

Joni Granlund

Elina Juola

## **VISMUTTISUOJIEN JA ANNOSMODULOINNIN VAIKUTUS SÄTEILYANNOK- SEEN**

Annosmittaukset fantomilla Siemens SOMATOM Definition Flash TT –laitteella

# **VISMUTTISUOJIEN JA ANNOSMODULOINNIN VAIKUTUS SÄTEILYANNOK- SEEN**

Annosmittaukset fantomilla Siemens SOMATOM Definition Flash TT –laitteella

Joni Granlund  
Elina Juola  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Radiografian ja sädehoidon  
koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

---

Tekijät: Joni Granlund & Elina Juola

Opinnäytetyön nimi: Vismuttisuoja ja annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen.  
Annosmittaukset fantomilla Siemens SOMATOM Definition Flash TT –laitteella

Työn ohjaajat: Anja Henner & Anna-Leena Manninen

Työn valmistuslukukausi ja –vuosi: Kevät 2015

Sivumäärä: 53

---

Perinteisesti tietokonetomografiatutkimuksessa (TT) säteilysuojia on käytetty suojaamaan primäärisäteilykeilan ulkopuolella sijaitsevia elimiä potilaasta itsestään ja laitteesta, sekä ympäröiviltä pinnoilta siroavalta säteilyltä. Eri materiaaleista on kehitetty säteilysuojia joita voidaan käyttää kuvausalueella suojaamaan pinnallisia säteilyherkkiä elimiä primäärisäteilyltä. Näiden suojien teho perustuu siihen, että ne absorboivat itseensä matalaenergistä röntgensäteilyä, läpäisten kuitenkin kuvanmuodostuksessa tarvittavan energia-alueen. Kaikista tutkituin materiaali on vismutti, joka näyttöön perustuen antaa merkittävän annossäästön pinnallisille elimille. Vismuttisuoja on kuitenkin raportoitu aiheuttavan kuvaan artefaktaa, sekä kohinan nousua suojan alapuoliseen kuva-alueeseen.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eri vismuttisuoja ja annosmoduloinnin vaikutusta eri elinten säteilyannokseen Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella. Tutkimuksen tarve tuli Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) röntgenosastoilta; he halusivat ajantasaiset ohjeistukset vismuttisuoja käytöstä. Tutkimuksessa käytettiin vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojaa sekä rintarauhasuojaa kahdella eri paksuisella väliaineella. Käytetty annosmodulointitekniikka oli Siemensin CARE-Dose4D reaaliaikainen putkivirran (mA) modulointi. Säteilyannosten mittaamiseen käytettiin MOSFET -antureita (39 kpl). Ihmiskehon kuvantamista mallinnettiin antropomorfisella fantomilla, jolla oli parafiinista itse valmistetut rinnat.

Pelkästään annosmodulaatiota käytettäessä silmän linssin annoksen mitattiin pienentyvän 66 %. Kun käytettiin annosmodulaatiota ja vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojaa saatiin annossäästöä lisää 31 % verrattuna pelkän annosmodulaation käyttöön. Rinnan annokseen vaikutti käytetty väliaine. Kun annosmodulaation lisäksi käytettiin 1 cm paksuista väliainetta suojan alla, pienensi se rinnan pinta-annosta 34 %, ja vastaavasti annossäästö oli 16 % kun käytettiin 5 cm paksuista väliainetta. Suojien asettaminen suunnittelukuvaan ei nostanut suojien alla olevien elinten säteilyannosta. Annosmodulaation käyttö ja suojien asettaminen suunnittelukuvan jälkeen pienensi eniten säteilyannosta. Merkittävin säteilyannossäästö säteilyherkille elimille tuli annosmodulaation käytöstä yhdistettynä vismuttisuojaan.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuoda tutkimustietoa perusteeksi laadittaessa toimintaohjeita Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteelle vismuttisuoja käytöstä. Johtuen erilaisista annosmodulaatiotekniikoista, vismuttisuoja käytön haitat ja hyödyt voivat vaihdella eri valmistajien kuvantamislaitteiden kesken. Jatkotutkimushaasteena on vismuttisuoja vertaaminen bariumsuojiin, sekä näiden suojien aiheuttaman kuvausartefaktan tutkiminen.

---

Asiasanat: vismuttisäteilysuoja, TT -kuvantaminen, annosoptimointi, CARE-Dose4D

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Radiography and Radiation Therapy

---

Authors: Joni Granlund & Elina Juola

Title of thesis: The effect of bismuth shields and automated exposure control to radiation dose. Dose measurements with Siemens SOMATOM Definition Flash CT.

Supervisors: Anja Henner & Anna-Leena Manninen

Term and year when the thesis was submitted: Semester 2015

Number of pages: 53

---

In computed tomography (CT) x-ray shields have been traditionally used to protect organs outside primary radiation field from scattered radiation coming from patient itself, from machine and from surrounding surfaces. There has been developed radiation shields that can be used in imaging area to protect superficial organs from primary radiation. The effect of these shields is based on that they absorb low energy radiation but pass energy spectrum that is used in image formation. The most studied material is bismuth that is reported to give significant dose reduction into superficial organs. Bismuth shields have been however reported to cause artefact and noise to image area under the shield.

Aim of this research was to investigate the effect of bismuth shield and automated exposure control of Siemens SOMATOM Definition Flash CT to radiation dose of different organs. The need for the research came from the x-ray wards of the Oulu University hospital; up-to-date directive for the usage of bismuth shields. Bismuth eye and thyroid shields were used and breast shield with two different wide medium were also used. Siemens CARE-Dose4D was used as automated exposure control. MOSFET dosimetry (39 pcs) were used for measurement of the radiation. Human body imaging was modelled with anthropomorphic phantom which had self-made breast made from paraffin.

Radiation dose of the eye was measured to reduce by 66% when automated exposure control was used. When automated exposure control with bismuth thyroid and eye shield were used dose was reduced by 31% compared to using only automated exposure control. When automated exposure control was used with breast shield with 1 cm medium superficial breast dose was reduced by 34% and with shield with 5 cm medium dose was reduced by 16%. Placing the shield in planning image didn't increase the dose of the organs that were beneath the shield. The highest reduction of the radiation dose was achieved by placing the shield after the planning image and using the automated exposure control. The most significant dose reduction to radiation sensitive organs was achieved by using automated exposure control with bismuth shields.

Research data can be used when planning directive for the usage of bismuth shield for Siemens SOMATOM Definition Flash CT. Because of the different techniques of automated exposure controls results can vary between different manufactures. Further research challenges are to compare bismuth shields with barium shields and to study imaging artefacts produced by these shields.

---

Keywords: bismuth radiation shield, CT imaging, dose optimization, CARE-Dose4D

# SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO .....  | 7  |
| 2     | POTILASANNOKSEN OPTIMOINTI  |    |
|       | TIETOKONETOMOGRFIATUTKIMUKSESSA .....   | 8  |
| 2.1   | Säteilysuojien käyttö tietokonetomografiassa .....  | 9  |
| 2.1.1 | Vismuttisäteilysuojat .....   | 10 |
| 2.2   | Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteen annosmodulointitekniikat ..   | 11 |
| 2.3   | Uuden tutkimuksen tarve .....   | 12 |
| 3     | TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....  | 14 |
| 4     | TUTKIMUSMETODOLOGIA .....   | 15 |
| 5     | TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....  | 16 |
| 5.1   | Käytetty laitteisto.....  | 16 |
| 5.2   | Antureiden sijoitus .....   | 17 |
| 5.3   | Kuvaussarjat .....  | 20 |
| 5.4   | Mittaustulosten analysointi.....  | 22 |
| 6     | TUTKIMUSTULOKSET .....  | 24 |
| 6.1   | Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen.....                              | 24 |
| 6.2   | Vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen.....   | 27 |
| 6.3   | Vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuuden vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen.....  | 29 |
| 6.4   | Vismuttisuojan asettelun ajoituksen vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä ..... | 30 |
| 7     | JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUS.....   | 33 |
| 8     | POHDINTA .....  | 35 |
| 8.1   | Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen .....  | 35 |
| 8.2   | Vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen .....   | 36 |
| 8.3   | Vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuuden vaikutus säteilyannokseen .....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| 8.4 Vismuttisuojan asettelun ajoituksen vaikutus säteilyannokseen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä ..... | 39 |
| 8.5 Tutkimuksen toistettavuus ja luotettavuus .....  | 40 |
| 8.6 Tutkimuksen eettisyys.....   | 42 |
| 8.7 Omat oppimiskokemukset.....  | 43 |
| 8.8 Jatkotutkimushaasteet .....  | 43 |

# 1 JOHDANTO

Keskimääräinen suomalaisen saama säteilyannos vuodessa on noin 3,2 mSv. Annoksesta puolet on lähtöisin sisäilman radonista ja noin kolmannes luonnon taustasäteilystä. Ihmisen aiheuttamia säteilylähteitä ovat lääketieteelliset röntgentutkimukset ja isotooppitutkimukset, ydinasekokeet ja Tšernobylin laskeuma. Nämä aiheuttavat yhteensä 0,5 mSv annoksen vuosittain. Näistä suurin säteilylähde on lääketieteelliset röntgentutkimukset (0,45 mSv), aiheuttaen 15 % kaikesta vuosittain saatavasta säteilystä. (Säteilyturvakeskus (STUK) 2014, viitattu 13.5.2014.)

Suurin osa röntgentutkimusten aiheuttamasta säteilystä on lähtöisin TT eli tietokonetomografiatutkimuksista, joiden määrä on jatkuvasti kasvamassa nopeasti. Arvioiden mukaan lisääntyneet TT -tutkimusmäärät ovat aiheuttaneet sen, että pelkästään vuoden 2007 aikana USA:ssa suoritettavat TT-tutkimukset tulevat aiheuttamaan 29 000 uutta syöpätaipautta. (Huggett, Mukonoweshuro & Loader 2013, 161.)

TT:n käyttöä on lisännyt parempaa resoluutiota antavien monileikelaitteiden yleistyminen. Määrän lisääntymiseen on vaikuttanut tutkimusten nopeus sekä diagnoosin tekemisen tarkentuminen monileiketekniikan ansiosta. Yksi yleistynyt tutkimus on sydämen TT -tutkimus, jonka efektiivinen annos voi nousta 30 mSv:iin. Uusien tutkimuksien mukaan sydämen TT -tutkimukseen liittyy korkein syöpäriski kaikista TT -tutkimuksista, koska korkean annoksen lisäksi alueella sijaitsevat rinnat ja keuhkot, jotka kuuluvat säteilylle herkimpiin elimiin. Alueella on säteilyherkistä elimistä lisäksi ruokatorvi ja luuydin. (Foley, McEntee & Rainford 2013, 439.)

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää kokeellisilla säteilyannosmittauksilla eri vismuttisuojausten ja annosmoduloinnin vaikutusta säteilyannokseen Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuoda näyttöön perustuvaa lisätietoa vismuttisuojausten suojavasta vaikutuksesta TT -tutkimuksessa, sekä vaikuttaa sairaaloiden ja muiden kuvantamisyksiköiden käytäntöihin niiden käytöstä.

## 2 POTILASANNOKSEN OPTIMOINTI TIETOKONETOMOGRAFIATUTKIMUKSESSA

Natiiviröntgenkuvantamisen optimointiin ja säteilysuojien käytöstä on tehty useita tutkimuksia, esim. Manninen, Kotiaho & Nieminen (Sädeturvapäivät 2014) mittasivat säteilyannoksia säteilysuojainten käytöstä skolioosikuvantamisessa. Natiiviröntgentutkimuksiin verrattuna TT -tutkimuksesta saatu säteilyannos vastaa jopa usean sadan keuhkojen natiiviröntgenkuvauksesta saatua efektiivistä annosta (katso taulukko 1). Potilasannoksen optimoinnilla TT -kuvantamisessa voidaan vaikuttaa merkittävästi väestön säteilyrasitukseen.

*TAULUKKO 1. Tietokonetomografiatutkimusten säteilyannoksia (STUK 2013, viitattu 25.4.2014)*

| TT-tutkimus | Efektiivinen annos (mSv) | Annosvastaavuus: PA-keuhkokuva | Annosvastaavuus: altistuminen luonnon taustasäteilylle |
|-------------|--------------------------|--------------------------------|--|
| Pää         | 2                        | 70                             | 8 kk   |
| Keuhkot     | 9                        | 300                            | 3 vuotta   |
| Lanneranka  | 9                        | 300                            | 3 vuotta   |
| Vatsa       | 12                       | 400                            | 4 vuotta   |

TT -tutkimuksen annosoptimointiin on useita eri tekniikoita. Säteilysuojien lisäksi säteilyannosta voidaan pienentää automaattisella virran moduloinnilla, sydänsähkökäyrätahdistuksella, putkijännitteen alentamisella, iteratiivisilla laskentamenetelmillä sekä kohdennetulla tiettyä elintä säästävällä putkivirran moduloinnilla. (Foley ym. 2013, 439.)

ICRP (International Commission on Radiological Protection) (2007) mukaan potilasannoksen optimoinnissa ei kiinnitetä huomiota pelkästään potilaan saamaan kokonaisannokseen vaan myös yksittäisten elinten annoksiin. ICRP (2007) on määrittänyt eri elinten säteilyherkkyydelle painotuskertoimet, joita käytetään efektiivistä annosta laskiessa. Kilpirauhasen painotuskerroin on 0,04 ja rintojen 0,12. Säteilyherkempiä elimiä ovat rintojen lisäksi punainen luuydin, paksusuoli, keuhkot, sylkirauhaset, ruokatorvi ja mahalaukku. Myös sukuelimet ovat suhteellisen säteilyherkkiä painotuskertoimella 0,08.



Huggett ym. (2013) viittaavat ICRP:n vuonna 2011 tekemään suositukseen, jonka mukaan silmän linssi on säteilyherkempi kuin on aikaisemmin luultu. Linssin säteilyannosraja determinististen vaikutusten syntymiselle on 0,5 Gy, entisen 8 Gy sijaan. Näiden ICRP:n suositusten perusteella rintojen ja silmän linssin suojeleminen säteilyltä, erityisesti TT-tutkimuksissa on ensiarvoisen tärkeää. (Huggett ym. 2013, 161.)

## 2.1 Säteilysuojien käyttö tietokonetomografiassa

Perinteisesti säteilysuojia on käytetty suojaamaan primäärisäteilykeilan ulkopuolella sijaitsevia elimiä potilaasta itsestään ja laitteesta sekä ympäröiviltä pinnoilta siroavalta säteilyltä. Eri materiaaleista on kehitetty säteilysuojia joita voidaan käyttää kuvausalueella suojaamaan pinnallisia säteilyherkkiä elimiä primäärisäteilyltä. Näiden suojien teho perustuu siihen, että ne absorboivat itseensä matalaenergistä röntgensäteilyä, joka absorboituisi muuten pinnallisiin elimiin. Röntgensäteily kovenee kulkiessaan suojan läpi. Kaikista tutkituin materiaali on vismutti, jonka lisäksi viime vuosina on otettu käyttöön myös barium-suojia, joiden on tutkittu aiheuttavan vähemmän artefaktaa, mutta joiden suojaava teho on pienempi. (Foley ym. 2013, 439.)

Ongelmana säteilysuojien käytössä on niiden aiheuttama kuvanlaadun huononeminen. Kuviin tulee artefaktaa ja kuvan kohina lisääntyy. Huggett ym. (2013) tutkimuksessa pään alueen kuvat arvioitettiin kahdella kokeneella neuroradiologilla, jotka totesivat sekä barium- että vismuttisuojien huonontavan kuvanlaatua niin, että kuvan laatu ei riittänyt joidenkin diagnoosien tekemiseen. Heidän tutkimuksensa tulos oli se, että he eivät suosittele säteilysuojien käyttöä TT-kuvantamisessa. Tutkimuksessa todettiin, että sama annosäästö voidaan saavuttaa virran modulointitekniikoilla ilman diagnoosin tekemisen vaarantumista. (Huggett ym. 2013, 164-6.)

