteisten leikkausten aikana saamat säteilyannokset sekä säteilyannokset eri puolilla leikkaussalia ja heti sen läheisyydessä. Tämä tieto on kiinnostavaa, koska keskusleikkausosaston saleja ei ole erikseen säteilysuojattu. Potilaiden säteilyannoksia ei ollut tarkoitus mitata. O-kaarella tehtyjen kuvauksien ja läpivalaisun potilasannoksen näkee suoraan laitteen näytöltä.

Tutkimuksen toteutustavaksi valittiin todellisessa leikkaustilanteessa mittaaminen, koska haluttiin autenttista tietoa O-kaariavusteiseen leikkaukseen osallistuvan henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimuksen toteuttaminen simuloitusti fantomin avulla ei olisi ollut järkevää muun muassa laitteiston ja tilojen saataavuuden kannalta. Tutkimukseen sisältyviä leikkauksia ei rajattu tarkemmin, koska henkilökunnan säteilyannoksia haluttiin tutkia erityyppisissä leikkauksissa. Lisäksi mukaan otettavien leikkausten tiukka rajausta olisi voinut pidentää tarvittavan aineiston keruuaikaa kohtuuttoman pitkäksi.

Tutkimuksen eettiset näkökohdat huomioon ottaen tutkimuksen tekemistä varten pyydettiin lupa Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriltä (PPSHP). Tämän tutkimuksen kohteena oli Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosaston henkilökunta, joten tutkimusluvan myönsi Operatiivisen tulosalueen johtaja Kari Haukipuro. (ks. Uusitalo 2001, 30–32.) Tutkimuksen teolla ei vaikutettu leikkaustoimintaan millään tavalla, eikä tutkimuksen tekeminen aiheuttanut minkäänlaisia turvallisuusriskejä keskusleikkausosaston henkilökunnalle tai potilaille. Tutkimus ei loukannut siihen liittyvää henkilökuntaa eikä potilaita. Tutkimuksessa tavoiteltiin yleispätevää tietoa henkilökunnan säteilyannoksista, eikä tutkimusta varten tarvinnut kerätä henkilökunnan tai potilaiden henkilötietoja.

Tutkimusaineiston keräämiseen käytettiin DoseAware-annosmittausjärjestelmää. Tutkimuksen luotettavuuden ja laitteiston käytön hallinnan takaamiseksi ennen tutkimuksen aloittamista DoseAware-järjestelmään perehdyttiin kirjallisten käyttöohjeiden avulla. Järjestelmää testattiin OAMKin radiografian ja sädehoidon koulutusohjelman röntgenharjoitustiloissa. Harjoitustilassa on käytössä muun muassa liikuteltava C-kaari ja ihmistä mallintava nukke, joiden avulla voitiin simuloida suuntaa antavasti tutkimusoloja. Varsinaisten mittausten esitestaus tehtiin OYSin keskusleikkausosastolla tutkimusjakson ensimmäisen O-kaariavusteisen leikkauksen aikana. Koska esitestaus onnistui suunnitellusti, se sisällytettiin mukaan tutkimukseen. Tutkija testasi havainnointikäytännön ja havainnointilomakkeen ”Perioperatiivisen potilaan hoitotyö ja kuvantaminen” -harjoittelujakson aikana OYSin keskusleikkausosastolla.

Tutkimusaineisto kerättiin Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosastolla ositettuna otantana. Perusjoukkona tutkimuksessa oli OYSin keskusleikkausosaston O-kaariavusteiset leikkaukset. Otanta tehtiin jakamalla perusjoukko osajoukkoihin eli viikon jaksoihin. Näistä valittiin havaintoyksiköt eli leikkaukset kiintiömällä optimaalisesti eli muun muassa huomioon ottaen ositteen koko ja käytettävissä olevat tutkimusresurssit. (ks. Vilkkä, 2007, 54–55.) Tarkoituksena oli kerätä aineistoa mahdollisimman monesta, mutta vähintään viidestä eri leikkauksesta, joten tutkimukseen päätettiin ottaa mukaan kaikki viikon arkipäivinä päiväsaikaan tehtävät O-kaariavusteiset leikkaukset.

Tutkimusaineiston keruumuotona oli systemaattinen mittaaminen DoseAware-mittarilla. Aineistoa kerättiin mittaamisen lisäksi myös systemaattisella havainnoinnilla. DoseAware-mittarilla mittaamalla saatiin kiistatonta numeerista tietoa mitattavasta kohteesta eli primaarikeilan ulkopuolelle sironneesta säteilystä. Havainnoimalla saatiin välitöntä suoraa tietoa yksilöiden tai ryhmän toiminnasta luonnollisessa ympäristössä. Tässä tutkimuksessa tutkija oli ulkopuolinen toimija eikä vaikuttanut leikkauksen kulkuun tai leikkaustiimin toimintaan millään tavalla. (ks. Hirsjärvi ym. 2007, 208–211.)

7.1 Aineiston keruu

Tutkimuksen mittaukset tehtiin viikolla 9 vuonna 2013 Oulun yliopistollisen sairaalan keskusleikkausosastolla. Tarkoituksena oli tutkimuksen otannan mukaan kerätä mahdollisimman paljon aineistoa erilaisista O-kaariavusteisista ortopedisistä leikkauksista sulkematta mitään leikkauksia tutkimuksen ulkopuolelle. Keskusleikkausosastolla tehdään erilaisia O-kaariavusteisia ortopedisiä leikkauksia elektiivisesti sekä tarvittaessa päivystysluontoisesti. Tutkimusjaksolle osuvien leikkausten määrää ei siis voinut ennalta varmasti tietää. Tutkimusjakson aikana tutkija oli paikalla arkipäivinä päiväsaikaan, jolloin leikkaukset pääasiassa tehdään. Leikkausten tarkka ajankohta riippuu monista seikoista muun muassa edeltävistä leikkauksista leikkaussalissa ja leikkaavan lääkärin aikataulusta.

Tutkimusjakson mittaukset tehtiin otannan mukaisesti useassa eri leikkaussalissa, koska O-kaariavusteisia leikkauksia tehdään eri saleissa. DoseAware-mittauslaitteisto oli helppo siirtää tarvittaessa uuteen tutkimuskohteeseen, joten tämä käytäntö oli mahdollista. Tutkimusjakson aikana tehty O-kaariavusteiset leikkaukset sattuvat kaikki olemaan ortopedisiä selkäleikkauksia, jotka ovat yleisimmin tehtäviä O-kaariavusteisia leikkauksia. Tutkimuksen aikana kerättiin aineistoa yhteensä yhdeksästä leikkauksesta. Ensimmäinen tutkimuksen leikkaus oli esitesti, mutta koska mittaus onnistui, se sisällytettiin myös mukaan tutkimukseen. Kaikki leikkausten potilaat olivat normaalikokoisia aikuisia.

7.1.1 Sironneen säteilyn mittaaminen DoseAware-laitteistolla

Leikkausten aikaisen sironneen säteilyn annosnopeuden mittaamiseen käytettiin neljää DoseAware-mittaria. Mittarit erotettiin toisistaan värien perusteella. Käytössä oli myös DoseAware BaseStation annosnopeuksien reaaliaikaiseen seurantaan. BaseStation sijoitettiin leikkaussalin ulkopuolelle niin, ettei leikkaukseen osallistuva henkilökunta nähnyt sitä leikkauksen aikana, mutta tutkimuksen tekijä pystyi seuraamaan näyttöä. Mittauksissa tallennettiin kaikki leik-

kauksen aikainen säteilyn käyttö sisältäen siten kuvausalueen paikannukseen käytettävän läpivalaisun ja varsinaisen 3D-kuvauksen.

Eri mittauskerroilla mittareiden sijoittelu vaihteli. Mittarit kiinnitettiin teipillä mielenkiinnon kohteisiin leikkaussaliin, leikkaussalin ulkopuolelle sekä O-kaarta leikkaussalissa käyttävän lääkintävahtimestarin sädesuojaliivin rintaan. Mittarit sijoitettiin muun muassa leikkaussalin steriilin käytävän puoleisen ikkunan taakse, steriilille käytävälle riippuen O-kaaren sijoittamisesta salissa ja välinehuollon tiloihin leikkaussalin viereen. Näin saatiin mitattua sironneen säteilyn määrää ja sen annosnopeutta leikkaussalissa ja heti sen läheisyydessä.

Etäisyydet O-kaaresta salin ikkunaan ja oviin olivat 3,5–4 metriä ja käytävällä oleviin mittauskohteisiin tätä enemmän. Tarkkaa etäisyyttä ei mitattu leikkauksen aikana, koska se olisi häirinnyt leikkauksen kulkua. O-kaaren paikka määryytyy aina leikkauksen kohteen ja potilaan anatomian mukaan. Lääkintävahtimestari oli säteilyn käytön aikana oman harkintansa mukaisesti sijoittuneena, joten hänen etäisyytensä O-kaareen vaihteli.

7.1.2 O-kaaren käytön havainnointi

Annostietojen mittaamisen lisäksi leikkauksia havainnoitiin steriililtä käytävältä leikkaussalin ikkunan takaa. Havainnoinnin apuna käytettiin havainnointilomaketta (Liite 1). Lomakkeeseen kirjattiin tehtävä leikkaus sekä kaavakuvaan merkittiin O-kaaren asemointi salissa. Havainnoinnin aikana kirjattiin muistiin säteilyn käyttöön osallistuvan henkilökunnan toimintaa säteilyn käytön aikana, päälle puettavien ja liikuteltavien säteilysuojien käyttö, henkilökunnan sijainti O-kaareen nähden ja muut huomioon otettavat tapahtumat. Leikkauksen jälkeen otettiin muistiin tiedot O-kaaren käytetyistä kuvausohjelmista ja -arvoista sekä O-kaaren antamat annostiedot: DAP, CTDI ja DLP. Tutkimuksessa havainnoitavat muuttujat on esitetty Taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Tutkimuksessa käytettävät muuttujat

Muuttuja	Arvot
Henkilön etäisyys O-kaaren nähden	1=Potilaan vieressä 2=Perääntyneenä potilaan vieressä 3=Säätöyksikön takana 4=Mahdollisimman kaukana O-kaaresta 5=Salin ulkopuolella
Henkilö liikuteltavan säteilysuojan takana	1=kyllä, 2=ei
Henkilö kyyryssä säätöyksikön takana	1=kyllä, 2=ei
Kuvausohjelma	1= fluoro, 2=high level fluoro, 3=3D-kuvaus
Kuvausarvot	kV ja mAs
Läpivalaisuaika	s/min
Exposure	mGy
DAP	mGy cm^2
CTDI	mGy
DLP	mGy cm

7.2 Aineiston analysointi

Mittaustulokset purettiin mittareista tietokoneelle DoseAware-järjestelmän DoseManager-ohjelmalla. Seuraavaksi mittauksien tulokset tarkistettiin ja huomioitiin mahdolliset häiriöt mittauksissa. Tallennettuja annostietoja ja säteilyn annosnopeuksia analysoitiin DoseManager-ohjelmalla ja Microsoft Excel 2010 -ohjelmalla. Havainnoimalla kerättyjä sekä leikkauksen jälkeen talteen otettuja tietoja analysoitiin yhdessä DoseAware-mittareilla tallennettujen annostietojen kanssa.

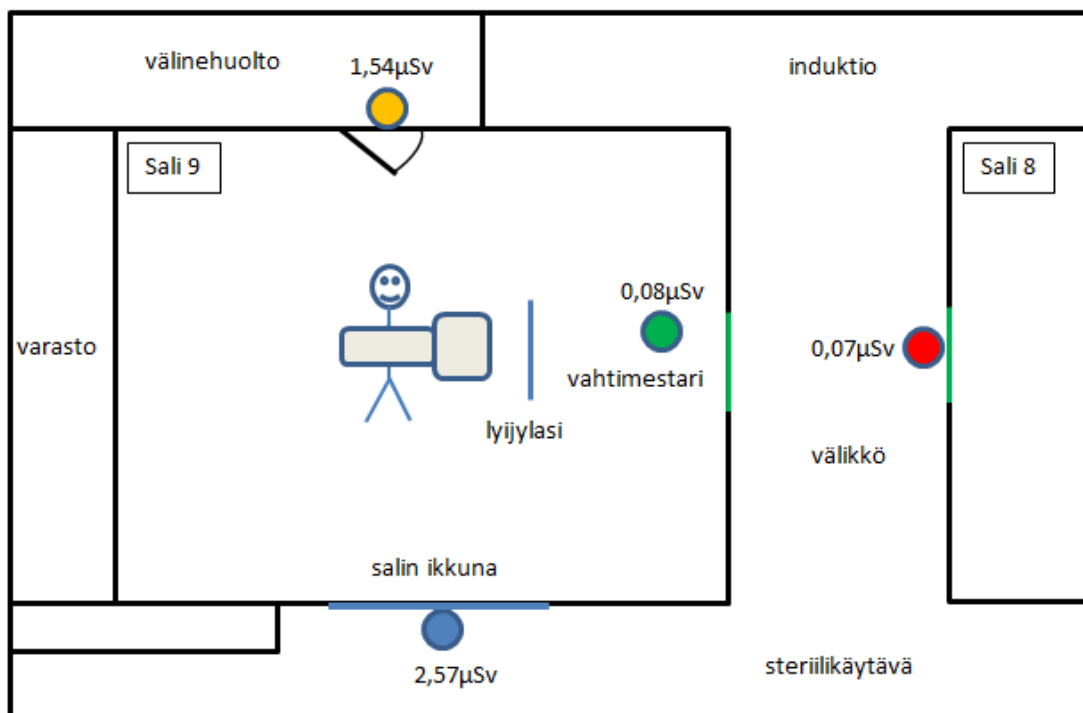
DoseManager-ohjelmalla mittauksien tiedot voidaan esittää erilaisina graafeina sekä tallentaa analysointia varten raakadatanä tekstitiedostoon ja taulukkomuodossa taulukkolaskentaohjelmaan vientiä varten. Raakadatatista laskettiin O-kaaren

käytön aikaiset annokset, koska raakadatassa annostiedot on esitetty Dose-Manager-ohjelmasta saatavasta datasta kaikista tarkimmin. Mittausten annosnopeustiedot analysoitiin yksikössä mSv/h kolmen desimaalin tarkkuudella ja annokset yksikössä μSv kahden desimaalin tarkkuudella.

Tutkimustulokset esitettiin mittarin paikan perusteella tietyn leikkauksen aikana. Tulosten esittämisessä käytettiin apuna kuvioita ja taulukoita. Tutkimustulokset esitettiin niin, että tutkimukseen liittyvät henkilöt pysyivät anonyymeinä.

8 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Kuvioissa 1 on esitetty pohjapiirros esimerkkinä mittaustilanteesta esitestauksessa. Mittareiden paikat ja mitatut säteilyannokset O-kaaren käytöstä eri mittauspaikoissa näkyvät kuviossa. Liitteessä 2 esitetään kuvioina kaikkien mittaus-
ten säteilymittareiden paikat leikkausten aikana sekä mitatut leikkauskohtaiset säteilyannokset. Liitteessä 2 on lisäksi kuvat säteilyn annosnopeuksista O-
kaaren käytön aikana ja tarkemmin 3D-kuvauksen aikaiset annosnopeudet eri mittauspaikoissa. Liitteessä 3 esitetään tutkimuksen O-kaariavusteisten leikkausten kuvausparametrit ja potilaan säteilyannokset.

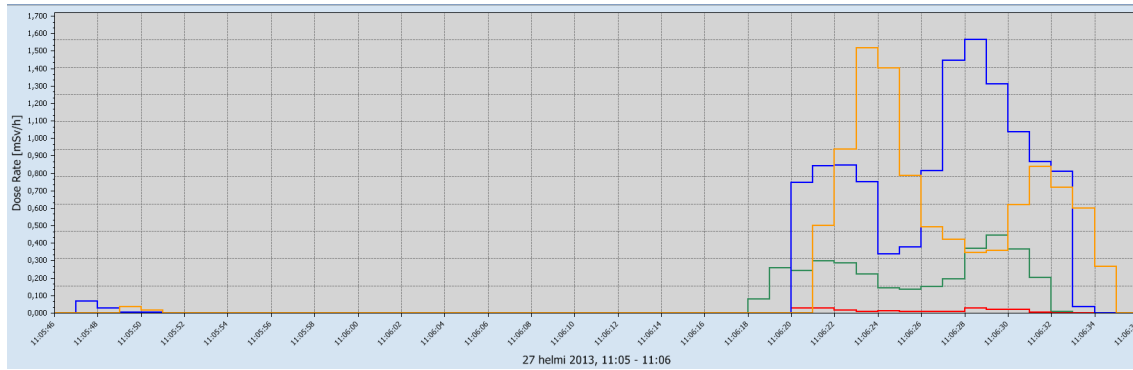


KUVIO 1. Salin 9 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu (värilliset ympyrät) sekä mitattu säteilyannos esitestauksessa

Etäisyydet O-kaaresta salin ikkunaan ja oviin olivat 3,5–4 metriä ja käytävällä oleviin mittauskohteisiin tätä enemmän. Tarkkaa etäisyyttä ei mitattu leikkausten aikana. Lääkintävahtimestari oli säteilyn käytön aikana oman harkintansa mukaisesti sijoittuneena. Leikkaussalissa on leikkauksen aikana erilaisia isoja esineitä muun muassa instrumenttipöytä, anestesiavalvontalaitteet ja O-kaaren navigointilaitteisto, jotka voivat vaikuttaa säteilyn siroamiseen. Salien välikköön avautuu saleista antokaapit, jotka on merkitty pohjapiirrookseen salin seinään vihreällä viivalla. Leikkaussalin ikkuna on noin 150 cm:n korkeudella maasta. Kaikki tutkimuksen leikkaukset olivat ortopedisiä selkäleikkauksia, ja kaikki leikkausten potilaat olivat normaalikokoisia aikuisia.

