

Minna Inkeröinen & Piia Juutinen

**SÄTEILYN SIROAMINEN KESKOSVAUVOJA KUVATTAESSA TEHOHOITOYMPÄRISTÖSSÄ**

Fantom-tutkimus

# **SÄTEILYN SIROAMINEN KESKOSVAUVOJA KUVATTAESSA TEHOHOITOYMPÄRISTÖSSÄ**

Fantom-tutkimus

Minna Inkeröinen  
Piia Juutinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma

---

Tekijät: Minna Inkeröinen & Piia Juutinen

Opinnäytetyön nimi: Säteilyn siroaminen keskosvauvoja kuvattaessa tehohoitoympäristössä –fantom-tutkimus

Työn ohjaajat: Anja Henner & Karoliina Paalimäki-Paakki

Työn valmistumislukukausi ja – vuosi: Kevät 2016

Sivumäärä: 42 + 5 liitesivua

---

Lapsuudessa röntgensäteilylle altistuminen aiheuttaa suuremman lisäriskin terveydelle kuin myöhemmällä iällä saatu säteilyaltistus. Tämän vuoksi lasten säteilysuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Osaston ulkopuolisissa röntgentutkimuksissa on keskimäärin suuremmat annokset kuin kuvattaessa röntgenosastolla kiinteästi asennetuilla röntgenlaitteilla. Keskosvauvojen röntgenkuvaukset suoritetaan röntgenosaston ulkopuolella, pääasiassa lasten tehohoidon yksiköissä. Vuonna 2014 Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikössä tehtiin yhteensä 563 röntgenkuvausta keskosvauvoille, 204 eri potilaalle. Vuosien 2010–2015 aikana yhdestä keskosvauvasta otettiin keskimäärin 2,65 kuvaa.

Tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla röntgensäteilyn siroamista eri korkeuksissa etäisyyden muuttuessa kuvattaessa keskoskaapissa olevaa keskosvauvaa tehohoitoympäristössä. Tutkimus toteutettiin fantom-tutkimuksena. Tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla myös keskoskaapin vaikutusta säteilyn siroamiseen. Tavoite on kehittää keskosvauvojen ja henkilökunnan säteilysuojelua yksiköissä, joissa keskosvauvoja kuvataan.

Tutkimus toteutettiin Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) lasten röntgenin osastokuvauslaitteella syksyllä 2015 röntgenin kuvaushuoneessa 1 kg:n ja 2,5 kg:n painoista keskosvauvaa mallintavaa fantomia käyttäen. Siroavaa säteilyä mitattiin DoseAware-mittaristolla eri korkeuksilla ja etäisyyksillä eri puolilla keskoskaappia. Mittaukset toistettiin keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan sekä keskoskaapin ollessa avoimena.

Tutkimustulosten mukaan eniten siroavaa säteilyä on keskoskaapin ympäristössä kuvauskohteen lähietäisyydellä. Pääosin suurimmat annokset mitattiin fantomin kyljen puolelta. Kenttäkoon ja kuvausarvojen nostaminen vaikutti lisäämällä sironneen säteilyn määrää. Annoksia mitattiin esimerkiksi 140 cm:n ja 160 cm:n korkeudella, jolloin hoitajan säteilylle herkäät elimet (rinnat, kilpirauhanen, silmän mykiö) sijaitsevat näillä korkeuksilla. Säteily sirosi myös keskoskaapin materiaalin läpi, mutta pääasiassa annokset olivat pienempiä keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan.

---

Asiasanat: keskosvauva, sironna, keskoskaappi, säteilysuojelu, fantom

## ABSTRACT

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

---

Authors: Minna Inkeröinen & Piia Juutinen

Title of thesis: Scattered radiation while taking a x-ray of a premature born baby in an intensive care unit – a phantom study

Supervisors: Anja Henner & Karoliina Paalimäki-Paakki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016

Number of pages: 42

+ 5 appendices

---

The exposure to x-ray radiation at a young age causes a higher risk than exposure at an older age. Therefore, when operating with children, the protection from the radiation should be paid special attention to. X-ray examinations outside the department have approximately bigger doses than when taking the x-ray with the solid x-ray equipment in the department. The x-rays of prematurely born babies are performed outside the x-ray department, mainly at the children's intensive care units. In 2014, in the intensive care and care units of newborn babies in the health care district of Northern Ostrobothnia, altogether 563 x-rays were made on prematurely born babies, on 204 different patients. During the years 2010–2015 approximately 2,65 x-rays were taken of one prematurely born baby.

The purpose of the thesis is to describe the scattered radiation when taking a x-ray of a prematurely born baby in an incubator in different angles and distances. The impact that the incubator has on scattered radiation is also described in the research. The research was executed as a phantom study. The aim is to develop protection from the radiation of the prematurely born babies and the staff in units, in which the x-rays of the babies are taken of.

The research was conducted with the children's department's portable x-ray machine at the Oulu University hospital in autumn of 2015. It was executed in the examination room using a phantom which models a prematurely born child that weighs 1 kg and 2,5 kg. The scattered radiation was measured with the DoseAware System at different heights and distances on different sides of the incubator. The measurements were repeated with the roof of the incubator on and with the incubator being open.

According to the results, most of the scattered radiation is in the surroundings of the incubator within a close distance from the subject. The highest doses were mainly measured from the side of the phantom. Lifting of the field size and the exposure parameters affected by increasing the amount of the scattered radiation. The doses were measured, for example, at the height of 140 cm and 160 cm. Within these heights are also the nurse's organs which are vulnerable to the radiation, such as the breasts, the thyroid gland and the lens of the eye. The radiation also scattered through the material of the incubator but mainly the doses were lower when the roof of the incubator was attached.

---

Keywords: premature born baby, scattered radiation, incubator, radiation protection, phantom

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SÄTEILYTURVALLISUUS                      KESKOSVAUVAN                      KEUHKOJEN RÖNTGENTUTKIMUKSESSA.....	8
2.1	Keskosvauva ja keskosuuteen liittyvät erityispiirteet.....	9
2.2	Keskoskaappi keskosvauvan hoidon tukena .....	11
2.3	Röntgensäteilyn sironta .....	11
3	KESKOSVAUVAN JA HENKILÖKUNNAN SÄTEILYSUOJELU .....	13
3.1	Säteilyn haittavaikutukset ja säteily suoje lu lapsia kuvattaessa.....	13
3.2	Henkilökunnan annosrajat ja säteily suoje lu .....	16
4	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSONGELMAT .....	18
5	TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	19
6	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	20
6.1	Aineiston keruu.....	20
6.2	Aineiston analysointi.....	24
7	TUTKIMUSTULOKSET.....	25
7.1	Säteilyn siroaminen 1 kg:n painoista fantomia kuvattaessa.....	25
7.2	Säteilyn siroaminen 2,5 kg:n painoista fantomia kuvattaessa.....	26
7.3	Keskoskaapin vaikutus säteilyn siroamiseen fantomia kuvattaessa .....	26
8	TULOSTEN YHTEENVETO .....	28
9	POHDINTA .....	29
9.1	Tulosten tarkastelu .....	29
9.2	Tutkimuksen luotettavuus .....	31
9.3	Tutkimuksen eettisyys .....	34
9.4	Jatkotutkimushaasteet ja omat oppimiskokemukset.....	35
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	43

# 1 JOHDANTO

Lapsuudessa röntgensäteilylle altistuminen aiheuttaa suuremman lisäriskin terveydelle kuin myöhemmällä iällä saatu säteilyaltistus lapsen pidemmän elinajan odotuksen ja säteilyherkkyyden vuoksi. Tästä syystä lasten säteilysuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. (Lasten röntgentutkimuskriteerit 2008, 3; Bouaoun, Ben-Omrane & Hammou 2015, 1–5.) Röntgenosaston ulkopuolisissa röntgentutkimuksissa on keskimäärin suuremmat annokset kuin kuvattaessa röntgenosastolla kiinteillä röntgenlaitteilla. Röntgenosaston ulkopuolisissa kuvauksissa voi olla paikalla myös muita henkilöitä, kuten muita vauvoja ja heidän vanhempiaan sekä henkilökuntaa, jotka voivat altistua sironneelle säteilylle osastokuvauksen aikana. Heidän suojaamiseensa ja tilan käyttöön tulee kiinnittää huomiota. (Helasvuo 2014, 9–11.) Keskosvauvojen röntgentutkimukset suoritetaan pääasiassa lasten tehohoidon yksiköissä. Röntgentutkimuksen aikana ylimääräiset henkilöt pyritään poistamaan tilasta jossa kuvataan, jotta mahdollinen siroavalle säteilylle altistuminen vältetään. Jos tämä ei ole mahdollista ja tarvitaan esimerkiksi kiinnipitäjää, hänet suojataan säteilysuojin. (Mazrani, McHugh & Marsden 2007, 1127–1131.) Röntgenhoitaja voi altistua sironneelle säteilylle seisossaan lähellä kuvattavaa kohdetta nähdäkseen vauvan hengityksen (Duetting, Foerste, Knoch, Darge & Troeger 1999, 158–162).

Vuonna 2014 Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikössä tehtiin yhteensä 563 röntgenkuvausta keskosvauvoille, 204 eri potilaalle. Vuosien 2010–2014 aikana yhdestä keskosvauvasta otettiin 2,65 kuvaa. Suurin kuvausmäärä samalle potilaalle oli 46 kuvausta. (Kylmäniemi, sähköpostiviesti 21.5.2015.)

Tutkimuksen aihe saatiin ja ideoitiin yhdessä yliopettaja Anja Hennerin kanssa Helasvuon (2014) tekemän osaston ulkopuolisten kuvausten ympäristöannoksia mittaavan tutkimuksen pohjalta. Tutkimukseen valittiin mittauspisteitä useassa eri tasossa ajatellen henkilökunnan kehon saamaa säteilyaltistusta. Helasvuon tutkimuksessa mittaukset suoritettiin yhdessä, fantomin tasossa eri etäisyyksillä. Tässä tutkimuksessa tarkoituksena on kuvailla röntgensäteilyn siroamista eri korkeuksissa etäisyyden muuttuessa kuvattaessa keskoskaapissa olevaa keskosvauvaa tehohoitoympäristössä. Mittauksissa käytetään DoseAware-mittaristoa. Tutkimustulosten avulla voidaan kiinnittää huomiota röntgenhoitajan tai muiden lähietäisyydellä olevien henkilöiden tai toisten vauvojen sijoittamiseen ja suojaamiseen huoneessa kuvauksen aikana. Mittausten avulla kuvaillaan myös kes-

koskaapin materiaalin vaikutusta sirontaan. Tutkimuksen perusteella voidaan antaa lisätietoa säteilysuojelusta myös vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikön henkilökunnalle sekä lasten vanhemmille. Tässä tutkimuksessa ei mitata keskosvauvan saamia säteilyannoksia. Mittaukset suoritettiin Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS) lasten röntgenin tiloissa fantomia käyttäen. Keskosvauvojen ympäristön tulee olla rauhallinen, ja ylimääräisestä toiminnasta ja häiriöstä vapaa. Tämän vuoksi mittauksia ei tehty tehohoidon yksikössä todellisessa kuvaustilanteessa. Tutkimus tehtiin yhteistyössä Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin lasten röntgenin kanssa.

## 2 SÄTEILYTURVALLISUUS KESKOSVAUVAN KEUHKOJEN RÖNTGENTUTKIMUKSESSA

Vuonna 2014 Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikössä tehtiin yhteensä 563 röntgenkuvausta keskosvauvoille, 204 eri potilaalle. Vuosien 2010–2014 aikana yhdestä keskosvauvasta otettiin keskimäärin 2,65 kuvaa. Suurin kuvausmäärä samalle potilaalle oli 46 kuvausta. (Kylmäniemi, sähköpostiviesti 21.5.2015.) Vastasyntyneen vauvan yleisimpiä kuvausindikaatioita thorax-kuvaukseen ovat esimerkiksi keuhkokuume, tai keuhkokuumeen aiheuttamien komplikaatioiden epäily, synnynnäisen kehityshäiriön epäily, todetun keuhkosairauden seuranta, keuhko-oireiden ja hengitysvaikeuden selvittely, epäily sydänviasta tai todetun sydänvian seuranta sekä hoitovälineiden paikan varmistaminen (Lasten röntgentutkimuskriteerit 2008, 4).

Röntgenosaston ulkopuolisiin kuvauksiin käytetään liikuteltavaa osastokuvauslaitetta. Laitteella potilas voidaan kuvata osastolla jossa häntä hoidetaan, mikäli hänen kuntosensa ei salli kuljettamista kuvattavaksi röntgenosastolle. Osastokuvauslaite koostuu röntgengeneraattorista, röntgenputkesta sekä telineistä, joilla röntgenputki ja kuvareseptori pysyvät paikoillaan. (Tapiovaara, Pukkila & Miettinen 2004, 40, 50.)

Yhä useampi keskosvauva tarvitsee syntymänsä jälkeen radiologisia tutkimuksia eri oireidensa vuoksi. Tutkimusten määrät aiheuttavat huolta mahdollisista riskeistä liittyen keskosvauvan säteilyaltistukseen. Säteilyn aiheuttamat biologiset vaikutukset voivat aiheuttaa ongelmia keskosvauvoille heidän herkkyytensä vuoksi. On tutkittu, että toistuva altistuminen kuvauksen aikana säteilylle muodostaa mahdollisen ja merkittävän riskin myös henkilökunnalle sekä lasten vanhemmille. Henkilökunta saattaa tämän vuoksi jättää keskosvauvan ilman valvontaa välttääkseen omaa altistumistaan siroavalle säteilylle. Huolenaiheiksi nousivat muutamien yksittäisten tutkimusten korkeat annokset, ESD:n (entrance surface dose) eli pinta-annoksen ollessa pienimmillään 15 mGy ja suurimmillaan 73,6 mGy. Myös sironneesta säteilystä johtuvia matalia annoksia mitattiin ihmisille, jotka olivat samassa tilassa kuvattavien keskosvauvojen kanssa. EC:n (The Commission of European Communities, Euroopan komissio) ja ICRP:n (International Commission on Radiological Protection, kansainvälinen säteilysuojelukomissio) säädöksiä noudattamalla voidaan poistaa perheiden huolta sekä vähentää henkilökunnan riskejä liittyen ionisoivan säteilyn haittavaikutuksiin. Myös



asianmukaisen röntgenhoitajakoulutuksen saaneiden röntgenhoitajien lisääminen on ensiarvoisen tärkeää turvallisuuskulttuurin kehittämisessä yksiköissä. (Yu 2010, 311–319.)

## **2.1 Keskosvauva ja keskosuuteen liittyvät erityispiirteet**

Keskosvauvalla tarkoitetaan lasta joka syntyy raskausviikkojen 22–37 välillä ja lapsen paino on alle 2500 grammaa (Ennenaikaisen synnytyksen käypähoitosuositus 2011, viitattu 8.10.2015). Suomessa heitä on kaikista vastasyntyneistä noin 6 %. Hyvin ennenaikaisesti syntynyt lapsi on syntynyt ennen 30. raskausviikkoa ja heitä on noin 0,7 % kaikista vastasyntyneistä. Keskosvauvoista käytetään myös käsitteitä hyvin pienipainoinen syntyessään (< 1500 g painava lapsi) ja pienen pieni keskosvauva (< 1000 g painava vastasyntynyt). Hyvin ennenaikaisesti syntyneiden lasten kuolleisuus on laskenut selvästi viime vuosikymmenten aikana. Raskausviikoilla 28–32 syntyvät tai 1000–1500 g syntymäpainon omaavat jäävät eloon yli 90 % varmuudella. Kaikista vastasyntyneistä syntyy ennen 27. raskausviikkoa noin 0,3 %. Suomessa keskosvauvoja hoidetaan aktiivisella perinataalihoitolla, joka on vaikuttanut positiivisesti heidän selviytymiseensä. Keskosuuteen liittyy huomattava sairastuvuus ja suurempi myöhäisongelmien riski verrattuna normaaliaikaisina syntyneisiin lapsiin. (Fellmann & Luukkainen 2010, 112.) Koska 10 % kaikista vastasyntyneistä tarvitsee aktiivista sairaalahoitoa ennen 32. raskausviikon ikää tai alle 1500 g:n painoa, he ovat riskilapsia pitkän tehohoidon ja merkittävän kuolleisuus- sekä vammautumisriskin vuoksi (Tapanainen & Rajantie 2010, viitattu 21.4.2015).

