

Kirsi Kaakinen

**HENKILÖKUNNAN SÄTEILYANNOKSET JA SÄTEILYSUOJELU
REISIVALTIMOAHTAUMAN PALLOLAAJENNUSTOIMENPITEESSÄ**

**HENKILÖKUNNAN SÄTEILYANNOKSET JA SÄTEILYSUOJELU
REISIVALTIMOAHTAUMAN PALLOLAAJENNUSTOIMENPITEESSÄ**

Kirsi Kaakinen
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Radiografian ja sädehoidon
koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Tekijä: Kirsi Kaakinen

Opinnäytetyön nimi: Henkilökunnan säteilyannokset ja säteilysuojelu reisivaltimoahtauman pallolaajennustoimenpiteessä

Työn ohjaaja: Anja Henner, Anna-Leena Manninen

Työn valmistusluku- ja vuosi: Syksy 2015

Sivumäärä: 47 + 2

Terveydenhuollon ammattiryhmistä toimenpideradiologit saavat suurimmat vuosittaiset säteilyannokset, koska he tekevät vaativia toimenpiteitä läpivalaisua apuna käyttäen. Tavallisimmat ionisoivan säteilyn aiheuttamat terveysvaikutukset henkilökunnalle ovat säteilyn aiheuttama kaihi ja aivokasvaimet. Erityisen tärkeää säteilysuojelu on läpivalaisututkimuksissa ja -toimenpiteissä, koska niissä säteilyannokset voivat nousta suuriksi.

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää henkilökunnalle sironneesta säteilystä aiheutuneet säteilyannokset reisivaltimon pallolaajennustoimenpiteessä viidessä eri mittauspisteessä. Havainnoinnin avulla selvitettiin, miten henkilökunta käyttää säteilysuojia ja miten henkilökunta muuten suojautuu säteilyltä, sijoittumalla huoneessa tutkimuksen aikana ja käyttämällä kattoon kiinnitettyä säteilysuojaa. Tutkimuksen toimeksiantaja on Oulun yliopistollinen sairaala (OYS).

Tutkimus toteutettiin OYS kuvantamisen toimenpideradiologisella osastolla syksyllä 2014 angiografialaitteella (GE Healthcare, Innova 4100 IQ, Buc, Ranska). Mittauksia tehtiin reisivaltimon pallolaajennustoimenpiteessä, mutta aineistosta ei suljettu pois tutkimuksia, joissa pallolaajennus jatkui sääreen tai lantioon. Dokumentoituja toimenpiteitä oli yhteensä 12. Aineiston keräämisessä käytettiin neljää Dose Aware-annosmittaria sekä yhtä EDD-silmäannosmittaria. EDD-mittari kiinnitettiin radiologin lyijylasien vasempaan sankaan ja Dose Aware-mittarit kattokiinnitteisen säteilysuojan (yläsuoja) molemmille puolille, radiologin kilpirauhassuojaan sekä röntgenhoitajan kilpirauhassuojaan.

Lähes kaikissa tutkimuksissa radiologit suojasivat katosta roikkuvalla suojalla jo suojattua kehonosaa eli kilpirauhasta ja vartaloa. Pää jäi suurimmassa osassa tutkimuksia kokonaan suojaamatta ja tämä näkyi sekä annosnopeuksissa että kumulatiivisissa annoksissa, jotka molemmat ovat radiologin lyijylaseihin kiinnitettyssä mittarissa huomattavasti suuremmat kuin kilpirauhassuojan päälle sijoitetussa mittarissa.

Etäisyyden ottaminen säteilylähteestä on lähes ainoa keino, jolla röntgenhoitaja voi suojautua säteilyltä. Röntgenhoitajat saavat Suomessa koulutuksen säteilynsuojeluun ja röntgenhoitajia voidaan pitää tämän alan asiantuntijoina. Röntgenhoitajat voisivat ottaa enemmän vastuuta omasta ja radiologien sekä toimenpideradiologisella osastolla satunnaisesti työskentelevien kirurgien ja sairaanhoitajien säteilynsuojelusta, ohjaamalla henkilökuntaa yläsäteilynsuojan käytössä.

Asiasanat: Angiografia, läpivalaisu, pallolaajennus, säteilynsuojelu

ABSTRACT

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

Author: Kirsi Kaakinen

Title of thesis: Scattered radiation to the staff during the PTA of femoral artery

Supervisors: Anja Henner, Anna-Leena Maninen

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015 Number of pages: 47+ 2

Interventional radiologists get the highest doses from the personnel working in the field of radiography. This is because interventional radiologists use fluoroscopy in their work. The most common health problems due to the radiation in interventional radiology are cataract and brain tumors.

Aim of this study was to determine the personnel doses during the PTA of the femoral artery in the angiography department. As in previous studies radiologists received higher doses during fluoroscopy than other occupational groups.

Research questions were: How much staff exposed to radiation during PTA of femoral artery in interventional radiography and what is the effect of lead shields to the radiation doses. In addition, the focus of the interest was also investigate the radiation doses of the staff when the distance to radiation source was longer. The main focus in this study was to estimate the use of the ceiling-suspended lead screen.

The study was carried out in the department of the radiology in Oulu University Hospital. The investigation was made by using angiography equipment (GE Innova 4100) in autumn 2014. The dose measurements were made mostly in PTA of the femoral artery but in some cases, the PTA included also the whole leg and pelvic artery. The doses were measured in 12 procedures. The used dosimeters were Philips DoseAware and Unfors EDD-30. Four DoseAware dosimeters were attached on the radiologists thyroid shield, radiographers thyroid shield, both sides of the ceiling-suspended lead screen and EDD dosimeter on the left side of the radiologists lead-glasses. Unfors EDD-30 dosimeter was used to determine the eye doses of the radiologists.