8.1 Sironneen säteilyn annosnopeudet O-kaariavusteisen leikkauksen aikana

Ortopedisen selkäleikkauksen aikana O-kaarella kuvataan läpivalaisua ja 3D-kuvausta. Tutkimuksen mittaustulosten mukaan 3D-kuvaus aiheuttaa suurimman osan O-kaariavusteisen leikkauksen säteilyannoksesta. O-kaaren läpivalaisukuvauksella tarkistetaan kuvausalueen oikea paikka 3D-kuvausta varten ja sen aiheuttama säteilyannos on murto-osa koko leikkauksen aikaisesta säteilyannoksesta. Kuviossa 2 on esimerkki leikkauksen aikaisista O-kaaren sironneen säteilyn annosnopeuksista eri paikoissa mitattuna ajan funktiona. Vasemmalla olevat pienet piikit ovat läpivalaisun annosnopeuksia ja oikealla olevat ovat 3D-kuvauksen aikaisia annosnopeuksia. 3D-kuvaus kestää halutun kuvanlaadun mukaan 13–26 sekuntia.



KUVIO 2. Esimerkki O-kaaren käytön aikaisista säteilyn annosnopeuksista

O-kaaren 3D-kuvauksen aikaiset annosnopeuden laskennallisesti määritellyt keskiarvot leikkauksittain eri mittauspisteissä esitetään taulukossa 4. Suurimmat annosnopeudet 3D-kuvauksen aikana mitattiin leikkaussalin ikkunassa, O-kaaren lähetyvillä sekä välinehuoltotilojen oven takana. Edellä mainituissa mittauspaikoissa annosnopeuden keskiarvot nousivat paikoin satoihin $\mu\text{Sv/h}$:ssa ja heti leikkaussalin ikkunan takana jopa yli 1 mSv/h:ssa. O-kaarella kuvaavaan vahtimestariin kohdistuva annosnopeus ja annosnopeudet muualla salin ulkopuolella olivat edellä mainittuja paikkoja huomattavasti pienempiä. Liitteessä 2 on esitetty graafina säteilyn annosnopeudet O-kaaren käytön aikana ja tarkempaa graafina 3D-kuvauksen aikaiset annosnopeudet eri mittauspaikoissa.

Taulukko 4. O-kaaren 3D-kuvauksen annosnopeuden keskiarvot eri mittauspisteissä leikkauksittain

Mittaus	Säteilymittareiden paikat ja 3D-kuvauksen annosnopeuden keskiarvot			
	Punainen	Oranssi	Sininen	Vihreä
Esitestaus Sali 9	salien välissä 0,026 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,397 mSv/h	salin ikkunalla 0,544 mSv/h	vahtimestarilla lyijyglasin takana 0,025 mSv/h
Leikkaus 1. Sali 11	salien välissä 0,017 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,302 mSv/h	salin ikkunalla 0,719 mSv/h	lyijyglasissa 0,614 mSv/h
Leikkaus 2. Sali 12	vahtimestarilla lyijyglasin takana 0,015 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,701 mSv/h	salin ikkunalla 0,842 mSv/h	lyijyglasissa 0,227 mSv/h
Leikkaus 3. Sali 9	salien välissä 0,046 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,397 mSv/h	salin ikkunalla 0,073 mSv/h	vahtimestarilla, kyyrässä, ei lyijy- lasia 0,064 mSv/h
Leikkaus 4. Sali 11	salien välissä 0,050 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,589 mSv/h	salin ikkunalla 0,582 mSv/h	vahtimestarilla, ei lyijylasia 0,068 mSv/h
Leikkaus 5. Sali 12	salin ikkunalla vasemmalla 0,632 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,387 mSv/h	salin ikkunalla oikealla 1,306 mSv/h	vahtimestarilla, ei lyijylasia 0,244 mSv/h
Leikkaus 6. Sali 8	salien välissä 0,195 mSv/h	välinehuollon ovessa 0,531 mSv/h	salin 8 kulmalla 0,012 mSv/h	O-kaaren sää- töpöydällä 0,453 mSv/h
Leikkaus 7. Sali 12	käytävällä ikku- nan edessä 0,019 mSv/h	käytävällä kul- man takana 0,000 mSv/h	salin ikkunalla oikealla 1,261 mSv/h	O-kaaren sää- töpöydällä 0,324 mSv/h
Leikkaus 8. Sali 8	käytävällä ikku- nan edessä 0,021 mSv/h	salin 9 kulmalla 0,000 mSv/h	salin 8 kulmalla 0,000 mSv/h	salin ovesa in- duktiossa 0,176 mSv/h

8.2 Henkilökunnan säteilyannokset O-kaariavusteisen leikkauksen aikana

Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksen O-kaariavusteisten leikkausten aikaiset siirron säteilyn annokset eri mittauspisteissä. Annostiedot ovat leikkauksen aikaisen säteilyn käytön kumulatiivisia annoksia sisältäen kuvausalueen paikannukseen käytetyn läpivalaisun ja 3D-kuvauksen. Liitteessä 2 esitetään kuvina kaikkien mittausten säteilymittareiden paikat leikkausten aikana sekä mitatut leikkauskohtaiset säteilyannokset eri mittauspaikoissa.

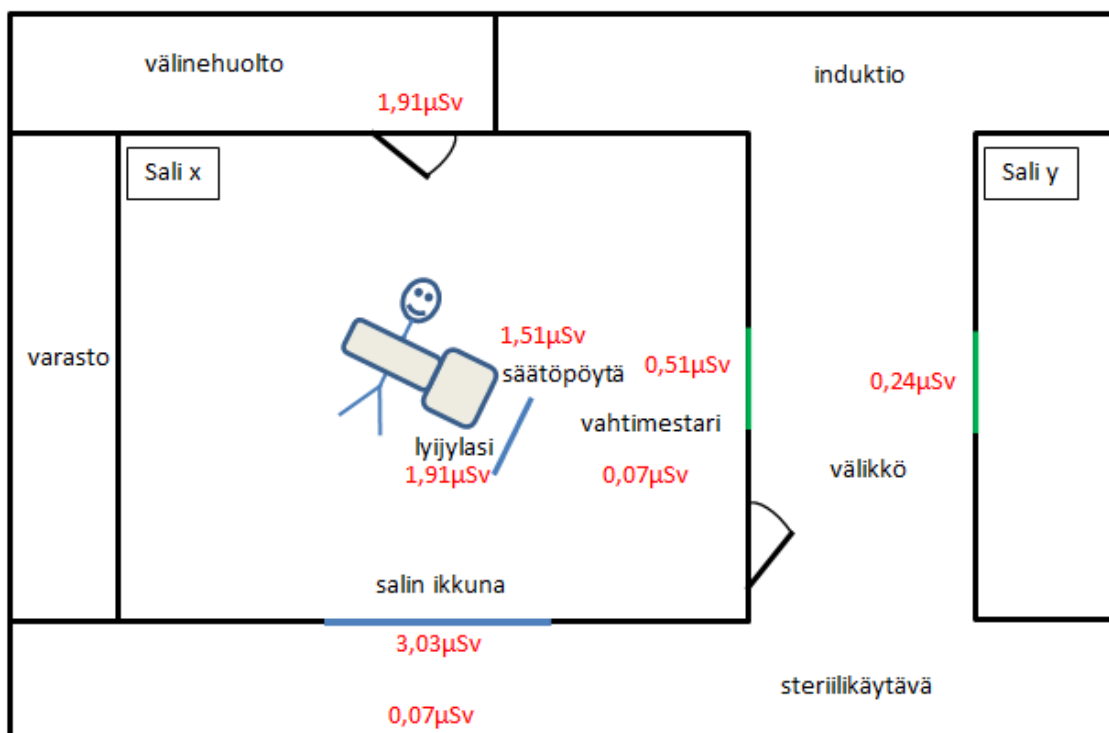
Taulukossa 6 on laskennallisesti määritellyt yhden leikkauksen aikaiset säteilyannosten keskiarvot eri mittauspisteissä sekä mitattujen annosten vaihteluväli. Keskiarvojen osalta tulee huomioida, että laskentaan on yhdistetty useasta eri leikkaussalista mitatut annokset. Salit ja niiden ympäristö eivät ole täysin samanlaisia. Kuviossa 3 esitetään keskivertaiseen leikkaussaliin sijoitettuna laskennallisesti määritellyt yhden leikkauksen aikaiset säteilyannosten keskiarvot eri mittauspisteissä.

TAULUKKO 5. Säteilyannokset eri mittauspisteissä

Mittaus	Säteilymittareiden paikat ja mitatut säteilyannokset			
	Punainen	Oranssi	Sininen	Vihreä
Esitestaus Sali 9	salien välissä 0,07 μ Sv	välinehuollon ovessa 1,54 μ Sv	salin ikkunassa 2,57 μ Sv	vahtimestarilla lyijylasin takana 0,08 μ Sv
Leikkaus 1. Sali 11	salien välissä 0,05 μ Sv	välinehuollon ovessa 1,17 μ Sv	salin ikkunassa 2,72 μ Sv	lyijylasissa 2,91 μ Sv
Leikkaus 2. Sali 12	vahtimestarilla lyijylasin takana 0,05 μ Sv	välinehuollon ovessa 2,74 μ Sv	salin ikkunassa 3,3 μ Sv	lyijylasissa 0,90 μ Sv
Leikkaus 3. Sali 9	salien välissä 0,15 μ Sv	välinehuollon ovessa 1,45 μ Sv	salin ikkunassa 0,38 μ Sv	vahtimestarilla, kyrryssä, ei lyijylasia 0,28 μ Sv
Leikkaus 4. Sali 11	salien välissä 0,18 μ Sv	välinehuollon ovessa 2,32 μ Sv	salin ikkunassa 3,25 μ Sv	vahtimestarilla, ei lyijylasia 0,29 μ Sv
Leikkaus 5. Sali 12	salin ikkunassa vasemmalla 2,48 μ Sv	välinehuollon ovessa 1,61 μ Sv	salin ikkunassa oikealla 5,17 μ Sv	vahtimestarilla, ei lyijylasia 0,95 μ Sv
Leikkaus 6. Sali 8	salien välissä 0,76 μ Sv	välinehuollon ovessa 2,51 μ Sv	salin 8 kulmalla 0,04 μ Sv	O-kaaren sää- töpöydällä 1,76 μ Sv
Leikkaus 7. Sali 12	käytävällä ikku- nan edessä 0,09 μ Sv	käytävällä kul- man takana 0,00 μ Sv	salin ikkunalla oikealla 4,92 μ Sv	O-kaaren sää- töpöydällä 1,26 μ Sv
Leikkaus 8. Sali 8	käytävällä ikku- nan edessä 0,05 μ Sv	salin 9 kulmalla 0,00 μ Sv	salin 8 kulmalla 0,00 μ Sv	salin ovensa in- duktiossa 0,58 μ Sv

TAULUKKO 6. Säteilyannosten keskiarvo ja annosten vaihteluväli eri mittauspaikoissa

Mittareiden paikat ja mittauksen lukumäärä (n)	Säteilyannoksen keskiarvo (vaihteluväli)
salin ikkunassa (8)	3,03 μ Sv (0,38–5,17 μ Sv)
lyijylasissa (2)	1,91 μ Sv (0,90–2,91 μ Sv)
välinehuollon ovesa (7)	1,91 μ Sv (1,17–2,74 μ Sv)
säätöpöydällä (2)	1,51 μ Sv (1,26 ja 1,76 μ Sv)
vahtimestarilla (3)	0,51 μ Sv (0,28–0,95 μ Sv)
salien välissä (5)	0,24 μ Sv (0,05–0,76 μ Sv)
vahtimestarilla lyijylasin takana (2)	0,07 μ Sv (0,05 ja 0,08 μ Sv)
käytävällä ikkunan edessä (2)	0,07 μ Sv (0,05 ja 0,09 μ Sv)



KUVIO 3. Keskivertaiseen leikkaussaliin sijoitetut laskennallisesti määritellyt yhden leikkauksen aikaiset säteilyannosten keskiarvot eri mittauspisteissä.

Mittauskohteiksi valituista paikoista suurimmat sironneen säteilyn annokset O-kaariavusteisissa selkäleikkauksissa mitattiin heti leikkaussalin ikkunan takana, välinehuoltotilojen oven takana ja O-kaaren läheisyydessä. Muualla salin ulkopuolella mitatuissa paikoissa säteilyannokset olivat huomattavasti edellä mainittuja paikkoja pienempiä. Leikkaussalin ikkunaan kiinnitetyllä mittarilla mitattiin keskimäärin 3,03 μSv :n säteilyannos. Ikkunan kohdalla mitattujen annosten vaihteluväli on suuri 0,38–5,17 μSv :iin samoin kuin salien väliköissä mitattujen annosten 0,05–0,76 μSv :iin. Ikkunan kohdalla annosten vaihtelu selittyy käynteillä kuvausarvoilla, O-kaaren sijoittelulla salissa sekä muun muassa O-kaaren liikuteltavan näytön ja navigointilaitteiston paikoilla. Näytöt ja muut suuret esineet salissa vaimentavat säteilyä ja vaikuttavat sen sirontaan. Salien väliköissä mitattujen annosten eroihin vaikuttavat edellä kuvattujen asioiden lisäksi lyijylasin käyttö, koska se on käytössä olleessaan ollut O-kaaren ja mittarin välissä. Välinehuoltotilan oven takana säteilyannos on keskimäärin 1,91 μSv . Mitatut annokset olivat 1,17–2,74 μSv .

Lyijylasiin, jota O-kaarella kuvaava vahtimestari käyttää suojana, kiinnitetyssä mittarissa keskimääräinen säteilyannos oli 1,91 μSv . Annos on mitattu lyijylasista O-kaaren puolelta. O-kaaren säätöpöydän kohdalla keskimääräinen annos on 1,51 μSv . Säätöpöytä on lähempänä O-kaarta kuin lyijylasi, mutta sen kohdalla mitattiin pienempiä annoksia. Tämä selittyy O-kaaren perhosen muotoisella säteilyjakaumalla. Säteilyjakauma muodostaa ikään kuin perhosen siivet, jolloin säteilyannos on pienin O-kaaren säätöpöydän takana ja samoin sen vastakkaisella puolella ja O-kaaren aukon kohdalla säteilyannos on suurimmillaan.

O-kaarella kuvaavan lääkintävahtimestarin säteilyannos on pienempi kuin leikkaussalin ikkunan takana, välinehuoltotilojen oven takana ja O-kaaren läheisyydessä ollen keskimäärin 0,51 μSv . Tämä on seurausta siitä, että vahtimestari on sijoittunut O-kaaren säätöyksikön taakse. Lääkintävahtimestarin säteilyannos pienenee edelleen, jos hän sijoittuu kuvatessaan liikuteltavan lyijylasin taakse. Lyijylasin takana olevan vahtimestarin annokseksi mitattiin keskimäärin 0,07 μSv . Vahtimestarin annoksen osalta voidaan huomioida, että hän on pukeutunut säteilysuojiin ja annos on mitattu suojan päältä rinnan korkeudelta.

9 TULOSTEN YHTEENVETO

Tutkimuksen mittaustulosten mukaan 3D-kuvaus aiheuttaa suurimman osan O-kaariavusteisen leikkauksen säteilyannoksesta. O-kaaren läpivalaisukuvausta käytetään pääasiassa vain 3D-kuvausalueen oikean paikan määrittämiseen ja sen aiheuttama säteilyannos on murto-osa koko leikkauksen aikaisesta säteilyannoksesta. O-kaaren 3D-kuvauksen säteilyn annosnopeudet ovat korkeat, mutta säteilyn kesto on lyhyt. Ortopedisissä selkäleikkauksissa riittää tavallisesti yksi 3D-kuvaus. 3D-kuvaus kestää halutun kuvanlaadun mukaan 13–26 sekuntia. Tutkimuksen mittauksissa annosnopeuden keskiarvot nousivat paikoin satoihin $\mu\text{Sv/h}$:ssa ja heti leikkaussalin ikkunan takana jopa yli 1 mSv/h :ssa.

Valituista mittauspaikoista suurimmat sironneen säteilyn annokset O-kaariavusteisissa selkäleikkauksissa ovat leikkaussalin ikkunassa, välinehuoltotilojen ovella ja O-kaaren läheisyydessä. Salin ikkunaan kiinnitetyllä mittarilla mitattiin keskimäärin 3,03 μSv :n säteilyannos. Ikkunasta mitattujen annosten vaihteluväli on suuri ollen 0,38–5,17 μSv :iin. Välinehuoltotilan oven takana säteilyannos on keskimäärin 1,91 μSv . Lyijylasissa, joka on vahtimestarin suojana O-kaaren lähellä, keskimääräinen säteilyannos on 1,91 μSv . O-kaaren säätöpöydän kohdalla keskimääräinen annos on 1,51 μSv . Vaikka säätöpöytä on lähempänä O-kaarta kuin lyijylasi, sen kohdalla mitattiin pienempiä annoksia. Tämä selittyy O-kaaren perhosen muotoisella säteilyjakaumalla, jolloin säteilyannos on pienin O-kaaren säätöpöydän takana ja samoin sen vastakkaisella puolella ja O-kaaren aukon kohdalla annos on suurimmillaan.

Muualla salin ulkopuolella mitatuissa paikoissa säteilyannokset olivat huomattavasti pienempiä kuin heti leikkaussalin ikkunan takana tai välinehuollon oven takana. Myös O-kaarella kuvaavan lääkintävahtimestarin säteilyannos on edellä mainittuja paikkoja pienempi ollen keskimäärin 0,51 μSv . Lääkintävahtimestarin säteilyannos pienenee vielä moninkertaisesti, jos hän sijoittuu kuvatessaan liikuteltavan lyijylasin taakse.