Keuhkojen kypsymättömyys on ollut suurin haaste keskosvauvojen hoidossa ja se on ollut hoidossa etusijalla. Tutkimustyö on kehittänyt hengitysongelmien ja keuhkojen hoitoa vaikuttaen eloonjäämisennusteiden paranemiseen. (Lehtonen 2009, 1333–1339.) Keskosvauvan keuhkojen tilan arvioinnissa kaikkein diagnostisin ja ensisijaisin tutkimus on thorax-röntgentutkimus. Koska keskosvauvat ovat erittäin herkkiä säteilylle, keuhkokuvien ottaminen voi aiheuttaa haittoja säteilyn käytön vuoksi. Jotta tutkimuksen tarpeellisuus voidaan arvioida oikein, tietämys säteilyannoksista on tärkeää. (Smans, Tapiovaara, Cannie, Struelens, Vanhavere, Smet & Bosmans 2008, 556–568.)

Tämän hetken tärkeä kehittämistyö on lisätä hoidon laatua keskoslapsen myöhemmän kehityksen näkökulmasta. Keskosvauvan hoidossa tulee etsiä keinoja suojata aivojen kehitystä parantaen samalla lapsen kehitysennustetta. Aivojen epäkypsytyteen on vaikea vaikuttaa suoraan, mutta turval-

lisillä hoitokäytännöillä voidaan vaikuttaa välillisiin seikkoihin, jotka vaikuttavat epäkypsään keskushermostoon. Tärkeää on, että vähennetään aivojen kehityksen vaaratekijöitä samalla lisäten suojaavia tekijöitä tehohoidon aikana. (Lehtonen 2009, 1333–1339.) Aivojen anatominen kehitys voi olla vielä kesken syntymähetkellä, sillä aivojen ja hermoston merkittävä kehitys tapahtuu 28.–40. raskausviikkojen välillä. Aistitoiminnot ovat puutteelliset eikä keskosvauva osaa käsitellä ympäristön ärsykeitä yhtäläisesti verrattuna täysiaikaiseen vauvaan. Keskushermosto ja aistitoiminnot voivat vaurioitua tehohoidon voimakkaista ja ennalta-arvaamattomista toimenpiteistä. Vauriot voivat olla haitallisia ja laajempia kuin mitä täysin kehittyneessä hermostossa. (Korhonen 1999, 47–49, 54.) Keskosvauva on herkempi aivoverenvuodoille, koska aivoverisuonet hauraan rakenteensa vuoksi ovat alttiita repeämislle ja valkoinen aivoaine on tavallista vaurioherkempää. Aivojen itsesäätely ei toimi oikein, jonka vuoksi aivosuonisto ei reagoi verenpaineessa tapahtuviin muutoksiin. (Olsen & Vainionpää 2000, 2033–2034.)

Keskosvauva eroaa täysiaikaisesta vastasyntyneestä monella eri tavalla. Ohut ja läpikuultava iho vaaleine lanugokarvoituksineen, ihonalaisen rasvakerroksen ohuus sekä ihon suurempi pinta-ala suhteessa painoon heikentävät lämmönsäätelykykyä. Tämän vuoksi keskosvauva tarvitsee ulkopuolista apua ruumiinlämmön ylläpitämiseen. (Jumpponen 2006, 8.) Keskosvauvalla on heikko lihastonus, jonka vuoksi hän kompensoi tätä ojentelemalla vartalooaan ja raajojaan. Raajoissa saatetaan olla myös nykimistä keskushermoston epäkypsyydestä johtuen. Hoitokeinona tähän on vauvan tukeminen tiiviisti asentoon. Hoitohenkilökunnan on syytä työskennellä rauhallisesti varoen kovia ääniä tai äkkinäisiä kosketuksia, jotka voivat johtaa stressitason nousuun. Tämä voi aiheuttaa jatkuvia Moron eli säpsähdysheijasteen ilmenemisiä eli raajojen loitonusta ja ojennusta äkillisen ärsykkeen seurauksena. (Korhonen 1999, 120–125.)

Kaikkein pienimpien ja sairaimpien keskosvauvojen hoito keskitetään yliopistosairaaloihin. Hyvin ennenaikaisena syntyneiden keskosvauvojen eloonjäämisennusteet ovat paremmat heillä, jotka ovat hoidettu yliopistosairaaloissa verrattuna muissa sairaaloissa hoidettuihin keskosvauvoihin. Yliopistosairaaloissa on pitkälle kehitetty ja edistyksellinen tieto- ja taitotaso keskosvauvojen tehohoidossa, jonka ansiosta keskosten eloonjääminen on kasvanut. (Lehtonen 2009, 1333–1339.)

## 2.2 Keskoskaappi keskosvauvan hoidon tukena

Keskosvauvoja hoidetaan syntymän jälkeen keskoskaapissa eli inkubaattorissa. Modernissa keskoskaapissa voidaan säätää ilman lämpötilaa, kosteutta ja hapensaantia halutuksi ja tasaiseksi. Keskosvauvan tilaa seurataan hoitajan toimesta sekä antureilla että erilaisilla hoitolaitteilla jotka ovat yhdistetty tietokoneeseen. Hoitolaitteita voivat olla hengityskone, ylipainehappihoito, nenämahaletku, hiilidioksidi-happimittari ja sinivalohoito. Laitteisto on tehty mahdollisimman kivuttomaksi lapselle. Keskoskaapissa on mahdollista tehdä tarvittavat toimenpiteet kuten verikokeet, ultraääni- ja röntgentutkimukset, leikkaukset ja elvytystoimenpiteet. Nykyaikaisessa keskoskaapissa on hoitotoimenpiteitä helpottava laskeva ja nouseva pohja. (Raivio, viitattu 28.4.2015.) Uusimmissa keskoskaapeissa on myös sisäänrakennettu vaaka, 360 astetta kiertyvä patja, kehon lämpötilan ohjaus, sekä sisäänrakennettu röntgenkasetteline. Näiden avulla voidaan vähentää turhia keskosvauvaa stressaavia siirtoja. (GE 2015, viitattu 24.5.2015.)

## 2.3 Röntgensäteilyn sironta

Tavanomaista röntgenkuvaa otettaessa röntgenputkessa tuotettu säteily kohdistuu potilaaseen. Kun säteily läpäisee potilaan, säteily vaimenee. Potilaan paksuus, kudosten tiheys ja säteilyn spektri määräävät sen, miten paljon vaimenemista tapahtuu. (Tapiovaara ym. 2004, 61–62.) Röntgensäteily vaimenee eksponentiaalisesti noudattaen etäisyyden neliön lakia, eli röntgensäteily vaimenee käänteisesti suhteessa etäisyyden neliöön. Kahden metrin etäisyydellä säteilyn intensiteetti on pudonnut neljäsosaan. (Bushong 2001, 65–66.) Säteily havaitaan kuvareseptorilla potilaan toisella puolella ja sen avulla muodostetaan röntgenkuva. Säteilyn vaikutuksesta kuvamatriisin pikseleihin tulee varauksia, jotka saadaan purettua kuvanlukijalla numeroarvoiksi. Niistä saadaan muodostettua kuva, kun numeroarvoista saadaan kunkin kohdan kirkkaustiedot kuvamatriisissa. Potilaan kehon erilaiset rakenteet saadaan näkyville eri kirkkausvaihteluiden ansiosta. (Tapiovaara ym. 2004, 61–62.)

Röntgensäteilyn osuessa rajapintaan ja läpäistessä kuvauskohteen, osa fotoneista muuttaa suuntaansa eli siroaa. Osittain röntgensäteily myös imeytyy eli absorboituu aineeseen. Sironneet säteilykvantit, jotka osuvat väärin paikkoihin, heikentävän kuvanlaatua pienentämällä kontrastia. Tätä pystytään minimoimaan kenttäkokoja rajaamalla, käyttämällä niin pientä kuvausjännitettä kuin mahdollista, ja käyttämällä hajasäteilyhilaa potilaan ja ilmaisimen välissä. (Carlton & Adler 1996, 191–192, 237, 391; Jurvelin 2005, 36.) Sironnaan vaikuttavia tekijöitä ovat kuvausjännite, käytettävä suodatus, hajasäteilyhilan käyttö, kuvattavan kohteen paksuus, kenttäkoko ja väliaine, minkä röntgensäteily kohtaa. Kun kuvausjännitettä lisätään, sironna lisääntyy, mutta potilasannos pienenee. Kuvauskohteen paksuutta voidaan vähentää kompressiolla, ja tarkalla kuvausalueen rajaamisella suojataan sekä primaarisäteilyltä että vähennetään sironnutta säteilyä. (Carlton & Adler 1996, 161–162; Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4.) Säteilysuojien ollessa suuri, ja potilaan ollessa paksu, voi sironneen säteilyn määrä olla paljon suurempi kuin primäärisäteilyn määrä, joka osallistuu kuvan muodostukseen (Tapiovaara ym. 2004, 65).

Takaisinsironnan määrä voi olla suuri, jopa 40 % säteilystä, joka osuu kohteeseen. Sironnaa aiheuttavat eri materiaalit ja kohteet kuvaushuoneessa, mutta pääasiallinen sironna aiheutuu potilaan ja röntgensäteiden vuorovaikutuksesta. Säteilyä sirottavat kohteet tulisikin tuntee hyvin, kun mietitään kuvaushuoneessa kuvauksen aikana olevan henkilökunnan säteilysuojausta. Näin voidaan vaikuttaa henkilökunnan sijoittumiseen ja säteilysuojien sijoitteluun järkevästi. Sironneen säteilyn määrää voidaan mitata suoraan tai arvioida laskennallisesti Monte Carlo –simulaatioiden avulla. Suora mittaus tapahtuu säteilymittarilla halutusta kohteesta. Sironnaa koko kuvaustilassa voidaan mitata eri kiintopisteistä. (Julkunen 2008, viitattu 21.4.2015.)

Keskosvauvojen kuvauksiin liittyvää säteilyaltistusta ja säteilyn sironnaa on tutkittu fantom-tutkimuksena kuvausetäisyyden ollessa 100 cm. Tutkimuksen mukaan säteilyn sironnaa oli kahden metrin etäisyydellä keskoskaapista 11–17  $\mu\text{Gy}$  yhtä röntgenkuvaa kohden. Keskosvauvojen herkkyys säteilylle on otettava huomioon, ja kiinnitettävä huomiota suojaukseen ja potilaiden etäisyyteen kuvaushuoneessa. Tutkijoiden mukaan pienten säteilyannosten aiheuttamista terveyshaitoista ei ole vielä riittävästi tutkittua tietoa. (Olgar, Onal, Bor, Okumus, Atalya & Turkuilmaz 2008, 416–419.)

### 3 KESKOSVAUVAN JA HENKILÖKUNNAN SÄTEILYSUOJELU

Säteilysuojelu tarkoittaa sellaisia tapoja, joilla vähennetään potilaan saamaa aiheutonta altistusta säteilylle (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4). Ionisoivasta säteilystä aiheutuneet haitat perustuvat solun DNA-molekyylin, eli perimän vaurioon. Yksikin fotoni riittää katkaisemaan DNA-säikeet, ja tästä johtuen voidaankin sanoa, että kokonaan vaaratonta säteilyannosta ei ole olemassa. Annoksen ollessa pieni kudostasolla, säteilyn aiheuttaman haitan todennäköisyyskin on pieni, mutta se on olemassa. Säteilyn aiheuttamat terveyshaitat ovat deterministisiä tai stokastisia haittoja. Deterministinen eli suora haitta perustuu säteilyn aiheuttamaan solutuhoon, ja haitta ilmaantuu nopeasti säteilyaltistuksen jälkeen, esimerkiksi säteily sairaus, ihovaurio, sädepneumoniitti, harmaakaihi tai sikiövaurio. Deterministiselle haitalle on kynnsarvo eli säteilyannos, minkä alapuolella ei haittaa synny. Tästä syystä säteilyannosta rajoittamalla deterministiset haitat pystytään välttämään kynnsarvon takia. Stokastinen eli satunnainen haitta syntyy yhden solun geneettisestä muutoksesta. Jotta haittaa syntyy, se edellyttää solun jakautumista klooniksi, jonka kaikissa soluissa on sama muutos. Myöhemmin näiden muutosten kautta voi syntyä syöpä, mikäli kyseessä on somaattinen solu. Stokastisille haitoille ei ole kynnsarvoa, vaan ne saattavat saada alkunsa pienestäkin säteilyaltistuksesta, eikä haitta-aste ole riippuvainen saadusta säteilyannoksesta, mutta annoksen kasvaessa haitankin todennäköisyys kasvaa. Koko elinaikana kertynyt kumulatiivinen annos määrittelee kokonaisriskin. Tämän vuoksi on huomattava, että jokaisesta suoritetusta röntgenkuvauksesta aiheutuu pieni lisäriski, mikä ei ole riippuvainen aiemmista kuvauksista eikä muusta säteilyaltistuksesta. (Paile 2000, 660–663; ICRP 103 2007, 2–4.)

#### 3.1 Säteilyn haittavaikutukset ja säteilysuojelu lapsia kuvattaessa

Mahdolliset ionisoivasta säteilystä aiheutuneet terveydelliset haitat korostuvat lasten kohdalla, sillä pienen lapsen elimistö on herkempi säteilyn haitoille runsaan jakautuvan solukon takia kuin aikuisen elimistö. Lisäksi lapsen odotettavissa oleva elinikä voi tuoda esille säteilyn aiheuttamia pitkäaikaisvaikutuksia. Eri kudoksilla on erilainen herkkyys säteilylle, ja huomattavaa onkin se, mille alueelle säteily kohdistetaan. (Bouaoun ym. 2015, 1–5; ICRP 103 2007, 2–4.) Säteilylle herkkiä elimiä ovat sukurauhaset, punainen luuydin, mahalaukku, keuhkot, virtsarakko, maksa, ruokatorvi,

rintarauhanen, kilpirauhanen ja silmän mykiö (ICRP 2005, viitattu 27.4.2015). Lapsen säteilyherkyyteen vaikuttavat lapsen pieni koko, sisäelinten sijainti lähellä ihoa ja lapsilla myös oman kehon antama vähäinen suoja on aikuisia heikompaa (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4). Punainen luuydin on elimistön kudoksista herkimpiä ionisoivalle säteilylle, ja lapsen luustossa punaista luuydintä on paljon (Kettunen 2003, 6–9; Caracappa 2006, viitattu 14.10.2015).

Säteilyannos yksittäisessä röntgentutkimuksessa voi olla alhainen, mutta lapsipotilaita saatetaan kuvata toistuvasti voinnin arvioimiseksi (Siironen 2003, 11; Kettunen 2004, 114). Pienistä annoksista voi seurata suhteellisesti korkeita kumulatiivisia annoksia. Potilailla, joille on tehty lukuisia röntgentutkimuksia lapsuus- ja nuoruusiässä, syöpäkuolleisuuden riski on lisääntynyt säteilyannoksen kasvaessa. Vastasyntyneenä sekä lapsuusiässä säteilylle altistuminen antaa viitteitä siitä, että tutkimusmäärien kasvaessa myös rintasyöpä-, kilpirauhassyöpä-, ihosyöpä-, aivokasvain- ja leukemia-riski kasvavat. (Kleinerman 2006, 121–125.)