Foley ym. (2013, 447) mukaan AAPM (American Association of Physicists in Medicine) ei suosittele säteilysuojien käyttöä yhdistettynä automaattiseen putkivirran modulointiin. Suojalla voi olla yllättäviä ja ei-toivottuja vaikutuksia sekä kuvanlaatuun että annokseen. Teoreettisesti putkivirta voi nousta kun automaatio nostaa virtaa havaittuaan kuvausalueella säteilysuojan. Tämä on riskinä erityisesti kun säteilysuoja asetetaan ennen suunnittelukuvaa. Omassa tutkimuksessaan Foley ym. (2013) asettivat säteilysuojan suunnittelukuvan jälkeen. Tutkimuksessaan Siemens SOMATOM Sensation 64 TT -laitteella he

eivät havainneet putkivirran tai potilasannoksen kasvua säteilysuojan vaikutuksesta. (Foley ym. 2013, 447.)

Sekä barium- että vismuttisuojuilla voidaan todistettavasti pienentää säteilyherkkien elinten annosta TT -kuvantamistutkimuksissa. Vismutilla voidaan saavuttaa suurempi annossäästö, mutta toisaalta vismutti heikentää kuvanlaatua bariumia enemmän. Optimoinnin kannalta on parempi käyttää putkivirran modulointia. Toisaalta rintarauhassuojien käyttö voi olla suositeltavaa lapsilla ja nuorilla henkilöillä, joiden tutkimuksissa putkivirta on jo optimoitu. (Foley ym. 2013, 448.)

Uuden tutkimustiedon tuominen sairaalan käytäntöihin on optimoinnin perustarkoitus. Sæther, Martinsen, Korsmo ja Reister (2009) tutkimustieto vismuttisäteilysuojien vaikutuksesta säteilyannokseen ja kuvanlaatuun vaikutti Ullevaaln yliopistosairaalan käytäntöihin. Norjassa on ollut käytäntö, jossa nuorten naisten rinnat suojataan vismuttisuojuilla aina rintakehän alueen TT -tutkimuksissa. Sæther ym. (2009) testasivat miten yksi, kaksi ja kolme kerrosta vismuttia vaikuttaa kuvanlaatuun ja annokseen. Lopputuloksena oli, että vaikka yksi kerros vismuttia pienentää annosta vain 30 %, on sen käyttö suositeltavaa, sillä suojan aiheuttama kuvanlaadun heikennys on vain pientä. Ullevaaln yliopistosairaala siirtyi tämän jälkeen käyttämään yhden kerroksen vismuttirauhassuojaa nuorten tyttöjen kuvauksissa. (Sæther ym. 2009, 521-3.)

### **2.1.1 Vismuttisäteilysuojat**

Vismutti on kaikista tutkituin materiaali TT -kuvantamiseen soveltuvista säteilysuojista. Tutkimustulosten mukaan sillä voidaan saavuttaa keuhkojen kuvantamisessa rintojen alueella 30-57 % säteilyannossäästö. Vismutin järjestysluku  $Z=83$  ja  $K$ -reunaenergia on 90,54 keV (Poole 2014, viitattu 24.9.2014). Vismutin on kuitenkin havaittu aiheuttavan artefaktaa sekä kohinan nousua suojan alapuolella. Nykyisin jotkut organisaatiot kieltävät suojan käytön kokonaan sydämen TT -tutkimuksissa, ja toiset kannustavat käyttämään muita menetelmiä annoksen pienentämiseen. (Foley ym. 2013, 439-40.)

Huggett ym. (2013) tutkimuksessa selvitettiin vismuttisilmä- ja rintarauhassuojien soveltuvuutta GE:n 64-leike TT -laitteelle. Käytetyt suojaimet olivat Kiran TT:n 1 mm paksuisia kumi-vismuttisuojuja. Silmäsuojissa ei ole lainkaan väliainetta, ja valmistajan mukaan

niillä pitäisi saavuttaa 70 % annossäästö. Tutkimus suoritettiin asettamalla fantomin oikeaan silmään viisi MOSFET –anturia, ja ajamalla ”rutiinipää” TT -ohjelma ensin ilman vismuttisuojia ja sen jälkeen suojien kanssa. Kuvaus suoritettiin kahdesti suojien kanssa; ensin ilman lisättyä väliainetta, ja sen jälkeen lisätyllä väliaineella. Säteilyannossäästö oli valmistajan lupaamasta huomattavasti alhaisempi eli 38 %. Vismuttirintarauhassuojille valmistaja lupasi 67 % annossäästön. Tutkimuksessa fantomin oikeaan rintaan asetettiin viisi MOSFET -anturia, joista kaksi asetettiin 1 cm syvyydelle ja kolme rinnan päälle. Vismuttirintarauhassuojan alle laitettiin 1 cm paksuinen väliaine. Kuvaus ilman suojia ja suojien kanssa tehtiin sepelvaltimoiden TT -ohjelmalla. Suojilla saavutettiin 50 % annossäästö, mikä ei sekään täysin vastannut valmistajan lupautusta. (Huggett ym. 2013, 162-6.)

## **2.2 Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteen annosmodulointitekniikat**

Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella on käytössä kolme eri annosmodulaatiotekniikkaa. Tässä tutkimuksessa käytetään vain CARE-Dose4D -modulointia, sillä X-CARE- ja CARE kV –optimointimenetelmät eivät ole tutkimuspaikassa käytössä.

### **CARE-Dose4D**

CARE-Dose4D on automaattinen virranmodulaatiotekniikka, jonka avulla putkivirtaa muutetaan automaattisesti kuvauksen aikana potilaan koon ja anatomisen rakenteen mukaan. CARE-Dose4D laskee yhdestä tai molemmista AP- ja lateraali -suunnittelukuvista tarvittavan sähkömäärän erikseen jokaiseen potilaan osaan. Yleensä otetaan AP/PA- ja lateraali -suunnan suunnittelukuvat, joita CARE-Dose4D käyttää z-suunnan modulointiin ( $i_c(z)$ :n laskeminen). Reaaliaikaisen moduloinnin laskennassa käytetään projektiokulman modulointia ( $i_m(\alpha)$ ). Näiden arvojen perusteella CARE-Dose4D moduloi virtaa automaattisesti jokaisen pyörähdyksen aikana potilaan x- ja y-suunnissa. Valmistaja lupaa tällä tekniikalla kuvanlaadun pysyvän hyvänä pitkin potilaan pituus (z-suunta)- ja poikittais-suunnassa (x-, y-suunta). Käyttäjän tarvitsee määrittää vain kuvanlaadulle tarvittava referenssi mAs-arvo (Image Quality Reference mAs). (Bredenhöller & Feuerlein 2006, 63-4; Kotiaho & Manninen, sähköpostiviesti 13.5.2014.)

Valmistaja lupaa jopa 70 % annossäästön CARE-Dose4D -modulointia käytettäessä. Diagnostisen kuvanlaadun valmistaja lupaa pysyvän samana. Moduloinnin toimiminen oike-

alla tavalla edellyttää, että potilas on aseteltu leveys suunnassa TT –kuvauspöydän keskelle, ja kuvattava kohde on korkeussuunnassa keskellä kanturia. Isosentripiste on siis leveys- ja korkeussuunnassa kuvattavan kohteen keskellä. (Bredenhöller ym. 2006, 63-71.)

### 2.3 Uuden tutkimuksen tarve

Tutkimukselle oli selkeä tarve, sillä säteilysuojien käyttö primäärisäteilykeilassa TT -tutkimuksissa on kiistelty aihe. Medical Physicsin artikkelissa ”the use of bismuth breast shields for CT should be discouraged” (McCollough, Wang, Gould & Orton, 2012, 2321-4) on esitetty kaksi puoltavaa ja kaksi väitettä vastustavaa puheenvuoroa.

McCollough ja Wang (2012) väittävät, että vismuttisuojien käytön välttämistä perustellaan sillä, että on useita syitä välttää niiden käyttöä, mutta vain muutamia syitä joilla niiden käyttö on perusteltavaa. TT -tutkimuksissa osa röntgensäteistä tulee potilaan selkäpuolelta. Tästä säteilystä matalaenerginen osa säteilyn spektristä absorboituu potilaaseen aiheuttaen säteilyrasitusta. Lisäksi vartalon etupuolella sijaitseva säteilysuoja absorboi osan potilaan läpi tulevasta säteilystä itseensä, jolloin säteily edelleen kovenee. Kuvanmuodostus on mahdollista, mutta kuvan kontrasti kärsii. Lisäksi suojat aiheuttavat kuvaan artefaktaa. He väittävät, että jos kuvanlaadun heikkeneminen olisi diagnoosin kannalta merkityksetöntä, olisi silti helpompaa vain käyttää putkivirran modulointia, jolloin suojien puhdistamiseen potilaiden välissä ei menisi aikaa. He myös toteavat, että vismuttisuojien käyttö voi myös lisätä säteilyannosta, jos samalla käytetään virransäätöautomaatiikkaa. Vismuttisuojan lisääminen ennen suunnittelukuvaa lisää säteilyannosta, McCollough ja Wang toteavat. (McCollough ym. 2012, 2322.)

Gould (2012) puoltaa suojien käyttöä. Sekä rinnat että kilpirauhanen ovat molemmat säteilyherkkiä elimiä, joten niitä tulisi suojata säteilyltä. Tutkimusten mukaan näiden annosta voidaan merkittävästi pienentää käyttämällä vismuttisuojia. Gould toteaa, että varsinkin rintarauhassuojien käytössä kuvanlaadun heikkenemisellä ei ole merkitystä. Suojan vaikutus kohinan lisääntymiseen on suurimmillaan juuri suojan alla, ja kohina pienee kuvissa siirryttäessä tarkastelemaan elimiä, jotka sijaitsevat syvemmällä. Kuvattaessa keuhkojen aluetta, rintarauhassuojan vaikutus kuvanlaatuun on nähtävillä lähinnä kylki-

luiden ja ihon pinnan välisellä alueella. Suojien käytöllä on myös laitekohtaisia rajoituksia. Hän toteaa, että vismuttisuojia ei tulisi käyttää Siemensin laitteilla. (McCollough ym. 2012, 2322).

Siemensin uusilla TT -laitteilla kuten Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella on käytössä reaaliaikainen virran modulointi, joka voi aiheuttaa ei-toivottuja tuloksia vismuttisuojien kanssa (Siemens 2009). Olisi tarve tutkimukselle, joka selvittää tämän yhdistelmän vaikutusta potilaan säteilyannokseen.

### **3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET**

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää vismuttisäteilysuojien ja annosmoduloinnin vaikutusta säteilyannokseen Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella. Tarkoituksena oli myös vertailla kahden eri paksuisen väliaineen vaikutusta säteilyannokseen vismuttirintasuojissa, sekä vismuttisäteilysuojien asetteluun ajoituksen merkitystä automaattisen annosmoduloinnin toiminnalle ja säteilyannokselle.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuoda näyttöön perustuvaa lisätietoa vismuttisuojien suojaavasta vaikutuksesta TT -tutkimuksessa, sekä vaikuttaa sairaaloiden ja muiden kuvantamisyksiköiden käytäntöihin niiden käytöstä. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää laadittaessa toimintaohjeet Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteelle vismuttisäteilysuojainten käytöstä.

Tutkimus suoritettiin Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella. Seuraavat tutkimuskysymykset koskivat nimenomaan tällä laitteella suoritettuja mittauksia. Säteilyannos tarkoittaa tässä tutkimuksessa eri elimiin absorboitunutta säteilyenergiaa.

1. Mikä on vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen?
2. Mikä on vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen?
3. Miten väliaineen paksuus vismuttirintarauhassuojassa vaikuttaa säteilyannokseen?
4. Miten vismuttisäteilysuojan asetteluun ajoitus vaikuttaa säteilyannokseen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä?

## 4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tämä tutkimus on kokeellinen ja tuloksia sovelletaan sairaalan säteilysuojien käytön kehittämiseen. Johtopäätöksiä varten kerättiin aineistoa käyttäen määrällisen tutkimuksen menetelmiä (kvantitatiivinen tutkimus). Elinten säteilyannoksia ei voi tarkasti ennalta määrittää matemaattisilla malleilla. Säteilyannosten selvittämiseksi on käytettävä kokeellisia mittauksia ja tilastollisia menetelmiä. (Holopainen & Pulkkinen 2003, 17, 18, 24.)

Kokeellisen mittaamisen laatua ilmaisee kaksi käsitettä, validiteetti ja reliabiliteetti. Validiteetti ilmaisee sitä, että onko saatu mitattua juuri sitä, mitä pitikin mitata. Tutkimuksen validiteettia voisi heikentää esimerkiksi se, että anturit joilla on tarkoitus mitata kilpirauhasen annosta, sijaitsevat kilpirauhasen ulkopuolella. Mittauksen reliabiliteetti ilmaisee sen, onko mittauksella kyky tuottaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Tutkimuksen reliabiliteetti on korkea, jos eri mittauskerroilla saadaan samantapaista aineistoa. Tutkimuksen reliabiliteettia arvioidaan tutkimuksen edetessä, toistamalla samat mittaukset useasti. (Holopainen ym. 2003, 14, 15.)

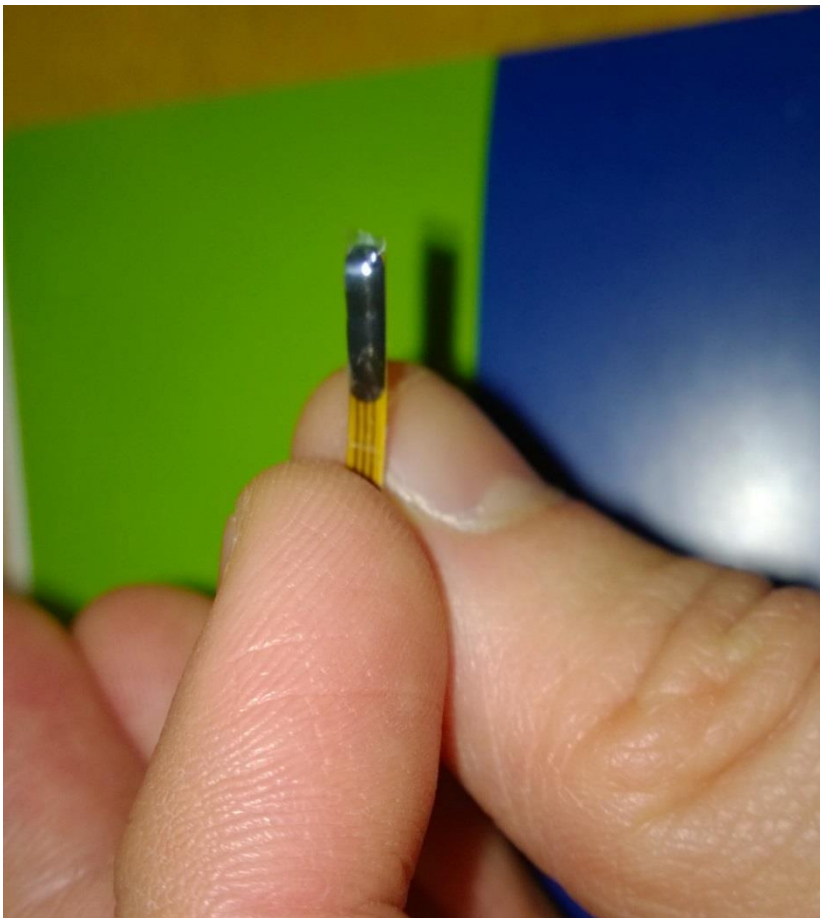
Tutkimus suoritettiin objektiivisesti, eli tutkijat eivät itse vaikuttaneet tutkimustulokseen. Tutkimus on toistettavissa myös muiden tutkijoiden toimesta kun käytetään samoja kuvausarvoja. Tutkimus pyrittiin saamaan oikeaa potilastilannetta vastaavaksi, jotta tulokset eli säteilyannossäästöt ovat suoraan siirrettävissä potilastyöhön. (Vilka 2007, 13.)

## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Mittaukset tehtiin toukokuussa 2014 Oulun yliopistollisen sairaalan keskusröntgenissä. Mittauksissa oli mukana molemmat opinnäytetyön tekijät sekä OYS:n fyysikot Anna-Leena Manninen ja Antti Kotiaho.