10 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kuvailla henkilökunnalle aiheutuvia säteilyannoksia ja säteilyn siroamista O-kaariavusteisten leikkausten aikana OYSin keskusleikkausosastolla. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää henkilökunnan O-kaaren käyttöön liittyvää säteilysuojelua sekä säteilyn käytön turvallisuuskulttuuria OYSin keskusleikkausosastolla.

Säteilyannosten reaaliaikainen seuranta ja tallennus DoseAware-laitteistolla toi O-kaaren käyttöön liittyvää mielenkiintoista uutta tietoa henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimuksella saatiin säteilyannostietoja, jollaisia OYSin keskusleikkausosastolla käytössä olevilla henkilökohtaisilla dosimetreilla tai ryhmädosimetreilla ei ole mahdollista saada. Tällaista tietoa on muun muassa henkilöön kohdistuva annosnopeus kuvauksen aikana ja leikkauskohtainen säteilyannos tietyssä kohtaa salin läheisyydessä.

10.1 Tulosten tarkastelu

10.1.1 O-kaarella kuvaavan henkilön säteilyannos

O-kaaren 3D-kuvauksen aikaiset säteilyn annosnopeudet ovat korkeat, mutta säteilyn kesto leikkausten aikana on lyhyt. Ortopedisissä selkäleikkauksissa otetaan yleensä yksi 3D-kuva. 3D-kuvaus kestää halutun kuvanlaadun mukaan 13–26 sekuntia. Tavallisesti käytetään normaaliresoluution kuvausta, joka kestää 13 sekuntia. Tutkimuksen mittauksissa annosnopeuden keskiarvot nousivat paikoin satoihin $\mu\text{Sv/h}$:ssa. Tämän vuoksi on hyvä, että O-kaaren 3D-kuvauksen ajaksi muut kuin O-kaarta käyttävä vahtimestari poistuvat leikkauksalista esimerkiksi käytävälle betoniseinän taakse. Tällä käytännöllä minimoidaan henkilökunnan säteilyaltistus 3D-kuvauksen aikana, koska salissa ollessaan kaikkien henkilöiden kunnollinen suojautuminen olisi mahdotonta.

Tutkimuksen mukaan O-kaarella kuvaavan vahtimestarin keskimääräinen säteilyannos ilman liikuteltavaa lyijylasia on 0,51 μSv . Säteilyannos on pieni verrattuna esimerkiksi annoksiin, joita on mitattu erilaisissa läpivalaisua hyödyntävissä toimenpiteissä. Vuonna 2012 tehdyn kirjallisuuskatsauksen mukaan läpivalaisua hyödyntävän toimenpiteen tekijälle aiheutuu vartalolta mitattuna eri toimenpiteissä 2-1600 μSv :n annos (mediaani 302 μSv). (Kim, Miller, Berrington de Gonzalez, Balter, Kleinerman, Ostroumova, Simon & Linet 2012, abstrakti.) Ylipäätään O-kaaren 3D-kuvauksella ja navigointilaitteiston käytöllä päästään pienempiin henkilökunnan säteilyannoksiin kuin pelkästään läpivalaisun avulla toimittaessa. (Tabaraee, Gibson, Karahalios, Potts, Mobasser & Burch 2013, abstrakti.)

Tutkimuksessa saadut tulokset ovat yhdenmukaisia Abdullah ym. (2011, abstrakti) tekemän tutkimuksen kanssa. Abdullah ym. mittasivat leikkaavan kirurgin annoksia O-kaaren käytön aikana lanne- ja rintarangan leikkauksien yhteydessä. Tutkimuksen tuloksia voidaan verrata tämän tutkimuksen tuloksiin vahtimestarin säteilyannosten osalta. Abdullah ym. tutkimuksessa kirurgin keskimääräiset säteilyannokset rinnalla lyijyessun päällä olivat $0,4422 \pm 0,174 \mu\text{Sv}$ ($0,1771 - 0,7076 \mu\text{Sv}$). Kirurgin etäisyys O-kaaresta oli $4,56 \pm 0,32 \text{ m}$. Tässä tutkimuksessa vahtimestarin annos oli keskimäärin 0,51 μSv :ä ($0,28-0,95 \mu\text{Sv}$).

OYSin Keskusleikkausosastolla työskentelevä yksittäinen vahtimestari kuvaa arviolta 30 O-kaarileikkausta vuodessa (Katisko 2.4.2012, keskustelu). Jos vahtimestarin saama keskimääräinen säteilyannos (syväannos Hp (10)) ilman liikuteltavaa lyijylasia on 0,51 μSv leikkausta kohti, hänen saamansa säteilyannos O-kaarileikkauksista vuodessa on 15,3 μSv . Tämä annos on pieni verrattuna vuoden 2012 säteilytyöntekijöiden annoksiin. Esimerkiksi annostarkkailussa olleiden sairaanhoitajien keskimääräinen syväannos oli 0,1 mSv ja erikoislääkärien, kuten ortopedien, 0,3 mSv (Rantanen, 2013, 37). Arvioiduksi efektiiviseksi annokseksi muutettuna eli jaettuna syväannos 10–60:llä (ks. Rantanen 2013, 9.) vahtimestarin vuosiannos olisi 0,26–1,53 μSv :iin. Tämä annos on huomattavasti alle säteilytyöntekijöiden vuosiannosrajan, joka on viiden vuoden aikana keskimäärin 20 mSv vuodessa. Tulee kuitenkin huomioida, että keskusleik-

kausosastolla vahtimestarit kuvaavat myös C-kaarella, joten heidän säteilyaltistus ei tule yksin O-kaaren käytöstä.

10.1.2 Säteilyannokset leikkaussalin ulkopuolella

O-kaarikuvauksen salin ulkopuolelle aiheuttamat säteilyannokset ovat pieniä. Esimerkiksi välinehuoltotilan oven takana säteilyannos O-kaaren käytön aikana leikkausta kohti on keskimäärin 1,91 μSv . Luonnon taustasäteily Suomessa vaihtelee välillä 0,04–0,30 $\mu\text{Sv/h}$. Jos taustasäteily on 0,15 $\mu\text{Sv/h}$, vuorokaudessa ihminen saa 3,6 μSv :n annoksen. (Säteilyturvakeskus 2012, hakupäivä 7.9.2013.) Tähän suhteutettuna välinehuoltotilan oven takana mitattu säteilyannos on siis samaa suuruusluokkaa.

Vuoden aikana tehtävät O-kaarileikkaukset, noin 250 kappaletta, aiheuttavat yhteen laskettuna kaikkien salien välinehuoltotilojen ovien taakse keskimäärin 0,478 mSv:n säteilyannoksen. Kuukaudessa annos olisi arviolta 0,04 μSv . A-luokkaan kuuluvan säteilytyöntekijän syväannoksen kirjaamiskynnys on 0,1 mSv kuukaudessa, joten yhteenlaskettu annos välinehuoltotilojen ovien takana jää selvästi alle esimerkiksi tämän kirjaamiskynnyksen. Tutkimustulos vastaa myös keskusleikkausosaston omaa säteilyannostarkkailua, jonka mukaan välinehuollon oven taakse ei ole tullut kirjaamiskynnyksen ylittäviä annoslukemia (Katisko 2.4.2012, keskustelu).

Leikkaussalien yhteydessä, joissa O-kaarta käytetään, välinehuoltotiloja on kolme ja niihin avautuvia ovia kuusi, joten yhden välinehuollon oven taakse tulee arviolta 0,08 mSv:n annos vuodessa. Syväannos on efektiivisen annoksen riittävän tarkka likiarvo, kun käytössä ei ole säteilysuojaimia (Rantanen 2013, 9). Tällä perusteella efektiivinen annos yhden oven takana on likimain 0,08 mSv vuodessa. Tämä annos on vain murto-osa väestölle asetetusta efektiivisen annoksen vuosirajasta, joka on 1 mSv. Vuosirajaa voi soveltaa henkilökuntaan, jotka eivät ole säteilytyöntekijöitä.

Heti leikkaussalin ikkunan takana O-kaaren aiheuttamat säteilyannokset yhteenlaskettuna kaikissa O-kaariavusteisia leikkauksia tekevissä saleissa on keskimäärin 0,76 mSv vuodessa, jos kuvauksia on 250 vuodessa. Kuukaudes-
sa arvioitu annos on 0,06 μ Sv. Salin ikkunan takana kaikkien leikkausten yhteen-
laskettu annos jää siis selvästi alle esimerkiksi A-luokkaan kuuluvan säteilytön-
tekijän syväannoksen kirjaamiskynnyksen. Leikkaussalin ikkunan takana mitattu
syväannos vastaa efektiivisen annoksen likiarvoa, kun käytössä ei ole sätei-
lysuojaimia (Rantanen 2013, 9). Tällä tavoin arvioituna efektiivinen annos heti
leikkaussalin ikkunan takana olisi likimain 0,76 mSv vuodessa. Tämä annos on
alle väestölle asetetun efektiivisen annoksen vuosirajan, joka on 1 mSv.

Muulla salin ulkopuolella säteilyannokset olivat huomattavasti pienempiä kuin
välinehuollon oven takana tai heti leikkaussalin ikkunan takana. Kun leikkaussa-
leja ei ole erikseen säteilysuojattu, etäisyys salista samoin kuin betoniseinän
taakse meneminen ovat hyviä suojautumiskeinoja säteilyltä O-kaaren käytön ai-
kana.

10.1.3 Henkilökunnan säteilysuojautuminen O-kaaren käytön aikana

Keskusleikkausosaston O-kaarityöskentelyn käytäntö, jossa salista poistuvat
säteilyä käytettäessä muut kuin lääkintävahtimestari, on varmasti oikea. Koska
salissa ollessaan kaikkien työntekijöiden olisi vaikea suojautua sironneelta sä-
teilyltä, henkilökunta on paremmin suojassa salin ulkopuolella. Tämä käytäntö
vapauttaa työntekijät myös painavien puettavien säteilysuojien käytöltä. Salista
poistuttaessa tulee siirtyä pois salin ikkunan edestä ja salien väliseltä käytäväl-
tä. Parhaiten henkilökunta on suojassa tarpeeksi kaukana salista tai betonisei-
nien takana. O-kaarella kuvauksesta olisi hyvä kertoa välinehuollossa työsken-
televille, jotta he voivat siirtyä kuvauksen ajaksi kauemmas salista.

Lääkintävahtimestarin ja mahdollisesti muiden salissa olijoiden tulee suojautua
säteilyn käytön ajaksi säteilysuojilla sekä sijoittua lyijyseinän taakse. Tämä on
tärkeää minimoitaessa työntekijän saamaa kokonaissäteilyannos. Lyijyseinän
takana myös O-kaaren käyttäjän silmät ovat suojattuna, jos käytössä ei ole eril-

lisiä suojalaseja. Useissa tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että säteilyn aiheuttamaan silmän linssin samentumiseen tai kaihiin ei olisi kynnyksarvoa, vaan myös pienillä pitempiäaikaisilla säteilyannoksilla olisi merkitystä kaihin kehittymisen riskiin (Kleiman 2007, 86).

Henkilökunta voi omilla toimintatavoillaan vaikuttaa saamaansa säteilyannokseen. Jos suojautumisessa on puutteita, henkilön saamat säteilyannokset voivat olla monta kertaa suuremmat kuin tilanteessa, jossa henkilö on suojautunut huolellisesti. Jos joka leikkaussalissa ei ole omaa lyijyseinää, leikkaukseen osallistuville henkilöille pitää antaa aikaa ja mahdollisuus hakea lyijyseinä saliin ennen kuvauksen alkua. Esimerkiksi kiire ei saisi olla syynä siihen, että henkilö ei suojaudu lyijyseinän taakse kuvauksen ajaksi.

O-kaaren sijoittelu salissa vaikuttaa eri suuntiin tulevan sironneen säteilyn suuruuteen. O-kaarta käytettäessä voitaisiin harkita leikkaustason sijoittamista niin, että O-kaareen aukko aukeaisi salin nurkkiin, jolloin välinehuollon tilat ja salien ikkunan edusta välttyisivät suuremmilta säteilyannoksilta.

10.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimukseen valittu tutkimusmenetelmä soveltui hyvin tutkimuksenkohteen eli O-kaariavusteisten leikkausten sironneen säteilyn annosten ja annosnopeuksien mittaamiseen. Tutkimus on siis tältä osin validi. Tutkimuksen otanta kuvaa hyvin tutkittavaa perusjoukkoa, joka oli OYSin keskusleikkausosaston O-kaariavusteiset leikkaukset. Tutkimus toteutettiin OYSin keskusleikkausosastolla oikeissa leikkaustilanteissa, joten tutkimus on helposti toistettavissa samantyyppisissä tutkimusoloissa. Tämä parantaa tutkimuksen reliabiliteettia. (ks. Vilka 2007, 149–154.)

Tutkimuksen luotettavuus olisi parantunut, jos eri mittauspaikoista olisi ollut enemmän mittauksia. Tutkimus oli luonteeltaan kuvaileva, joten tarkkaa kaiken kattavaa tietoa ei ollut tarkoitus kerätä. Tutkimusjakso ja resurssit olivat rajalliset, joten tutkimuksessa päädyttiin mittaamaan pääasiassa erityisen kiinnostuk-

sen kohteena olevia paikkoja. Nämä paikat olivat leikkaussalien vieressä olevien välinehuollon tilojen oven takana, salien ikkunan takana sekä salien väliköissä, johon avautuvat salien antokaapit.

Mittareiden tarkat etäisyydet O-kaaresta olisivat olleet hyödyllinen lisä tutkimustulosten yleispätevyyteen. O-kaaren sijainti riippuu aina leikkauspöydän asennosta ja kuvattavasta kehon osasta, joten etäisyyksien mittaaminen kesken leikkauksen olisi ollut haasteellista ja haitannut leikkauksen kulkua. O-kaaren käytöstä lähiympäristöön aiheutuviin säteilyannoksiin vaikuttaa huomattavasti sen käyttöpaikka eli salissa olevat kalusteet ja esineet, joten säteilyannoksia ei voi suoraan soveltaa kaikkiin käyttöpaikkoihin. Samankokoisten säteilyltä suojaamattomien leikkaussalien osalta säteilyannokset ovat kuitenkin hyvin suuntaa antavia. Leikkaussalin isot esineet olisi voinut huomioida paremmin tulosten analyysissa. Toisaalta esineiden aiheuttaman säteilyn sironnan vaikutusta mitattuihin säteilyannoksiin olisi ollut vaikea todentaa ja mitata tutkimuksen resursseilla. Potilaan koosta riippuvat käytettävät kuvausarvot vaikuttavat O-kaaren aiheuttamiin säteilyannoksiin, joten myös potilaan koolla on vaikutusta salin lähialueiden säteilyannoksiin. Kaikki tähän tutkimukseen sisältyneet leikkaukset kohdistuivat normaalikokoisiin aikuisiin.

Tutkimuksen yksittäiset mittaukset ovat DoseAware-mittareiden mittaustarkkuuden mukaiset. Säteilyannosten osalta tulosten tarkastelussa käytettiin DoseManager-ohjelmalla mittareista saatavaa raakadataa, joka on tarkemmin esitetty kuin suoraan ohjelmasta saatavat μSv :n tarkkuudella esitetyt annostiedot. Annostiedot esitettiin tutkimuksessa μSv :nä kahden desimaalin tarkkuudella. Tähän esitystarkkuuteen päädyttiin, koska annoksia ja samanaikaisia annosnopeuksia tarkasteltaessa huomioitiin annosnopeuden tallennetut lukemat, joiden aikana annostieto μSv :n tarkkuudella kuitenkin näytti nollaa. Annosnopeudet esitettiin yksikössä mSv/h :ssa kolmen desimaalin tarkkuudella, joka on sama esitystarkkuus kuin DoseManager-ohjelmassa.

10.3 Tutkimuksen tulosten hyödynnettävyys

Kymmenessä Euroopan maassa tehdyn selvityksen mukaan lääketieteellisissä säteilyaltistuksissa oli nelinkertainen ero pienimmän ja suurimman keskivertaisen henkeä kohti lasketun kumulatiivisen efektiivisen annoksen välillä. Eron aiheuttavat erilaiset terveydenhoitojärjestelmät ja siitä seuraavat laitteistojen ja henkilökunnan määrien erot, mutta myös terveydenhoitohenkilöstön koulutuksen erot ja siitä seuraavat säteilyn käyttökulttuurin eroavaisuudet. Säteilysuojelukoulutuksen tasoon tulee erityisesti kiinnittää huomiota uuden tekniikan ja monimutkaisten säteilylle altistavien toimenpiteiden osalta, koska näiden käyttömäärät ovat kasvaneet nopeassa tahdissa. (MEDRAPET 2012, hakupäivä 25.5.2012.) Potilaiden ja henkilökunnan säteilynsuojelu on parantunut viime vuosikymmenien aikana, mutta leikkaussalissa tapahtuvaan säteilyn käyttöön säteilynsuojelu ei ole integroitunut yhtä hyvin (Etard 2012, hakupäivä 30.3.2013).

Kuten selvityksistä on ilmennyt, jatkuva säteilynsuojelukoulutus on tarpeen erityisesti leikkausosastoilla, joilla otetaan käyttöön uudenlaisia kuvantamismenetelmiä. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi leikkausosaston henkilökunnan säteilynsuojelukoulutuksessa. Tulosten avulla voidaan ohjeistaa henkilökunnan toimintaa leikkaussalien läheisyydessä O-kaariavusteisten leikkausten aikana. Säteilyn käytön turvallisuudesta vastaavan johtajan vastuulla on edistää säteilynkäyttöpaikan turvallisuuskulttuuria (Säteilyn käyttöorganisaatio 2011, 6). Keskusleikkausosaston sairaalafyysikko oli mukana tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa, joten tämä tutkimus on osaltaan mukana vahvistamassa keskusleikkausosaston turvallisuuskulttuuria.