ICRP:n määrittelemät säteilysuojelun periaatteet ovat oikeutus, optimointi ja yksilönsuojaperiaate. Oikeutusarvioinnin mukaan tutkimuksesta odotettavissa oleva hyöty on oltava mahdollista haittaa suurempi. (Säteilysuojelun perussuositukset 2007, 8.) Tutkimuksen suorittaminen siten, että riittävä diagnoosi saadaan niin pienellä säteilyaltistuksella kuin mahdollista (ALARA-periaate, as low as reasonably achievable, eli potilaan säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin kohtuudella on mahdollista) korostuu säteilylaissa (Säteilylaki 592/1991 1:2 §). Tämän lisäksi säteilylle altistumisen todennäköisyys, altistuvien ihmisten lukumäärä sekä heidän annostensa suuruus on pidettävä niin pienenä kuin mahdollista (Säteilynkäytön perussuositukset 2007, 8). Jotta tutkimus saadaan suoritettua näitä periaatteita noudattaen, läheteessä tulisi olla riittävästi tietoa potilaan mahdollisista perussairauksista, aiemmista röntgenlöydöksistä, ja löydöksen tulkintaan vaikuttavista asioista. Oikeutusarviointi on erityisen tärkeää lasten kohdalla heidän herkkyytensä vuoksi, ja koska yksittäisen tutkimuksen aiheuttamaa haittaa ei pystytä määrittämään. (Seuri 2010, 551.)

Lapsia kuvattaessa jokainen tutkimus on suunniteltava yksilöllisesti, ja tilannekohtaista harkintaa noudattaen. Huomioitavaa on myös se, että vain välttämättömät projektiot kuvataan. Säteilyaltistuksen optimointiin kuuluu oleellisena osana säteilyaltistuksen vähentäminen, joka tulee huomioida sopivan tutkimusmenetelmän valinnalla ja toteuttamisella. Sujuvaan ja hyvin onnistuneeseen kuvaukseen tarvitaan ammattitaitoinen henkilökunta, mukana olevien henkilöiden opastaminen ja rauhallinen ympäristö. (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4–5.)

Kuvausalueen tarkalla rajaamisella voidaan vähentää potilaan saamaa säteilyannosta. Tällöin potilas altistuu vähemmän primaarisäteilylle. Kuvausalueen kasvaessa myös sironneen säteilyn määrä kasvaa. Belgialaisessa Leuvenin yliopistollisessa sairaalassa tehdyssä tutkimuksessa kävi ilmi, että keskosvauvojen säteilyannokset vaihtelivat päivittäin suuresti jopa samassa sairaalassa ja saman potilaan tapauksessa. Tähän vaikuttivat erot kuvakentän rajaamisessa. Tutkimuksessa kolmena päivänä saman potilaan saman kuvausprojektion kuvakentän koot olivat 56,0 cm<sup>2</sup>, 91,5 cm<sup>2</sup> ja 83,8 cm<sup>2</sup>. Tutkimuksen perusteella keskosvauvojen säteilyannokset olivat keskimäärin ESD (entrance surface dose) 34 µGy ja DAP (dose area product) 7,1 mGy·cm<sup>2</sup>. (Smans 2009, 22–25.)

Lasten röntgenkuvauksissa tarvitaan pienen koon takia vähemmän säteilyä, joten pienellä koolla on etunsa säteilysuojelun kannalta. Lisäksi potilasta tulee suojata siroavalta säteilyltä, ja tällöin myös kuvanlaatu paranee. Useimmiten suojana käytetään lyijyä heti säteilykeilan reunassa. Primaarisäteilyn vaimenemiseen kolmasosaan riittää 0,25 mm lyijyä, 1 mm lähes sadasosaan. (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4.) Keskosvauvoja kuvattaessa säteilysuojaimet tulee asetella suoraan ihon pinnalle mikäli mahdollista, ei keskoskaapin päälle (Jantunen & Aakula 2006, 15). Myös kuvaussuuntaa valittaessa voidaan vaikuttaa potilaan säteilyaltistukseen esimerkiksi keuhkoja ja vatsaa kuvattaessa. Kuvaussuunnan valinnalla voidaan pienentää myös säteilylle herkkien elinten annoksia. Vauvoja kuvattaessa hilaa ei käytetä, koska hilan käyttö nostaa säteilyannosta. (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 4–6.)

Lapsilla keuhkojen kuvauksessa suositellaan yleisesti pelkän AP-kuvan ottamista. Kuvausalue rajataan niin, että äänihuulitaso ja pallea näkyvät kuvassa, ja sädekeilan reuna on korkeintaan 2 cm keuhkojen ulkopuolella. Valotusautomaatin käyttöä ei suositella ennen kuin lapsen rintakehä peittää valotusautomaatin kaikki mittakammiot, tai voidaan varmistua siitä, että mittakammiot sijaitsevat keuhkojen kohdalla. Vauvoja kuvattaessa kuvausetäisyys tulee olla 150–200 cm, ja kuvausetäisyyttä lisäämällä voidaan pudottaa potilasannosta. (Helasvuo 2014.) Jos keuhkokuva otetaan potilaan ollessa makuuasennossa, kuvaus tapahtuu usein röntgenosaston ulkopuolella liikuteltavalla röntgenlaitteella. Tällöin kuvausetäisyys tulee olla 110 cm tai enemmän. Kuvausarvojen valinnalla voidaan myös vaikuttaa sekä potilaan että sironneen säteilyn annokseen. Kuvausjännitteenä käytetään 60–80 kV lapsen paino huomioiden, ja 0,5–1 mAs:n sähkömäärää. Mikäli lisäsuodatus on valittavissa, käytetään mielellään kuparia. (Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 6–7; Bouaoun ym. 2015, 1–5.) Suodatusta käyttämällä saadaan poistettua matalaenergistä säteilyä, joka ei pysty läpäisemään potilasta, eikä näin ollen osallistumaan kuvanmuodostukseen. Suoda-

tuksen käyttö vähentää myös potilaaseen absorboitunutta annosta, ja potilasannos pienenee. (Toiroi 2008, 1.) Fokuskoon valinnalla voidaan vaikuttaa kuvausaikaan, ja valitsemalla iso fokus saadaan kuvausaikaa lyhennettyä (Tapiovaara ym. 2004, 33). Levykuvantamista käytettäessä täytyy huomioida, että lukulaitteet ovat optimoitu osaston ulkopuolella tehtäviin tutkimuksiin hyvän kuvanlaadun säilyttämiseksi. Näin vältetään myös tarpeeton kuvan uusiminen. (Helasvuo 2014, 10.)

### **3.2 Henkilökunnan annosrajat ja säteilysuojelu**

Säteilyasetuksen toisen luvun 3§:ssa määritellään annosrajat säteilytyössä. Säteilytyötä tekevän henkilön säteilytyöstä aiheutuva efektiivinen annos ei saa ylittää keskiarvoa 20 mSv vuodessa viiden vuoden aikana, eikä minkään vuoden aikana 50 mSv. Silmän mykiön ekvivalenttiannoksen raja on 150 mSv vuodessa, ja käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannoksen raja on 500 mSv vuodessa. (Säteilylaki 1512/1991 3 §.) Euroopan Unionin neuvoston direktiivissä 2013/59/Euratom on annettu uudet annosrajat säteilytyöntekijöille. Uudistetussa direktiivissä työntekijöiden annosrajat tulevat olemaan: efektiivinen annos 20 mSv vuodessa, silmän mykiön ekvivalenttiannos 20 mSv vuodessa tai 100 mSv viidessä vuodessa, max. 50 mSv vuodessa. Nämä uudistukset on pantava täytäntöön kansallisessa lainsäädännössä 6.2.2018 mennessä. Täytäntöönpanon yhteydessä on tarkoitus tehdä säteilylainsäädännön kokonaisuudistus, joka korvaa nykyiset säteilysuojelua koskevat direktiivit. (Direktiivi 2013/59/Euratom.)

Säteilytyöntekijän säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin mahdollista. Valvonta-alueella ja lähellä säteilylähdettä työskennellessään säteilytyöntekijän on käytettävä säteilysuojaimia: vartalon suojaimia, suojalaseja sekä kilpirauhasen tai pään suojainta. Potilaan lisäksi tutkimushuoneessa röntgenkuvauksen aikana saavat olla ainoastaan ne henkilöt, jotka ovat tutkimuksen tai potilaan turvallisuuden kannalta välttämättömiä. Myös heidän säteilysuojauksestaan on huolehdittava esimerkiksi säteilysuojin, eikä mikään osa heistä saa olla primäärisäteilyn alueella. Mikäli potilaalla tarvitaan kiinnipitäjää, hänen täytyy olla vähintään 18-vuotias eikä hän saa olla raskaana. Kiinnipitäjälle on annettava opastus tehtävään, suojauksesta on huolehdittava ja hänelle on kerrottava häneen kohdistuvasta säteilyaltistuksesta sekä sen merkityksestä. Lähtökohtaisesti kiinnipitäjänä tulisi käyttää vapaaehtoista henkilöä, kuten potilaan omaista. Jos kiinnipitäjänä toimii henkilökuntaan kuuluva henkilö, tulisi tehtävää pyrkiä jakamaan työntekijöiden kesken. Myös kiinnipitäjän säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin mahdollista. (Röntgentutkimukset terveydenhuollossa



2014, 7–8.) Säteilyn sironna vähenee sen mukaan, mitä kauempana siroavasta kohteesta ollaan. Sironnut säteily ei läpäise materiaaleja kovin herkästi, joten kohtuullinen etäisyys auttaa säteilyltä suojautumisessa. Lisäksi säteilysuojaimet vähentävät säteilyaltistusta henkilökunnalla ja mahdollisella kiinnipitäjällä. Osastolla kuvattaessa on ALARA-periaatteiden mukaan huomioitava lisäksi mahdolliset muut potilaat, jotka saattavat altistua siroavalle säteilylle jopa useita kertoja lyhyen ajan sisällä. (Olgar ym. 2008, 416–419; Helasvuo 2012, 40–41.) Röntgenhoitaja joutuu usein olemaan lähellä kuvauskohdetta seuratakseen vauvan hengitystä. Tällöin röntgenhoitaja voi altistua sironneelle säteilylle. (Duetting, Foerste, Knoch, Darge & Troeger 1999, 158–162.)

## 4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvailla röntgensäteilyn siroamista eri korkeuksissa etäisyyden muuttuessa tehohoitoympäristössä, keskosvauvaa vastaavan fantomin ollessa keskoskaapissa. Tutkimuksessa kuvaillaan myös keskoskaapin vaikutusta säteilyn siroamiseen ympäristössä.

Tutkimuksen tavoite oli kehittää säteilysuojelua osastoilla, joissa keskosvauvoja kuvataan. Säteily-suojelua kehittämällä voidaan kiinnittää huomiota toisten keskosvauvojen ja henkilökunnan sijaintiin huoneessa kuvauksen aikana, jotta he eivät altistuisi tarpeettomasti sironneelle säteilylle. Tutkimuksen avulla voidaan ajantasaistaa ja lisätä tietoa säteilysuojelusta vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikön henkilökunnalle sekä keskosvauvojen vanhemmille.

Tutkimusongelmat ovat:

1. Kuinka paljon sironneen säteilyn määrä on eri pisteissä keskoskaapin ympäristössä?
  - a. Kuinka paljon sironneen säteilyn määrä on 1 kg:n painoista keskosvauvaa vastaavaa fantomia kuvattaessa?
  - b. Kuinka paljon sironneen säteilyn määrä on 2,5 kg:n painoista keskosvauvaa vastaavaa fantomia kuvattaessa?
  
2. Millainen on keskoskaapin vaikutus sironneen säteilyn määrään?

## 5 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimus suoritettiin kvantitatiivisena eli määrällisenä tutkimuksena. Kvantitatiivinen tutkimus soveltuu parhaiten määrälliseen ja numeeriseen mittaamiseen, joiden pohjana on tarkka suunnitelma aineiston keruusta. Tutkimuksessa käytetään pohjana aiempia teorioita ja johtopäätöksiä aiemista tutkimuksista. Tutkimuksen tulokset ilmaistaan taulukkomuodossa, joka mahdollistaa käsitellä tuloksia tilastollisesti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2013, 140.) Tutkimuksen oleellinen numerotieto selitetään sanallisesti (Vilka 2007, 14). Määrällisessä tutkimuksessa tulee tietää tarkasti, mitä tutkitaan, jotta tiedetään mitä tutkimuksessa mitataan (Vilka 2007, 36).

Ihmistä koskevia asioita ja ominaisuuksia sekä luontoa koskevia ilmiöitä kuvaillaan kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Tutkimukseen soveltuu siksi parhaiten kuvaileva tutkimusote. Tällöin järjestelmällisesti esitetään tietyn ilmiön tai tapahtuman keskeisimmät piirteet. (ks. Vilka 2007, 19–20.)

Tutkimuksen tutkimusstrategiana käytettiin kokeellista tutkimusta, jossa koeoloissa mitattiin systemaattisesti useaa eri parametria muuttamalla sironneen säteilyn määrää keskoskaapin ympäristössä (ks. Hirsjärvi ym. 2013, 134). Tutkimuksessa käytettiin systemaattista havainnointia, jossa DoseAware-säteilymittarit toimivat automaattisina havainnointilaitteina. Tutkimuksen tekijät kirjasiivat saamansa numeeriset tiedot ennalta suunniteltuun strukturoituun lomakkeeseen. Tämän perusteella selitetään tutkimustuloksia. (ks. Vilka 2007, 29–30.)

Tutkimuksen taustalla on ns. realistinen ontologia eli ajatus siitä, että todellisuus rakentuu täysin todettavista faktoista. Tämä kuuluu filosofiseen suuntaukseen jota kutsutaan loogiseksi positivismiksi. Tiedon saa aistihavainnoista sekä siitä seuraavasta loogisesta päättelystä. (Hirsjärvi ym. 2013, 139.) Ontologia esittää kysymyksiä todellisuuden luonteesta (kuten todisteet), logiikka on toteen näyttämistä ja todistamisen periaatteita (Hirsjärvi ym. 2013, 130).

## 6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimusaiheeksi valittiin keskosvauvojen thorax-tutkimukseen liittyvä sironneen säteilyn mittaaminen tehohoitoympäristössä. Tutkimus toteutettiin fantom-tutkimuksena. Osaston ulkopuolisissa kuvauksissa on aiemmin suoritettu ympäristöannosten mittauksia eri etäisyyksillä fantomin tasossa (Helasvuo 2014). Australiassa ja Yhdysvalloissa (ks. Trinh, Schoenfeld & Levin 2010, 704–707; Burrage, Rampant & Beeson 2003, 704–708) on tehty aiheesta muutamia tutkimuksia, mutta Suomesta ei aiempaa tutkimusta aiheesta löytynyt. Tutkimuksessa oli tarkoitus kuvailla keskoskaapin materiaalin vaikutusta säteilyn siroamiseen, koska keskosvauvoja kuvataan sekä avonaisissa että katolla suojatuissa keskoskaapeissa. Pienten keskosvauvojen herkkyys säteilyn haittavaikutuksille vaikutti myös tutkimusaiheen valintaan. Viime aikoina on alettu kiinnittämään huomiota pieniin annoksiin ja niiden merkitykseen sekä pitkäaikaisiin haittavaikutuksiin. Henkilökunnan ja muiden väestön edustajien läsnäolo mahdollisen siroavan säteilyn alueella oli myös tutkimuksen aiheen vallinnan taustalla.