### 5.1 Käytetty laitteisto

Tutkimuksessa käytettiin Metal oxide semiconductor field effect transistor- eli MOSFET -antureita (katso kuvio 1). MOSFET -antureita on käytetty useissa TT -annoksen mittaus-tutkimuksissa, mm. Coursey, Frush, Yoshizumi, Toncheva, Nguyen & Greenberg (2007). Antureita säteilytettäessä transistorin kynnysjännite muuttuu. Tämä muutos voidaan mi-tata, ja se on verrannollinen absorboituneeseen annokseen.



*KUVIO 1. MOSFET –anturi (kuva Joni Granlund)*



MOSFET -anturit sopivat elinten annosten mittaamiseen. MOSFET -anturit mahdollistavat tulosten lukemisen välittömästi kuvauksen jälkeen ja mittaukset voidaan toistaa välittömästi samalla mittausgeometrialla. Tutkimuksessa käytettyjen high-sensitivity -anturien pienin riittävän luotettavasti mitattava annos on noin 1.40 mGy (CV = 25 %). (Yoshizumi, Goodman, Frush, Nguyen, Toncheva, Sarder & Barnes 2007, 1335.). Tutkimuksissa suositellaan käytettäväksi vähintään 5 mGy annostasoa luotettavien mittausten saamiseksi (Dong, Chu, Lan, Wu, Lin, & Lee 2002). Tämän annoksen saavuttamiseksi jokainen mittaus toistettiin kolme kertaa ennen kuin anturien arvot luettiin.

Mittausten luotettavuuden varmentamiseksi käytettiin lisäksi RPL eli radiofotoluminesenssi -dosimetreja (Kotiaho, sähköpostiviesti 28.4.2014). Etenkin suojiensa alla niillä varmistetaan riittävä mittaustarkkuus, koska RPL -anturille riittää 1 mGy (CV = 4.9 %) annostaso luotettavien mittausten saamiseksi (Manninen, Koivula & Nieminen 2012). Osana laadunvarmistusta käytettiin RPL -dosimetreja. Niiden mittaamia annoksia ei huomioitu lopullisen säteilyannoksen laskemisessa, vaan ne varmensivat MOSFET -anturien tulokset. RPL -dosimetrioiden mittaustulokset luettiin vasemman rintafantomien pinnalta ja vasemman silmän pinnalta. Dosimetrit vaihdettiin jokaisen säteilyaltistuksen jälkeen ja luettiin säteilytyksen jälkeen erillisellä lukulaitteella.

## 5.2 Antureiden sijoitus

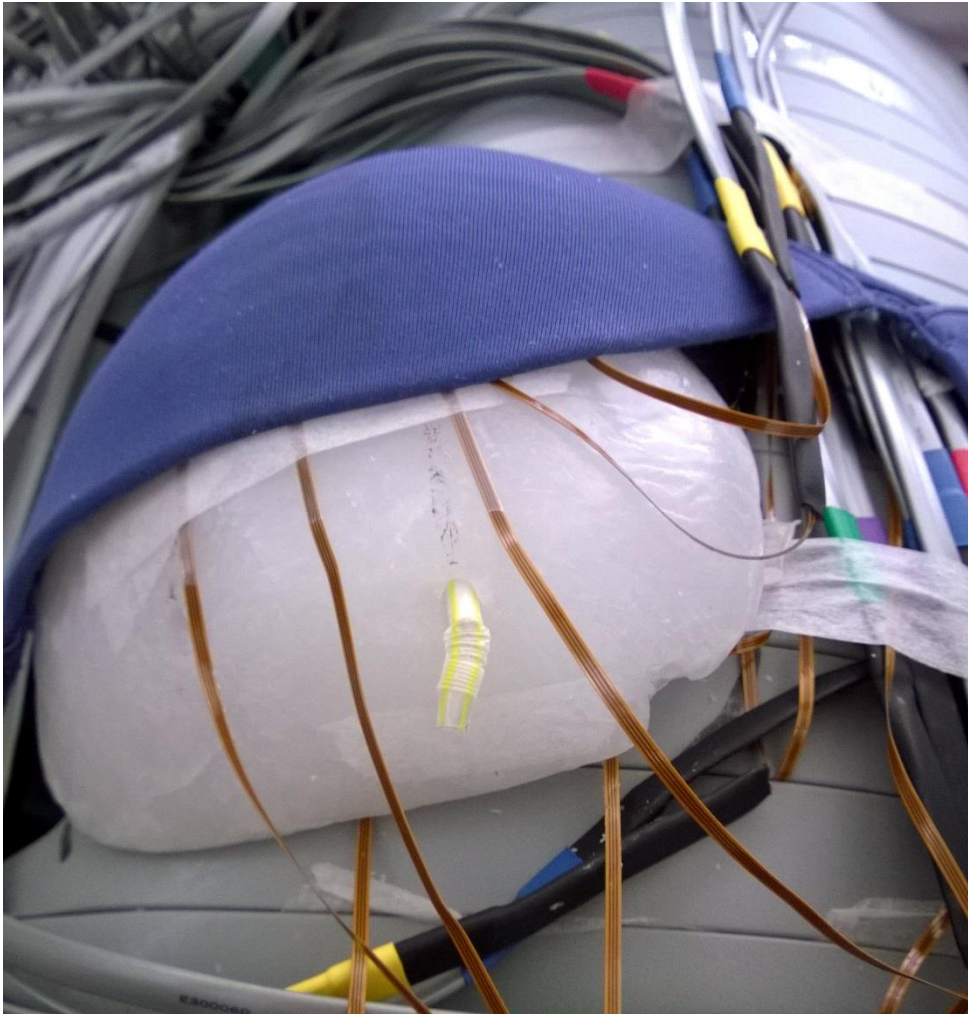
MOSFET -anturit (39 kpl) asetettiin antropomorphiseen fantomiin (701 Adult ATOM male), jolla oli parafiinista itse valmistetut rinnat. Fantomi on aikuisen ihmisen kokoinen, ja se on viipaloitu 25 mm paksuisiin leikkeisiin, jotka voidaan irrottaa toisistaan. Fantomi on rakennettu oikeaa ihmisen kudosta jäljittelevästä materiaalista. Fantomissa on pehmyt-, luu-, rusto-, selkäydin-, välilevy-, keuhko-, ja aivokudosta sekä nenän sivuonteloita jäljittelevää keinotekoisia materiaalia. Kudoksia jäljittelevät materiaalit sijaitsevat anatomisesti oikeilla paikoilla. (Computerized imaging reference systems inc 2003, 4-8.). Leikkeissä on 3 mm x 25 mm kokoisia reikiä, joihin mittaasanturit voidaan asettaa. Ne reiät, joita ei käytetty mittauksissa, täytettiin tapeilla, jotka on valmistettu samasta materiaalista kuin ympäröivä materiaali. MOSFET-anturit asetettiin fantomien leikkeisiin niin, että anturit olivat teipattuina kudosta vastaavaan tikkuun, ja ne asetettiin haluttuun kohtaan fantomia (katso kuvio 2). Antureista 35 asetettiin fantomien sisälle, ja neljä teipattiin suoraan fantomien pinnalle.



*KUVIO 2. MOSFET -anturin asettaminen fantomin reikään Mittausjärjestelmä ja antropomorfinen fantomi on OYS kuvantamisella validoitu elinannosmittauksiin. ”TN-1002RD MOSFET soveltuu riittävän hyvin mittaamaan absorboituneita ja efektiivisiä annoksia” (Kotiaho ym. viitattu 28.4.2014) (kuva Joni Granlund)*

Antureiden paikat valittiin niin, että saadaan mahdollisimman tarkasti tietoa säteilyherkkien elinten annoksista. ICRP:n (2007) suosituksiin on kirjattu säteilyherkät elimet. Kilpirauhas- ja silmäsuojien sekä rintarauhasuojien peittämällä elimillä on kokoonsa nähden suuri määrä antureita, mahdollisimman tarkan mittaustuloksen saamiseksi. Huggett ym. (2013, 162) käyttivät tutkimuksessaan MOSFET –antureita; viisi silmälle sekä viisi rinta-antureita. Anturit laitettiin vain oikeaan silmään ja oikeaan rintaan, perustuen TT:n symmetriseen säteilytykseen pyörähdyksellä ympäri. Säteilyn jakautuman oletetaan olevan symmetrinen leveysuunnassa. Silmän anturit sijoitettiin heidän tutkimuksessa silmän sisälle. Rinnan antureista he laittoivat kaksi anturia rintaan sisään ja kolme sen pinnalle.

Tutkimuksessa silmän linssin pinnalle sijoitettiin yksi anturi ja toinen anturi silmän sisään orbitaan. Parafiinista valmistetun rinnan alle sijoitettiin kaksi anturia, kaksi anturia sen sisälle ja kolme sen pinnalle (katso kuvio 3). Kilpirauhaseen laitettiin kolme anturia. Jos yhteen elimeen asetettiin useampi anturi, anturit asetettiin tasaisen välimatkan päähän toisistaan.



*KUVIO 3. Parafiinistä valmistettu rinta (kuva Joni Granlund)*

Fantomin selkärankaan laitettiin neljä ja kylkiluihin kaksi anturia, sillä kilpirauhas- ja rintarauhassuojat peittävät osan rangasta ja kylkiluista. Sama perustelu on ruokatorven kahdelle anturille. Keuhkoissa käytettiin seitsemän anturia, jotta saadaan annoskeruu sekä sellaisilta alueilta joissa rintarauhassuoja suojaa, että sellaisilta alueilta joiden päällä suoja ei ole. Vasempaan keuhkoon laitettiin yksi anturi vähemmän kuin oikeaan, sillä vasen

keuhko on oikeaa pienempi. Myös sydän on säteilyherkkä, ja sijaitsee lisäksi rintarauhasuojan vaikutusalueella, joten siihen laitettiin kaksi anturia. Neljällä anturilla mitataan samanaikaisesti usean elimen annosta; silmän anturilla mitataan sekä silmän että luuytimen annosta kallosta, sylkirauhasen anturilla sylkirauhasta ja suun limakalvon annosta, kahdella ruokatorven anturilla ruokatorven ja kilpirauhasen annosta, sekä ruokatorven ja kateenkorvan annosta (katso taulukko 2).

*TAULUKKO 2. MOSFET -anturien sijoitus fantomiin*

| Elin           | Anturien lukumäärä                    |
|----------------|---------------------------------------|
| silmä vasen    | 2                                     |
| aivot          | 2                                     |
| suun limakalvo | 1                                     |
| sylkirauhanen  | 2                                     |
| kilpirauhanen  | 3                                     |
| sydän          | 2                                     |
| kateenkorva    | 1                                     |
| keuhkot        | 7 (3 vasempaan ja 4 oikeaan keuhkoon) |
| ruokatorvi     | 3                                     |
| rinta vasen    | 7 (3 pinnalle, 2 sisälle ja 2 alle)   |
| luuydin        | 13                                    |

Luuytimen annoksen laskemiseksi käytettiin tuloksia neljästä kaula- ja rintarangan anturista, neljästä rintalastan ja kylkiluiden anturista, kolmesta kallon anturista sekä kahdesta lapaluun anturista.

### **5.3 Kuvaussarjat**

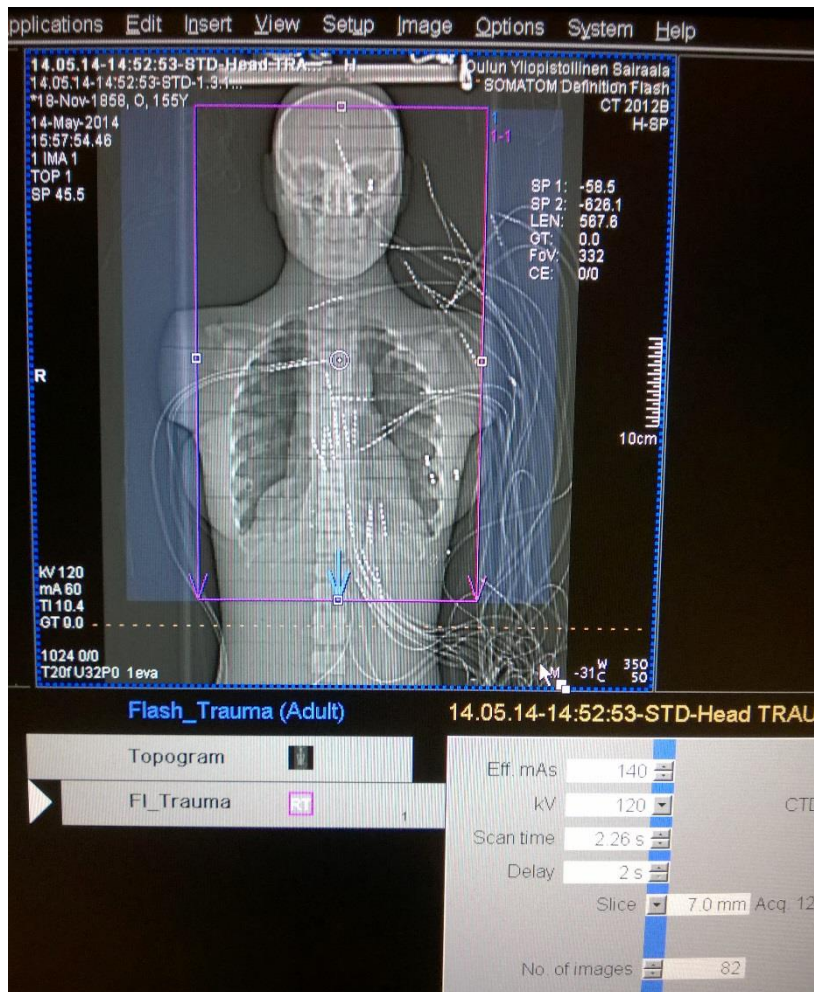
Taulukosta 3 nähdään tutkimuksessa suoritettavat mittaukset. Referenssikuvauksessa annosmodulointi oli kytkettynä pois päältä ja suoja ei käytetty. Tähän kuvaukseen verrattiin eri annosoptimointimenetelmiä. Vismuttisuojiin eri elinten suojat kuvattiin erillisillä kerroilla, koska suojat olisivat voineet vaikuttaa sironneen säteilyn määrään myös suojan

kattavan alueen ulkopuolella, ja näin esimerkiksi jos rintarauhas- ja kilpirauhassuoja olisivat molemmat olleet fantomin päällä yhtä aikaa, rintasuojia olisi oletettavasti voinut vaikuttaa alentavasti myös kilpirauhasen säteilyannokseen.

TAULUKKO 3. Kuvaussarjat järjestyksessä

|  | Suojat suunnittelukuvan jälkeen | Suojat ennen suunnittelukuvaa | Annosmodulaatio käytössä |
|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Referenssi  |                                 |                               |                          |
| 2. Annosmodulaatio käytössä                                |                                 |                               | X                        |
| 3. Kilpirauhas- ja silmäsuojat                             | X                               |                               |                          |
| 4. Kilpirauhas- ja silmäsuojat                             | X                               |                               | X                        |
| 5. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä ohut rintarauhassuoja  | X                               |                               |                          |
| 6. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä ohut rintarauhassuoja  | X                               |                               | X                        |
| 7. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä paksu rintarauhassuoja | X                               |                               |                          |
| 8. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä paksu rintarauhassuoja | X                               |                               | X                        |
| 9. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä paksu rintarauhassuoja |                                 | X                             | X                        |
| 10. Kilpirauhas- ja silmäsuojat sekä ohut rintarauhassuoja |                                 | X                             | X                        |
| 11. Kilpirauhas- ja silmäsuojat                            |                                 | X                             | X                        |

Fantomi asetettiin keskelle kuvauspöytää, ja kuvaus tapahtuu pää edellä. Kuvausohjelmasta huomioitiin putkeen menosuunta annosmodulaation oikean toiminnan vuoksi. Keskityslaser asetettiin kaulakuoppaan. Jokaisen kuvaussarjan kuvauksessa varmistettiin, että ylimääräiset modulaatiot (X-CARE ja CARE kV) olivat pois päältä, sekä rotaatioaika ja pitch pysyivät samana. Kuvausohjelmaksi valittiin aikuisen Flash Trauma –ohjelma, jossa putkijännite on 120 kV, leikepaksuus 7 mm ja referenssisähkömäärä 140 mAs. Kuvausalue rajattiin pääläeltä alimman kylkiluun alapuolelle ja sama kuva-alue toistettiin jokaiseen kuvaussarjaan (katso kuvio 4).