Oulun yliopistollisessa sairaalassa on tätä nykyä Suomen ainoa O-kaari, mutta vastaavanlaisen laitteen hankintaa on suunniteltu muissakin sairaaloissa. O-kaari on ollut markkinoilla vasta varsin lyhyen aikaa, joten sen aiheuttamaa henkilökunnan säteilyannosta leikkaussaliympäristössä ei ole vielä kovin paljon tutkittu. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää suuntaa antavasti sairaaloissa, joissa pohditaan O-kaaren tai samankaltaisen laitteen käyttöön liittyviä säteilynsuojeluasioita.

OYSin Keskusleikkausosastolle on suunniteltu hankittavaksi vastaavanlainen reaaliaikainen annosmittausjärjestelmä, jolla tämän tutkimuksen mittaukset tehtiin. Tämän tutkimuksen yhteydessä keskusleikkausosaston henkilökunta sai käytännön kokemusta järjestelmän toiminnasta, josta on varmasti hyötyä myös laitehankintaa pohdittaessa. Tutkimuksen kokemusten perusteella reaaliaikainen annosmittausjärjestelmä soveltuu hyvin käytettäväksi säteilyä hyödyntävien toimenpiteiden aikana sekä henkilökunnan säteilysuojelukoulutuksessa säteilyannosten havainnollistamiseen.

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi salien ympäröivien tilojen käytön ja säteilysuojauksen tarvetta suunniteltaessa, kun OYSin Keskusleikkausosastoa tullaan remontoimaan. Olisi esimerkiksi hyvä, jos salien ikkunat ja ovet olisivat säteilysuojattuja. Tämä takaisi turvallisen ja joustavamman työskentelyn leikkaussalien läheisyydessä. Leikkaussalien säteilysuojauksen tarpeesta ei ole erillistä määräystä. ST-ohjeen 1.10 mukaan esimerkiksi leikkaussalin, jossa liikuteltavaa kuvauslaitetta käytetään jatkuvasti, suojaustarve on erikseen selvitettävä. Jos liikuteltavaa röntgenlaitteita käytettäessä ei voida hyödyntää kiinteitä suojuksia, on huolehdittava laitteen käyttäjän sekä muiden työntekijöiden ja potilaiden riittävästä suojauksesta henkilökohtaisin säteilysuojaimin ja liikuteltavin suojuksin. (Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu 2011, 11.)

10.4 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet

Tämä opinnäytetyö on toinen tekemäni, joten opinnäytetyön haasteet olivat jo tuttuja. Opinnäytetyöprosessi oli tällä kertaa kuitenkin erilainen kuin aiemmin. Tätä työtä tehdessäni opin erityisesti tieteellisen tutkimuksen teosta sen kaikkine vaiheineen. Haasteita työn tekoon toi se, että O-kaaren käytön säteilyannokista ei löytynyt kovin paljon tutkimustietoa. Halusin tehdä konkreettista asiaa käsittelevän opinnäytetyön, joka liittyisi jollain tavalla röntgenkuvantamisen tekniikkaan. Säteilyannosten mittaaminen DoseAware-järjestelmällä yhdisti hyvin molemmat tavoitteet. Säteilyannosten havainnollistaminen leikkauksen aikana reaaliajassa mittausjärjestelmän avulla oli mielenkiintoista, koska säteilyä ei

pysty muuten havaitsemaan. Myös OYSin Keskusleikkausosastolla henkilökunta suhtautui tutkimukseen ja mittauksiin positiivisesti ja mielenkiinnolla.

Haasteita työn tekemiseen toi se, ettei O-kaaren käyttöä tutkimusjakson aikana voinut etukäteen kovin tarkasti tietää. Tutkimussuunnitelman mukaisesti olin itse paikalla aina mittausten aikana. Tutkimuksen tekemiseen liittyi paljon odottelua keskusleikkausosastolla, koska O-kaariavusteisten leikkausten ajankohta ja varsinainen O-kaarella kuvaaminen leikkauksen aikana riippui monista tekijöistä. Mittauksiin liittyi O-kaaren käytön aikainen havainnointi leikkaussalin ikkunan takaa. Lääkintävahtimestarin O-kaarikuvauksen toiminnan havainnointi oli hankalaa, koska kuvauksen aikana en halunnut olla juuri leikkaussalin ikkunan edessä, sillä myös siihen sironnutta säteilyä tutkittiin. Tämä seikka oli kuitenkin tiedossa jo tutkimusta suunniteltaessa.

Säteilymittari oli osassa mittauksia O-kaaren säätöpöydällä, koska vahtimestari ei ollut kiinnittänyt sitä liiviinsä. Vahtimestarit olivat välillä kiireisiä, sillä he saattoivat kuvata useissa samanaikaisessa leikkauksessa myös C-kaarella. Tutkijana minun piti olla tarkkana, ettei mittari ollut vahtimestarilla, kun hän kuvasi C-kaarella ja mittariin ei näin tallentuisi tutkimuksen ulkopuolisia tuloksien analyysiä vaikeuttavia säteilyannoksia. Välillä oli vaikea pysyä vahtimestarien kannoilla, koska he vaihtoivat salia leikkausten aikana toiselta käytävältä, kun itse havainnoin leikkausta steriililtä käytävältä.

Keskusleikkausosastolla tullaan tekemään opinnäytetyö, jossa mitataan vastaavalla tavalla C-kaaren käytön aikaisia sironneen säteilyn annoksia. Opinnäytetyöntekijät voivat hyödyntää tämän tutkimuksen kokemuksista omassa työssään. DoseAware-laitteistoa voisi käyttää myös muissa vastaavissa tutkimuksissa. Mielenkiintoinen tutkimuskohde sironneen säteilyn mittaamiseen olisi esimerkiksi raajojen kuvantamiseen tarkoitettu kartiokeilatietokonetomografialaite.

LÄHTEET

Abdullah, K. G., Bishop, F. S., Lubelski, D., Steinmetz, M. P., Benzel, E. C. & Mroz, T. E. 2012. Radiation Exposure to the Spine Surgeon in Lumbar and Thoracolumbar Fusions with the Use of an Intraoperative Computed Tomography 3-Dimensional Imaging System. *Spine* 37 (17), E1074–E1078.

Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen. 2008. ST-ohje 7.4. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Doseco. 2012a. Mittausmenetelmät. Hakupäivä 30.9.2012.
<http://www.doseco.fi/mittausmenetelmat>.

Doseco. 2012b. Mittausmenetelmät. Termoloistedosimetri. Hakupäivä 30.9.2012. <http://www.doseco.fi/termoloistedosimetri>.

Doseco. 2012c. Mittausmenetelmät. DIS. Hakupäivä 30.9.2012.
<http://www.doseco.fi/dis>.

Doseco. 2012d. Hyväksytty mittauspalvelu. Hakupäivä 30.9.2012.
<http://www.doseco.fi/mittauspalvelu>.

Etard, C. 2012. Introduction of the topic: Radiation protection of patients and staff where procedures are performed outside radiology departments. CN192 International Conference on Radiation Protection in Medicine - Setting the Scene for the Next Decade. Bonn, Saksa 3. – 7.12.2012. Hakupäivä 30.3.2013
<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/Whitepapers/conference/S8-Etard-Introduction-of-the-topic.pdf>.

Foley, K. T., Park, P., Smith, H. Vaccaro, A. R., Solomito M., Papadopoulos, S. & Yuan, H. 2006. Comparison of O-arm vs. C-arm Fluoroscopy for Intraopera-

tive Spinal Imaging. Hakupäivä 24.5.2012

http://posters.neurosurgon.org/browse.php?function=public_view&id=37545.

Henner, A. & Manninen, A-L. 2011. DoseAware system in dose optimization of the staff. Nordic Congress Lifelong Imaging: From Prevention to Patient Centered Care. Maarianhamina. 8.-10.6.2011. Hakupäivä 20.3.2012

http://www.nordiccongress.fi/doc/abstraktit/DoseAware_henner_manninen.pdf.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13. osin uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Katisko, J. 2010. O-kaari – kirurginen apuväline, jonka käyttö vaikuttaa myös anestesiahenkilökunnan työskentelyyn. *Spirium*. 45(3), 26–28.

Katisko, J. Sairaala fyysikko, Oulun yliopistollinen sairaala. 2012. Keskustelu 2.4.2012.

Kim, K. P., Miller, D. L., Berrington de Gonzalez, A., Balter, S., Kleinerman, R. A., Ostroumova, E., Simon, S. L. & Linet, M. S. 2012. Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically-guided procedures. *Health Phys.* 103(1), 80-99.

Klemola, S. 2002. Säteilyn ilmaisimet. Teoksessa T. K. Ikäheimo. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 115–134.

Kleiman, N. J. 2007. Radiation cataract. EU Scientific Seminar 2006: New insights in radiation risk and basic safety standards. Working party on research implications on health and safety standards of the article 31 group of experts. *Radiation Protection* 145, 81–95.

Lin, E. L., Park D. K., Whang, P. G., An, H. S., & Phillips, F. M. 2008. O-Arm Surgical Imaging System. *Seminars in Spine Surgery*. 20(3), 209–213.

Marttila, O. J., 2002. Suureet ja yksiköt. Teoksessa T. K. Ikäheimo. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 66–91.

MEDRAPET. 2012. Background. Hakupäivä 25.5.2012
<http://www.medrapet.eu/The-Project/background.html>.

Medtronic. 2012a. O-arm Surgical Imaging System. Hakupäivä 29.4.2012
<http://www.medtronic.com/for-healthcare-professionals/products-therapies/neurological/surgical-navigation-and-imaging/o-arm-surgical-imaging-system/index.htm#tab1>.

Medtronic. 2012b. O-arm Surgical Imaging System. Hakupäivä 6.5.2012
<http://www.medtronic.com/for-healthcare-professionals/products-therapies/neurological/surgical-navigation-and-imaging/o-arm-surgical-imaging-system/index.htm#tab2>.

Medtronic. 2012c. Surgical Navigation Systems. Hakupäivä 6.5.2012
<http://www.medtronic.com/for-healthcare-professionals/products-therapies/spinal-orthopedics/surgical-navigation-imaging/surgical-navigation-systems/index.htm>.

Park, M. S., Lee, K. M., Lee, B., Min, E., Kim, Y., Jeon, S., Huh, Y. & Lee, K. 2012. Comparison of operator radiation exposure between C-arm and O-arm fluoroscopy for orthopaedic surgery. *Radiation Protection Dosimetry*. 148(4), 431–438.

Philips. 2012. DoseAware Personal Dose Meter System. Hakupäivä 9.5.2012
<http://www.healthcare.philips.com/main/products/solutions/doseaware/>.

Pirinen, M. & Tenkanen-Rautakoski, P. 2011. Säteilyannokset ja säteilyannoksen hallinta toimenpideradiologiassa. Hakupäivä 1.10.2012.
<http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?523>.

Rantanen, E. (toim.). 2013. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta, Vuosiraportti 2012. STUK-B 160.

Siiskonen, T. 2007. Henkilökunnan efektiiviset annokset toimenpideradiologiasa: kuinka dosimetrin lukema tulisi tulkita?. Teoksessa H. Järvinen (toim.) Säteilyturvallisuus ja laatu röntgendiagnostiikassa. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 48–50.

Sivonen, P. Opintokoordinaattori, Oulun yliopistollinen sairaala. 2012. Keskustelu 2.4.2012.

Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet. 2007. ST-ohje 7.2. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilyaltistuksen seuranta. 2007. ST-ohje 7.1. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu. 2011. ST-ohje 1.10. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilyn käyttöorganisaatio. 2011. ST-ohje 1.4. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa. 2012. ST-ohje 1.7. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilytoiminnan turvallisuus. 2013. ST-ohje 1.1. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Säteilyturvakeskus. 2012. Esimerkkejä säteilyannoksista. Hakupäivä 7.9.2013. http://www.stuk.fi/sateilyvaara/fi_FI/esim_annos/.

Tabaraee, E., Gibson, A. G., Karahalios, D. G., Potts, E. A., Mobasser, J-P. & Burch, S. 2013. Intraoperative Cone Beam-Computed Tomography With Navigation (O-ARM) Versus Conventional Fluoroscopy (C-ARM). Spine 38 (22), 1953–1958.

Uusitalo, H. 2001. Tiede, tutkimus ja tutkielma – Johdatus tutkielman maailmaan. 1.-7. Painos. Juva: WS Bookwell Oy.

Vano, E. 2010. Mandatory Radiation Safety Training for Interventionalists: The European Perspective. *Techniques in Vascular & Interventional Radiology* 13 (3), 200–203.

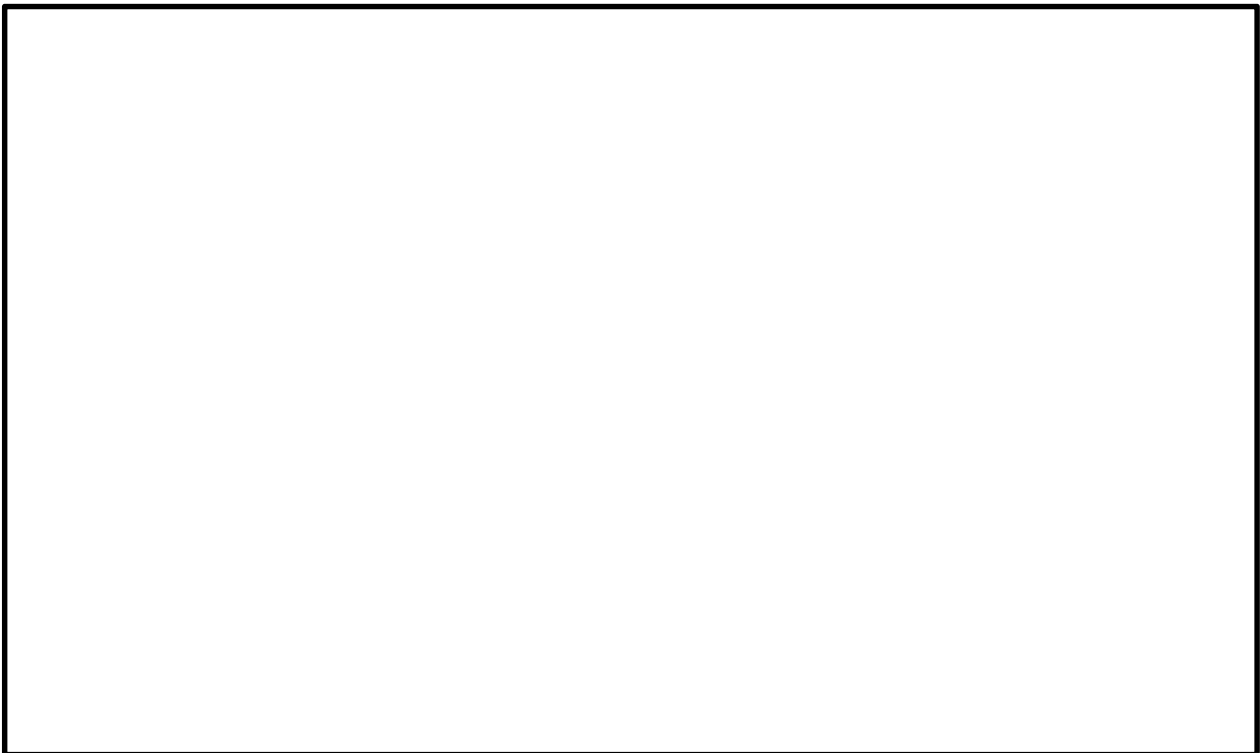
Vilkka, H. 2007. Tutki ja mittaa - Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Weir, V., Zhang, J., Fajardo, L., Hsiung, H., & Ritenour, E. 2008. Dosimetric Characterization of a Cone Beam O-Arm Imaging System. *AAPM 50th Meeting: Honoring the past Celebrating the present Preparing for the future*. Houston, Texas. 27.–31.7.2008. Hakupäivä 25.5.2012
<http://www.aapm.org/meetings/amos2/pdf/35-9362-55319-265.pdf>.