### 6.1 Aineiston keruu

Tutkimuslupa haettiin ja saatiin lokakuussa 2015. Tutkimusluvan myönsi kuvantamisen toimialueen ylihoitaja Kirsi Rannisto. Tutkimuksen mittaukset suoritettiin Oulun yliopistollisen sairaalan lasten röntgenin kuvaushuoneessa, joka on suunniteltu säteilyturvallisuusohjeiden mukaiseksi (ks. Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu 2011, 3–8). Mittausten suoritusajankohta oli lokakuussa 2015, ja ne tehtiin aikana jolloin kuvaushuone ei ollut potilaskäytössä. Mittaukset suoritettiin Shimadzu Mobile Art Evolution liikuteltavalla osastokuvauslaitteella, ja niissä käytettiin OYS:n lasten röntgenin kuvausparametrejä (taulukko 1). Siroavaa säteilyä mitattiin kuvattaessa fantomia etusuunnassa (AP), koska lapsilta suositellaan yleisesti vain etusuunnan kuvaa (ks. Lasten röntgentutkimusohjeisto 2005, 6).

*Taulukko 1. Kuvausparametrit.*

	Putkijännite (kV)	Putkivirta (mAs)	Kenttäkoko (cm <sup>2</sup> )
<b>Keskonen noin 1 kg</b>	66	0,6	8 cm x 8 cm (64 cm <sup>2</sup> )
<b>Keskonen noin 2,5 kg</b>	70	0,9	10 cm x 10 cm (100 cm <sup>2</sup> )

Mittauksissa käytettiin Ge:n valmistamaa Giraffe – keskoskaappia (kuvio 1). Keskoskaapin materiaali on polymetyylimetakrylaatti (PMMA), eli pleksilasi eli akryyli (Statsevich, sähköpostiviesti 26.5.2015). Tutkimuksessa käytettiin OYS:n fyysikoilta lainaksi saatua 3D-tulostimella valmistettua 195 g painavaa pientä keskosvauvaa mallintavaa fantomia (kuvio 2), jonka tiheys vastaa lähes oikean keskosvauvan kudostiheyttä. Jotta tutkimukseen saatiin kooltaan, painoltaan ja tiheydeltään oikeaa keskosvauvaa mahdollisimman paljon muistuttava kohde, käytettiin lisänä pleksilevyjä.



*KUVIO 1. Ge Giraffe – keskoskaappi.*



*KUVIO 2. Keskosta mallintava fantom.*

Tutkimusta varten suoritettiin koemittaus ennen varsinaista tutkimuksen aineistonkeruuta. Siinä testattiin mittareiden toimivuutta, sijoittelua, kiinnittämistä ja sopivaa asentoa suhteessa säteilyyn. Dosimetrin mittaama annos on riippuvainen kulmasta, josta säteily tulee (Vano, Fernandez & Sanchez 2011, 1–4; Väänänen 2014, 21–22), mikä oli myös huomioitava mittareita aseteltaessa. Koemittauksessa mittaustapahtuma ja mittauspöytäkirja (LIITE1), joka tehtiin tutkimusta varten, arvioitiin kokonaisuudessaan.

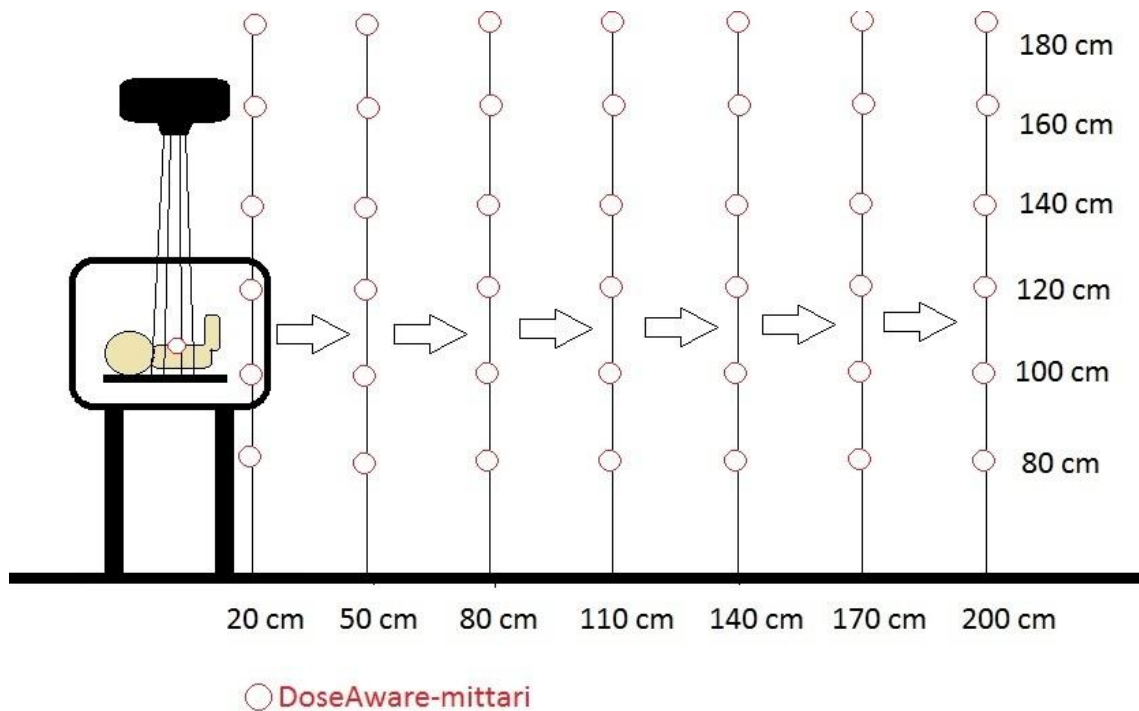
Mittaukset suoritettiin DoseAware-annosmittausjärjestelmällä (kuvio 3). Järjestelmään kuuluvat dosimetrit ovat puolijohdeilmaisimia, jotka lähettävät langattomasti annostietoa tukiasemalle (Base Station). Ne mittaavat reaaliaikaisesti säteilyn määrää, mikä saadaan näkymään tukiaseman näytön kautta puolen sekunnin viiveajalla. Tukiasema tunnistaa mittariston 10 metrin säteellä. Dosimetrit mittaavat sironneen säteilyn annoksia välillä 1  $\mu\text{Sv}$ –10 Sv. Dosimetrien mittauserätarkkuus on 5 %. Mittausten jälkeen jokainen dosimetri asetetaan kerrallaan järjestelmään kuuluvaan telineeseen ja yhdistetään tietokoneeseen. DoseManager-ohjelmiston avulla havainnoidaan ja analysoidaan saatua dataa. Ohjelmiston kautta nähdään tiedot annoshistoriasta. Mittarit voidaan myöskin nollata ja nimetä uudelleen. (Henner, Manninen, Schroderus-Salo, Mustonen & Jussila 2011; Khosravinia 2013, 9–10.)



KUVIO 3. DoseAware-annosmittausjärjestelmä.

Kaikissa mittauksissa mittausetäisyys (FFD) suunniteltiin olevan 100 cm, fokuskoko 0,7 mm x 0,7 mm, ja kokonaissuodatus 3,3 mmAl. Keskoskaapin ominaisuuksien vuoksi etäisyys kuitenkin jäi avoimessa keskoskaapissa mitattaessa 99 cm:iin, koska keskoskaapin katto-osa ei noussut riittävän korkealle. Käytettävät kenttäkoot valittiin Kettusen (2004, 5) väitöskirjan pohjalta. Väitöskirjassa selvitettiin muun muassa teho-osastoilla olevien lasten keuhkojen röntgentutkimuksen tutkimustekniikkaa sekä annoksen ja pinta-alan tuloa.

Mittauksissa käytettiin kuutta Philips DoseAware-annosmittaria. Mittauksia suoritettiin keskoskaapin kolmella eri sivulla fantomista: pään puolella, jalkojen puolella ja kyljen puolella. Sironnutta säteilyä mitattiin ensin keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan, ja sen jälkeen katto-osa nostettuna ylös, jolloin keskoskaappi jäi yläpuolelta avoimeksi. Mittarit kiinnitettiin kuuteen eri pisteeseen, ennalta määriteltyihin korkeuksiin lattiatasosta. Korkeudet olivat 80 cm, 100 cm, 120 cm, 140 cm, 160 cm, ja 180 cm. Kuvauskohde oli 100 cm:n korkeudella. Korkeudet valittiin niin, että mittaustulosten perusteella voidaan arvioida henkilökunnan ja muiden samassa tilassa olevien henkilöiden saamaa säteilyannosta. Näillä korkeuksilla voidaan mitata sekä pään, ylävartalon, että alavartalon annoksia. Mittauksia suoritettiin seuraavilla etäisyyksillä: 20 cm, 50 cm, 80 cm, 110 cm, 140 cm, 170 cm ja 200 cm. Mittareiden todellinen etäisyys fantomista riippui mittarin korkeudesta, koska korkeuden lisääntyessä myös mittarin etäisyys fantomista kasvoi. Todelliset etäisyydet näkyvät liitteessä 2. Jokaisen mittauksen jälkeen kaikkien mittareiden etäisyyttä fantomiin lisättiin niin, että fantomin tasolla oleva mittari siirtyi aina 30 cm. Jokaisella etäisyydellä mittarit sijaitsivat samalla korkeudella suhteessa fantomiin (kuviot 4 ja 5). Mittauspöytäkirjaan kirjattiin mittausten aikana päivämäärä sekä kellonajat mittaussijainkohdasta. Lisäksi mittaustilanteet valokuvattiin.



KUVIO 4. DoseAware-mittareiden sijainti suhteessa fantomiin etäisyyden muuttuessa. Kuviossa on esitetty mittaustilanne fantomin jalkojen puolella (Piia Juutinen 2015).



*KUVIO 5. Mittareiden asettelu telineeseen.*

## **6.2 Aineiston analysointi**

Tutkimuksen aineisto sisältää kaikista mittauspisteistä kerätyt annostiedot. Mittausten jälkeen tulokset purettiin tietokoneella DoseManager-ohjelmiston avulla. Saadut annokset tarkastettiin molempien tutkimuksen tekijöiden toimesta kahteen kertaan, ja mittareista saadut annokset merkittiin mittauspöytäkirjaan. Kirjaamisen jälkeen tiedot siirrettiin tietokoneelle Microsoft Excel -ohjelmaan sähköiseen mittauspöytäkirjaan tulosten analysointia, tulkintaa ja johtopäätöksiä varten. Mittaustulosten analysoinnissa käytettiin numeerisen tiedon lisäksi tukena mittaustilanteissa otettuja valokuvia. Tutkimuksen tulokset esitetään objektiivisesti kuvioina ja tekstinä. (Vilkkä 2007, 135, 138; Hirsjärvi 2013, 221–222.)



## 7 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimuksessa siroavaa säteilyä mitattiin kuudella DoseAware-mittarilla, jotka kiinnitettiin eri etäisyyksille ja eri korkeuksille fantomista. Kuvausparametreiksi valittiin kahden erikokoisen keskosvauvan mukaan määritellyt arvot, jotka saatiin OYS:n lasten röntgenin kuvausohjeista. Mittausten kokonaistulokset näkyvät liitteissä 3–5.

### 7.1 Säteilyn siroaminen 1 kg:n painoista fantomia kuvattaessa

1 kg:n painoista keskosvauvaa vastaavaa fantomia kuvattaessa kuvausparametrit olivat 66 kV, 0,63 mAs, fokuskoko 0,7 cm x 0,7 cm, kokonaissuodatus 3,3 mmAl, kenttäkoko 8 cm x 8 cm, Keskoskaapin ollessa avoinna kuvausetäisyys keskoskaapin katto-osan rajoitetun liikkuvuuden vuoksi 99 cm, ja katto-osan ollessa paikallaan 100 cm. 1 kg:n painoista fantomia kuvattaessa keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan sekä keskoskaapin ollessa avoimena osa mittareista ei mitannut lainkaan annoksia useissa eri pisteissä. Mittauksissa keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan säteily sirosi lähinnä lähimmälle etäisyydelle, joka sijaitsi keskoskaapin sisäpuolella 20 cm:n etäisyydellä fantomista. Mitatut säteilyannokset vaihtelivat 0,0129–0,1326  $\mu\text{Gy}$ :n välillä. Suurin annos oli kyljen puolella 100 cm:n korkeudella 20 cm:n etäisyydellä fantomista. 50 cm:n etäisyydellä olevista mittareista vain yksi havaitsi säteilyä 100 cm:n korkeudella eli samalla tasolla fantomin kanssa, tämä annos oli 0,0250  $\mu\text{Gy}$ .

Keskoskaapin ollessa avoimena mittaustulokset olivat samankaltaiset. Mitatut säteilyannokset vaihtelivat lähimmissä mittareissa 20 cm:n etäisyydellä 0,0083–0,1539  $\mu\text{Gy}$ :n välillä. Suurin annos mitattiin fantomin kyljen puolelta 100 cm:n korkeudella ja pienin annos jalkojen puolelta 180 cm:n korkeudella.

## 7.2 Säteilyn siroaminen 2,5 kg:n painoista fantomia kuvattaessa

2,5 kg:n painoista keskosvauvaa vastaavaa fantomia kuvattaessa kuvausparametrit olivat 70 kV, 0,9 mAs, fokuskoko 0,7 cm x 0,7 cm, kokonaissuodatus 3,3 mmAl, kenttäkoko 10 cm x 10 cm, kuvausetäisyys keskoskaapin ollessa avoimena katto-osan rajoitetun liikkuvuuden vuoksi 99 cm ja katto-osan ollessa paikallaan 100 cm. 2,5 kg:n painoista fantomia kuvattaessa oli myös useita mitauspisteitä joissa ei ollut lainkaan mitattuja annoksia. Keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan 20 cm:n etäisyydellä mitatut annokset vaihtelivat 0,0288–0,3741  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos oli fantomin kyljen puolella 100 cm:n korkeudella. 50 cm:n etäisyydellä mitatut annokset vaihtelivat välillä 0,0199–0,0478  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos oli kyljen puolella 100 cm:n korkeudella. 80 cm:n etäisyydellä mitattiin annoksia välillä 0,0086–0,0294  $\mu\text{Gy}$ . Tätä pidemmällä etäisyyksillä ei annoksia enää mitattu.

Keskoskaapin ollessa avoimena säteilyannoksia mitattiin 20–110 cm:n etäisyyksillä, kauempana ei mitattuja annoksia. 20 cm:n etäisyydellä annokset vaihtelivat välillä 0,0221–0,4185  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos oli kyljen puolella 100 cm:n korkeudella. 50 cm:n etäisyydellä annokset vaihtelivat välillä 0,0161–0,0454  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos mitattiin jalkojen puolella 100 cm:n korkeudella. 80 cm:n etäisyydellä suurimmat mitatut annokset olivat 0,0103–0,0130  $\mu\text{Gy}$  suurimman annoksen ollessa kyljen puolella 160 cm:n korkeudella. 110 cm:n etäisyydellä mitattiin yksi annos fantomin pään puolelta 180 cm:n korkeudella, annos oli 0,0118  $\mu\text{Gy}$ .

## 7.3 Keskoskaapin vaikutus säteilyn siroamiseen fantomia kuvattaessa

1 kg:n painoista keskosta vastaavaa fantomia kuvattaessa katto-osan ollessa paikallaan 20 cm:n etäisyydellä katon ulkopuolella mitatut annokset olivat välillä 0,0129–0,0200  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos mitattiin pään puolelta. Keskoskaapin ollessa avoimena vastaavat annokset vaihtelivat 0,0083–0,0126  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos mitattiin kyljen puolelta. Ainoa 50 cm:n etäisyydeltä kaapin ulkopuolelta mitattu annos katto-osan ollessa paikallaan oli 100 cm:n korkeudella jalkojen puolella, annos oli 0,025  $\mu\text{Gy}$ . Ainoa 50 cm:n etäisyydeltä mitattu annos keskoskaapin ollessa avoimena oli 140 cm:n korkeudella, annos oli 0,0118  $\mu\text{Gy}$ . Muilla etäisyyksillä ja muilla puolilla fantomia ei ollut mitattuja annoksia keskoskaapin ulkopuolella.