KUVIO 4. Mittauksissa käytetty kuvausalue (kuva Joni Granlund)

#### 5.4 Mittaustulosten analysointi

Jokainen kuvaussarja toistettiin kolme kertaa, ja näistä toistoista laskettiin jokaisen anturin annos (mGy) aritmeettisella keskiarvolla. Jos elimessä oli useampi anturi, anturien annoksista laskettiin aritmeettinen keskiarvo. Tällä menetelmällä saatiin elimen keskimääräinen absorboitunut säteilyannos. Taulukko 4 esittelee mistä antureista tuloksissa esiintyvien elinten tai muiden rakenteiden annos on laskettu.

TAULUKKO 4. Mittausantureiden sijainti

| Kohde josta annos laskettu | Antureiden sijainti ja määrä fantomissa  |
|----------------------------|--|
| Silmä kudosis              | silmän pohja (1)   |
| Silmä linssi               | silmän pinta (1)   |
| Kilpirauhanen              | kilpirauhanen (3)  |
| Luuydin, kaularanka        | kaularanka (1)   |
| Rinta pinta-annos          | rinnan pinta (3)   |
| Rinta kudosis              | rinnan sisällä ja alla (4)   |
| Rinta pinta med            | rinnan pinta mediaalipuoli (1)   |
| Rinta pinta lat            | rinnan pinta lateraalipuoli (1)  |
| Keuhkot                    | keuhkot (7)  |
| Rintalasta                 | rintalasta (1)   |
| Luuydin                    | painotettu annos, kallo (3), ranka (4), kylkiluut (2), rintalasta (2) ja lapaluu (2) |

Luuytimen annos laskettiin suhteellisilla painotuksilla sen perusteella mikä anturin mitaavan luukudoksen luuydinmäärä suhteellisesti on (katso taulukko 5).

TAULUKKO 5. Aktiivisen luuytimen jakautuminen (Cristy ym. 1987, 61)

|                         | Aktiivisen luuytimen osuus<br>koko kehon luuytimestä % |
|-------------------------|--|
| Kallo                   | 8,3  |
| Ranka                   | 29,9   |
| Kylkiluut ja rintalasta | 19,2   |
| Lapaluu                 | 2,9  |

Luuytimen ekvivalenttiannos (mGy) saadaan kaavalla (1)

$$D_{luuydin} = D_{kallo} \times 0,083 + D_{ranka} \times 0,299 + D_{krlasta} \times 0,192 + D_{lapaluu} \times 0,029 \quad (1)$$

## 6 TUTKIMUSTULOKSET

Tuloksissa esiintyvät annokset ovat joko suoria tai laskettuja arvoja mittaustuloksista.

### 6.1 Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen

Taulukossa 6 on pään ja kaulan alueen säteilyherkkiin elimiin absorboituneet annokset kuvattaessa pään ja vartalon trauma-protokollalla. Referenssikuvauksessa ei käytetty mitään suojia, ja lisäksi annosmodulointi oli kytkettynä pois päältä. Liitteessä 2 on eritelty tarkemmin kaikkien mittausanturien lukemat, ja liitteessä 3 on näistä mittauslukemista lasketut eri elinten absorboituneet annokset.

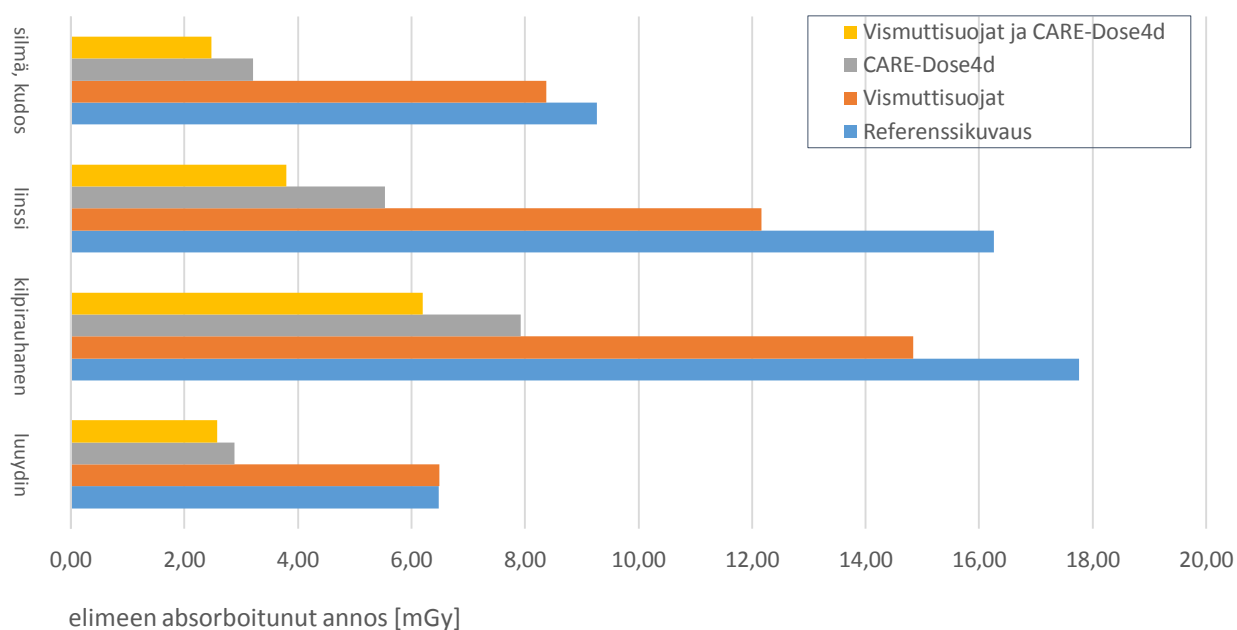
*TAULUKKO 6. Annosmoduloinnin sekä vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien vaikutus absorboituneeseen annokseen. Mahdolliset kilpirauhas- ja silmäsuojat on asetettu suunnittelukuvan jälkeen*

| Elimeen keskimäärin absorboitunut annos [mGy] |                                       |                        |                        |                     |
|---|---------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
|   | Referenssi, ei suojia, ei CARE-Dose4D | Ei suojia, CARE-Dose4D | Suojat, ei CARE-Dose4D | Suojat, CARE-Dose4D |
| silmä kudosis                                 | 9,27                                  | 3,20                   | 8,37                   | 2,47                |
| silmä linssi                                  | 16,27                                 | 5,53                   | 12,17                  | 3,80                |
| kilpirauhanen                                 | 17,77                                 | 7,92                   | 14,84                  | 6,20                |
| luuydin                                       | 6,48                                  | 2,88                   | 6,49                   | 2,58                |
| luuydin, kaularanka                           | 14,53                                 | 4,17                   | 14,70                  | 3,83                |

Kuviossa 5 nähdään pään ja kaulan alueen säteilyherkkiin elimiin absorboituneet annokset. Annokset ovat neljältä eri kuvauskerralta niin, että jokaisen elimen kohdalla on referenssikuvauksen annos, sekä annos eri suoja ja/tai annosmodulointi-yhdistelmien osalta.



### Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen



*KUVIO 5. Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus eri elinten absorboituneeseen annokseen*

Mittaustulosten mukaan korkeimmat annokset tulivat referenssikuvauksessa, jossa ei käytetty suoja tai annosmodulointia. Matalimmat annokset saavutettiin annosmoduloinnin ja suojien yhdistelmällä.

*TAULUKKO 7. Annosmoduloinnin sekä vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien vaikutus absorboituneeseen annokseen. Mahdolliset suojat (kilpirauhas- ja silmäsuojat) on asetettu suunnittelukuvan jälkeen*

| Absorboituneen annoksen pienentyminen verrattuna referenssikuvaukseen [%]. Negatiivinen arvo merkitsee annoksen kasvamista |                               |                               |                            |
|--|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|  | Ei suojia,<br>CARE-<br>Dose4D | Suojat, ei<br>CARE-<br>Dose4D | Suojat,<br>CARE-<br>Dose4D |
| silmä kudosis  | 65,43                         | 9,71                          | 73,31                      |
| silmä linssi   | 65,98                         | 25,20                         | 76,64                      |
| kilpirauhanen  | 55,41                         | 16,45                         | 65,10                      |
| luuydin  | 55,50                         | -0,19                         | 60,21                      |
| luuydin, kaularanka  | 71,33                         | -1,15                         | 73,62                      |

Pään ja kaulan alueen elinten absorboituneita annoksia saadaan pienennettyä tehokkaimmin annosmoduloinnilla. Esimerkiksi silmän linssin annos pienentyy annosmoduloinnin käytön ansiosta noin 66 %. Toisaalta on huomioitava, että yhdistämällä annosmodulointiin vismuttirintarauhasuojien käyttö, annos pienenee vielä entisestään. Silmän linssin annos pienenee noin 77 % alkuperäisestä annoksesta (katso taulukko 7).

*TAULUKKO 8. Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojat yhdistettynä annosmodulointiin. Vaikutus absorboituneeseen annokseen verrattuna pelkkään annosmoduloinnin käyttöön*

| Absorboituneen annoksen pienentyminen verrattuna pelkkään annosmodulointiin [%] |   |
|---|---|
|   | Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuoja,<br>CARE-Dose 4D |
| silmä kudosis   | 22,79   |
| silmä linssi  | 31,33   |
| kilpirauhanen   | 21,74   |
| luuydin   | 10,57   |
| luuydin, kaularanka   | 8,00  |

Suhteellisesti verrattuna pelkän annosmoduloinnin käyttöön, silmän ja kilpirauhasen annossäästö on huomattava kun annosmoduloinnin lisäksi käytetään vismuttisuojia (katso taulukko 8). Etenkin silmän linssin annosta saadaan merkittävästi pienennettyä (31 %).

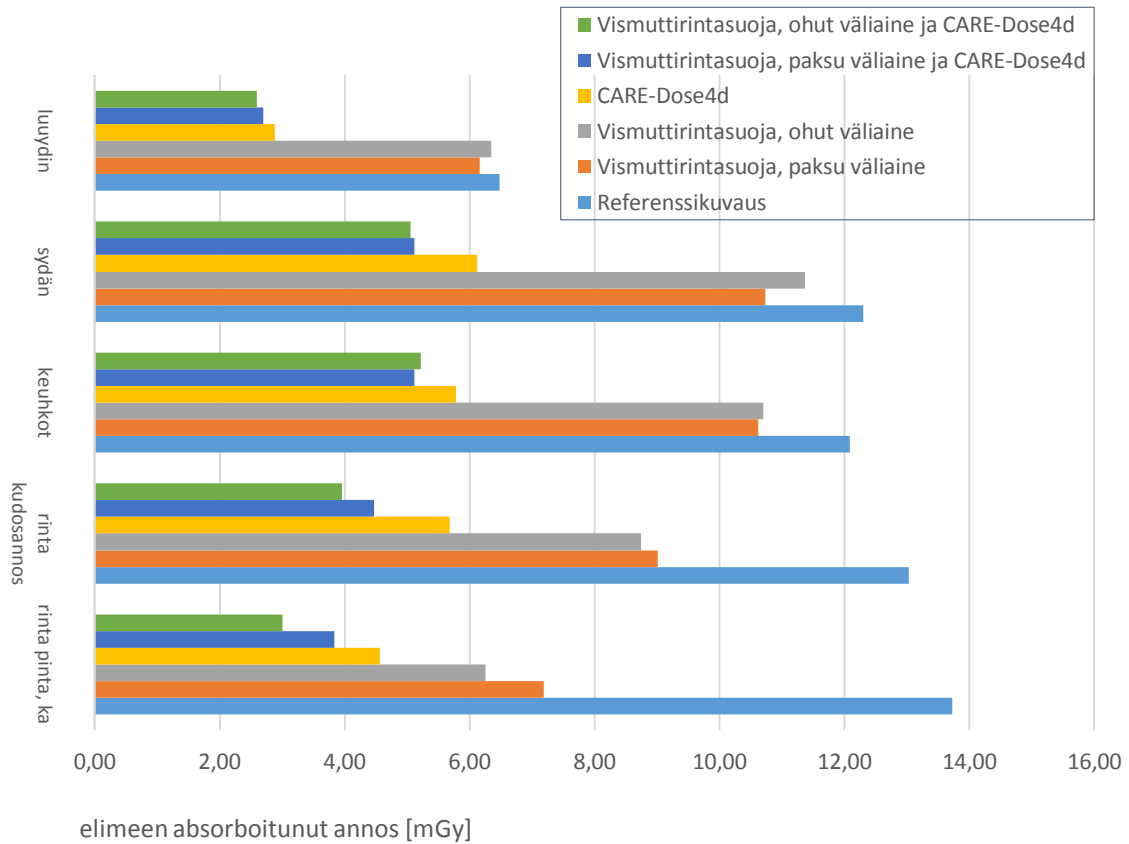
## 6.2 Vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen

Taulukossa 9 on rintakehän alueen säteilyherkkiin elimiin, rintoihin, keuhkoihin, rintalastaan ja koko kehon luuytimeen absorboituneet annokset. Liitteessä 4 on eritelty tarkemmin kaikkien mittausanturien lukemat, ja liitteessä 5 näistä lukemista lasketut eri elinten absorboituneet annokset.

*TAULUKKO 9. Annosmoduloinnin ja eri väliaineilla varustetun vismuttirintarauhassuojan vaikutus absorboituneeseen annokseen. Käytetty suoja on asetettu suunnittelukuvan jälkeen*

| Elimeen keskimäärin absorboitunut annos [mGy] |   |                               |  |  |   |   |
|---|---|-------------------------------|--|--|---|---|
|   | Referenssi,<br>ei suojaa,<br>ei CARE-<br>Dose4D | Ei suojaa,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 1cm<br>väliaine,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 5cm<br>väliaine,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 1cm<br>väliaine,<br>ei CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 5cm<br>väliaine,<br>ei CARE-<br>Dose4D |
| Rinta pinta, ka                               | 13,73   | 4,57                          | 3,00   | 3,84   | 6,26  | 7,19  |
| Rinta kudosannos                              | 13,03   | 5,68                          | 3,96   | 4,48   | 8,74  | 9,02  |
| Rinta pinta med.                              | 14,53   | 4,07                          | 3,03   | 3,18   | 6,60  | 7,87  |
| Rinta pinta lat.                              | 12,70   | 4,97                          | 3,17   | 4,80   | 5,67  | 6,90  |
| Keuhkot                                       | 12,09   | 5,78                          | 5,21   | 5,12   | 10,70   | 10,62   |
| Rintalasta                                    | 12,20   | 6,13                          | 5,67   | 5,62   | 11,32   | 11,23   |
| Sydän   | 12,30   | 6,12                          | 5,05   | 5,12   | 11,37   | 10,73   |
| Luuydin                                       | 6,48  | 2,88                          | 2,60   | 2,70   | 6,35  | 6,16  |

## Vismuttirintarauhassuojien ja annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen



*KUVIO 6. Vismuttirintarauhassuojien ja annosmoduloinnin vaikutus eri elinten absorboituneeseen annokseen*

Kuviossa 6 on keuhkojen alueen säteilyherkkiin elimiin absorboituneet annokset. Annokset ovat kuudelta eri kuvauskerralta; referenssikuvauksesta sekä eri annosmodulointi ja/tai suojayhdistelmiltä. Tuloksista nähdään selvästi kuinka merkittävästi annosta saadaan pienennettyä käyttämällä suoja ja annosmodulointia. Tuloksista nähdään myös että annosmodulointi vaikuttaa tasaisemmin kaikkiin elimiin, kun taas vismuttisuojausten vaikutus on merkittävämpi pinnallisissa elimissä, mikä on vismuttisuojausten tarkoitus (pinnallisten elinten säteilynsuojaus). Vismuttisuojausten aiheuttama luuytimen, sydämen ja keuhkojen annossäästön kääntöpuolena on kuvanlaadun heikkeneminen mielenkiinnon kohteessa.