Pvm: Klo:

Leikkaus:

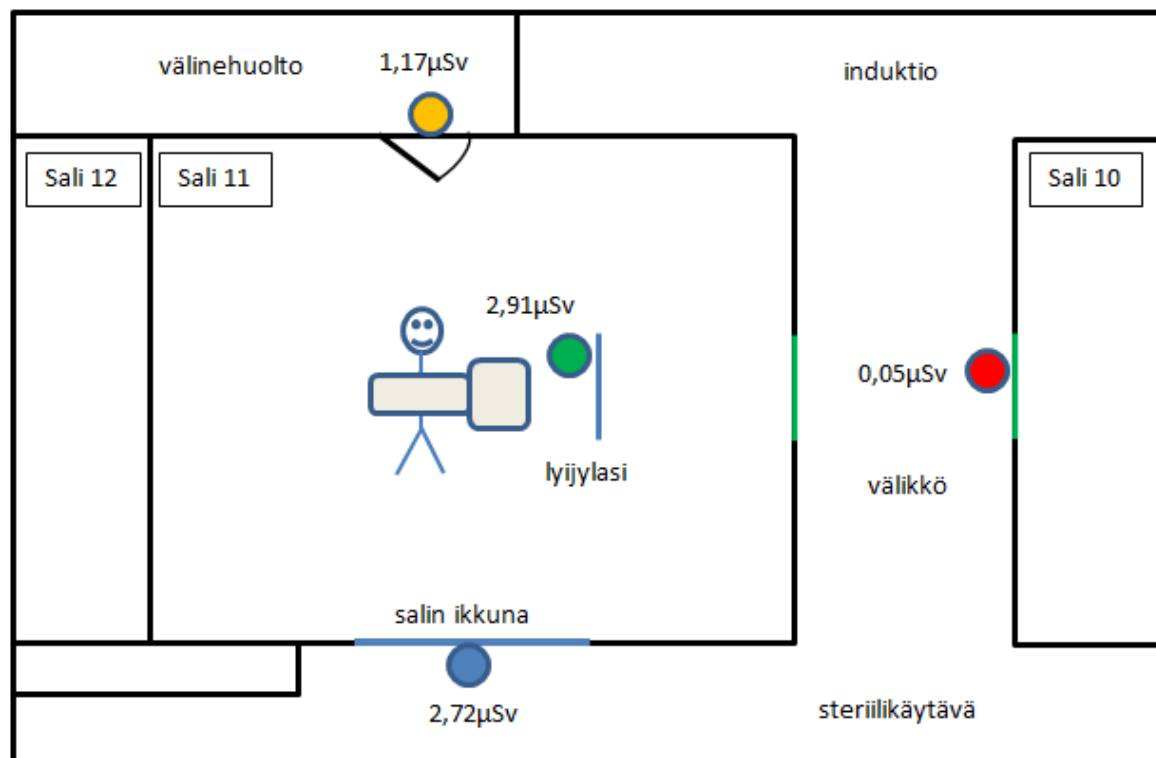
Leikkaussalin kaavakuva, O-kaaren asemointi salissa, täydennetään käytettävän salin mukaan:



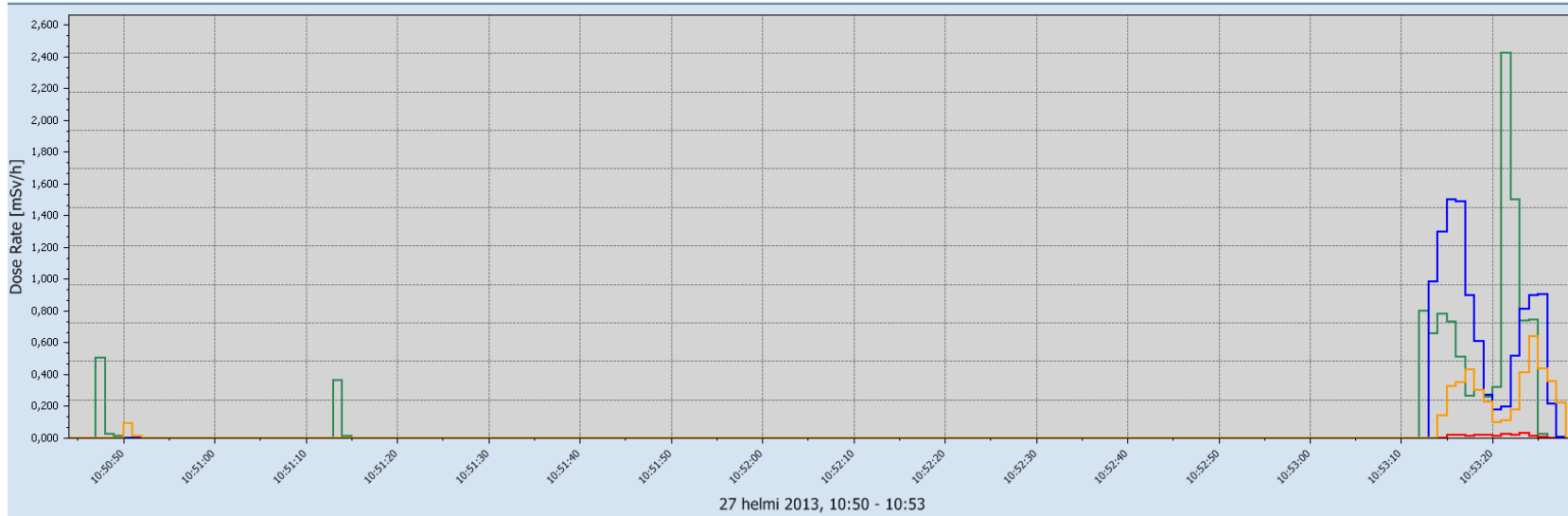
Säteilyn käytön aikana salissa olevien henkilöiden säteilysuojat ja toiminta:

Henkilö 1:

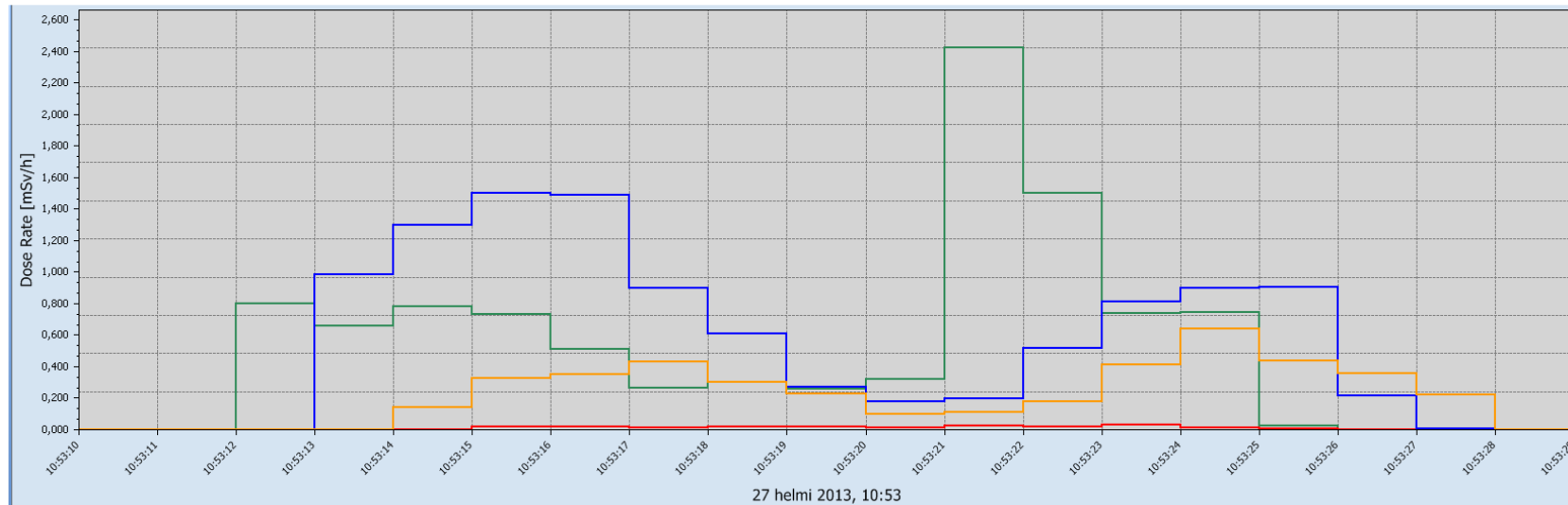
Henkilö 2:



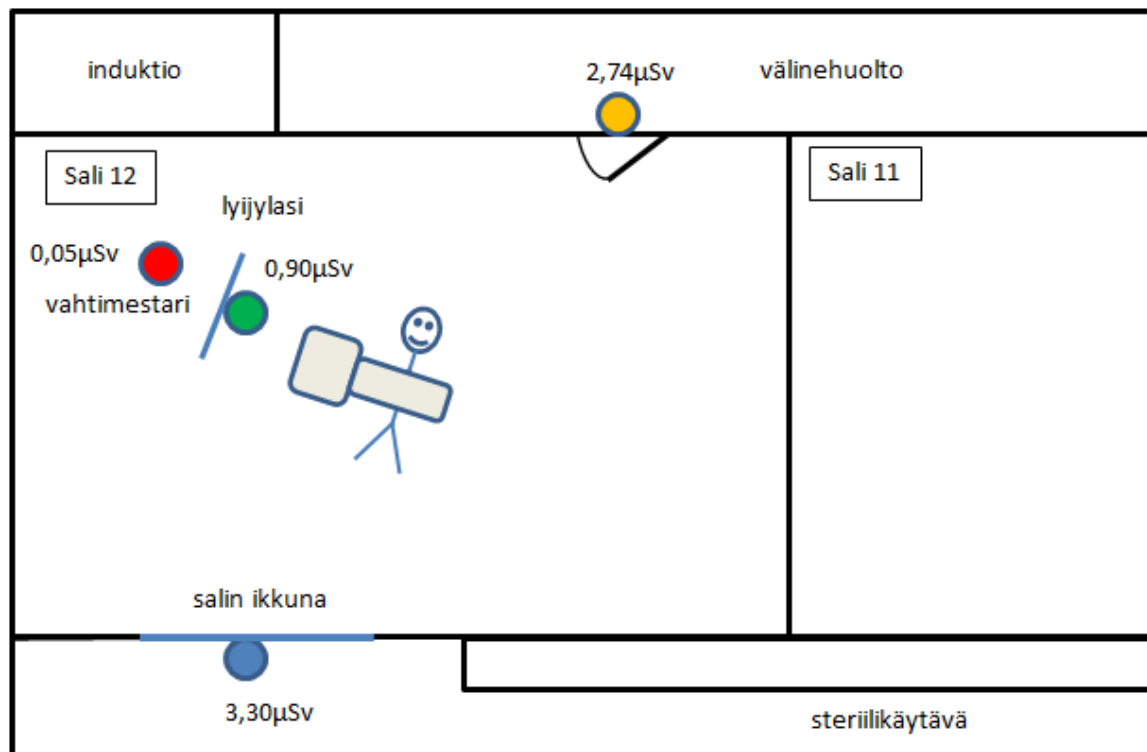
Salin 11 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 1. leikkauksessa



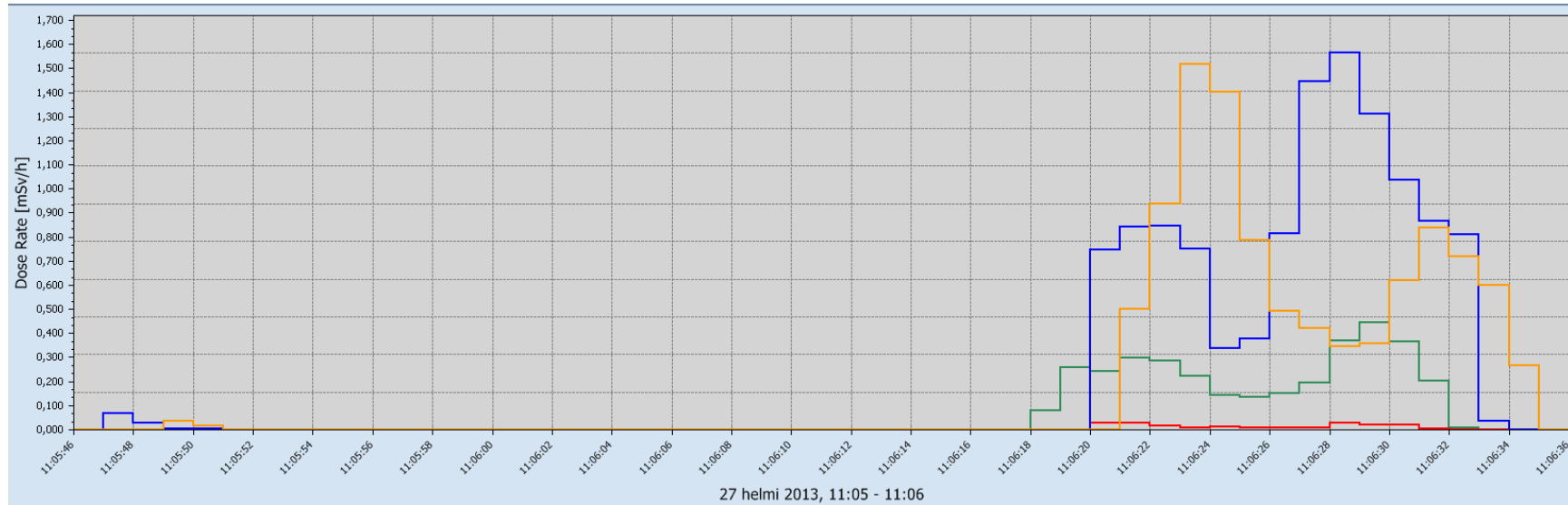
1. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



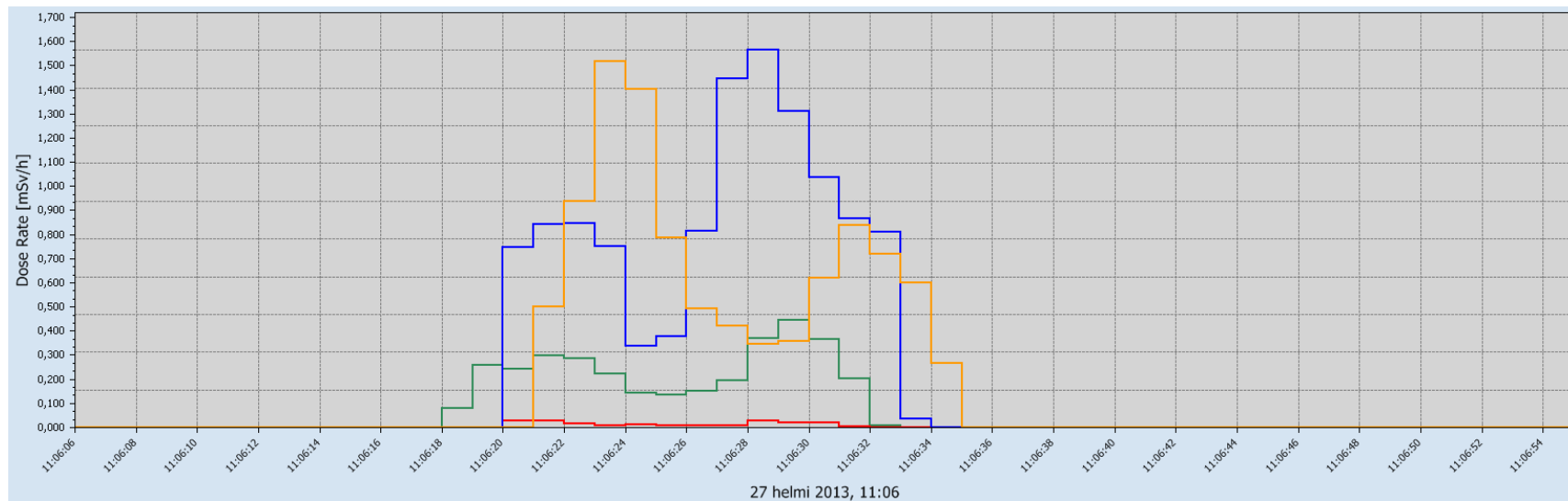
1. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



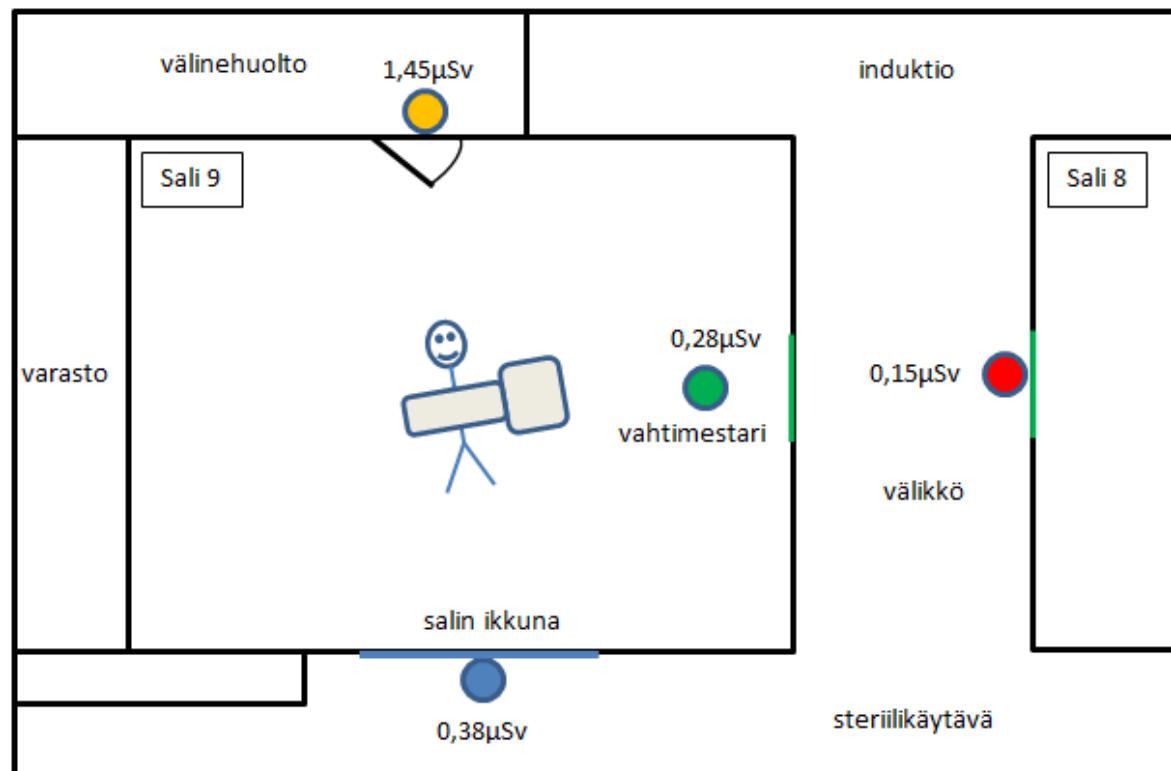
Salin 12 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 2. leikkauksessa