2,5 kg:n fantomia kuvattaessa katto-osan ollessa paikallaan mitattuja annoksia oli pään puolella 50 cm:n etäisyydellä 120 cm:n korkeudella 0,0238  $\mu\text{Gy}$  ja 80 cm:n etäisyydellä 140 cm:n korkeudella 0,0136  $\mu\text{Gy}$ . Keskoskaapin ollessa avoimena annoksia mitattiin fantomin pään puolella 50 cm:n etäisyydellä annosten vaihdellessa 0,0247–0,0384  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos oli 140 cm:n korkeudella. 80 cm:n etäisyydellä kaksi mittaria havaitsi säteilyä, 120 cm:n korkeudella 0,0103  $\mu\text{Gy}$  ja 180 cm:n korkeudella 0,0127  $\mu\text{Gy}$ .

2,5 kg fantomin jalkojen puolen mittauksissa keskoskaapin ollessa avoimena mitatut annokset vaihtelivat 50 cm:n etäisyydellä 0,0161–0,0454  $\mu\text{Gy}$ . 80 cm:n etäisyydellä mitattiin kahdella korkeudella annoksia 140 cm:n korkeudella 0,0124  $\mu\text{Gy}$  ja 160 cm:n korkeudella 0,0125  $\mu\text{Gy}$ . Katto-osan ollessa paikallaan mitattuja annoksia oli välillä 0,0220–0,039  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos mitattiin fantomin korkeudella 100 cm:ssä. 80 cm:n etäisyydellä annokset vaihtelivat 0,0086–0,0181  $\mu\text{Gy}$ . Suurin annos mitattiin 120 cm:n korkeudella.

Kyljen puolta mitattaessa keskoskaapin ollessa avoimena 50 cm:n etäisyydellä annokset vaihtelivat 0,0247–0,0403  $\mu\text{Gy}$ , joista suurin oli 100 cm:n korkeudella. 80 cm:n etäisyydellä annoksia mitattiin välillä 0,0110–0,0130  $\mu\text{Gy}$  suurimman annoksen ollessa 160 cm:n korkeudella. Kyljen puolelta katto-osan ollessa paikallaan 50 cm:n etäisyydellä annoksia mitattiin 0,0199–0,0478  $\mu\text{Gy}$ :n välillä. Suurin annos mitattiin 100 cm:n korkeudella. 80 cm:n etäisyydellä mitattiin 2 annosta: 100 cm:n korkeudella 0,0294  $\mu\text{Gy}$  ja 140 cm:n korkeudella 0,0119  $\mu\text{Gy}$ .

## 8 TULOSTEN YHTEENVETO

Tutkimustulosten mukaan eniten siroavaa säteilyä mitattiin keskoskaapin ympäristössä kuvauskohteen lähietäisyydellä. 1 kg:n painoista fantomia kuvattaessa mittari havaitsi sironnutta säteilyä vielä 50 cm:n etäisyydellä. Tämän etäämmällä mittarit eivät havainneet sironneen säteilyn annoksia lainkaan. 2,5 kg:n painoista fantomia kuvattaessa sironneen säteilyn annoksia mitattiin vielä 110 cm:n etäisyydellä. 140 cm:n etäisyydellä mittarit eivät havainneet sironneen säteilyn annoksia millään käytetyillä kuvausarvoilla. Pääosin suurimmat keskimääräiset annokset mitattiin kyljen puolelta sekä 1 kg:n että 2,5 kg:n painoista fantomia kuvattaessa. Kenttäkoon suurentaminen ja kuvausarvojen nostaminen vaikutti lisäämällä sironneen säteilyn määrää. Keskoskaapin fantomin pään puoleisen pädyn rakenteilla oli vaikutusta mittaustuloksiin, joten pään puolelta annoksia oli pääasiassa vain 20 cm:n etäisyydellä. Keskoskaapin rakenteet jäivät tällöin mittareiden taakse. Ylin mittari havaitsi sironnutta säteilyä 80 cm:n ja 110 cm:n etäisyyksillä, koska rakenteet eivät enää näissä korkeuksissa olleet edessä.

Säteily sirosi myös keskoskaapin materiaalin läpi, mutta pääasiassa annokset olivat pienempiä keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan. Annoksia mitattiin esimerkiksi 140 cm:n, 160 cm:n ja 180 cm:n korkeudella, jolloin hoitajan säteilylle herkät elimet (rinnat, kilpirauhanen, silmän mykiö) sijaitsevat näillä korkeuksilla. Tämän vuoksi hoitajan suojautuminen säteilysuojin on välttämätöntä. Keskoskaapin materiaali vaikutti sironneen säteilyn vaimenemiseen, jolloin säteily sirosi ympäristöön jo törmätessään keskoskaapin ulkopintaan. Samasta syystä keskoskaapin katto-osan ollessa paikallaan annokset olivat pienempiä keskoskaapin sisäpuolella kuin avoimessa keskoskaapissa. Keskoskaapin ollessa avoimena materiaali ei ollut vaikuttamassa sironneen säteilyn määrään.

Suurimmat sironneen säteilyn annokset mitattiin keskoskaapin sisäpuolella 20 cm:n etäisyydellä fantomista, minkä vuoksi keskosvauvan suojaaminen säteilyherkkyyden vuoksi on erityisen tärkeää. Tämän vuoksi säteilysuojaimet tulisi sijoittaa keskoskaapin sisälle keskosvauvan keholle. Hoitoyksikön tilojen ollessa avarat keskosvauvat saadaan useimmiten sijoitettua riittävän kauas toisistaan, jolloin etäisyys riittää suojaamaan toisia keskosvauvoja sironneelta säteilyltä. Tilojen ollessa ahtaammat ja vauvojen sijaitessa lähempänä toisiaan tulee myös toiset vauvat suojata säteilysuojin.

## 9 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoitus oli kuvailla röntgensäteilyn siroamista ympäristöön eri korkeuksissa etäisyyden muuttuessa 1 kg:n ja 2,5 kg:n painoista keskosvauvaa mallintavaa fantomia kuvattaessa keskoskaapissa. Lisäksi tarkoituksena oli kuvailla keskoskaapin materiaalin vaikutusta säteilyn sironnaan. Tutkimuksen tavoite oli kehittää säteilysuojelua vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikössä antaen lisäinformaatiota sironneen säteilyn määrästä keskoskaapin ympäristössä ja säteilysuojelun merkityksestä. Tulosten avulla voidaan antaa lisätietoa säteilyltä suojautumisessa henkilökunnalle sekä lasten vanhemmille. Lisäksi voidaan kiinnittää huomiota toisten keskosvauvojen ja henkilökunnan sijaintiin kuvaushuoneessa kuvauksen aikana.

### 9.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen perusteella vahvistui käsitys röntgensäteilyn vaimenemisesta etäisyyden kasvaessa. Lisäksi saatiin uutta tietoa eri kohtiin siroavasta säteilystä keskoskaapin ympäristössä. Siroavan säteilyn annokset olivat suhteellisen pieniä, mutta stokastisille haitoille ei ole kynnyksarvoa, vaan ne saattavat saada alkunsa pienestäkin säteilyaltistuksesta, eikä haitta-aste ole riippuvainen saadusta säteilyannoksesta (Paile 2000, 661, viitattu 24.4.2015). Matalilla annoksilla on tutkimusten mukaan epäsuoria vaikutuksia ihmisen terveyteen, mm. vaikutuksia sukusoluihin, perimään, syöpäriskiä, sydän- ja verisuonisairauksiin ja kaihiin. Matalilla annoksilla on havaittu olevan yhteys myös kognitiivisen tason heikentymiseen myöhemmällä iällä. (Kadhim, Salomaa, Wright, Hildebrandt, Belyakov, Prise & Little 2013, 84–98.) Myös suurella joukkotutkimuksella ydinvoimalatyöntekijöiden altistumisista työssään matalille annoksille on todettu olevan yhteys syöpäriskiä (Cardis & 42 international study group 2005, 331).

Mittaustulokset vahvistivat oleellisesti, että kuvattavan kohteen koko vaikuttaa sironneen säteilyn määrään (Duncan & Panahipour 2014, viitattu 13.1.2016). Fantomin ollessa suurempi (2,5 kg) sironnutta säteilyä mitattiin pidemmälläkin etäisyyksillä kuin 1 kg:n painoista fantomia kuvattaessa. Pääosin suurimmat annokset mitattiin fantomin kyljen puolelta, mikä johtui fantomin ollessa pak-

suimmillaan keskivartalon kohdalta, ja vaimentaessa säteilyä pään ja jalkojen puolelta. Pään puolelta annoksia oli pääasiassa 20 cm:n etäisyydellä, koska keskoskaapin pään puoleisella reunalla oli paljon eri materiaaleista koostuvia isoja rakenteita. Nämä estivät osittain säteilyn siroamisen niiden takana sijaitseviin mittareihin. Samasta syystä alaviistossa 80 cm:n korkeudelle ei tullut annosta kuin kahdessa mittauksessa 50 cm:n etäisyydellä fantomin kyljen puolella. Keskoskaapin sivuseinät olivat kaksinkertaista pleksiä sekä niiden välissä oli osittain kumitiivistettä, mitkä vaimensivat osittain sironnutta säteilyä. Sironnut säteily läpäisee keskoskaapin materiaalin (polykarbonaatti) lähietäisyydelle.

Tutkimustulosten perusteella voidaan arvioida säteilyn sirontaa eri etäisyyksillä ja eri korkeuksissa keskoskaapin ympäristössä. Tutkimuksessa todentui sironneen säteilyn vaimeneminen etäisyyden kasvaessa. Mitä kauempana kuvattavasta kohteesta ollaan, sitä vähemmän on siroavaa säteilyä. Sironneen säteilyn määrä oli vähäistä myös lyhemmillä etäisyyksillä johtuen pienistä kuvausarvoista, käytetystä suodattuksesta ja pienestä kenttäkoosta. Tutkimustuloksiin sisältyi näin ollen paljon nollatuloksia. Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa pohdittiin kuinka etäältä tutkimuksessa mitataan siroavan säteilyn määrää. Alun perin ajateltiin mitata vain 150 cm:iin saakka keskoskaapista, mutta Olgarin ym. (2008, 416–419) tutkimuksessa mitattiin sironnutta säteilyä jopa 200 cm:n etäisyydellä keskoskaapista. Tämän johdosta päädyttiin tässäkin tutkimuksessa mittaamaan myös pidemmällä etäisyyksillä. Tässä tutkimuksessa mittarit eivät havainneet sironneen säteilyn annoksia enää 200 cm:n etäisyydellä. Olgarin ym. tutkimusta ei kuitenkaan voi suoraan verrata tähän tutkimukseen, sillä esimerkiksi kuvausarvot olivat huomattavan paljon suuremmat kuin tässä tutkimuksessa.

Mitatut annokset olivat keskoskaapin lähietäisyyksillä, joten henkilökunnan ja mahdollisen kiinnipitäjän suojaukseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. St-ohjeen 3.3 (Röntgentutkimukset terveydenhuollossa, 2014, 7) mukaan säteilytyöntekijöiden säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin mahdollista. Röntgenhoitajan ollessa lähellä kuvauskohdetta seuratakseen vauvan hengitystä ja paikallaan pysymistä, hän altistuu sironneelle säteilylle. Tästä syystä hoitajan tulee suojautua lähietäisyydelle siroavalta säteilyltä lyijysuojin ja mahdollisuuksien mukaan riittävällä etäisyydellä. Silmät olisi tärkeä suojata asianmukaisin suojin, sillä tutkimuksen mukaan säteily sirosi myös yläviistoon. Silmien suojaamiseen tulee kiinnittää riittävästi huomiota, sillä tutkimusten mukaan altistuminen matalillekin annoksille johtaa riskiin saada kaihi (Chodick, Bekiroglu, Hauptmann, Alexander, Freedman, Doody, Change, Simon, Weinstock, Bouville & Sigurdson 2008, 620–631). Rönt-

genhoitaja on tutkimustilanteessa ainoa säteilyn käytön asiantuntija, jonka täytyy huolehtia säteilyturvallisista oloista. Vaikka tilanteet saattavat usein olla kiireisiä, ei tulisi kuitenkaan laiminlyödä hyvää suojautumista. Hyvällä suojautumisella röntgenhoitaja voi vaikuttaa omaan säteilyaltistukseensa.

Jos kuvauksen aikana kiinnipitäjän läsnäolo keskoskaapin vieressä on välttämätöntä, tulee hänen suojautua säteilysuojin. Kiinnipitäjä sijoittuu yleensä kuvattavan sängyn vierelle, eli lapsen kyljen puolelle, josta tutkimuksessa mitattiin suurimmat sironneen säteilyn määrät. Jos toiset keskosvauvat ovat kuvaustilanteessa lähellä kuvattavan vauvan keskoskaappia, heidän säteilysuojeluun tulee panostaa, sillä samassa tasossa (100 cm:n korkeudella) mitattiin tutkimuksen suurimpia annoksia. Tilavissa tehohoidon yksiköissä toiset keskosvauvat saadaan sijoitettua kauas toisistaan, mutta ahtaammissa yksiköissä tämä ei välttämättä ole mahdollista.

## 9.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksessa käytetty lähdeaineisto on arvioitu kriittisesti ja lähteet on pyritty valitsemaan mahdollisimman uusista ja monipuolisista kotimaisista sekä kansainvälisistä artikkeleista. Lähdeaineisto liittyy tutkittavaan aiheeseen samalla tukien tutkimuksesta saatuja tuloksia. Lähteinä on käytetty myös vanhempia artikkeleita, joissa on edelleen paikkansapitävää tutkittua tietoa. Osa käytetystä lähteistä oli vaikeasti saatavilla eikä yrityksistä huolimatta kaikkea haluttua saatu kokonaisuutena avattua. Haasteena olivat myös joidenkin artikkeleiden epätäydelliset julkaisutiedot. (ks. Vilka 2007, 34–35.)

Ennen tutkimussuunnitelman laatimisen aloittamista vierailtiin sekä lasten röntgenissä, että vastasyntyneiden teho- ja hoitoyksikössä. Tuolloin tutustuttiin tiloihin, osastokuvauslaitteeseen, keskoskaappiin sekä kuvausparametreihin. Käynnillä seurattiin röntgenhoitajan suorittamaa keskosvauvan thoraxröntgenkuvausta käytännössä. Tämä vierailu auttoi luotettavien mittausolosuhteiden suunnittelussa ja toteuttamisessa. Lisäksi saatiin kokonaiskuva keskosvauvan thorax-tutkimuksen suorittamisesta, ja osastokuvauslaitteen käytöstä. Tässä vaiheessa suunnitelmana oli luoda samankaltaiset olosuhteet koulun röntgenluokkaan, jossa mittaukset suoritettaisiin. Tutkimuksen edessä huomattiin, että vastaavanlaisten olosuhteiden luominen koululle olisi haastavaa. OYS:n ja

koulun röntgenlaitteessa on eroavaisuuksia, jotka vaikuttaisivat tutkimuksen luotettavuuteen. Keskusteltiin asiasta ohjaavan opettajan kanssa ja mietittiin mittausten siirtämistä lasten röntgeniin. Tähän saatiin hyväksyntä myös lasten röntgenin osastonhoitaja Kirsti Matilalta mittausten suorittamisesta lasten röntgenin tiloissa samalla röntgenlaitteella ja samoilla kuvausparametreilla, kuin todelliset keskosvauvan röntgenkuvaukset. Näin saatiin autenttista tietoa, jonka avulla voidaan verrata tuloksia luotettavammin todelliseen tilanteeseen. Ennen tutkimuksen varsinaisia mittauksia suoritettiin koemittaus, jossa varmistettiin mittareiden, mittauspöytäkirjan sekä käytännön toteutuksen onnistuminen (ks. Vilka 2007, 78).