*TAULUKKO 10. Annosmoduloinnin ja vismuttirintarauhassuojien vaikutus absorboituneeseen annokseen. Mahdollinen suoja (rintarauhassuoja ohuella tai paksulla väliaineella) on asetettu suunnittelukuvan jälkeen*

| Absorboituneen annoksen pienentyminen verrattuna referenssikuvaukseen [%] |                              |  |  |   |   |
|---|------------------------------|--|--|---|---|
|   | Ei suoja,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 1cm<br>väliaine,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 5cm<br>väliaine,<br>CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 1cm<br>väliaine,<br>ei CARE-<br>Dose4D | Suoja ja 5cm<br>väliaine,<br>ei CARE-<br>Dose4D |
| Rinta pinta, ka   | 66,75                        | 78,12  | 72,05  | 54,45   | 47,65   |
| Rinta kudosannos  | 56,39                        | 69,63  | 65,66  | 32,93   | 30,82   |
| Rinta pinta med.  | 72,02                        | 79,15  | 78,10  | 54,59   | 45,87   |
| Rinta pinta lat.  | 60,89                        | 75,04  | 62,20  | 55,38   | 45,67   |
| Keuhkot   | 52,17                        | 56,86  | 57,64  | 11,43   | 12,10   |
| Rintalasta  | 49,73                        | 54,06  | 53,96  | 4,23  | 4,87  |
| Sydän   | 50,27                        | 58,94  | 58,40  | 7,59  | 12,74   |
| Luuydin   | 55,50                        | 59,86  | 58,29  | 1,96  | 7,92  |

1 cm:n väliaineella varustettu vismuttirintarauhassuoja pienentää rinnan pinta-annosta yli 50 % ja 5 cm väliaineella lähes 50 %. Yhdistettynä annosmodulointiin saadaan rinnan pinta-annosta lateraalipuolella rintaa pienennettyä molemmilla suojilla lähes 80 % (katso taulukko 10).

### **6.3 Vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuuden vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen**

Taulukoista 10 ja 11 nähdään vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuuden vaikutus eri elinten säteilyannokseen. Paksu vismuttirintarauhassuoja toimii ohutta huonommin, kuitenkin aina pienentäen annosta. Esimerkiksi rinnan lateraalipuolen pinta-annos pienentyy 1 cm väliaineellisella vismuttisuojalla 75 %, kun taas 5 cm väliaineellisella vismuttisuojalla 62 % kun annosmodulaatio on käytössä.

*TAULUKKO 11. Vismuttirintarauhassuoja-annosmodulointi yhdistelmän käytön vaikutus absorboituneeseen annokseen verrattuna pelkkään annosmodulointiin [%]*

|                   | Suoja ja 1cm väliaine, CARE-Dose4D | Suoja ja 5cm väliaine, CARE-Dose4D |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Rinta pinta, ka   | 34,21                              | 15,94                              |
| Rinta kudosaannos | 30,35                              | 21,26                              |
| Rinta pinta med.  | 25,49                              | 21,72                              |
| Rinta pinta lat.  | 36,17                              | 3,36                               |
| Keuhkot           | 9,80                               | 11,45                              |
| Rintalasta        | 7,61                               | 8,42                               |
| Sydän             | 17,44                              | 16,35                              |
| Luuydin           | 9,79                               | 6,27                               |

#### **6.4 Vismuttisuojan asettelun ajoituksen vaikutus elinten absorboituneeseen annokseen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä**

Vismuttisuojan paikoilleen asettamisen ajoituksella on suuri vaikutus erityisesti silmän kudosaannokseen. Kun suoja on aseteltu ennen suunnittelukuvaa, silmän kudosaannos pienenee 60 %. Jos suoja on aseteltu suunnittelukuvan jälkeen, saadaan absorboitunutta annosta pienennettyä 73 % (katso taulukko 12).

*TAULUKKO 12. Vismuttisuojan (silmä ja kilpirauhanen) asettelu ennen suunnittelukuvaa ja jälkeen.*

|                     | Ei suoja, CARE-Dose4D | Suojat suunnittelukuvan jälkeen, CARE-Dose4D | Suojat ennen suunnittelukuvaa, CARE-Dose4D | Suojan asettelu suunnittelukuvan jälkeen pienentää annosta [%] |
|---------------------|-----------------------|--|--|--|
| silmä kudosa        | 65,43                 | 73,31  | 60,07                                      | 33,15  |
| silmä linssi        | 65,98                 | 76,64  | 74,59                                      | 8,06   |
| kilpirauhanen       | 55,41                 | 65,10  | 66,17                                      | -3,14  |
| luuydin             | 55,50                 | 60,21  | 56,53                                      | 8,46   |
| luuydin, kaularanka | 71,33                 | 73,62  | 74,31                                      | -2,68  |

*TAULUKKO 13. Vismuttisuojan (rintarauhassuoja ohuella väliaineella 1cm) asettelu ennen suunnittelukuvaa ja jälkeen suunnittelukuvan.*

| Absorboituneen annoksen pienentyminen verrattuna referenssikuvaukseen [%] |                                    |   |  |   |
|---|------------------------------------|---|--|---|
|   | Ei suo-<br>jia,<br>CARE-<br>Dose4D | Ohut vismuttirin-<br>tarauhassuoja,<br>CARE-Dose4D,<br>suojat suunnittelu-<br>kuvan jälkeen | Ohut vismuttirin-<br>tarauhassuoja,<br>CARE-Dose4D,<br>suojat ennen<br>suunnittelu-kuvaa | Suojan asettelu<br>suunnittelukuvan<br>jälkeen pienentää<br>annosta [%] |
| Rinta pinta, ka   | 66,75                              | 78,12   | 73,22  | 18,31   |
| Rinta kudosan-<br>nos   | 56,39                              | 69,63   | 67,71  | 5,94  |
| Rinta pinta med   | 72,02                              | 79,15   | 76,15  | 12,60   |
| Rinta pinta lat   | 60,89                              | 75,04   | 71,13  | 13,55   |
| Keuhkot   | 52,17                              | 56,86   | 55,20  | 3,69  |
| Rintalasta  | 49,73                              | 54,06   | 52,05  | 3,13  |
| Sydän   | 50,27                              | 58,94   | 56,50  | 5,61  |
| Luuydin   | 55,50                              | 59,86   | 56,95  | 6,75  |

Taulukosta 13 nähdään ohuella väliaineella (1 cm) varustetun vismuttirintarauhassuojan asetteluun ajoituksen vaikutus absorboituneen annoksen pienentymiseen. Esimerkiksi rintan pinta-annosta saadaan pienennettyä lähes 20 % enemmän kun suoja asetellaan vasta suunnittelukuvan ottamisen jälkeen eikä ennen suunnittelukuvaa. Keuhkojen ja rintalastan annokseen asettelulla on vain muutaman prosenttiyksikön vaikutus.

*TAULUKKO 14. Vismuttisuojan (rintarauhassuoja paksulla väliaineella 5cm) asettelu ennen suunnittelukuvaa ja jälkeen.*

| Absorboituneen annoksen pienentyminen verrattuna referenssikuvaukseen [%]. Negatiivinen arvo merkitsee annoksen kasvamista |                                    |  |   |   |
|--|------------------------------------|--|---|---|
|  | Ei suo-<br>jia,<br>CARE-<br>Dose4D | Paksu vismuttirin-<br>tarauhassuoja,<br>CARE-Dose4D,<br>suojat suunnittelu-<br>kuvan jälkeen | Paksu vismuttirin-<br>tarauhassuoja,<br>CARE-Dose4D,<br>suojat ennen<br>suunnittelu-kuvaa | Suojan asettelu<br>suunnittelukuvan<br>jälkeen pienentää<br>annosta [%] |
| Rinta pinta, ka  | 66,75                              | 72,05  | 68,61   | 10,95   |
| Rinta kudosan-<br>nos  | 56,39                              | 65,66  | 63,04   | 7,09  |
| Rinta pinta med  | 72,02                              | 78,10  | 73,62   | 16,96   |
| Rinta pinta lat  | 60,89                              | 62,20  | 65,09   | -8,27   |
| Keuhkot  | 52,17                              | 57,64  | 52,64   | 10,57   |
| Rintalasta   | 49,73                              | 53,96  | 53,42   | 1,17  |
| Sydän  | 50,27                              | 58,40  | 55,01   | 7,53  |
| Luuydin  | 55,50                              | 58,29  | 57,91   | 0,89  |

Taulukosta 14 nähdään kuinka paljon paksulla väliaineella (5 cm) varustetun vismuttirintarauhassuojan asettelun ajoitus vaikuttaa suojan toimintaan. 1 cm:n väliaineella varustettuun vismuttirintarauhassuojaan verrattuna, on 5 cm:n väliaineella varustetun suojan asettelun ajoituksella pienempi vaikutus. Esimerkiksi rinnan pinta-annosta saadaan pienennettyä vain noin 10 % enemmän kun suoja asetellaan suunnittelukuvan jälkeen eikä ennen. Liitteisiin 6 ja 7 on koottu tarkemmin mittauslukemat sarjoista, joissa suojat on asetettu ennen suunnittelukuvaa.

Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laite nostaa efektiivistä sähkömäärää (mAs) kun vismuttisuoja on suunnittelukuvassa (katso liite 1). Efektiivinen sähkömäärä on Siemensin spiraalikuvantamiseen käyttöön ottama säteilymääräsuure, joka ottaa huomioon pitch -kertoimen (Bredenhöller ym. 2006, 60). Kun fantomilla oli kilpirauhas- ja silmäsuoja sekä rintasuoja efektiivinen sähkömäärä nousi 11 %. Nousu oli sama molemmilla rinnan väliaineilla. Vastaavasti käytettäessä vain kilpirauhas- ja silmäsuojaa efektiivinen sähkömäärä nousi 3,6 %.



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUS

Silmiin ja kilpirauhaseen absorboituneen annoksen pienentymisen kannalta **vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien käyttö** Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella on perusteltua. Yhdistämällä annosmoduloinnin käyttöön vismuttisuojien käytön, saadaan silmien ja kilpirauhasen säteilyrasitusta pienennettyä merkittävästi.

**Vismuttirintarauhassuojalla** saadaan pienennettyä niin rintojen pinta- ja kudosaannosta kuin keuhkojen sekä luuytimen absorboitunutta annosta. Rintarauhassuoja ei suojaa pelkästään rintoja, vaan myös muita suojan alla sijaitsevia säteilyherkkiä elimiä. Rintarauhassuojan teho on parhaimmillaan rintojen mediaalisissa osissa.

**Vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuudella** on vaikutusta suojan toimivuuteen. Suoja yhdistettynä ohuempaan väliaineeseen (1 cm) ja annosmodulointiin, suojaa säteilyherkkiä elimiä paremmin, kuin paksulla väliaineella (5 cm) varustettu suoja yhdistettynä annosmodulointiin. Suojien välinen ero on selkein rinnan lateraaliosissa, johtuen todennäköisesti siitä, että paksulla väliaineella jäykkä suoja jää liian ylös rinnan päälle niin, että se ei peitä rinnan lateraalipuolta. Kehonmyötäinen suoja pienentäisi todennäköisesti enemmän rinnan lateraalipuolen säteilyannosta.

**Suojien asettelun ajoitus suhteessa suunnittelukuvaan on merkityksellistä.** Silmä- ja rintarauhassuojien asettelu tulee tehdä vasta suunnittelukuvan jälkeen, koska tällöin hyöty suojan käytöstä on suurimmillaan. Kilpirauhasen kohdalla tulokset ovat virhemarginaalin sisällä (< 7 %), joten kilpirauhassuojan asettamisella ennen tai jälkeen suunnittelukuvan ei ole merkitystä.

Mittaustulosten mukaan vismuttisuojat pienentävät säteilyherkkien elinten säteilyannoksia. Suojattavan elimen annos pienentyy niin kilpirauhas-, silmä- kuin rintarauhassuojalakin. Tuloksista nähdään myös, että rintojen annosta saadaan pienennettyä myös suojalla, jonka alle on laitettu 5 cm väliainetta. Väliaineen käyttö on tärkeää kuvauksissa, joissa vismuttisuojat aiheuttavat artefaktia kuviin. Muutamaa poikkeusta lukuun otta-

matta suojat pienentävät annosta, vaikka niiden asettelun ajoitus suhteessa suunnittelukuvaan epäonnistuisi. Suojien laittaminen ennen suunnittelukuvan ottamista pienentää annosta, mutta ei niin tehokkaasti kuin jos suojat laitettaisiin vasta suunnittelukuvan ottamisen jälkeen.

Tutkimuksen perusteella Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella ja CARE-Dose4D -annosmodulaation kanssa voidaan käyttää vismuttisuojia kun arvioidaan pelkästään säteilyannoksen määrää. Suojien käytöllä saadaan annossäästöä, vaikka väliaikainen määrä kuvanlaadun parantamiseksi olisi suuri. Suojien asettaminen suunnittelukuvan jälkeen on oikea menetelmä. Suojia käytettäessä on kuitenkin huomioitava kuvanlaadun heikkeneminen. Kun verrataan tuloksia Karla ym. (2009) tutkimuksen tuloksiin, havaitaan että kehonmyötäisellä vismuttirintarauhassuojalla saataisiin enemmän annossäästöä, kuin suoralla suojalla.

Vismuttisuojien käyttö tulisi harkita laitekohtaisesti. Vaikka uusimmissakin tutkimuksissa mm. Pescada ym. (2015) vismuttisuojan todetaan pienentävän annosta, on suojien käyttö kentällä paikka- ja tutkimuskohtaista. Esimerkiksi Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin erityisvastuualueella on ohjeistettu olla käyttämättä vismuttisuojaamia muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Vismuttisilmäsuojia voidaan käyttää pään kuvauksissa suojaamaan silmiä, silloin kun laitteen tai potilaan pään kallistuksella ei voida rajata silmiä kuvausalueen ulkopuolelle, tai laitteessa ei voida käyttää osittaissäteilytystä. Ohjeistus perustuu laajaan kirjallisuuskatsaukseen, jonka perusteella uusilla TT-laitteella annosoptimointimenetelmät antavat suojaimia parempia mahdollisuuksia annossäästön toteutukseen. (Kortesniemi, sähköpostiviesti 24.6.2015.)

## 8 POHDINTA

Kysymykseen tulisiko vismuttisuojia käyttää kuvakentässä tietokonetomografiatutkimuksissa, ei ole yksiselitteistä vastausta. Vismuttisuojuilla saatava annossäästö on riippuvainen niin kuvattavasta kohteesta, suojattavan elimen sijainnista kuin käytetystä laitteistosta. Säteilysuojien käyttöä tulisi aina miettiä tapauskohtaisesti.

### 8.1 Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojien sekä annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen

Mittausten perusteella vismuttisilmäsuojan käyttö ainoana säteilyn optimointimenetelmänä trauma-TT -protokollassa pienentää silmän kudosaannosta 9,7 % ja linssin annosta 25 %. Yhdistettynä annosmodulointiin vismuttisilmäsuoja pienentää silmän annosta noin 75 %, kun taas pelkkä annosmodulointi pienentää annosta noin 65 %. Suojan käytöstä saatava hyöty on merkittävä. Tutkimuksen tulos on samansuuntainen uusimman tutkimustiedon kanssa. Buchgeister, Sieburg, Roll, Math & Wagner (2013) tekivät annosmittauksia antropomorfisella fantomilla, sekä pään että keuhkojen TT-protokollalla, käyttäen vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojia. Heidän tutkimuksensa mukaan pään TT -kuvauksessa vismuttisilmäsuojan käyttö pienentää silmän annosta 39 %.