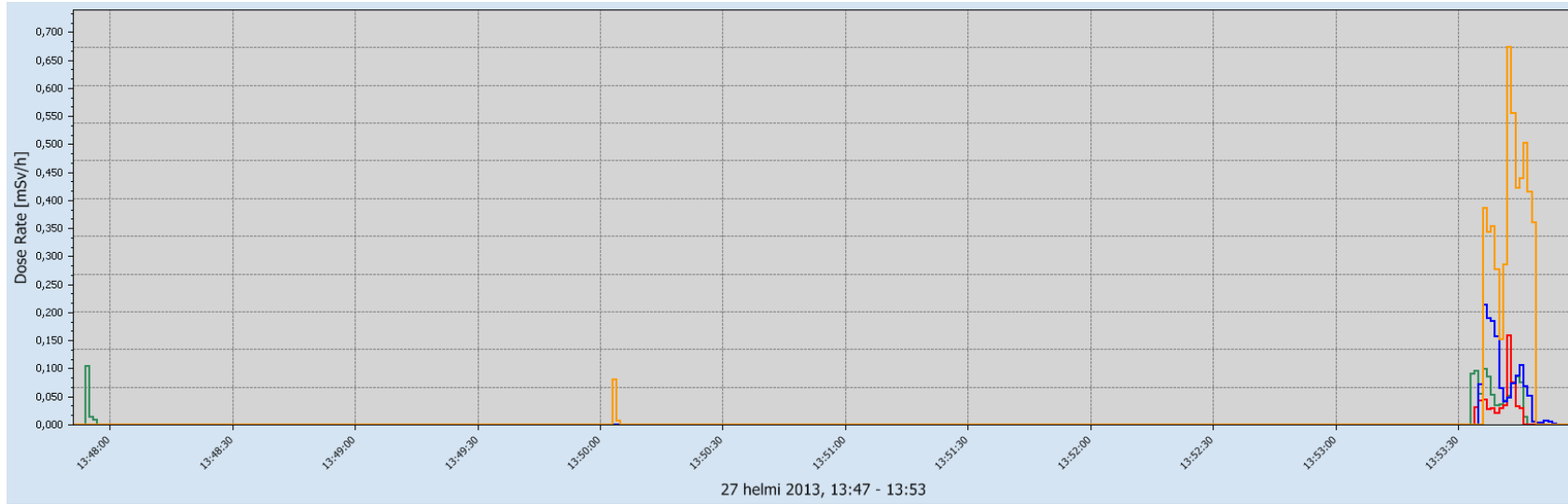
2. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



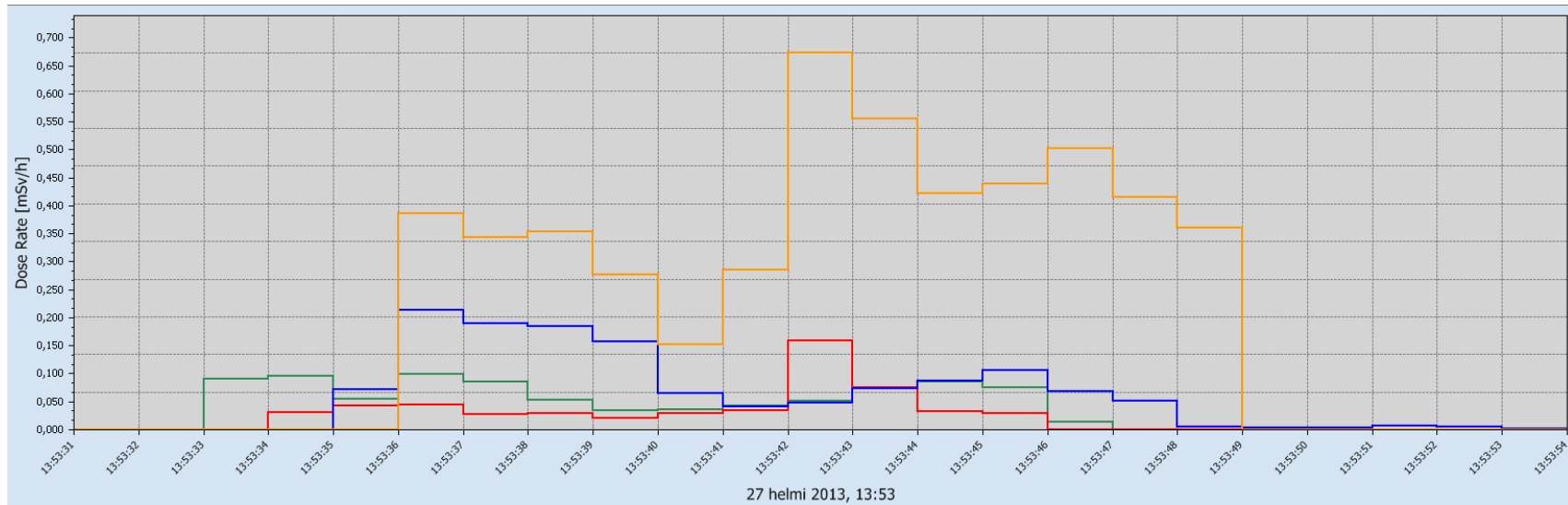
2. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



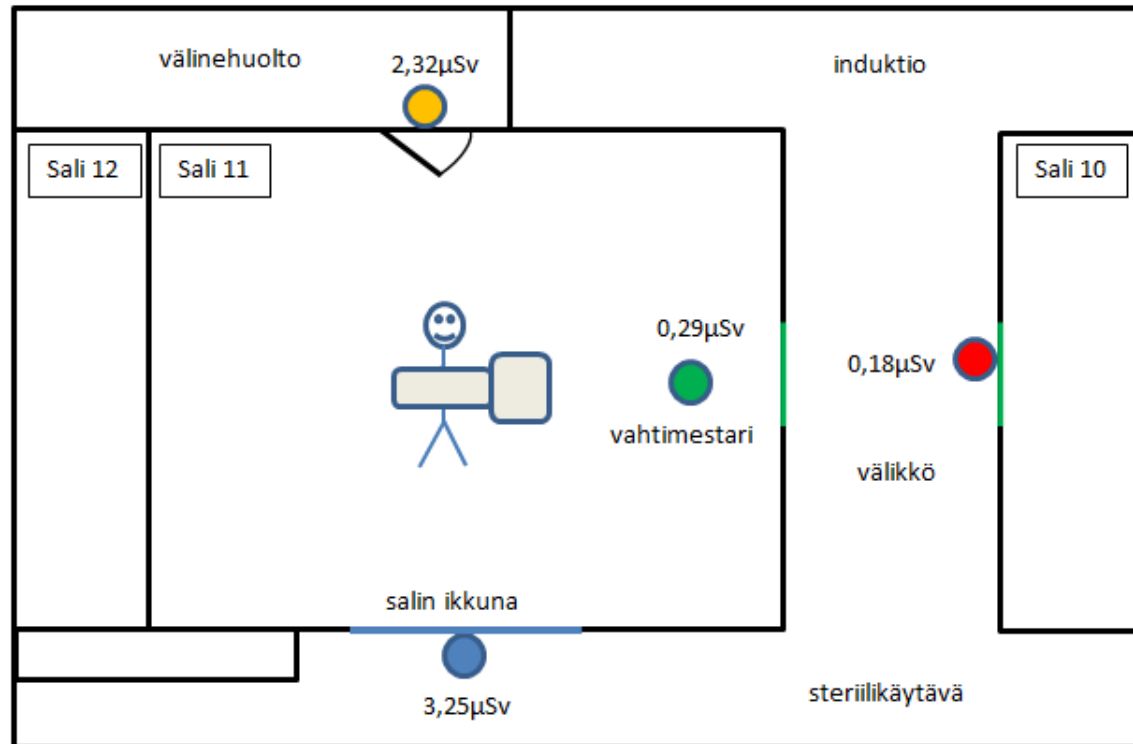
Salin 9 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 3. leikkauksessa



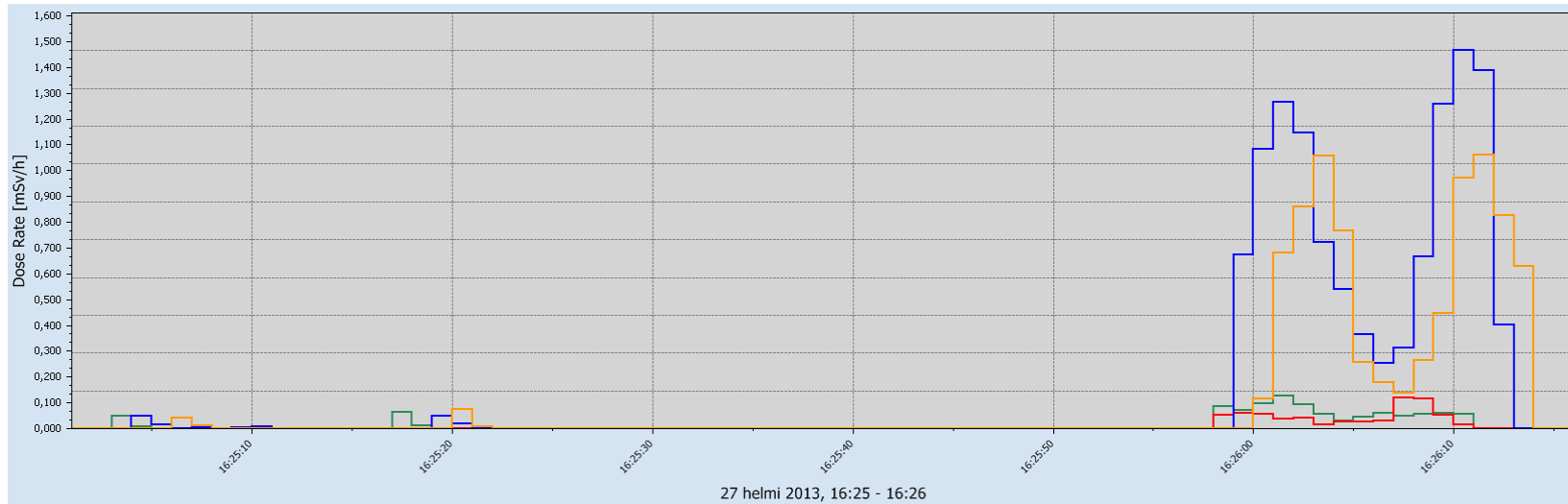
3. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



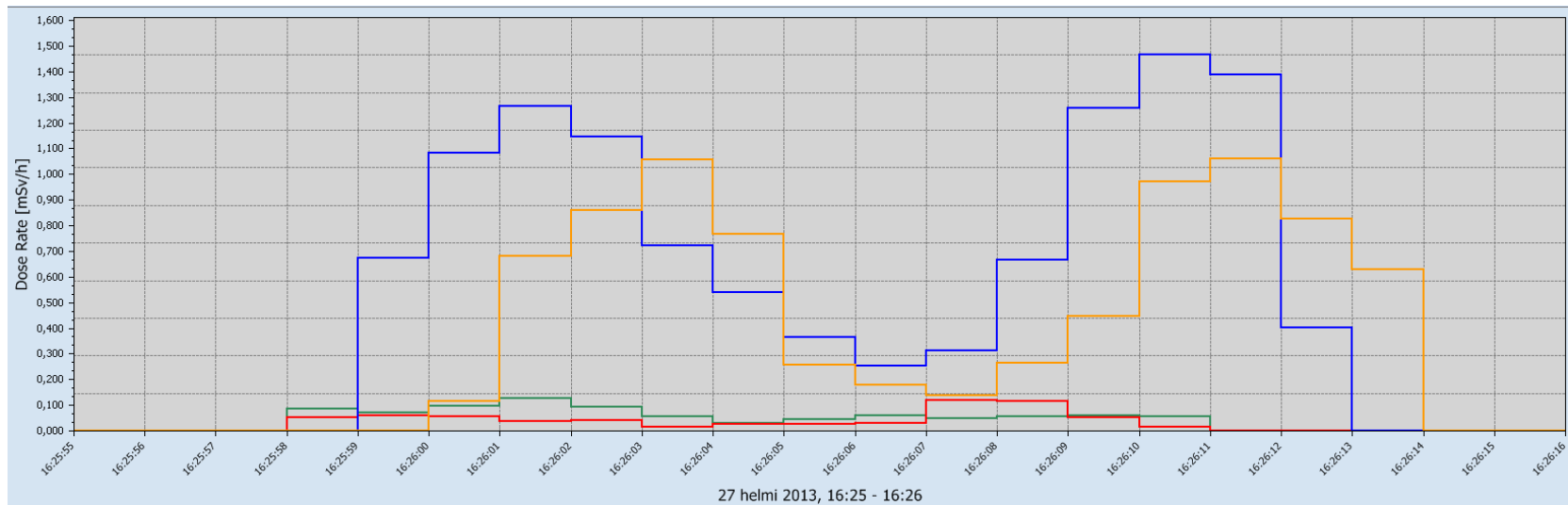
3. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



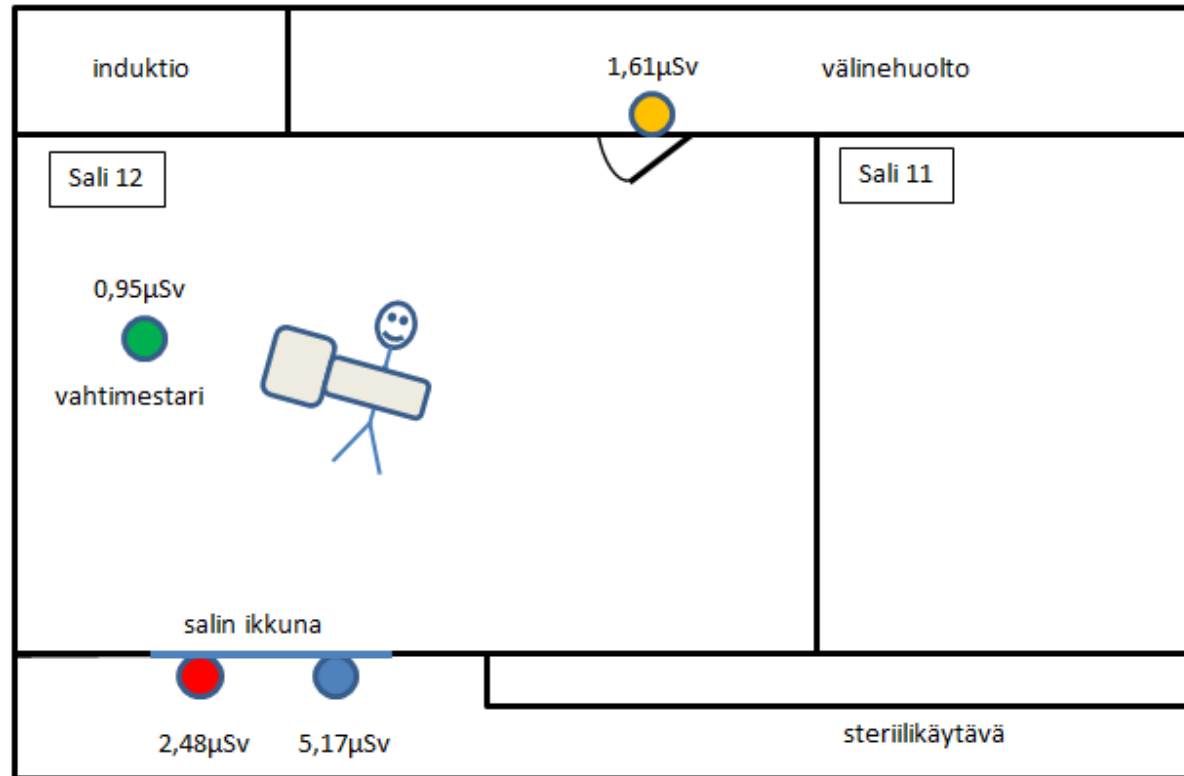
Salin 11 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 4. leikkauksessa



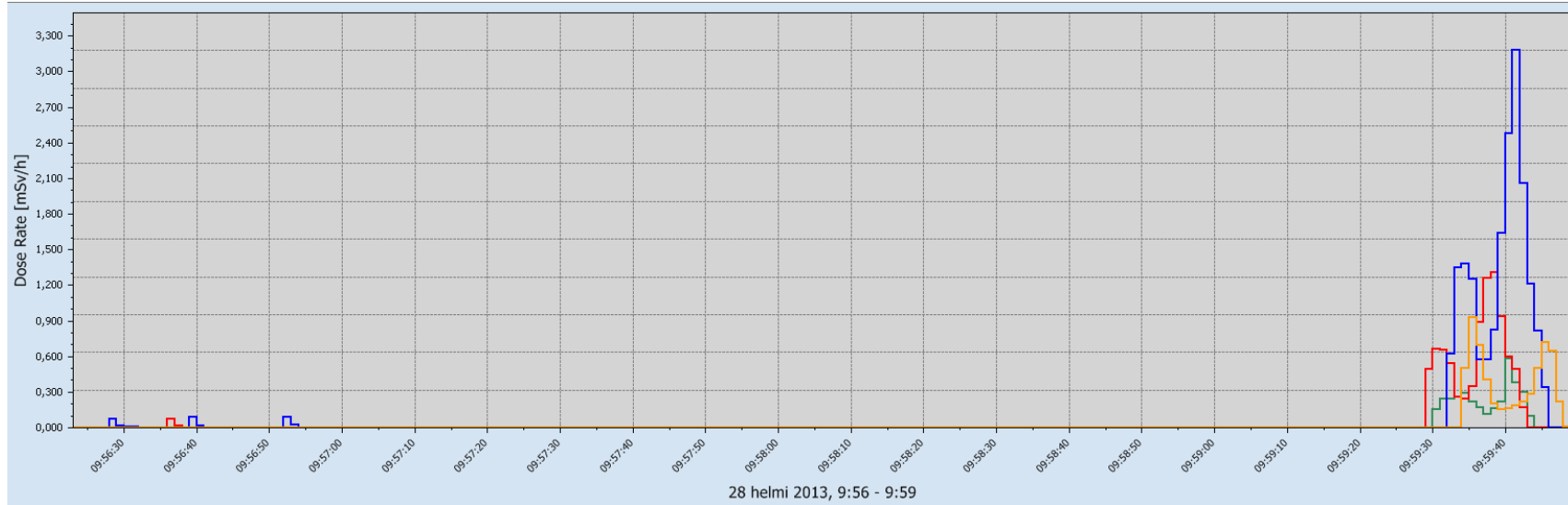
4. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