Tutkimuksen luotettavuutta arvioidaan tutkimuksen toistettavuudella eli reliabiliteetilla ja sillä, käytetäänkö tutkimuksessa oikeaa mittaria eli validiteetilla (Vilka 2007, 152). Tutkimusten aineisto kerättiin mittausten avulla, ja tutkimuksen tekijät suorittivat kaikki mittaukset itse. Kaikki kuvaustilanteet valokuvattiin, jotta myöhemmin voitiin arvioida valokuvista tutkimuksen toteuttamista ja yksityiskohtia. Oman havainnoinnin lisäksi valokuvien perusteella voitiin myös arvioida dosimetrien pysymistä oikeassa kulmassa suhteessa säteilyyn, sillä mittarin väärä asento saattaa altistaa mitausvirheille. (ks. Vilka 2007, 29–30; Khosravinia 2013, 13.)

Mittauksissa käytettiin 3D-fantomia sekä pleksilevyjä oikean keskosvauvan asemasta. Näillä pyrittiin tavoittelemaan mahdollisimman oikean kokoista ja kudostiheydeltään oikeaa vastaavaa keskosvauvaa. Anatomisesti tämä ei ollut täysin mahdollista, sillä pleksilevyt olivat neliön mallisia jonka vuoksi fantomista ei saatu täysin keskosvauvan kaltaista. Ensimmäisissä koemittauksissa keskoskaapissa oli 5 cm paksu patja fantomin alla. Tämän vuoksi etäisyyttä ei saatu röntgenputkeen riittävästi. Patja poistettiin, minkä ansiosta etäisyyttä saatiin lisää, mutta tästä huolimatta etäisyys kuitenkin jäi avoimessa keskoskaapissa tehtävissä mittauksissa 1 cm:n vajaan keskoskaapin säätöjen rajallisuuden vuoksi. Eli 100 cm:n sijaan FFD oli 99 cm. Tällä voi olla pientä vaikutusta mitattuihin annoksiin.

Mittareiden toimivuutta testattiin useampaan kertaan sekä koululla että lasten röntgenissä, jotta tutkimuksen tekijöille tuli rutiinia niiden käytössä. Näin pystyttiin ennalta ehkäisemään tähän liittyviä virheitä. Tutkimuksessa käytettävien DoseAware-dosimetrien soveltuvuutta säteilyn sironnan mittaamiseen on tutkittu Vanon ym. (2011) ja Hennerin ym. (2011) tutkimuksissa. Tutkimusten perusteella on todettu, että mittari on käyttökelpoinen, ja se näyttää helposti kuinka etäisyys ja potilaan paksuus vaikuttavat säteilyn sironnan määrään.



Mittareiden asettelu ja paikallaan pysyminen oli tutkimuksen toteuttamisen haastavin ja aikaa vievin osa. Sopivan telineen ja kiinnitysvälineiden löytäminen, sekä mittareiden ripustaminen veivät paljon aikaa. Tähän oli osittain osattu varautua ennalta huolellisen tutkimussuunnitelman ansiosta, ja itse mittaukset sujuivat tämän vuoksi ongelmitta ja sujuvasti. Huolellisuutta ja tarkkuutta kiinnitettiin mittareiden asetteluun ja oikean kulman löytämiseen, jotta kulmariippuvuudesta johtuvia virheitä pystyttäisiin välttämään (ks. Väänänen, 2014). Tämä ei ollut käytännössä helppoa, koska mittareita jouduttiin irrottamaan eri päivinä tehtyjen mittausten vuoksi. Jos mittaukset olisi pystytty tekemään yhden päivän aikana, tätä epävarmuustekijää ei olisi ollut. Mittarit tuettiin jokaisena mittauspäivänä samoihin telineisiin samojen tukien avulla, mutta pienikin asennon vaihtelu voi vaikuttaa oleellisesti mittarin havaitsemaan annokseen. Asentoa ei pystytty varmuudella toistamaan 100 %, mikä voi tuoda tuloksiin epävarmuutta. (ks. Vilka 2007, 90–92.)

Mittareille tehtiin teline johon laitettiin tarkat merkit mittareiden sijainnista, jotta jokaisessa mittauksessa ne saatiin samaan kohtaan. Lähimpään, 20 cm:n etäisyyden mittauspisteeseen jouduttiin käyttämään erilaista telinettä, koska alimmat mittauspisteet sijaitsivat keskoskaapin sisällä ja ylimmät keskoskaapin katto-osan ulkopuolella. Näin ollen teline piti rakentaa kahdesta eri osasta. Keskoskaapin katossa oli kaltevuutta, jonka vuoksi mittaritelineen sekä mittareiden kiinnittäminen ylimpiin korkeuksiin oli haastavaa. Tätä telinettä jouduttiin suoristamaan mittausten aikana joitakin kertoja telineen hieman kallistuessa. Mittarit pysyivät huonommin kiinni tässä telineessä, mikä saattoi vaikuttaa niiden pieneen virheasentoon.

Ensimmäisenä mittauspäivänä lattiaan merkittiin teipillä tarkat kohdat mihin mittariteline asetellaan, jotta varmistuttiin mittareiden oikeasta sijainnista jokaisella mittauskerralla. Tutkimuksen toteuttamisen vaiheet valokuvattiin, jotta pystyttiin myös jälkikäteen varmistumaan suunnitelman mukaisista oloista (ks. Vilka 2007, 29–30). Molemmat tutkimuksen tekijät olivat paikalla ja tarkastivat olosuhteet ennen jokaista exponointia. Kerätty aineisto analysoitiin ja tulkittiin sekä tehtiin johtopäätökset molempien tutkijoiden toimesta kahteen otteeseen. Tämä lisäsi aineiston tarkkuuta ja luotettavaa käsittelyä. Aineiston analysointi aloitettiin heti keräämisen jälkeen. (ks. Hirsjärvi 2013, 221–223.)

Tutkimus voidaan toistaa suunnitelman mukaisesti uudestaan, mutta kaikki hienosäätö herkkien mittareiden ja fantomin asettelussa vaikuttaa toistettavuuteen ja on otettava huomioon luotettavuuden arvioinnissa. Koska kysymyksessä ovat pienet annokset, voi pienikin eroavaisuus mittareiden

asennossa tai sijoituksessa vaikuttaa tulokseen. Tutkimustulosten analysoinnissa huomattiin epäloogisuus yhdessä mitatussa arvossa yhdessä mittarissa. 20 cm:n etäisyydellä 1 kg:n keskosta kuvattaessa jalkojen, kyljen ja pään puolelta, sekä katto-osan ollessa paikallaan että keskoskaapin ollessa avoimena 160 cm:n korkeudella ei mitattua annosta, mutta 180 cm:n korkeudella annosta on. Kuvaustilanteessa otetussa valokuvassa havaittiin mittarin mahdollisesti liian loiva kulma suhteessa säteilykeilaan. Tämä selittänee epäloogisuuden tuloksissa. Asentovirhe huomattiin vasta tutkimustuloksia analysoitaessa, jolloin mittauksen uusiminen ei ollut enää mahdollista. Kuten Vilka teoksessaan Tutki ja mittaa (2007, 149–150) toteaa, reliabiliteetilla mitataan tutkimuksen toistettavuutta poissulkien ei-sattumanvaraiset tulokset. Valittu tutkimusmenetelmä oli sopivin tapa mitata sironneen säteilyn määrää keskoskaapin ympäristössä. Myös tutkimuskysymyksiin saatiin tutkimustavan avulla vastaukset. Tämän vuoksi tutkimus on validi. (Hirsjärvi ym. 2013, 231–233.)

Tutkimustuloksia verrattiin Australiassa tehtyyn siroavaa säteilyä lasten röntgentutkimuksissa mittaavaan tutkimukseen, jossa oli saatu samankaltaisia tuloksia. Myös tässä australialaisessa tutkimuksessa mitattiin suurimmat siroavan säteilyn määrät lapsen kyljen puolelta. (Burrage, Rampant & Beeson 2003, 704–708.) Yhdysvalloissa tehty fantom-tutkimus mittasi röntgensäteilyn sirontaa vastasyntyneiden vauvojen thorax-kuvauksissa antaen samankaltaisia tuloksia kuin tämä tutkimus. Myös em. tutkimuksessa 93 cm:n ja 125 cm:n etäisyyksillä fantomista on mitattu vähäisiä sironneen säteilyn määriä. (Trinh, Schoenfeld & Levin 2010, 704–707.) Nämä vahvistavat mittaustulosten ja samalla tutkimuksen luotettavuutta sekä merkityksellisyyttä.

### **9.3 Tutkimuksen eettisyys**

Tutkimus on tehty eettisiä periaatteita noudattaen. Tutkimukselle on haettu tutkimuslupa ennen aineiston keräämistä (ks. Vilka 2007, 101). Teksti on tuotettu tutkijoiden toimesta ja asiasisältöjen lainaukset on ilmoitettu tarkasti. Tutkimustulokset on ilmoitettu suoraan ja niitä on tarkasteltu kriittisesti. Tulokset on raportoitu mittareiden antamien alkuperäisten tulosten mukaan vääristelemättä. (ks. Vilka 2007, 90–92; Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 8–9; Hirsjärvi ym. 2013, 26.) Tutkimuksessa ei tarvittu lainkaan potilastietoja, sillä tutkimus suoritettiin fantomilla. Tutkimuksessa tarvittavat parametrit saatiin OYS:n kuvausohjeistosta. Tutkimus ei aiheuttanut potilaille ylimääräistä säteilyaltistusta, koska käytössä oli fantom. Valitulla tutkimustavalla voitiin välttää keskosille

aiheutuvaa ylimääräistä häiriötä ja stressiä (ks. Korhonen 1999, 120–125; Vilka 2007, 91). Hoityön etiikka määrittää, että tutkimuksen tietolähteet tulisi valita niin että siitä ei aiheudu tutkittaville haittaa (Leino-Kilpi & Välimäki 2014, 367). Tutkimus suoritettiin lasten röntgenin tiloissa ajalla, jolloin ei oltu esteenä osaston toiminnalle. Tutkimus suoritettiin noudattaen ohjeistuksia koskien säteilyn lääketieteellistä käyttöä. Tutkimuksen eettisyyteen vaikuttaa myös koko tutkimuksen aiheen valinta, koska aiheen valinnalla haluttiin edistää säteilylle herkkien keskosvauvojen säteilysuojelua. Lisätutkimusta ja käytössä olevien käytäntöjen arviointia tarvitaan jatkuvasti.

#### **9.4 Jatkotutkimushaasteet ja omat oppimiskokemukset**

Opinnäytetyön alkuvaiheessa suunniteltiin mitattavan sekä etu- ja sivusuunnan projektioiden aiheuttamaa sirontaa. Mittauksia olisi tullut valtava määrä ja osastokuvauslaitteen kuormitus olisi tullut kohtuuttoman suureksi. Työn laajuuden rajaamista mietittiin, ja myös ohjaajan suosituksesta päätettiin jättää sivusuunnan projektion mittaukset pois tästä tutkimuksesta. Jatkotutkimushaasteena voisi olla säteilyn siroaminen keskosvauvan sivuprojektion kuvaamisessa. Toinen jatkotutkimusaihe voisi olla isompi kokoisten vauvojen kuvaamiseen liittyvä säteilyn siroamisen mittaaminen osasto-olosuhteissa. Tällöin käytössä olisi suuremmat kuvausarvot, jolloin sirontaakin on enemmän ja lapset voivat olla vielä lähempänä toisiaan.

Tutkimuksen aiheen valinnassa käytiin pohdintaa ennen lopullisen aiheen valikoitumista. Tutkimuksen kohteeksi haluttiin käytännönläheinen aihe, joka liittyy olennaisesti röntgensäteilyn käyttöön. Saatuamme tämän aiheen se tuntui siitä saakka mielenkiintoiselta ja motivoivalta.

Kriittinen tiedonhaku, prosessiluonteinen ajattelu, sekä tutkimustyön ja sen vaiheiden ymmärtäminen on kehittynyt opinnäytetyötä tehdessä. Tiedot keskosvauvojen erityispiirteistä ja röntgentutkimuksista ovat laajentuneet. Teoreettinen tieto säteilyn siroamisesta ja säteilysuojelusta on lisääntynyt ja konkretisoitunut käytännön mittaustilanteissa. Tietotekniset ja tekniset taidot ovat kehittyneet DoseAware-mittareiden ja eri ohjelmistojen käytössä. Ennakkoon suunniteltujen aikataulutusten ja ajankäytön tärkeys on huomattu opinnäytetyön tekemisen myötä. Tutkimuksen tekijöiden opinnot ja harjoittelut vaikuttivat tutkimuksen suunnitelman ja toteuttamisen aikatauluihin, jonka vuoksi mittaukset piti pyrkiä toteuttamaan nopeasti. Myös tutkijoista riippumattomat syyt voivat hidastaa tutkimuksen tekemistä, jota ei välttämättä osaa ennakoida, esimerkiksi laitteiden ja tilojen

käyttö. Tutkimuksen suunnittelu ja käytännön toteutus on ollut mielenkiintoista ja antoisaa. Voidaan jopa sanoa, että tekijät ovat kehittyneet kirjoittamisprosessin kuluessa luovuudessa, ongelmanratkaisukyvyssä ja kärsivällisyydessä.

## LÄHTEET

Bouaoun, A., Ben-Omrane, L. & Hammou, A. 2015. Radiation doses and risks to neonates undergoing radiographic examinations in intensive care units in Tunisia. *International Journal of Cancer Therapy and Oncology* 3 (4), 1–5.

Burrage, J., Rampant, P., Beeson, B. 2003. Scatter and transmission doses from several pediatric X-ray examinations in a nursery. *Pediatric Radiology* 33, 704–708.

Bushong, S. C. 2001. *Radiologic science for technologists. Physics, biology and protection*. 7th edition. USA: Mosby, Inc.

Caracappa, P. 2006. Development and evaluation of a new algorithm for determining radiation dose to the red bone marrow. Rensselaer: Polytechnic institute. ProQuest Dissertations and theses. Viitattu 14.10.2015. <http://search.proquest.com/docview/305287007/preview-PDF/5C6CF9FC6E2B4193PQ/1?accountid=13030>.

Cardis, E. & 42 international study group. 2005. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *British Medical Journal*. 331:77.

Carlton, R. & Adler, A. 1996. *Principles of Radiographic Imaging: an Art and a Science*. 2<sup>nd</sup> Edition.

Chodick, G., Bekiroglu, N., Hauptmann, M., Alexander, B., Freedman, D., Doody, M., Change, L., Simon, S., Weinstock, R., Bouville, A. & Sigurdson, A., 2008. Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: A 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists. *American Journal of Epidemiology*. 168 (6), 620–631.

Duetting, T., Foerste, B., Knoch, T., Darge, K. & Troeger, J. 1999. Radiation exposure during chest X-ray examinations in a premature intensive care unit: phantom studies. *Pediatric radiology* 29, 158–162.

Duncan, J. & Panahipour, S. 2014. Tissue attenuation of x-rays. Mallinckrodt Institute of Radiology. Viitattu 13.1.2016, <http://imagewisely.org/~media/ImageWisely%20Files/Fluoroscopy/Duncan%20Panahipour%20%20Tissue%20Attenuation%20of%20XRays.pdf>

Ennenaikaisen synnytyksen käypähoitosuositus. Käypähoito. 2011. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Gynekologiyhdistyksen asettama työryhmä.

Fellman, V. & Luukkainen, P. 2010. Lastentaudit. Kustannus Oy Duodecim. Kariston kirjapaino Oy, Hämeenlinna. 4. uudistettu painos.

GE healthcare. 2015. Giraffe-keskoskaappi. Viitattu 24.5.2015, [http://www.gehealthcare.fi/kliiniset\\_jarjestelmat/hoitoalueet/perinataalinenhoito/lampoterapia/fi\\_FI/GiraffeOmnibed/](http://www.gehealthcare.fi/kliiniset_jarjestelmat/hoitoalueet/perinataalinenhoito/lampoterapia/fi_FI/GiraffeOmnibed/).