Vismuttikilpirauhasuojan käyttö yksistään pienentää kilpirauhasen annosta noin 16 % mittausten perusteella. Pelkällä annosmoduloinnilla annosta saadaan pienennettyä noin 55 %, kun taas vismuttikilpirauhasuoja yhdistettynä annosmodulointiin pienentää kilpirauhasen annosta 65 %. Buchgeister ym (2013) tutkimuksessa vismuttikilpirauhasuoja pienentää annosta pään TT -tutkimuksessa 42 %, ja keuhkojen TT -tutkimuksessa 31 %.

Vismuttikilpirauhas- ja silmäsuojan käytöllä saadaan säästettyä pään alueen TT -tutkimuksissa säteilyherkkien elinten; silmien ja kilpirauhasen annoksia. Kuitenkin, kun verrataan annosmodulaation ja suojien vaikutuksia, on annosmodulaation vaikutus yksinään huomattavasti merkittävämpi kuin suojien. Nikupaavo, Kaasalainen, Reijonen, Ahonen & Korttesniemi (2014) tutkimuksessa selvitettiin eri annoksenoptimointimenetelmien te-

hoa pään TT -tutkimuksessa. Heidän tutkimuksen perusteella tehokkain keino suojata silmää oli kanturin kippaaminen, jolla silmän annos pieneni 75 %. Ns. organ-based -annosmodulaatiolla saatiin silmän annosta pienennettyä 30 %. Vismuttisuoijat pienensivät annosta 25 %. Myös heidän tutkimuksensa perusteella vismuttisuojoilla saadaan pienennettyä silmän annosta, mutta muut laitetekniset keinot ovat tehokkaampia.

Mittausten perusteella Siemens CARE-Dose4D -annosmodulaation vaikutus on tasainen fantomin pään alueella. Esimerkiksi annosmodulaatiolla saatava annossäästö silmän kudoksessa on noin 65 % ja linsissä noin 66 %. Kun taas vismuttisuojoilla saatavat vastaavat lukemat ovat 9,7 % ja 25 %. Vismuttisuoja pienentää tehokkaammin pinta- kuin syväannoksia. Akhlaghi, Miri-Hakimabad & Rafat-Motavalli (2014) mukaan tietokonetomografian primäärisäteilykeilaan soveltuvat säteilysuojat pienentävät tehokkaasti pinnallisten elinten säteilyannosta.

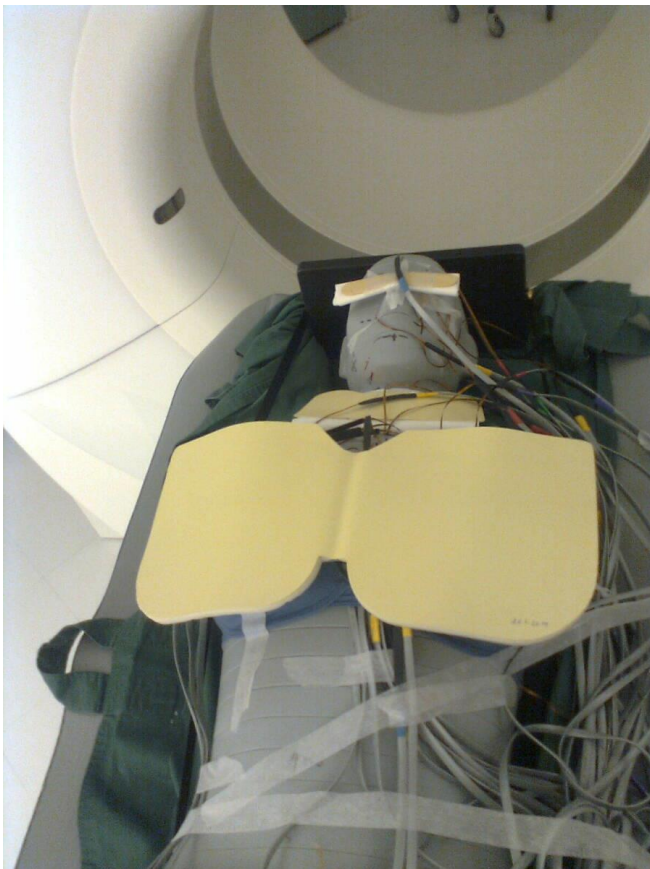
Silmän linssi on yksi säteilyn haittavaikutuksille herkimmistä ihmisen elimistä. Säteily aiheuttaa linsissä solujen vaurioitumista sekä tuhoutumista, aiheuttaen näin harmaakaihia. Harmaakaihin kehittyminen vaatii sen, että linssin kumuloitunut annos ylittää 2-10 Gy. (Rajabi, Noohi, Hashemi, Haghjoo, Miraftab, Rastgou, Malek, Faghihi, Firouzabadi, Asgari, Rezvan, Khosravi, Soroush & Khabazkhoob 2015.)

## **8.2 Vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin vaikutus säteilyannokseen**

Mittausten perusteella vismuttirintarauhassuojan käyttö ainoana optimointimenetelmänä pienentää parhaimmillaan rinnan pinta-annosta 55 % ja kudosannosta 33 %. Ilman suojia pelkästään annosmodulointi pienentää rinnan pinta-annosta 67 % ja kudosannosta 56 %. Vismuttirintarauhassuojan ja annosmoduloinnin yhdistelmällä saadaan parhaimmillaan pienennettyä rinnan pinta-annosta 78 % ja kudosannosta 70 %.

Pescada, Sousa, Abrantes, Ribeiro, Almeida, Rodrigues, Azevedo & Pinheiro (2015) tutkimuksessa tutkittiin suojauksen säteilysuojaimien käytön vaikutusta pään, keuhkojen, vatsan ja alaraajan tietokonetomografiatutkimuksissa. Keuhkojen tutkimuksessa vismuttirintarauhassuojaa käyttämällä rintojen annos pieneni 34 %. Tämän tutkimuksen tulos on samansuuntainen.

Vismuttirintarauhassuojan vaikuttavuudessa on merkittävä ero rinnan eri osien välillä. Sen lisäksi, että suoja toimii paremmin rinnan pinnalla kuin sisällä, on suojan vaikutus suurempi rinnan mediaalisissa osissa. Rintarauhassuojat aseteltiin tutkimuksessa OYS:n käytännön mukaisesti, eli niitä ei teipattu kehoon kiinni, vaan ne vain asetettiin rintojen pinnalle. Kuten kuvioista 7 nähdään, ei suoja näin aseteltuna painu kiinni rinnan sivuosiin. Kun röntgenputki on kehon sivulla tai yläviistossa, ei vismuttirintarauhassuoja suoja kehon lateraaliosia tehokkaasti, vaan osa säteilystä pääsee suoraan kudokseen kulkematta suojan läviste.



*KUVIO 7. Vismuttirintarauhassuoja ohuella väliaineella (kuva Elina Juola)*

Annosmoduloinnilla saadaan pienennettyä rinnan annosta tasaisemmin kuin vismuttisuo-  
jalla. Sama ilmiö on silmän annoksen pienentämisessä, joskin annosmoduloinnin avulla  
saavutetun rinnan pinta- ja syväannossäätön välillä on merkittävämpi ero kuin silmän  
vastaavien annosten välillä. Annosmodulointi pienentää tehokkaammin pinta-annoksia,  
mutta myös syvemmillä olevien elinten, kuten keuhkojen annossäätö on merkittävä.

### 8.3 Vismuttirintarauhassuojan väliaineen paksuuden vaikutus säteilyannokseen

Vismuttirintarauhassuoja vaimentaa säteilyä sekä ohuella (1 cm), että paksulla (5 cm) väliaineella varustettuna. Näiden suojien toimivuuden väliset erot ovat merkittävät varsinkin rinnan lateraaliosissa. Kun tutkittiin suojien toimivuutta yksinään, ilman että käytettiin annosmodulointia, ei suojien toimivuudessa ollut merkittävää eroa lateraali-mediiaalissuunnassa. Suojien väliset erot ovat suurimpia pinta-annoksissa. Ohuella väliaineella varustettu vismuttirintarauhassuoja vaimentaa noin 54 % pinta-annosta, paksulla väliaineella varustettu 48 %. Verrattaessa vismuttirintarauhassuojan yhdistämistä annosmodulointiin, suojien toimivuuden väliset erot kasvavat. Kun käytetään annosmodulointia, ohuella väliaineella varustettu suoja tuo pinta-annokseen noin 34 % lisää säästöä, ja paksulla väliaineella varustettu noin 16 %. Kalra, Dang, Singh, Saini & Shepard (2009) tutkimuksessa tutkittiin rinnan pinta-annoksia neljän eri paksuisen väliaineen kanssa. Heidän tutkimuksessa ilman automaattista virran modulointia 1 cm väliaineellinen vismuttirintarauhassuoja antoi 41 % pinta-annossäästön, ja 6 cm väliaine 37 % pinta-annossäästön. Heillä oli käytössään kehonmyötäinen vismuttirintarauhassuoja, joka tulosten perusteella on vähemmän herkkä käytetyn väliaineen paksuudelle pinta-annosta tarkasteltaessa.

Rinnan lateraaliosan pinta-annokseen ohuella väliaineella varustettu suoja tuo 36 % lisää annossäästöä, kun taas paksulla väliaineella varustettu vain 3 %. Tähän ilmiöön on selityksenä paksulla väliaineella varustetun rintarauhassuojan istuvuus rinnan päällä (katso kuvio 8). Suoja ei taivu merkittävästi, joten suoja ei anna suojaa kehoon nähden poikittain tulleille säteille.



*KUVIO 8. Vismuttirintarauhassuoja paksulla väliaineella (kuva Joni Granlund)*

Kuvion 8 mukainen suoja on otettu käyttöön OYS:n keskusröntgenissä radiologien toiveesta. Tällä tavalla saadaan pienennettyä suojan aiheuttamaa kuvausartefaktaa. Kalran ym. (2009) tutkimuksessa 1 cm väliaineellinen suoja nosti TT-lukua (HU) keskimäärin 105 % ja 6 cm 39 %. Huomion arvoista on, että OYS:n käytännön mukaisella paksulla väliaineella (5 cm) varustetulla vismuttirintarauhassuojalla saadaan annosmodulointiin yhdistettynä lisää annossäästöä. Suojan tuoma hyöty on rinnan pintaosissa 16 % ja kudoksessa 21 %. Suojalla saadaan myös keuhkoihin 11 % lisäännossäästöä.

#### **8.4 Vismuttisuojan asettelun ajoituksen vaikutus säteilyannokseen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä**

Vismuttisuojat tulisi sijoittaa potilaan päälle vasta suunnittelukuvan ottamisen jälkeen. Jos suojat ovat paikallaan suunnittelukuvan ottamisen aikana, annosmodulointi lisää annosta suojien kohdalla, koska automatiikka havaitsee alueella olevan paksun väliaineen ja lisää virtaa kuvanlaadun säilyttämiseksi. Coursey ym. (2007) havaitsivat, että kun rin-

takehän kuvauksessa GE:n tietokonetomografialla suoja asetettiin fantomille suunnittelukuvan ottamisen jälkeen, annos laski 35 %. Kun suoja asetettiin suunnittelukuvaan, saavutettiin 20 % annoksen säästö. (Coursey ym. 2007.)

Mittausten perusteella sekä silmä- että rintarauhassuojat tulisi asettaa potilaan päälle vasta suunnittelukuvan ottamisen jälkeen. Vaikka suoja olisi vahingossa asetettu suunnittelukuvaan, ei tämä kuitenkaan nosta potilaan saamaa säteilyannosta. Suojan asettelun ajoituksella on suuri merkitys annosoptimoinnin kannalta. Esimerkiksi kun silmäsuoja asetetaan vasta suunnittelukuvan jälkeen, saavutetaan 33 % annossäästö verrattuna siihen, että suoja olisi aseteltu ennen suunnittelukuvan ottamista. Merkittävä vaikutus on myös rinnan pinta-annokseen; oikealla ajoituksella pienennetään annosta 18 %. Hoitajia tulisi ohjeistaa suojien asettelun ajoituksesta, mutta myös korostaa, ettei suojien käyttöä tulisi pelätä sillä perusteella, että pelkää asettelevansa suojan väärään aikaan, ja näin nostavan säteilyannosta.

## **8.5 Tutkimuksen toistettavuus ja luotettavuus**

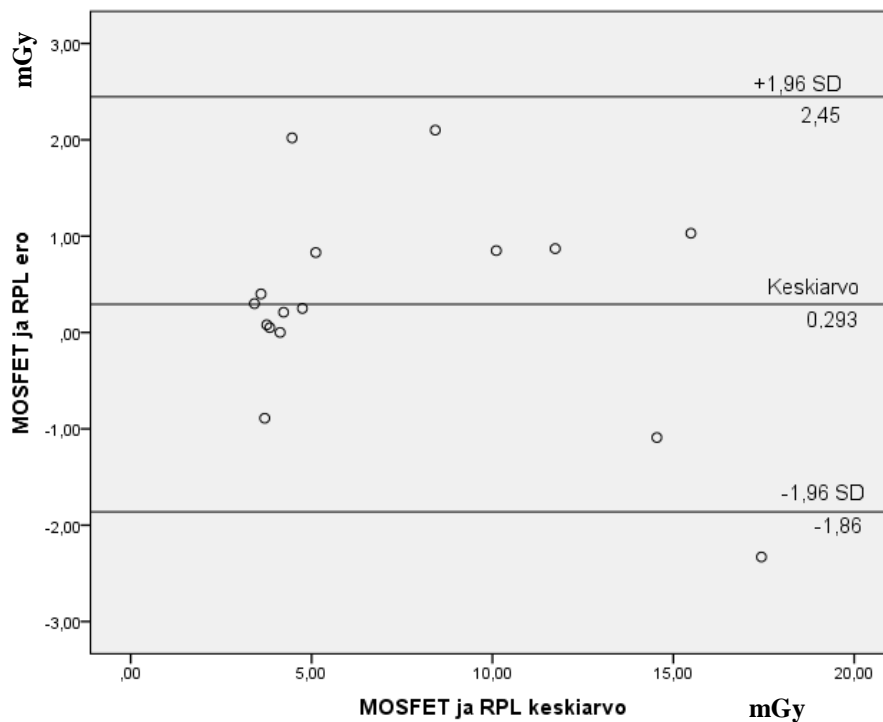
Pienin saatu mittaustulos MOSFET-antureille oli 7,41 (laskennallinen kerta-annos 2,47 mGy), silmän orbitaan vismuttisuojan alla. Manninen, Kotiaho, Nikkinen & Nieminen (2015) mukaan MOSFET -anturiin on tultava vähintään 5 mGy annos, jotta mittaustulos olisi luotettava. Mittaukseen käytetyt kuvausarvot ja toistojen määrä olivat näin riittävät. Courseyn ym. (2007, 57) tutkimuksessa on havaittu, että 10 mGy:n annoksen mittauserävarmuus on noin 10 % tai vähemmän.

Mittaussarjojen toistettavuuden luotettavuutta arvioitiin alimmista rintarangan ja kylkiluun antureista. Näihin antureihin suojien asettaminen kuvaussarjojen välillä vaikuttaa vähiten. Mittarina käytettiin variaatiokerrointa (CV), joka suhteuttaa mittauslukemien keskihajonnan mittauslukemien keskiarvoon (Vilka 2007, 125). Rintarangan anturin variaatiokertoimeksi saatiin 4 %, ja kylkiluun anturin variaatiokertoimeksi 7 %, annosmodulaation ollessa käytössä. Mittausten hajonta oli suhteellisen pientä. Toistettavuuden luotettavuus on hyvällä tasolla. Mittauslukemien virhemarginaaliksi arvioidaan 7 %.