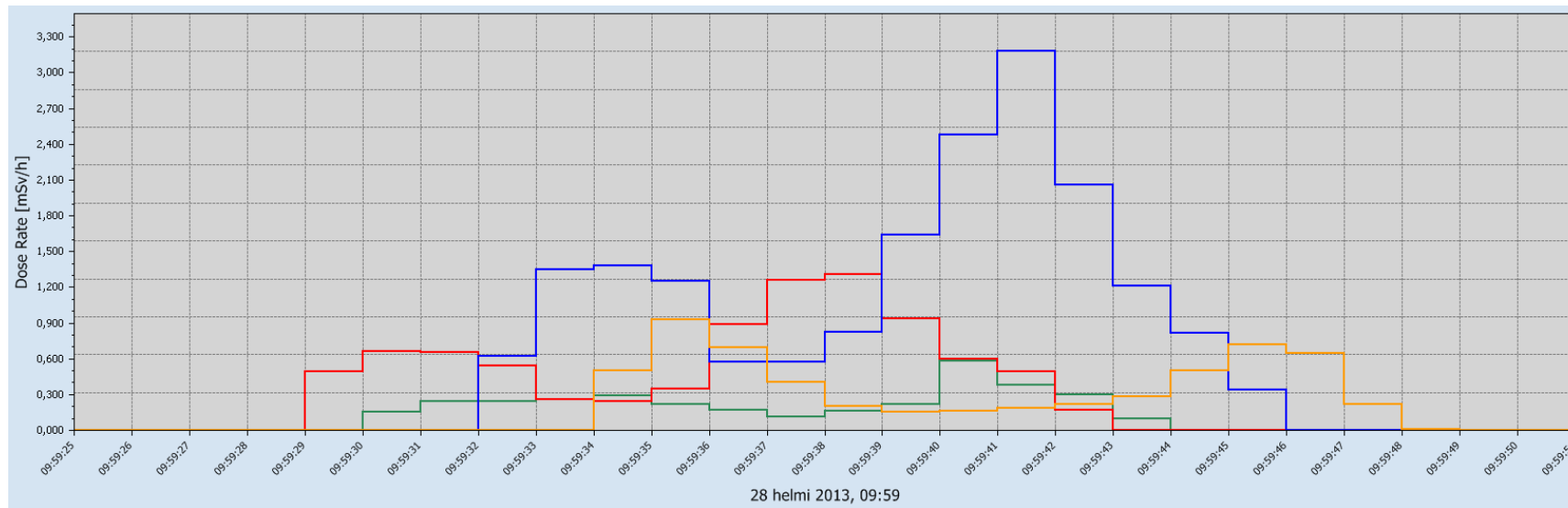
4. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



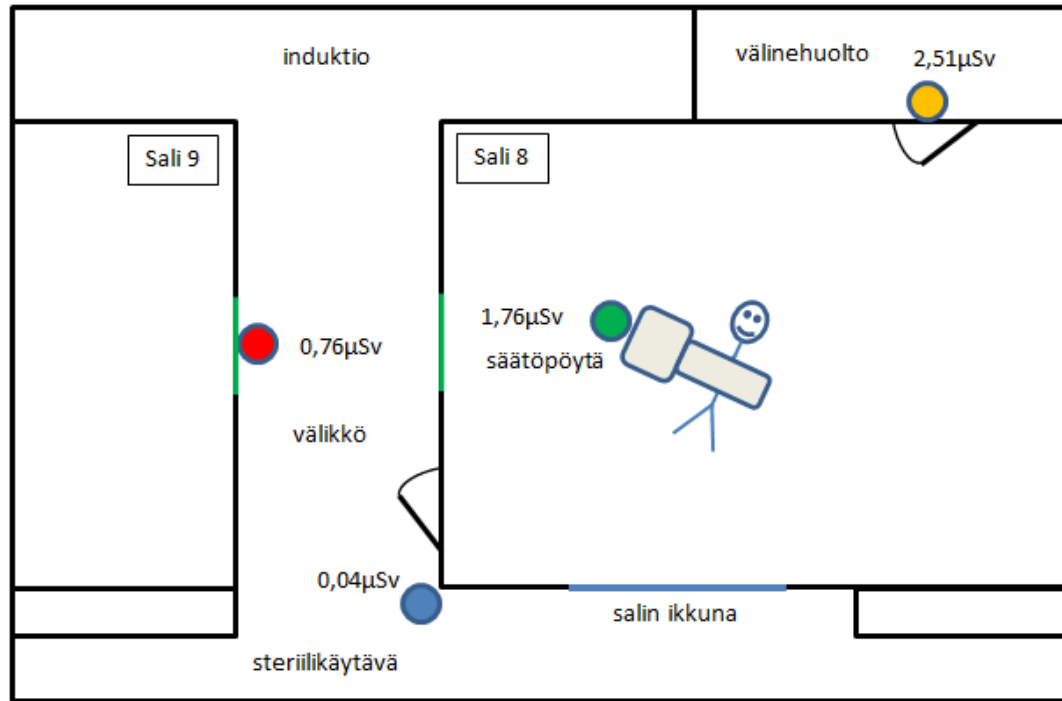
Salin 12 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 5. leikkauksessa



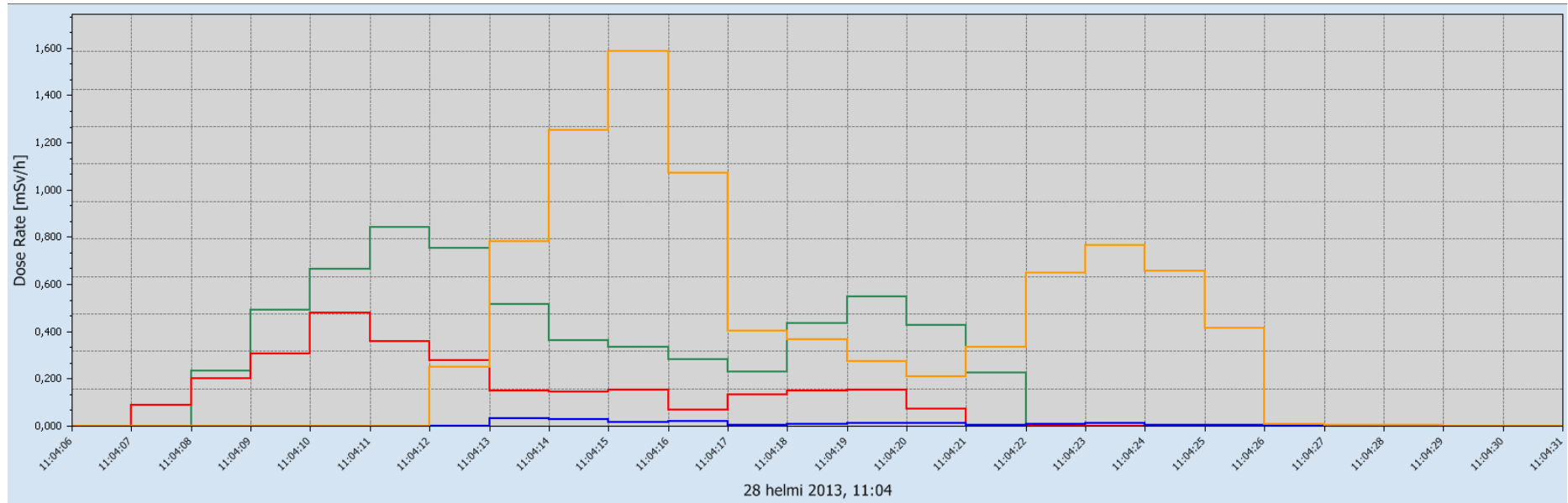
5. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



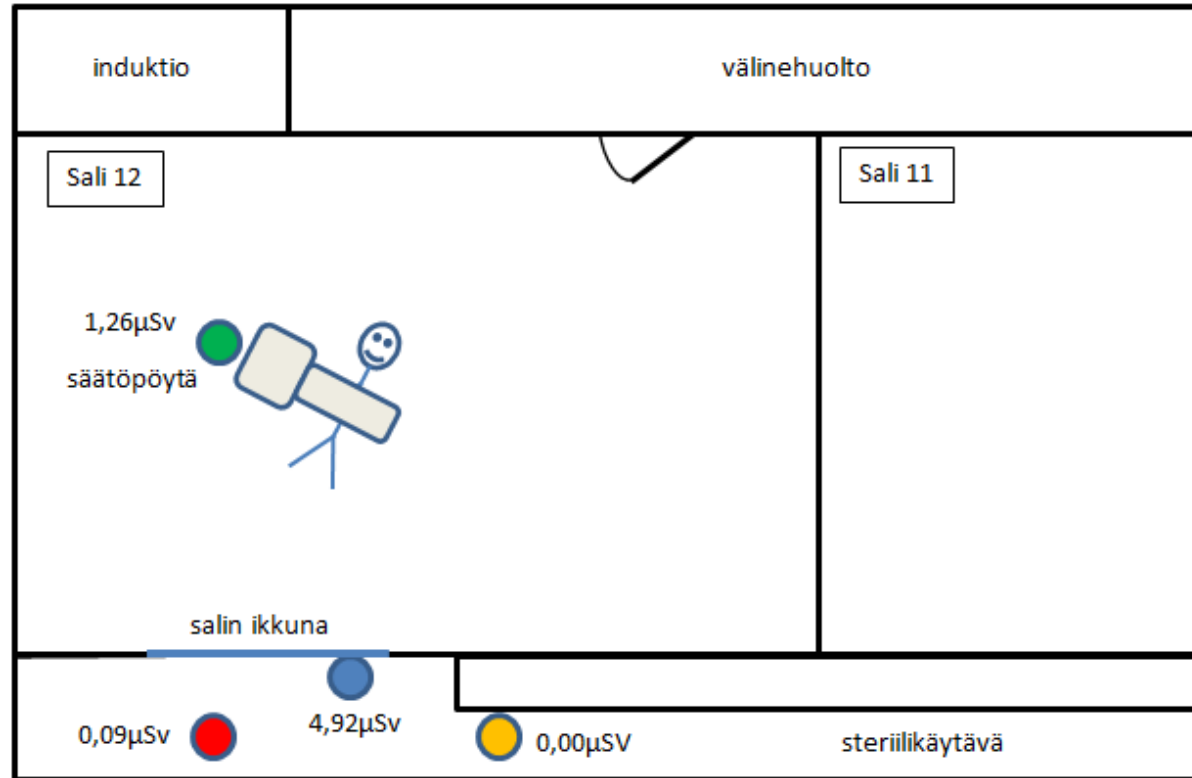
5. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



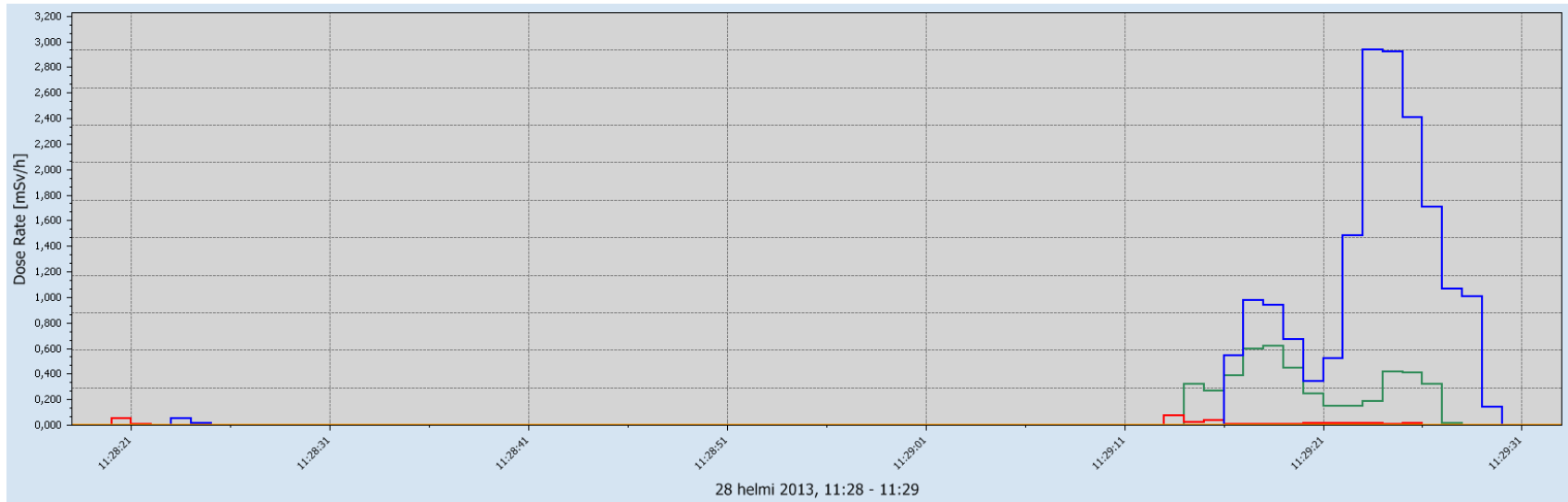
Salin 8 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 6. leikkauksessa



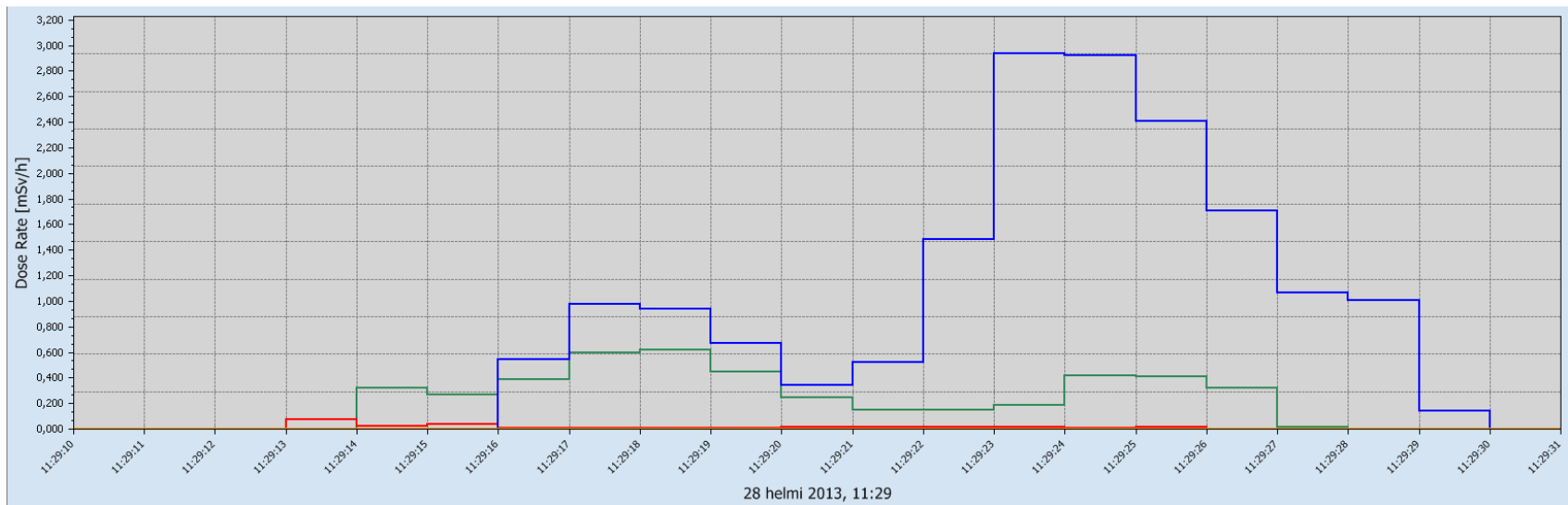
6. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



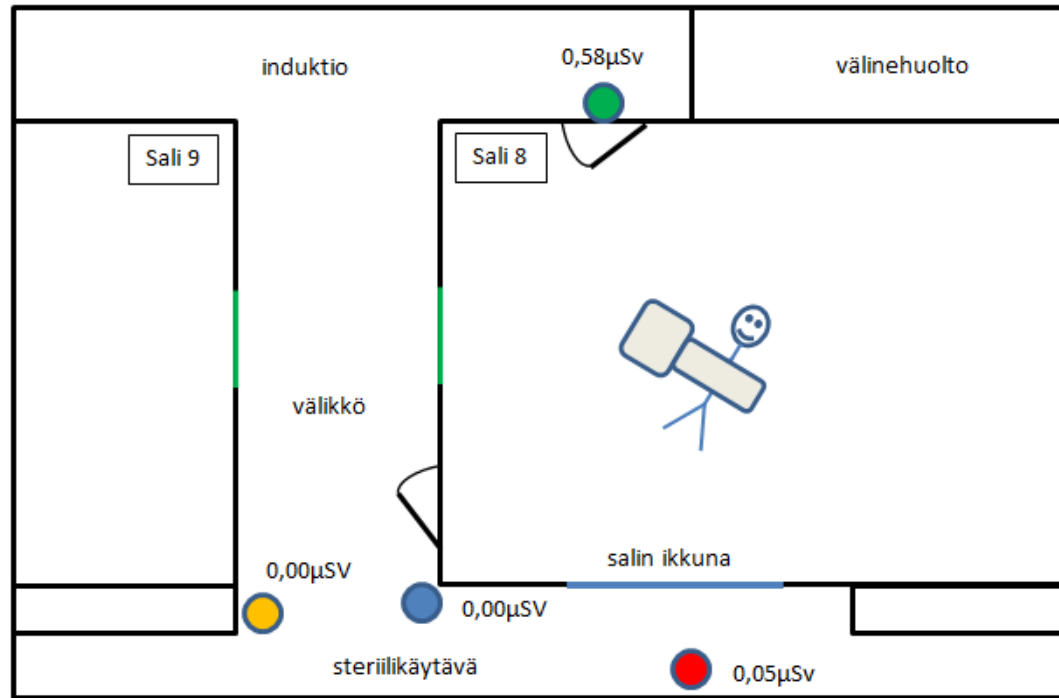
Salin 12 pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 7. leikkauksessa