Helasvuo, T. 2012. Säteilyturvallisuus osaston ulkopuolissa kuvauksissa. Viitattu 27.4.2015, [www.sadeturvapaivat.fi/file.php?614](http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?614).

Helasvuo, T. 2014. Säteilyturvallisuus ja laatu röntgendiagnostiikassa. Viitattu 27.4.2015, [http://www.stuk.fi/proinfo/koulutus/fi\\_FI/RD2014/\\_files/91845571726883341/default/Helasvuo-RD2014.pdf](http://www.stuk.fi/proinfo/koulutus/fi_FI/RD2014/_files/91845571726883341/default/Helasvuo-RD2014.pdf).

Henner, A., Manninen, A-L., Scroderus-Salo, T., Mustonen, M., Jussila, I. 2011. DoseAware as a tool to make the scattered radiation visible. Viitattu 26.9.2015, [http://postereng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing\\_poster&doi=10.1594/ecr2011/C-2332](http://postereng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&doi=10.1594/ecr2011/C-2332).

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2013. Tutki ja kirjoita. Bookwell Oy, Porvoo. 18. painos.

ICRP 2005. Viitattu 27.4.2015, [http://www.icrp.org/docs/2005\\_recs\\_consultation\\_draft1a.pdf](http://www.icrp.org/docs/2005_recs_consultation_draft1a.pdf).

ICRP 103. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 2007, 2 – 4.

Jantunen, H., Aakula, U-M. 2006. Henkilökunnan ja potilaan säteilysuojelu lääketieteellisessä säteilyn käytössä. Helsinki: Suomen röntgenhoitajaliitto.

Julkunen, P. 2008. Esittely mittauksista – Röntgensäteilyn sironta tutkimushuoneissa. Viitattu 27.4.2015. [http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat\\_ids=x14x#cat14](http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat_ids=x14x#cat14).

Jumpponen, S. 2006. Keskosuuden määritelmät ja taustat. Teoksessa Kevyt pienokainen. Tietoa keskosesta vanhemmille. Helsinki: Keskosvanhempien yhdistys KEVYT.

Jurvelin, J. 2005. Röntgenkuvan muodostuminen: filmi- ja kuvanvahvistinkuvaus. Teoksessa S. Soimakallio, L. Kivisaari, H. Manninen, E. Svedström & O. Tervonen (toim.) Radiologia. Helsinki: WSOY, 36.

Jurvelin, J. 2005. Röntgenkuvan muodostuminen: filmi- ja kuvanvahvistinkuvaus. Teoksessa S. Soimakallio, L. Kivisaari, H. Manninen, E. Svedström & O. Tervonen (toim.) Radiologia. Helsinki: WSOY, 36.

Kadhim, M., Salomaa, S., Wright, E., Hildebrandt, G., Belyakov, O., Prise, K. & Little, M. 2013. Non-targeted effects of ionizing radiation-Implications for low dose risk. Mutation Research 752, 84–98.

Kettunen, A. 2004. Radiation dose and radiation risk to foetuses and newborns during x-ray examinations. Vantaa. University of Oulu. Academic dissertation.

Kettunen, A. 2003. Lapsipotilaan säteilyaltistuksen optimointi. Radiografia 4 (vuosikerta ei tiedossa), 6–9.

Khosravinia, M. 2013. Staff dose measurement in real time, an evaluation of Unfors Raysafe i2. University of Umeå. Master's degree thesis in radiation physics.

Kleinerman, R. 2006. Cancer risks following diagnostic and therapeutic radiation exposure in children. Pediatric Radiology 36 (2), 121–125.

Korhonen, A. 1999. Elämän ensitaidot. Erityisvauvan kehityksen tukeminen. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.

Kylmäniemi, K. 2015. Tutkimusmäärät. Laatukoordinaattori, PPSHP. Sähköpostiviesti 21.5.2015.

Lasten röntgentutkimuskriteerit. 2008. STUK tiedottaa 1/2008. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

- Lasten röntgentutkimusohjeisto. 2005. STUK tiedottaa 1/2005. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- Lehtonen, L. 2009. Keskosen muuttuva hoito. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim 125 (12), 1333–1339.
- Leino-Kilpi, H. & Välimäki, M. 2014. Etiikka hoitotyössä. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 8. uudistettu painos.
- Mazrani, W., McHugh, K. & Marsden, P.J. 2007. The radiation burden of radiological investigations. Archives of disease in Childhood 92 (12), 1127–1131.
- Neuvoston direktiivi 5.12.2013/59/Euratom.
- Olgar, T., Onal, E., Bor, D., Okumus, N., Atalay, Y. & Turkyilmaz, C. 2008. Radiation Exposure to Premature Infants in a Neonatal Intensive Care Unit in Turkey. Korean Journal of Radiology 9 (5), 416–419.
- Olsén, P. & Vainionpää, L. 2000. Keskosen neurologinen ennuste. Duodecim 116 (18), 2032–2037.
- Paile, W. 2000. Ionisoivan säteilyn haitat. [Http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo91423.pdf](http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo91423.pdf).
- Raivio, K. 2015. Keskohoito. Viitattu 28.4.2015, [www.ylppo.fi](http://www.ylppo.fi). (ei julkaisuvuotta).
- Röntgentutkimukset terveydenhuollossa. 2014. ST-ohje 3.3. Säteilyturvakeskus. Viitattu 28.4.2015, [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/).
- Seuri, R. 2010. Lastentaudit. Lapsi ja röntgenkuvaus. Teoksessa J. Rajantie, J. Mertsola, M. Heikinheimo (toim.) Lastentaudit. Kustannus Oy Duodecim. Kariston kirjapaino Oy, Hämeenlinna. 4. uudistettu painos.
- Siironen, O. 2003. Keskosena syntyneelle lapselle aiheutunut säteilyaltistus radiologisista tutkimuksista viiteen ikävuoteen mennessä. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma.



Smans, K., Tapiovaara M., Cannie M., Struelens L., Vanhavere F., Smet M. & Bosmans H. 2008. Calculation of organ doses in x-ray examinations of premature babies. *Med Phys* 35 (2), 556–568.

Smans, K. 2009. The development of dose optimization strategies for x-ray examinations of newborns. Katholiege universiteit Leuven. Faculty of medicine. Department of radiology.

Statshevic, S. 2015. Keskoskaappi. Sähköpostiviesti 26.5.2015.

Säteilyasetus 20.12.1991/1512. FINLEX. Viitattu 28.4.2015, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911512>.

Säteilylaki 27.3.1991/592.

Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu. 2011. ST-ohje 1.10. Säteilyturvakeskus. Viitattu 28.4.2015, [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/viranomaisohjeet/fi\\_FI/stohjeet/](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/stohjeet/).

Säteilyturvakeskus. 2009. Röntgensäteily siroaa potilaasta julkaisusta Röntgensäteilyltä suojautuminen, Säteilyturvakeskuksen katsaus 1995. Viitattu 20.5.2015, [http://www.stuk.fi/proinfo/muuta\\_tietoa/julkaisuja/rtg-suojautuminen/fi\\_FI/siroava/](http://www.stuk.fi/proinfo/muuta_tietoa/julkaisuja/rtg-suojautuminen/fi_FI/siroava/).

Tapanainen, P. & Rajantie, J. 2010. Vastasyntyneiden ongelmat. *Lastentaudit, Duodecim*. Viitattu 21.4.2015, [http://www.terveysportti.fi/dtk/oppi/koti?p\\_artikkeli=Ita00008&p\\_haku=%E2%80%9DVastasyntyneiden%20ongelmat%E2%80%9D%20Lastentaudit%201.5.2010,%20P%C3%A4ivi%20Tapanainen%20ja%20Jukka%20Rajantie](http://www.terveysportti.fi/dtk/oppi/koti?p_artikkeli=Ita00008&p_haku=%E2%80%9DVastasyntyneiden%20ongelmat%E2%80%9D%20Lastentaudit%201.5.2010,%20P%C3%A4ivi%20Tapanainen%20ja%20Jukka%20Rajantie).

Tapiovaara, M., Pukkila, O. Miettinen, A. 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Teoksessa O. Pukkila Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Toroi, P. 2008. Suodatuksen vaikutus röntgentutkimuksissa. Viitattu 20.5.2015, [http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat\\_ids=x14x#cat14](http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat_ids=x14x#cat14).

Trinh, A., Schoenfeld, A. & Levin, T. 2010. Scatter radiation from chest radiographs: is there a risk to infants in a typical NICU?. *Pediatric Radiology* 40, 704–707.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Helsinki 8–9.

Vano, E., Fernandez, J.M. & Sanchez, R. 2011. Occupational dosimetry in real time. Benefits for interventional radiology. *Radiation Measurements* 10, 1–4.

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

Väänänen, M. 2014. Kasvojen alueen säteilyannokset ja säteilyn sironta kartiokeilatietokonetomografiatutkimuksissa. Opinnäytetyö. Oulun Ammattikorkeakoulu. Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma.

Yu, C-C. 2010. Radiation safety in the neonatal intensive care unit: too little or too much concern? *Pediatric Neonatol* (12), 311–319.

Päivämäärä:

Etäisyys fantomista (°)	28 cm (135,0°)	54 cm (111,8°)	82 cm (104°)	112 cm (100,3°)	141 cm (98,1°)	171 cm (96,7°)	201 cm (95,7°)	
Mittari 1, korkeus 80 cm								μGy
Etäisyys fantomista (°)	20 cm (90°)	50 cm (90°)	80 cm (90°)	110 cm (90°)	140 cm (90°)	170 cm (90°)	200 cm (90°)	
Mittari 2, korkeus 100 cm								μGy
Etäisyys fantomista (°)	28 cm (45,0°)	54 cm (68,2°)	82 cm (76°)	112 cm (79,7°)	141 cm (81,9°)	171 cm (83,3°)	201 cm (84,3°)	
Mittari 3, korkeus 120 cm								μGy
Etäisyys fantomista (°)	45 cm (26,6°)	64 cm (51,3°)	89 cm (63,4°)	117 cm (70°)	146 cm (74°)	175 cm (76,8°)	204 cm (78,7°)	
Mittari 4, korkeus 140cm								μGy
Etäisyys fantomista (°)	63 cm (18,4°)	78 cm (39,8°)	100 cm (53°)	125 cm (61,4°)	152 cm (67°)	180 cm (70,6°)	209 cm (73,3°)	
Mittari 5, korkeus 160 cm								μGy
Etäisyys fantomista (°)	83 cm (14°)	94 cm (32°)	113 cm (45,0°)	136 cm (54°)	161 cm (60,3°)	188 cm (64,8°)	215 cm (68,2°)	
Mittari 6, korkeus 180 cm								μGy
Kelloaika								

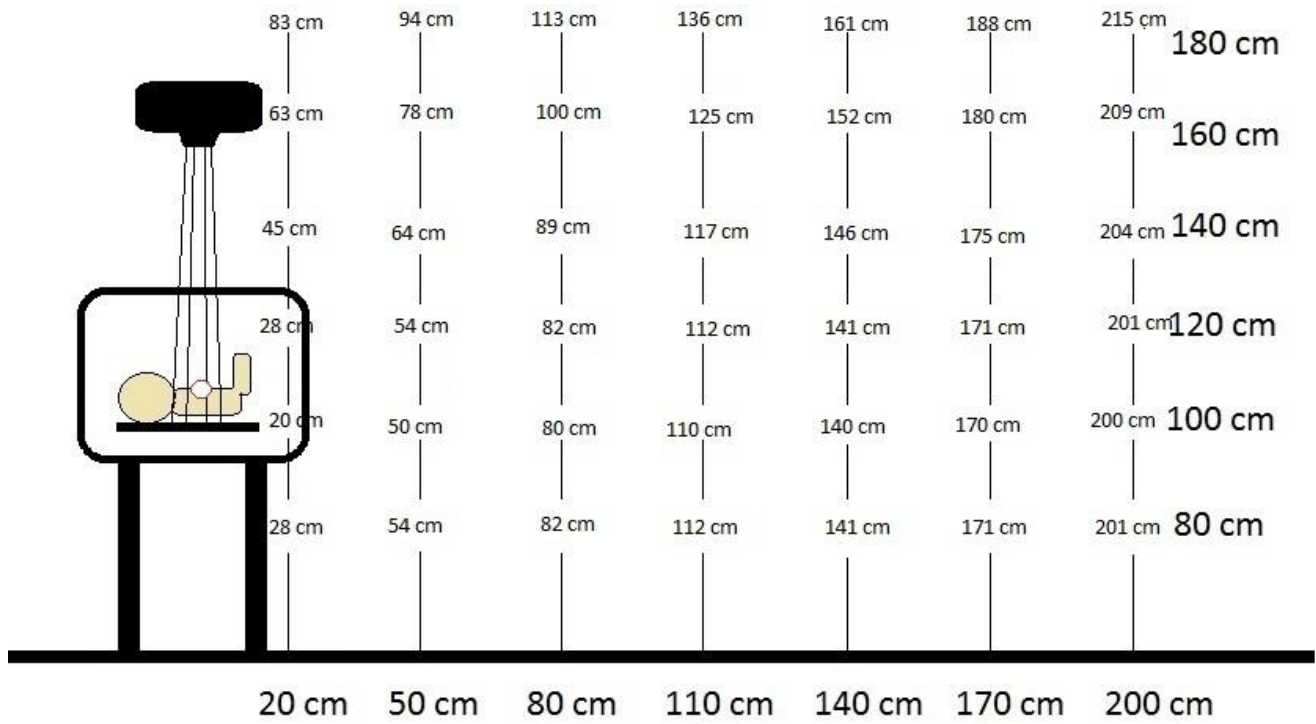
Kuvaussuunta: Putkijännite, kV: Fokuskoko: 0,7 Kenttäkoko:  
 Kuvasetäisyys (FFD): Putkivirta, mAs: Suodatus: 3,3mmAl

Suunta: Pää Kyli Jalat  
 Keskosvauvan koko: Keskosvauva 1 kg Keskosvauva 2,5 kg  
 Keskoskaappi: Ilman kattoa Katon kanssa