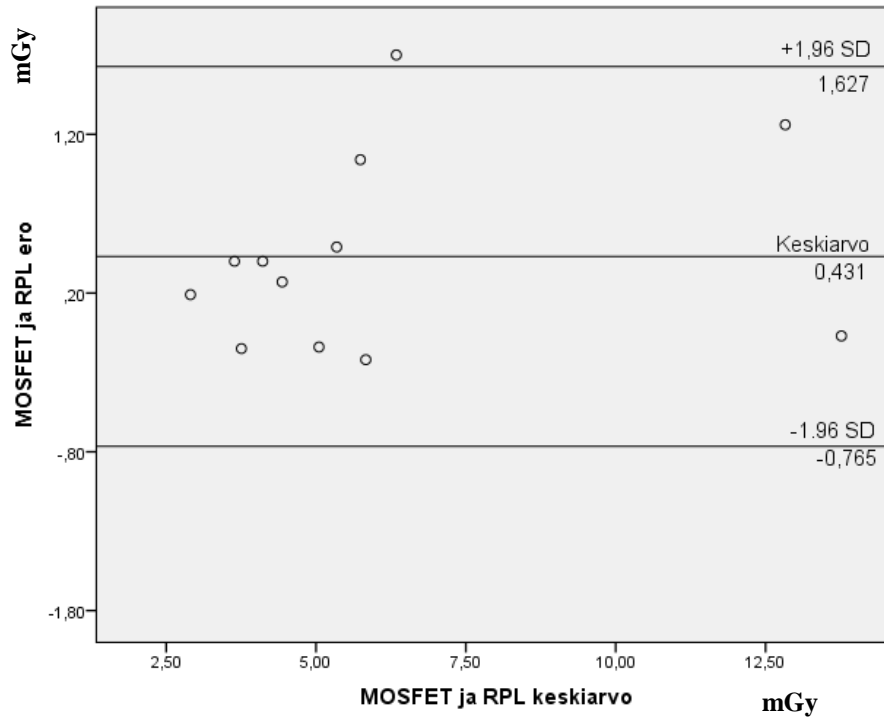


Kahden eri mittausmenetelmän yhteensopivuutta voidaan testata Bland-Altmanin analyysillä. Analyysi laskee kahden menetelmän erojen keskiarvon ja 95 % tilastollisen todennäköisyyden sille, että kahden menetelmän mittausten erot ovat tietyllä välillä. Tämä ns. luotettavuusväli ja menetelmien mittausten erot piirretään kuvaajaan, ja kuvaajasta arvioidaan kuinka hyvin arvot asettuvat luotettavuusvälin sisälle. (Myles & Cui 2007, 309.)

Bland-Altmanin analyysin perusteella silmän pinnan MOSFET- ja RPL -mittausmenetelmien ero on keskiarvoltaan 0,293 (mGy), ja olettaen että erot ovat normaalijakautuneita 95 % tilastollisella todennäköisyydellä luotettavuusvälin ollessa -1,86 ja 2,45 (mGy) (katso kuvio 9). Rinnan vastaava keskiarvo on 0,431 ja 95 % tilastollisella todennäköisyydellä luotettavuusvälin ollessa -0,765 ja 1,627 (katso kuvio 10). Kuvioista 9 ja 10 nähdään, että menetelmien erot asettuvat lähelle keskiarvoa, ja suurta hajaumaa ei ole. Voidaan sanoa, että menetelmien ero on systemaattista. Analyysin perusteella käyttämämme MOSFET-anturien mittausvarmuus on verrattavissa RPL –dosimetrien mittausvarmuuden kanssa, mikä on yhtenevä Mannisen ym. (2015) tutkimuksen kanssa.



*KUVIO 9. Bland-Altmanin kuvio silmän pinnalla mitanneiden MOSFET ja RPL –anturien erosta*



Kuvio 10. Bland-Altmanin kuvio rinnan pinnalla mitanneiden MOSFET ja RPL –anturien erosta

RPL –dosimetrien mittaustulokset luettiin erillisellä mittauslaitteella. Jokaisesta sarjasta kirjattiin ylös jokaisen RPL -dosimetrin paikka, jolloin voitiin yhdistää dosimetrin luen- nan tulos ja mittauspaikka. MOSFET –anturit pysyivät paikoillaan koko tutkimuksen ajan. Jokaisesta kuvaussarjasta kirjattiin ylös myös efektiivinen mAs ja TT:n kuvausan- noksen ilmaiseva dose length product (DLP).

### 8.6 Tutkimuksen eettisyys

Hyvän tieteellisen käytännön perusteella tutkimuksessa tulisi noudattaa rehellisyyttä, yleistä huolellisuutta ja tarkkuutta tutkimustyössä, tulosten tallentamisessa ja esittämi- sessä sekä niiden arvioinnissa. Tutkijoiden kuuluu kunnioittaa muiden tutkijoiden teke- mään työtä viittaamalla heidän tekemiin julkaisuihin asianmukaisella tavalla. Tutkimuk- selle on oltava hankittuna tarvittavat tutkimusluvut, lisäksi kaikkien osapuolten oikeudet, vastuut ja velvollisuudet on oltava sovittuina. Lisäksi tutkimuksen kannalta merkittävät sidonnaisuudet on ilmoitettava. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2012, 6.)

Tutkimus tehtiin mahdollisimman huolellisesti. Tulokset kirjattiin sähköisesti taulukkoihin. Lisäksi kirjasimme tutkimuksen kulun tarkasti niin tutkimuksen aikana kuin lopulliseen tutkimusraporttiin. Tutkimuksemme on toistettavissa kohtuullisen hyvin. Toistettavuuden kannalta ongelmana on fantomin asettelu täsmälleen samaan kohtaan. Jo muuttaman sentin muutos vaikuttaa mittaustuloksiin. Lisäksi dosimetrien tarkat paikat leikkeissä eivät ole raportoituna. Kohde-elimet on kirjattu, sekä fantomin leikkeet, joissa dosimetrit sijaitsevat, mutta tarkkaa sijaintia ei ole kirjattu. Esimerkiksi pelkästään luuytimellä on 85 eri aukkoa, johon dosimetrin olisi voinut sijoittaa.

Tutkimuksessa hyödynnettiin useita tieteellisiä tutkimuksia ja julkaisuja. Viittaukset näihin julkaisuihin tehtiin asiaankuuluvalla tavalla. Tutkimukselle hankittiin tutkimuslupa Oulun yliopistolliselta sairaalalta, sekä mainittiin apuna olleet OYS:n työntekijät. Tutkimus tehtiin hyvän tieteellisen käytännön mukaan.

## **8.7 Omat oppimiskokemukset**

Opimme opinnäytetyötä tehdessä tutkimuksen suunnittelun ja tarkan kirjaamisen tärkeyden. Opimme myös tutkimuksen rajaamisesta. Kun mietitään vismuttisuojiin hyötyä, tulisi huomioida myös kuvanlaatu, sekä suojiin käytön aseptiikka, sekä niiden asetteluun menevä aika. Rajasimme tämän tutkimuksen pelkästään vismuttisuojiin ja annosmoduuloinnilla saatavaan säteilyannossäästöön. Tutkimuksen aikana huomasimme asioita joita olisi voinut tutkia, esimerkiksi se, kuinka paljon annossäästöä saadaan kantamalla kippamalla. Opimme sen, että tutkimus on kuitenkin rajattava tarkasti. Jos tutkitaan useita tekijöitä samanaikaisesti, tutkimus paisuu eikä yhteen tekijään voida keskittyä kunnolla.

## **8.8 Jatkotutkimushaasteet**

Jatkotutkimushaasteina tulisi suorittaa kuvanlaatumittaukset Siemens SOMATOM Definition Flash TT -laitteella ja CARE-Dose4D -annosmodulaatiolla. Näin voidaan tehdä ohjeistus siitä, missä tutkimuksissa vismuttisuojiin tulisi käyttää huomioiden sekä kuvanlaatu, että annossäästö. Lisäksi voidaan tutkia Barium -suojiin soveltuvuutta kyseiselle laitteelle, jos vismuttisuojiin aiheuttaman kuvausartefaktin todetaan olevan liian suuri.

## LÄHTEET

Akhlaghi, P., Miri-Hakimabad, H. & Rafat-Motavalli, L. 2014. Effects of shielding the radiosensitive superficial organs of ORNL pediatric phantoms on dose reduction in computed tomography. *Journal of medical physics* 39 (4), 238–46.

Bredenhöller, C. & Feuerlein, U. 2006. SOMATOM Definition Application Guide. Muenchen: Siemens AG Medical Solutions.

Buchgeister, M., Sieburg, M., Roll, F., Math, H. & Wagner, H. 2013. Reduction of the dose to the eye and thyroid by shielding in clinical chest computed tomography. *European society of radiology*. 1-10.

Computerized Imaging Reference Systems Inc. 2013. ATOM Dosimetry Phantoms. (esite, ei julkaisupaikkaa).

Coursey, C., Frush, D. P., Yoshizumi, T., Toncheva, G., Nguyen, G. & Greenberg, S. B. 2007. Pediatric Chest MDCT Using Tube Current Modulation: Effect on Radiation Dose with Breast Shielding. *American Journal of Roentgenology* 190 (1), 54-61.

Cristy, M. & Eckerman, K. F. 1987. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. I methods. U.S. Department of energy.

Dendy, P. & Heaton, B. 1999. *Physics for Diagnostic Radiology*, Third Edition. CRC Press, 464.

Dong, S., Chu, T., Lan, G., Wu, T., Lin, Y. & Lee, J. 2002. Characterization of high-sensitivity metal oxide semiconductor field effect transistor dosimeters system and LiF : Mg,Cu,P thermoluminescence dosimeters for use in diagnostic radiology. *Appl.Radiat.Isot.* 57, 883-91.

Foley, S., McEntee, M. & Rainford, L. 2013, An evaluation of in-plane shields during thoracic CT. *Radiation protection dosimetry*, 155, 439-50.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. 2003. *Tilastolliset menetelmät*. Helsinki: WSOY.

Huggett, J., Mukonoweshuro, W. & Loader, R. 2013. A phantombased evaluation of three commercially available patient organ shields for computed tomography x-ray examinations in diagnostic radiology. *Radiation protection dosimetry*, 155, 161-8.

ICRP. 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4).

Kalra, M. K., Dang, P., Singh, S., Saini, S. & Shepard, J-A. O. 2009. In-Plane Shielding for CT: Effect of Off-Centering, Automatic Exposure Control and Shield-to-Surface Distance. *Korean Journal of Radiology* 10 (2), 156-63.

Kortesniemi, M. 24.6.2015. Sähköpostiviesti. Ylifyysikko. HUS-kuvantaminen.

Manninen, A-L., Kotiaho, A. & Nieminen, M. T. 2014. Skolioosikuvauksen sädeannos: Rinta-annos, sädesuojat ja projektiosuunta. Abstrakti. Sädeturvapäivät 2014.

Manninen, A-L., Koivula, A. & Nieminen, M. T. 2012. The Applicability of Radiophotoluminescence dosimeter (RPLD) for measuring medical radiation (MR) doses. *Radiation Protection Dosimetry*, 151 (1), 1–9.

Manninen, A-L., Kotiaho, A., Nikkinen, J. & Nieminen M. T. 2015. Validation of a MOSFET dosimeter system for determining the absorbed and effective radiation doses in diagnostic radiology. *Radiat Prot Dosimetry*, 164 (3), 361-7.

McCullough, C. H., Wang, J., Gould, R. G. & Orton, C. G. 2012. The use of bismuth breast shields for CT should be discouraged. *Medical physics* 39 (5), 2321-4.

Myles, P. S. & Cui, J. 2007. Using the Bland–Altman method to measure agreement with repeated measures. *British Journal of Anaesthesia* 99 (3), 309–11.

Nikupaavo, U., Kaasalainen, T., Reijonen V., Ahonen SM. & Kortensniemi, M. 2015. Lens dose in routine head CT: comparison of different optimization methods with anthropomorphic phantoms. *American Journal of Roentgenology* 204 (1), 117-23.

Pescada, R., Sousa, P., Abrantes, A., Ribeiro, L., Almeida, R., Rodrigues, S., Azevedo, K. & Pinheiro, J. 2015. Radioprotection in CT scans: use of bismuth, barium and lead shields . *European society of radiology*. 1-53.

Poole, D. M. 2014. Absorption of photons. X-ray absorption edges, characteristic X-ray lines and fluorescence yields. National Physical Laboratory. Viitattu 24.9.2014.

Rajabi, A., Noohi, F., Hashemi, H., Haghjoo, M., Miraftab, M., Rastgou, F., Malek, H., Faghihi, H., Firouzabadi, H., Asgari, S., Rezvan, F., Khosravi, H., Soroush, S. & Khabazkhoob, M. 2015. Ionizing Radiation-Induced Cataract in Interventional Cardiology Staff. *Research in Cardiovascular medicine* 4, 1.

Sæther, HK., Martinsen, AC., Korsmo, L. ja Reister, T. 2009. Strålebeskyttelse av barns bryst ved høyoppløseling CT av lungene. *Tidsskr Nor Legoforen*, 6, 521-3.

Siemens. 2009. Flash speed. Lowest dose. SOMATON Definition Flash. Siemens AG: München.

STUK. 2014. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. Viitattu 13.5.2014. [http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/ihmisen\\_radioaktiivisuus/fi\\_FI/keskimaarainen\\_sateilyannos/](http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/ihmisen_radioaktiivisuus/fi_FI/keskimaarainen_sateilyannos/)

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Helsinki.

Vilka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Tammi.

Yoshizumi, T. T., Goodman, P. C., Frush, D. P., Nguyen, G., Toncheva, G., Sarder, M. & Barnes, L. 2007. Validation of Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

Technology for Organ Dose Assessment During CT: Comparison with Thermoluminescent Dosimetry. *American Journal of Roentgenology*, 188, 1332–6.

## LIITTEET

TAULUKKO MITTAUSSARJOJEN KESKIMÄÄRÄISESTÄ SÄHKÖMÄÄRÄSTÄ MAS SEKÄ ANNOKSEN JA PITUUDEN TULOSTA DLP

LIITE 1

| Mittaus | mAs | DLP<br>(mGycm) |
|---------|-----|----------------|
| 1       | 140 | 643            |
| 2       | 56  | 267            |
| 3       | 140 | 643            |
| 4       | 56  | 267            |
| 5       | 140 | 643            |
| 6       | 56  | 267            |
| 7       | 140 | 643            |
| 8       | 56  | 267            |
| 9       | 62  | 293            |
| 10      | 62  | 287            |
| 11      | 58  | 272            |

TAULUKKO SARJOJEN 1 – 4 MITTAUSLUKEMISTA [MGY]