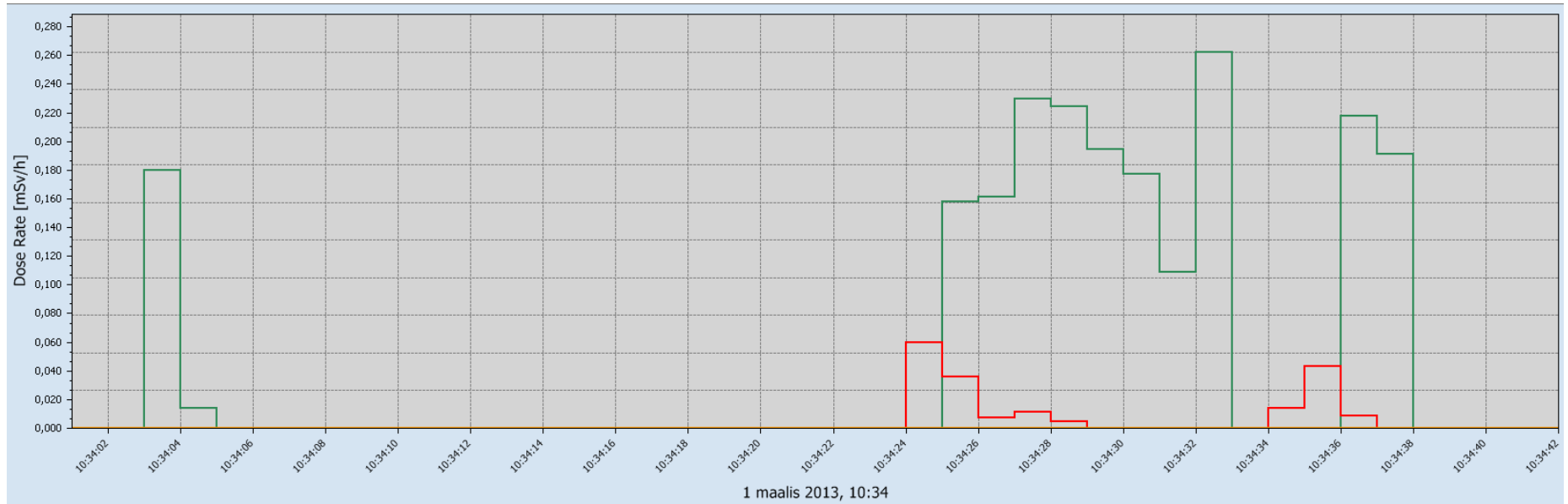
7. leikkauksen läpivalaisun ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona eri mittauspaikoissa



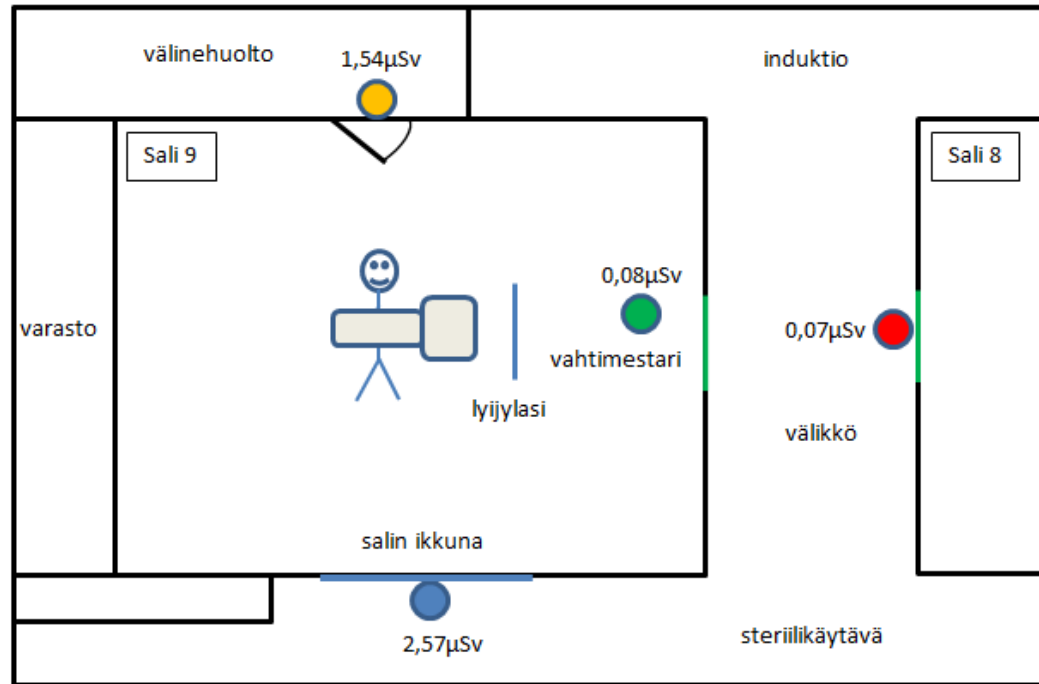
7. leikkauksen 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikoissa



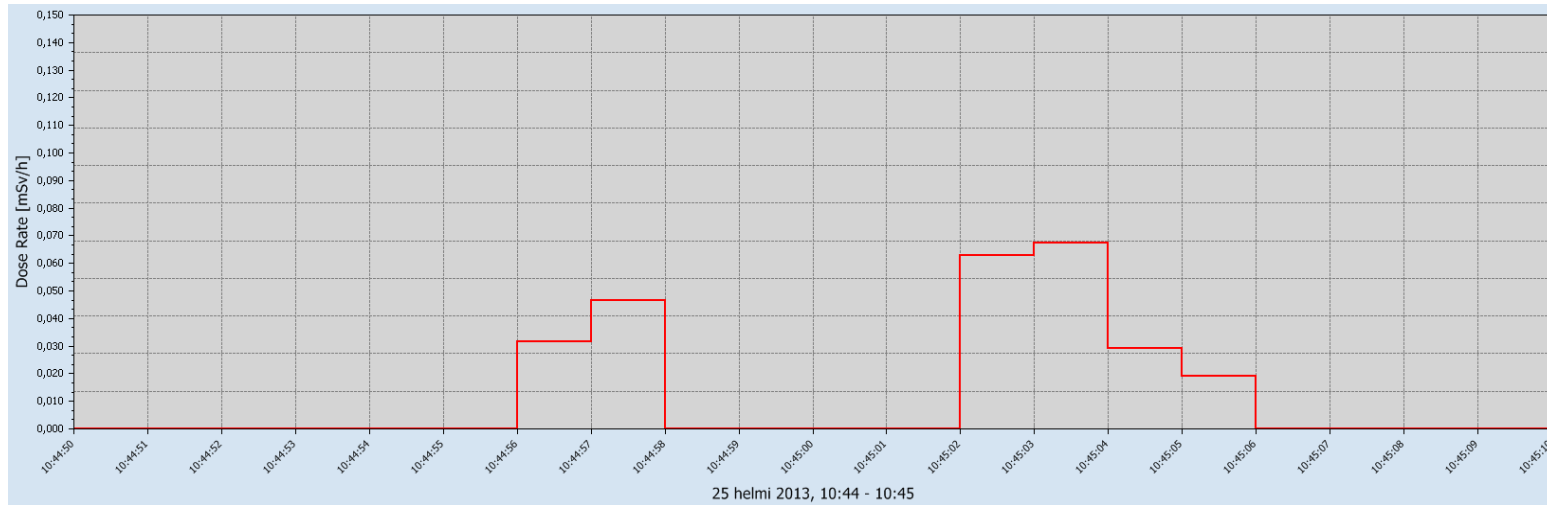
Salin 8 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos 8. leikkauksessa



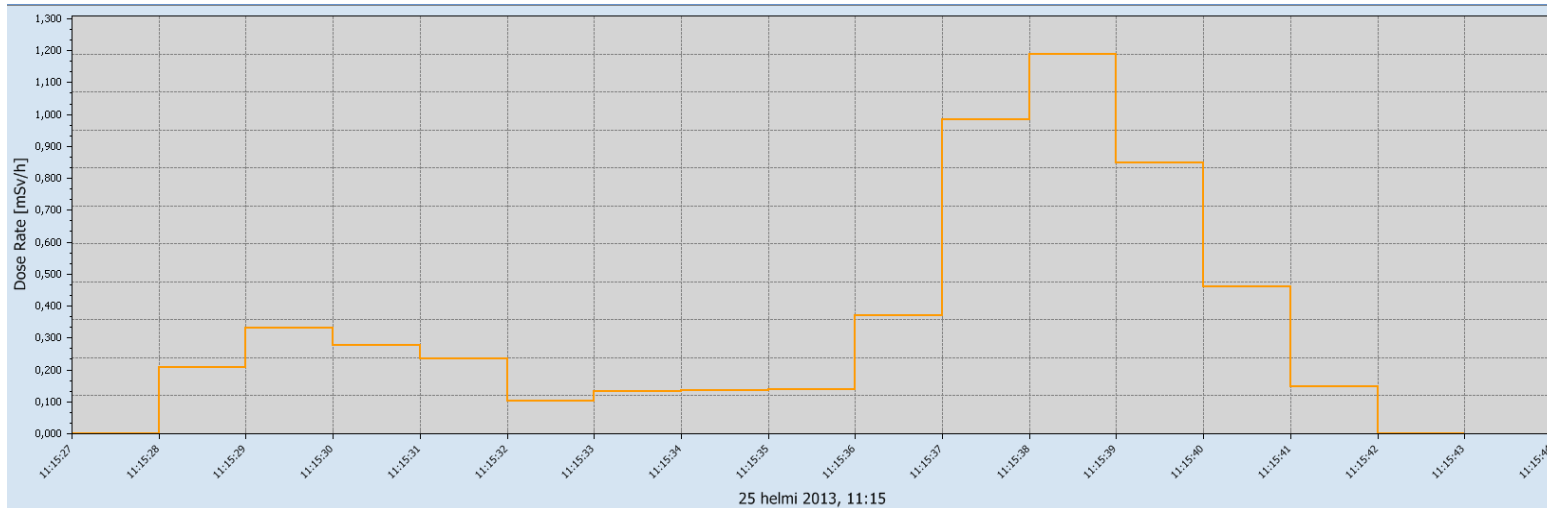
8. leikkauksen läpivalaisun (HLF, high level fluoro) ja 3D-kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella eri mittauspaikeissa



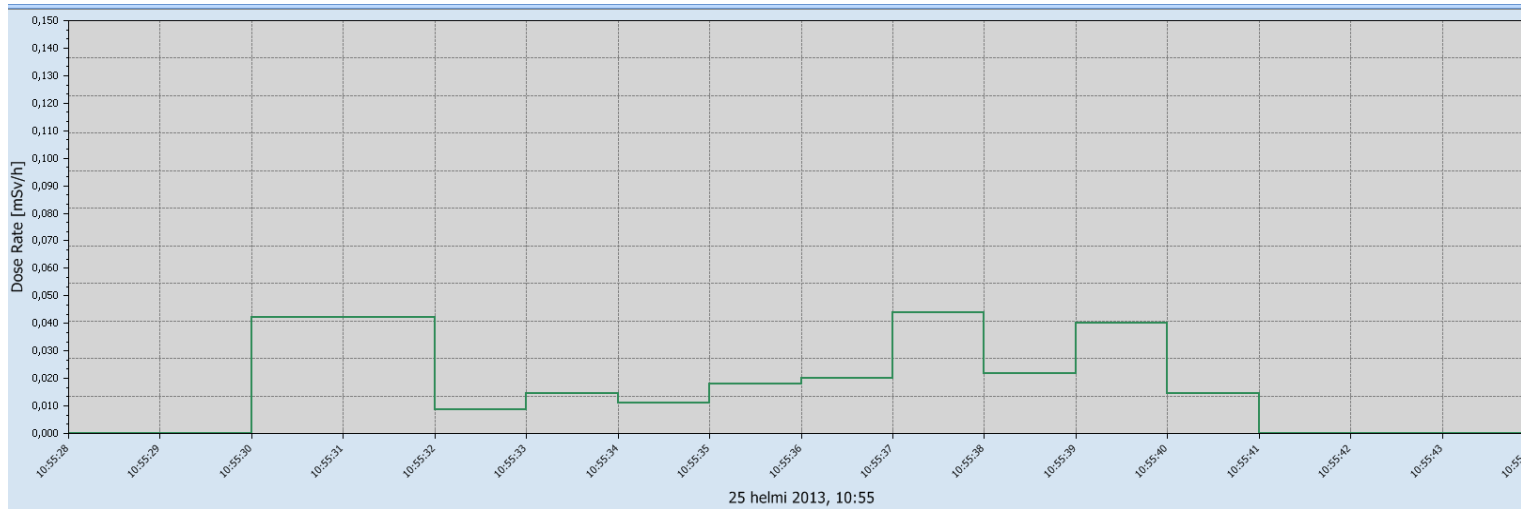
Salin 9 mittakaavaton pohjapiirros, mittareiden sijoittelu sekä mitattu säteilyannos esitestauksessa



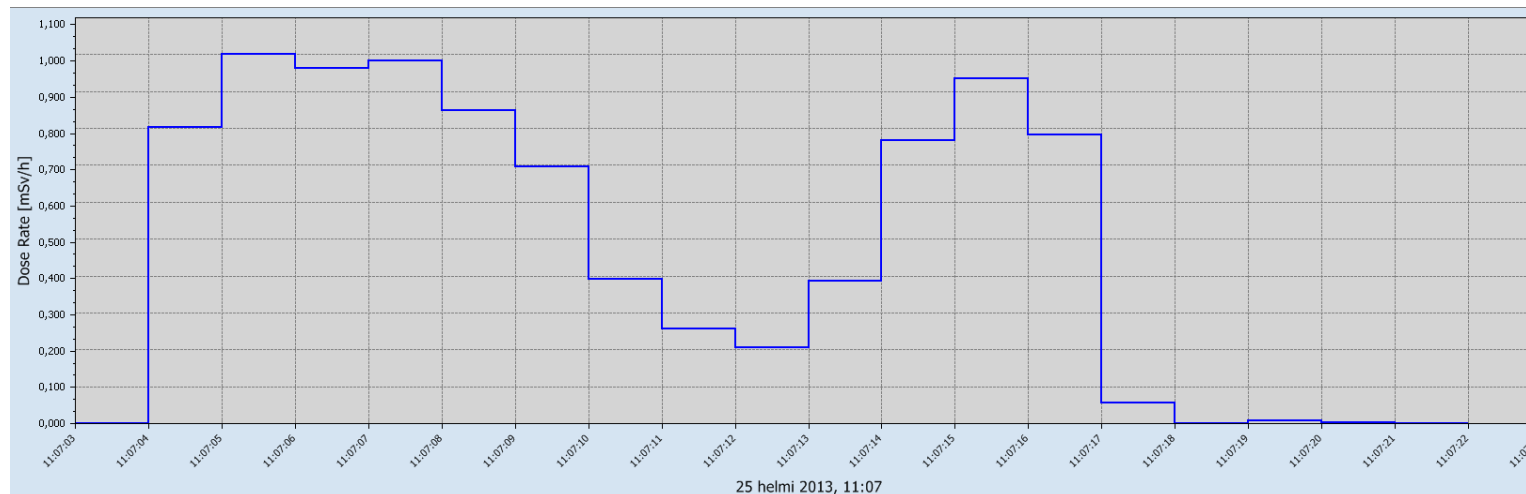
Esitestauksen 3D- kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella salien välissä (huom. kellonaika ei ole synkronissa muiden mittareiden kanssa)



Esitestauksen 3D- kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella välinehuollon oven takana (huom. kellonaika ei ole synkronissa muiden mittareiden kanssa)



Esitestauksen 3D- kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella vahtimestarin liivissä (huom. kellonaika ei ole synkronissa muiden mittareiden kanssa)



Esitestauksen 3D- kuvauksen annosnopeudet ajan funktiona sekunnin tarkkuudella leikkaussalin ikkunalla (huom. kellonaika ei ole synkronissa muiden mittareiden kanssa)

O-kaaren kuvausarvot läpivalaisussa ja 3D-kuvauksessa sekä potilaan säteilyannokset kuvauksissa

Leikkaus	Läpivalaisun kuvausarvot			Läpivalaisun potilaan annos		3D-kuvausarvot			3D-kuvauksen potilaan annos	
	kV	mA	aika (s)	Exposure (mGy)	DAP (mGycm ²)	kv	mAs	mA	CTDI (mGy)	DLP (mGycm)
Esitestaus	93	11	2.78	3.64	560.37	120	320	80	22.52	210.12
Leikkaus 1	103	11	3.94	5.10	1152.45	120	320	80	22.52	360.2
Leikkaus 2	81	10.4	1.41	1.53	346.53	120	320	80	22.52	360.2
Leikkaus 3	86	10.6	2.57	3.49	788.10	120	200	50	14.08	225.13
Leikkaus 4	125	12.4	3.74	4.96	1118.78	120	400	100	28.15	450.25
Leikkaus 5	100	11	5			120	400	100		
Leikkaus 6	105	11.4	4			120	320	80		
Leikkaus 7						120	400	100		
Leikkaus 8	103	11.4	0.67	4.10	792.30	120	200	50	14.08	187.60