DOSE-AWARE-MITTAREIDEN TODELLISET ETÄISYYDET

LIITE 2

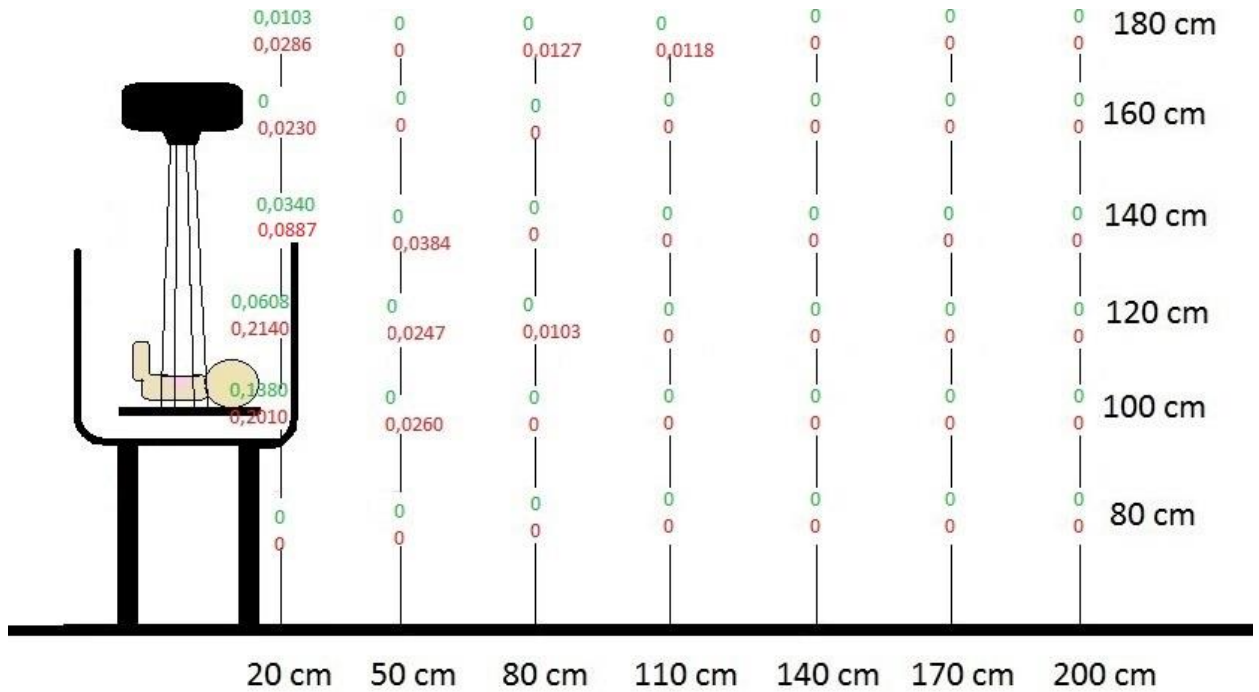
FANTOMISTA KORKEUDEN MUUTTUESSA



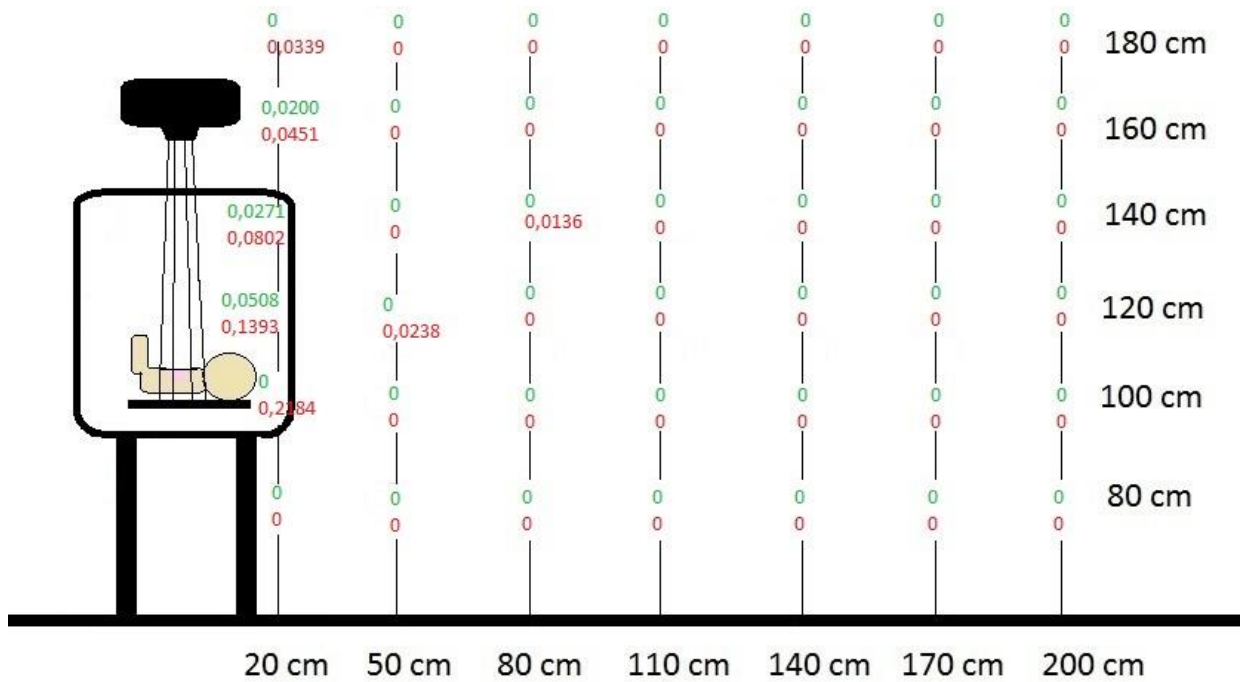
# MITTAUSTULOKSET FANTOMIN PÄÄN PUOLELTA

LIITE 3

## ILMAN KATTOA JA KATON KANSSA



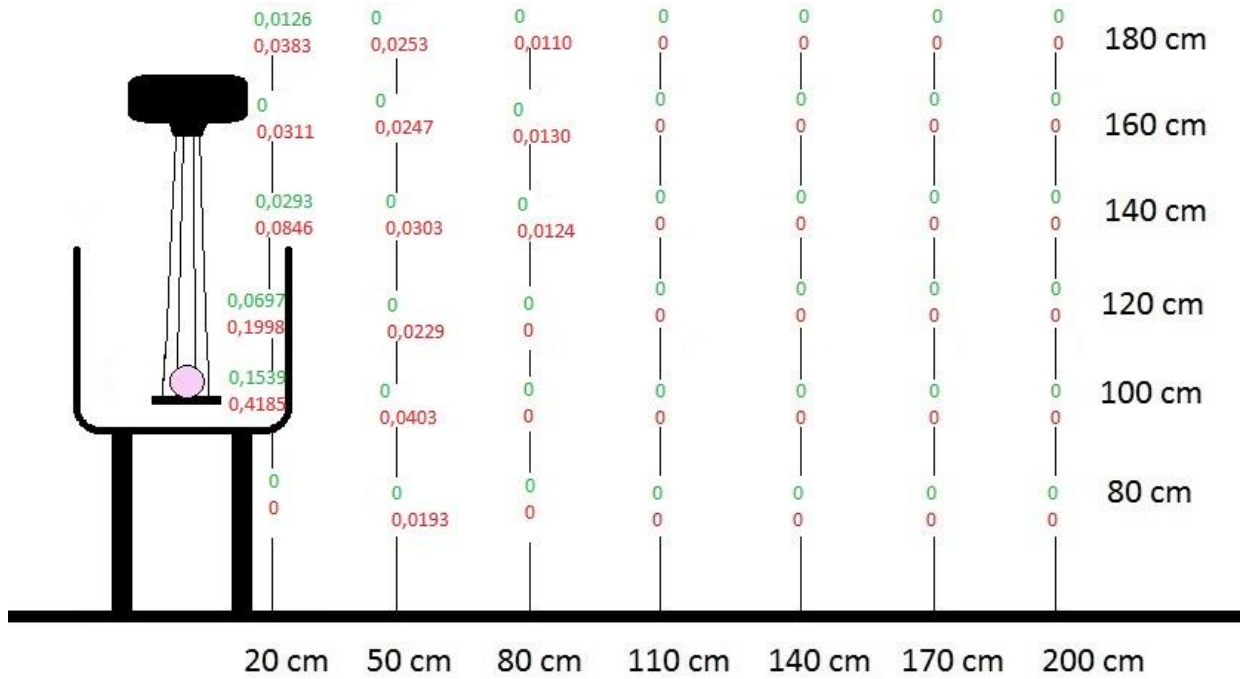
Tulokset ilmoitettu  $\mu\text{Gy}$   
 Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa



Tulokset ilmoitettu  $\mu\text{Gy}$   
 Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa

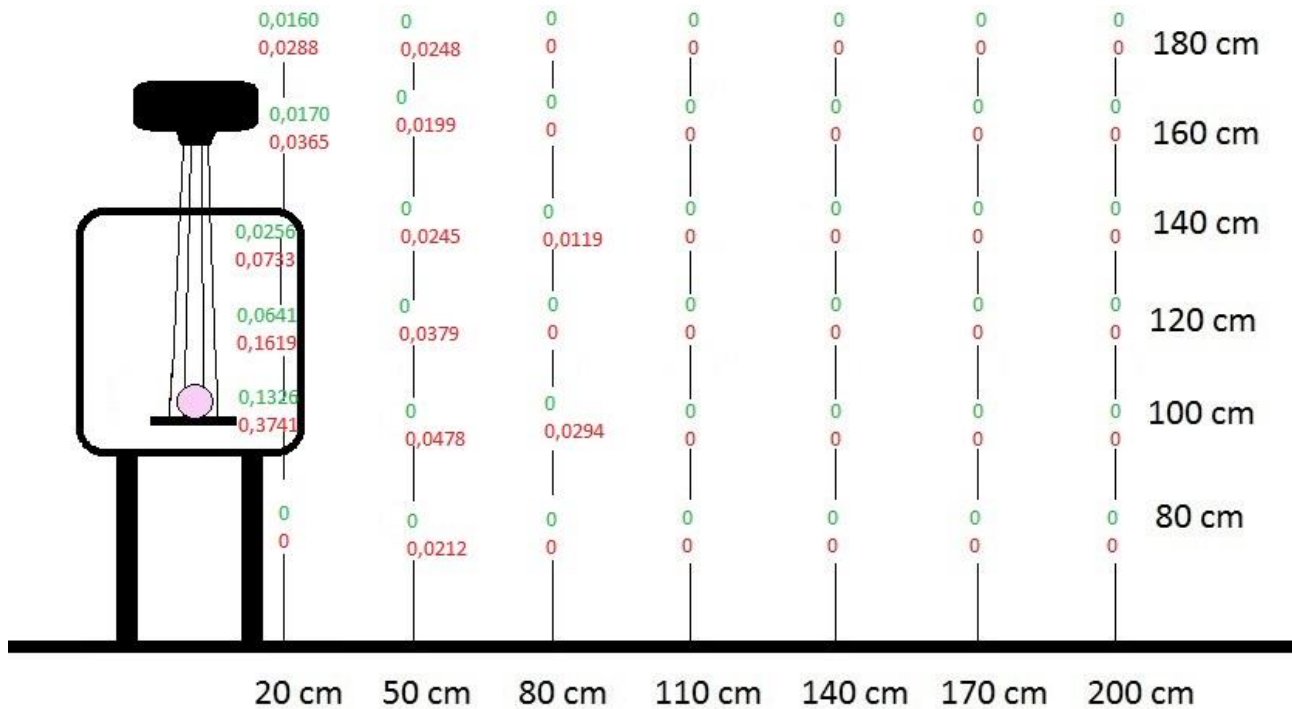
**MITTAUSTULOKSET FANTOMIN KYLJEN PUOLELTA  
ILMAN KATTOA JA KATON KANSSA**

LIITE 4



Tulokset ilmoitettu  $\mu\text{Gy}$

Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa

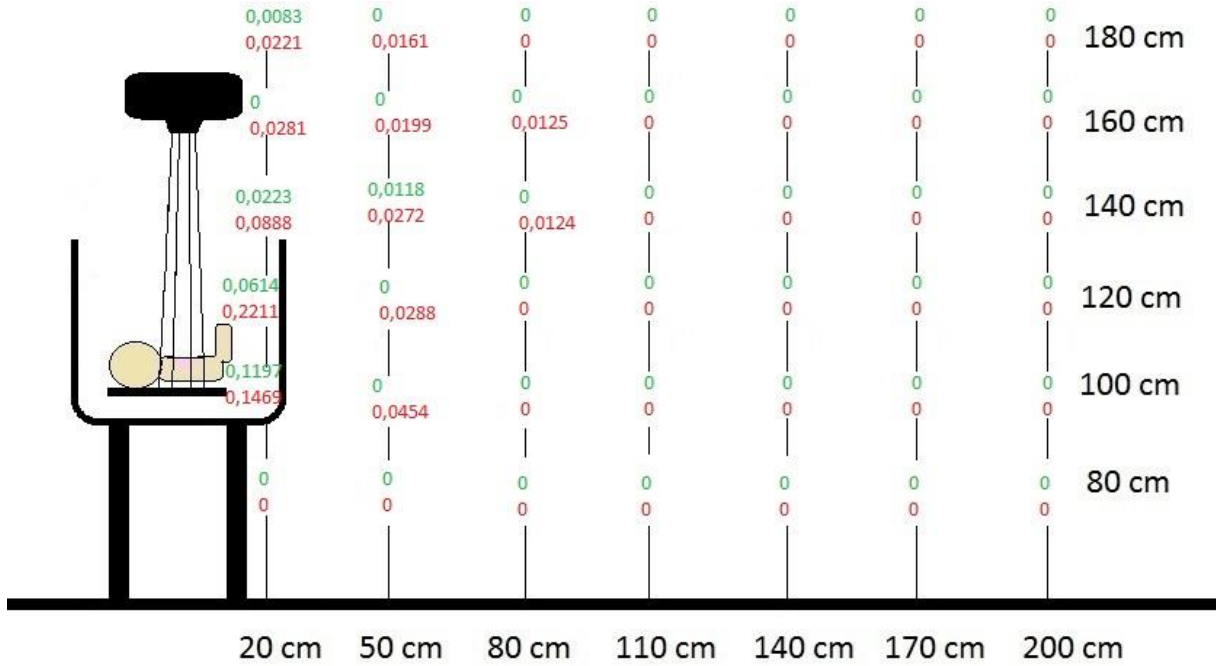


Tulokset ilmoitettu  $\mu\text{Gy}$

Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa

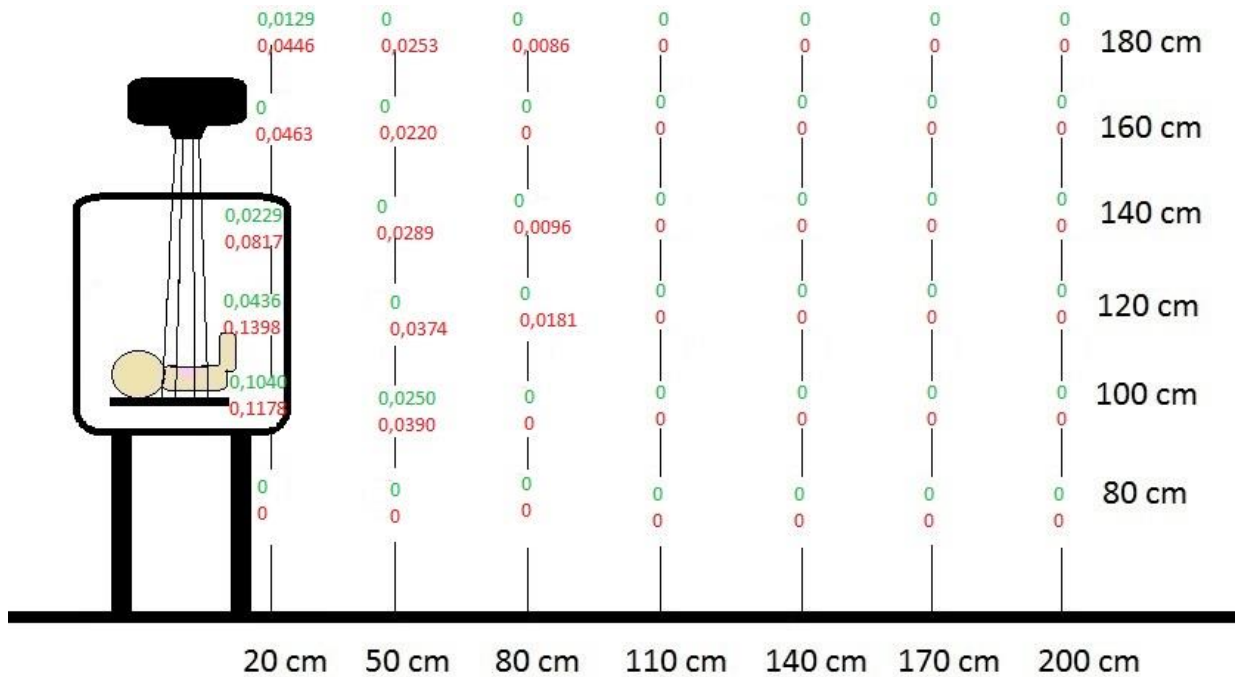
MITTAUSTULOKSET FANTOMIN JALKOJEN PUOLELTA  
ILMAN KATTOA JA KATON KANSSA

LIITE 5



Tulokset ilmoitettu µGy

Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa



Tulokset ilmoitettu µGy

Vihreällä värillä sironta 1 kg:n fantomia kuvattaessa, punaisella 2,5 kg:n fantomia kuvattaessa