LIITE 2

|                                   | 1. (Referenssi) | 2.   | 3.    | 4.   |
|-----------------------------------|-----------------|------|-------|------|
| rinta sin, pinta oikealla         | 14,53           | 4,07 | 11,80 | 5,27 |
| rinta sin, pinta keskellä         | 13,97           | 4,67 | 13,97 | 5,47 |
| rinta sin, pinta vasemmalla       | 12,70           | 4,97 | 14,60 | 6,03 |
| rinta sin, sisällä, alaoikealla   | 11,10           | 6,07 | 9,13  | 5,03 |
| rinta sin, sisällä, alavasemmalla | 13,50           | 5,20 | 14,07 | 6,37 |
| rinta sin, alla vasemmalla        | 13,27           | 5,87 | 14,60 | 6,13 |
| rinta sin, alla oikealla          | 14,27           | 5,60 | 15,27 | 6,20 |
| aivot keskellä                    | 13,37           | 3,67 | 13,03 | 3,21 |
| luuydin, kallo, takana            | 11,90           | 3,43 | 14,20 | 2,87 |
| aivot keskellä                    | 12,30           | 3,70 | 11,80 | 3,29 |
| luuydin kallo, orbit silmä sin    | 9,27            | 3,20 | 8,37  | 2,47 |
| silmä sin, linssi pinta           | 16,27           | 5,53 | 12,17 | 3,80 |
| sylikirauhanen                    | 14,60           | 4,43 | 14,70 | 4,33 |
| sylikirauhanen, suun limakalvo    | 11,93           | 3,70 | 10,37 | 2,92 |
| luuydin, kaularanka               | 14,53           | 4,17 | 14,70 | 3,83 |
| luuydin, leukaluu                 | 13,13           | 3,60 | 13,77 | 3,40 |
| kilpirauhanen, vasemmalla         | 17,27           | 8,03 | 14,47 | 6,13 |
| kilpirauhanen, oikealla           | 18,40           | 8,40 | 15,37 | 6,57 |
| ruokatorvi, kilpirauhanen         | 17,63           | 7,33 | 14,70 | 5,90 |



|                         |       |      |       |      |
|-------------------------|-------|------|-------|------|
| luuydin, lapaluu dex    | 9,27  | 5,33 | 9,10  | 4,50 |
| ruokatorvi, kateenkorva | 12,60 | 7,13 | 12,30 | 7,27 |
| keuhkot sin             | 11,90 | 6,00 | 11,40 | 5,83 |
| keuhkot dex             | 10,87 | 6,00 | 11,77 | 6,17 |
| luuydin, rintalasta     | 12,20 | 7,60 | 13,30 | 6,57 |
| luuydin, lapaluu sin    | 9,10  | 5,27 | 9,57  | 4,40 |
| ruokatorvi              | 12,87 | 6,37 | 12,50 | 6,00 |
| luuydin, rintaranka     | 8,10  | 4,57 | 7,50  | 4,07 |
| luuydin, kylkiluu dex   | 10,07 | 5,27 | 10,57 | 4,53 |
| keuhko, sin             | 13,27 | 5,67 | 11,93 | 5,80 |
| keuhko, dex             | 11,40 | 5,97 | 11,10 | 5,03 |
| luuydin, rintalasta     | 12,20 | 4,67 | 9,70  | 5,23 |
| sydän                   | 12,00 | 6,17 | 11,33 | 5,90 |
| luuydin, rintaranka     | 8,63  | 4,17 | 7,53  | 3,37 |
| keuhko, dex             | 11,47 | 4,67 | 11,33 | 5,03 |
| sydän                   | 12,60 | 6,07 | 13,10 | 6,20 |
| keuhko, sin             | 12,40 | 5,63 | 10,60 | 5,50 |
| keuhko, dex             | 13,30 | 6,53 | 13,33 | 5,93 |
| luuydin, kylkiluu       | 13,20 | 6,30 | 14,60 | 5,33 |
| luuydin, rintaranka     | 8,50  | 4,50 | 9,07  | 4,33 |

TAULUKKO SARJOJEN 1 – 4 LASKENNALLISISTA KUDOSANNOKSISTA  
[MGY]

LIITE 3

|   | 1. (Referenssi) | 2.   | 3.    | 4.   |
|---|-----------------|------|-------|------|
| Rinta keskimääräinen pinta-annos                | 13,73           | 4,57 | 13,46 | 5,59 |
| Rinnan keskimääräinen kudosanнос                | 13,03           | 5,68 | 13,27 | 5,93 |
| Aivot keskimääräinen annos                      | 12,83           | 3,68 | 12,42 | 3,25 |
| Kallon keskimääräinen annos                     | 11,43           | 3,41 | 12,11 | 2,91 |
| Silmän kudosanнос                               | 9,27            | 3,20 | 8,37  | 2,47 |
| Silmän pinta-annos                              | 16,27           | 5,53 | 12,17 | 3,80 |
| Sylkirauhasen keskimääräinen annos              | 13,27           | 4,07 | 12,53 | 3,63 |
| Suun limakalvon annos                           | 11,93           | 3,70 | 10,37 | 2,92 |
| Rangan keskimääräinen annos                     | 9,94            | 4,35 | 9,70  | 3,90 |
| Kilpirauhasen keskimääräinen annos              | 17,77           | 7,92 | 14,84 | 6,20 |
| Ruokatorven keskimääräinen annos                | 14,37           | 6,94 | 13,17 | 6,39 |
| Lapaluun keskimääräinen annos                   | 9,18            | 5,30 | 9,33  | 4,45 |
| Kateenkorvan annos                              | 12,60           | 7,13 | 12,30 | 7,27 |
| Vasemman keuhkon keskimääräinen annos           | 12,52           | 5,77 | 11,31 | 5,71 |
| Oikean keuhkon keskimääräinen annos             | 11,76           | 5,79 | 11,88 | 5,54 |
| Keuhkojen keskimääräinen annos                  | 12,09           | 5,78 | 11,64 | 5,61 |
| Rintalastan ja kylkiluiden keskimääräinen annos | 11,92           | 5,96 | 12,04 | 5,42 |
| Sydämen keskimääräinen annos                    | 12,30           | 6,12 | 12,22 | 6,05 |
| Luuytimen painotettu keskimääräinen annos       | 6,48            | 2,88 | 6,49  | 2,58 |
| Rintalastan keskimääräinen annos                | 12,20           | 6,13 | 11,50 | 5,90 |

|                                   | 5.    | 6.   | 7.    | 8.   |
|-----------------------------------|-------|------|-------|------|
| rinta sin, pinta oikealla         | 6,60  | 3,03 | 7,87  | 3,18 |
| rinta sin, pinta keskellä         | 6,50  | 2,81 | 6,80  | 3,53 |
| rinta sin, pinta vasemmalla       | 5,67  | 3,17 | 6,90  | 4,80 |
| rinta sin, sisällä, alaoikealla   | 10,20 | 3,73 | 10,73 | 3,67 |
| rinta sin, sisällä, alavasemmalla | 8,07  | 3,80 | 9,23  | 4,03 |
| rinta sin, alla vasemmalla        | 9,40  | 4,37 | 8,37  | 5,70 |
| rinta sin, alla oikealla          | 7,30  | 3,93 | 7,73  | 4,50 |
| aivot keskellä                    | 12,77 | 3,14 | 12,87 | 3,15 |
| luuydin, kallo, takana            | 9,97  | 2,90 | 8,50  | 3,32 |
| aivot keskellä                    | 12,60 | 3,50 | 12,60 | 3,31 |
| luuydin kallo, orbit silmä sin    | 13,43 | 3,09 | 13,70 | 2,97 |
| silmä sin, linssi pinta           | 10,53 | 3,80 | 9,47  | 3,87 |
| sylikirauhanen                    | 11,03 | 3,57 | 10,60 | 4,10 |
| sylikirauhanen, suun limakalvo    | 14,13 | 3,50 | 15,13 | 3,02 |
| luuydin, kaularanka               | 12,93 | 3,40 | 12,37 | 4,00 |
| luuydin, leukaluu                 | 13,00 | 3,17 | 12,10 | 3,37 |
| kilpirauhanen, vasemmalla         | 18,00 | 6,40 | 19,40 | 6,43 |
| kilpirauhanen, oikealla           | 19,43 | 6,63 | 20,20 | 7,00 |
| ruokatorvi, kilpirauhanen         | 17,33 | 6,00 | 18,10 | 5,93 |
| luuydin, lapaluu dex              | 8,30  | 4,97 | 7,60  | 5,40 |
| ruokatorvi, kateenkorva           | 12,83 | 7,17 | 14,10 | 6,77 |
| keuhkot sin                       | 11,53 | 5,53 | 11,67 | 5,20 |
| keuhkot dex                       | 9,97  | 6,03 | 9,80  | 6,00 |
| luuydin, rintalasta               | 14,03 | 7,77 | 12,73 | 7,67 |
| luuydin, lapaluu sin              | 9,70  | 4,43 | 9,80  | 4,53 |
| ruokatorvi                        | 11,10 | 5,50 | 10,93 | 5,77 |
| luuydin, rintaranka               | 10,20 | 4,40 | 10,10 | 4,33 |
| luuydin, kylkiluu dex             | 10,77 | 4,63 | 10,60 | 4,73 |
| keuhko, sin                       | 10,00 | 4,90 | 9,73  | 5,10 |
| keuhko, dex                       | 10,87 | 5,40 | 11,17 | 4,83 |
| luuydin, rintalasta               | 9,33  | 3,57 | 9,73  | 3,57 |
| sydän                             | 11,53 | 5,23 | 10,60 | 5,27 |
| luuydin, rintaranka               | 9,13  | 3,47 | 10,07 | 3,63 |
| keuhko, dex                       | 10,63 | 4,30 | 10,73 | 4,40 |
| sydän                             | 11,20 | 4,87 | 10,87 | 4,97 |
| keuhko, sin                       | 10,93 | 5,00 | 11,80 | 4,40 |
| keuhko, dex                       | 11,00 | 5,33 | 9,47  | 5,90 |
| luuydin, kylkiluu                 | 11,13 | 5,93 | 9,93  | 6,20 |
| luuydin, rintaranka               | 6,63  | 4,23 | 6,20  | 4,43 |

TAULUKKO SARJOJEN 5 – 8 LASKENNALLISISTA KUDOSANNOKSISTA  
[MGY]

LIITE 5

|   | 5.    | 6.   | 7.    | 8.   |
|---|-------|------|-------|------|
| Rinta keskimääräinen pinta-annos                | 6,26  | 3,00 | 7,19  | 3,84 |
| Rinnan keskimääräinen kudosanнос                | 8,74  | 3,96 | 9,02  | 4,48 |
| Aivot keskimääräinen annos                      | 12,68 | 3,32 | 12,73 | 3,23 |
| Kallon keskimääräinen annos                     | 12,13 | 3,05 | 11,43 | 3,22 |
| Silmän kudosanнос                               | 13,43 | 3,09 | 13,70 | 2,97 |
| Silmän pinta-annos                              | 10,53 | 3,80 | 9,47  | 3,87 |
| Sylkirauhasen keskimääräinen annos              | 12,58 | 3,53 | 12,87 | 3,56 |
| Suun limakalvon annos                           | 14,13 | 3,50 | 15,13 | 3,02 |
| Rangan keskimääräinen annos                     | 9,73  | 3,88 | 9,68  | 4,10 |
| Kilpirauhasen keskimääräinen annos              | 18,26 | 6,34 | 19,23 | 6,46 |
| Ruokatorven keskimääräinen annos                | 13,76 | 6,22 | 14,38 | 6,16 |
| Lapaluun keskimääräinen annos                   | 9,00  | 4,70 | 8,70  | 4,97 |
| Kateenkorvan annos                              | 12,83 | 7,17 | 14,10 | 6,77 |
| Vasemman keuhkon keskimääräinen annos           | 10,82 | 5,14 | 11,07 | 4,90 |
| Oikean keuhkon keskimääräinen annos             | 10,62 | 5,27 | 10,29 | 5,28 |
| Keuhkojen keskimääräinen annos                  | 10,70 | 5,21 | 10,62 | 5,12 |
| Rintalastan ja kylkiluiden keskimääräinen annos | 11,32 | 5,48 | 10,75 | 5,54 |
| Sydämen keskimääräinen annos                    | 11,37 | 5,05 | 10,73 | 5,12 |
| Luuytimen painotettu keskimääräinen annos       | 6,35  | 2,60 | 6,16  | 2,70 |
| Rintalastan keskimääräinen annos                | 11,68 | 5,67 | 11,23 | 5,62 |

TAULUKKO SARJOJEN 9 – 11 MITTAUSLUKEMISTA [MGY]

LIITE 6

|                                   | 9.   | 10.  | 11.  |
|-----------------------------------|------|------|------|
| rinta sin, pinta oikealla         | 3,83 | 3,47 | 5,07 |
| rinta sin, pinta keskellä         | 4,67 | 3,90 | 5,03 |
| rinta sin, pinta vasemmalla       | 4,43 | 3,67 | 4,83 |
| rinta sin, sisällä, alaoikealla   | 4,00 | 3,60 | 5,73 |
| rinta sin, sisällä, alavasemmalla | 5,00 | 4,10 | 4,77 |
| rinta sin, alla vasemmalla        | 5,47 | 4,53 | 5,87 |
| rinta sin, alla oikealla          | 4,80 | 4,60 | 5,40 |
| aivot keskellä                    | 4,20 | 3,80 | 3,37 |
| luuydin, kallo, takana            | 3,63 | 3,37 | 3,13 |
| aivot keskellä                    | 4,10 | 3,67 | 3,73 |
| luuydin kallo, orbit silmä sin    | 3,37 | 3,26 | 3,70 |
| silmä sin, linssi pinta           | 4,87 | 4,33 | 4,13 |
| sylkirauhanen                     | 4,43 | 4,20 | 4,43 |
| sylkirauhanen, suun limakalvo     | 3,16 | 3,19 | 3,57 |
| luuydin, kaularanka               | 3,90 | 4,13 | 3,73 |
| luuydin, leukaluu                 | 3,50 | 3,53 | 3,08 |

|                           |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|
| kilpirauhanen, vasemmalla | 6,90 | 6,40 | 5,87 |
| kilpirauhanen, oikealla   | 7,43 | 6,80 | 6,10 |
| ruokatorvi, kilpirauhanen | 7,10 | 6,57 | 6,07 |
| luuydin, lapaluu dex      | 5,00 | 4,70 | 5,00 |
| ruokatorvi, kateenkorva   | 6,63 | 6,87 | 7,43 |
| keuhkot sin               | 6,27 | 5,60 | 5,90 |
| keuhkot dex               | 5,80 | 5,30 | 5,97 |
| luuydin, rintalasta       | 7,10 | 7,17 | 7,03 |
| luuydin, lapaluu sin      | 5,13 | 4,50 | 4,43 |
| ruokatorvi                | 5,57 | 5,67 | 5,83 |
| luuydin, rintaranka       | 4,27 | 4,60 | 4,67 |
| luuydin, kylkiluu dex     | 4,70 | 4,80 | 5,67 |
| keuhko, sin               | 5,07 | 5,50 | 6,00 |
| keuhko, dex               | 5,93 | 5,67 | 5,53 |
| luuydin, rintalasta       | 4,27 | 4,53 | 4,97 |
| sydän                     | 5,27 | 5,03 | 5,90 |
| luuydin, rintaranka       | 3,67 | 4,03 | 4,23 |
| keuhko, dex               | 5,10 | 5,37 | 5,67 |
| sydän                     | 5,80 | 5,67 | 5,50 |
| keuhko, sin               | 5,70 | 5,10 | 5,87 |
| keuhko, dex               | 6,20 | 5,37 | 6,23 |
| luuydin, kylkiluu         | 6,27 | 5,90 | 6,47 |
| luuydin, rintaranka       | 4,43 | 4,60 | 4,03 |

TAULUKKO SARJOJEN 9 – 11 LASKENNALLISISTA KUDOSANNOKSISTA  
[MGY]

LIITE 7

|                                       | 9.   | 10.  | 11.  |
|---------------------------------------|------|------|------|
| Rinta keskimääräinen pinta-annos      | 4,31 | 3,68 | 4,98 |
| Rinnan keskimääräinen kudosanнос      | 4,82 | 4,21 | 5,44 |
| Aivot keskimääräinen annos            | 4,15 | 3,73 | 3,55 |
| Kallon keskimääräinen annos           | 3,50 | 3,39 | 3,30 |
| Silmän kudosanнос                     | 3,37 | 3,26 | 3,70 |
| Silmän pinta-annos                    | 4,87 | 4,33 | 4,13 |
| Sylkirauhasen keskimääräinen annos    | 3,80 | 3,70 | 4,00 |
| Suun limakalvon annos                 | 3,16 | 3,19 | 3,57 |
| Rangan keskimääräinen annos           | 4,07 | 4,34 | 4,17 |
| Kilpirauhasen keskimääräinen annos    | 7,14 | 6,59 | 6,01 |
| Ruokatorven keskimääräinen annos      | 6,43 | 6,37 | 6,44 |
| Lapaluun keskimääräinen annos         | 5,07 | 4,60 | 4,72 |
| Kateenkorvan annos                    | 6,63 | 6,87 | 7,43 |
| Vasemman keuhkon keskimääräinen annos | 5,68 | 5,40 | 5,92 |
| Oikean keuhkon keskimääräinen annos   | 5,76 | 5,43 | 5,85 |
| Keuhkojen keskimääräinen annos        | 5,72 | 5,41 | 5,88 |

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| Rintalastan ja kylkiluiden keskimääräinen annos | 5,58 | 5,60 | 6,03 |
| Sydämen keskimääräinen annos                    | 5,53 | 5,35 | 5,70 |
| Luitymen painotettu keskimääräinen annos        | 2,73 | 2,79 | 2,82 |
| Rintalastan keskimääräinen annos                | 5,68 | 5,85 | 6,00 |