The most significant note was the careless use of the ceiling suspended lead screen. Upper part of the head was exposed to the radiation almost throughout the whole procedure. The radiologists usually protected the area that was already protected by the lead apron and by the thyroid shield. This is shown in the measurements of the eye doses made by Unfors EDD-30 dosimeter. The eye doses are relatively higher than the doses in the radiologists thyroid shield. The radiographers doses were low in the every procedure due to the longer distance to the radiation source than in the case of the radiologists.

Keywords: fluoroscopy, angiography, interventional radiography, PTA

Sisällys

1	JOHDANTO	6
2	LÄPIVALAISUN TURVALLINEN KÄYTTÖ TOIMENPIDERADIOLOGIASSA.....	8
2.1	Ateroskleroosi eli valtimoahtaumatauti	8
2.2	Valtimotukosten pallolaajennus	8
2.3	Säteilyn terveydelliset stokastiset haittavaikutukset sekä kaihi.....	9
2.4	Säteilysuojelu ja siihen liittyvät ohjeistukset.....	12
2.5	Henkilökunnan annosrajat Suomessa	12
2.6	Henkilökunnan säteilysuojelu ja annos seuranta	15
2.7	Henkilökunnan säteilyannoksen optimointi	16
2.8	Henkilökunnan säteilyannoksen mittaaminen.....	17
2.9	Säteilyn ilmaisimet.....	19
3	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT	21
4	TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	22
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	23
5.1	Aineiston keruu	24
5.2	Aineiston käsittely	29
6	TULOKSET.....	31
7	POHDINTA.....	38
7.1	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi.....	42
7.2	Tutkimuksen eettisyys ja tutkimusten tulosten hyödyntäminen.....	43
7.3	Oppimiskokemukset	44
	LÄHTEET.....	45

1 JOHDANTO

Verisuonten varjoaine- eli angiografiatutkimuksella tutkitaan verisuonia ja paikannetaan niissä olevia muutoksia, kuten ahtaumia tai tukoksia läpivalaisua avuksi käyttäen. Tutkimuksissa käytetään jodipitoista varjoainetta, joka parantaa kudosten välistä kontrastia ja mahdollistaa yksityiskohtien erottumisen. Varjoaine poistuu munuaisten kautta virtsaan ja virtsan mukana potilaan elimistöstä. (Soimakallio, Kivisaari, Manninen, Svedström & Tervonen 2005, 72–73.)

Oulun yliopistollisessa sairaalassa verisuonten angiografiatutkimuksia tehdään Keskusröntgenissä toimenpideradiologisina tutkimuksina. Angiografiatutkimuksen yhteydessä toimenpideradiologi voi tehdä myös hoitotoimenpiteitä. Tällaisia toimenpiteitä ovat muun muassa valtimoahtaman pallolaajennus ja stentin asennus verisuoneen.

Radiologiset toimenpiteet suoritetaan moniammatillisissa työryhmissä. Työryhmän jäsenten määrä ja koulutus vaihtelee toimenpiteen mukaan. Lähtökohtana on, että säteilyä käytettäessä toimenpiteessä henkilökunnasta valvonta-alueella ovat ainoastaan ne, joiden läsnäolo on toimenpiteen ja potilaan voinnin kannalta välttämätön. Valtimoahtaman pallolaajennuksen suorittaa yleensä toimenpideradiologi röntgenhoitajan avustuksella. Radiologiseen toimenpiteeseen osallistuva henkilökunta käyttää koko toimenpiteen ajan henkilökohtaisia säteilysuojaimia sekä mahdollisuuksien mukaan liikuteltavia tai kattoon kiinnitettyjä säteilysuojia sekä tutkimuspöytään kiinnitettyjä alaliuskasuojia. Toimenpideradiologisissa toimenpiteissä henkilökunta joutuu usein kuvauksen aikana olemaan kuvauslaitteen välittömässä läheisyydessä. (Pirinen & Tenkanen-Rautakoski 2011, 47.)

Vuonna 2013 Euroopan unionissa vahvistettiin uusi 2013/59/Euratom säteilynsuojelun perusdirektiivi. Tällä direktiivillä vahvistetaan turvallisuutta koskevia perusnormeja ionisoivasta säteilystä aiheutuvilta vaaroilta. Direktiivi on pantava voimaan 6.2.2018 jäsenmaiden kansallisessa lainsäädännössä. Suomessa direktiivin voimaan paneminen on tällä hetkellä työn alla. (Stuk ProInfo)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata toimenpiteisiin osallistuvalla henkilökunnalla aiheutuvaa säteilyannoksen suuruutta reisivaltimoahtaman pallolaajennustoimenpiteessä sekä säteilysuojien vaikutusta henkilökunnan saamaan säteilyannoksen suuruuteen Oulun

yliopistollisen sairaalan Keskusröntgenissä. Tutkimuksessa säteilyannokset määritetään toimenpidekohtaisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Oulun yliopistollisen sairaalan Keskusröntgenin henkilökunnan säteilysuojelua tuottamalla mahdollisimman objektiivista ja luotettavaa tietoa henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimustulosten avulla voidaan ohjeistaa henkilökuntaa toimimaan säteilyturvallisesti. Tutkimuksesta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös henkilökunnan säteilyturvallisuuskoulutusta suunniteltaessa ja toteutettaessa sekä toimenpidemenetelmiä ja toimenpideohjeistuksia kehitettäessä.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin yhdessä Katri Hiltusen kanssa mutta Katri nukkui pois tammikuussa 2015. Katri oli mukana opinnäytetyön suunnittelussa ja työssä on myös Katrin kirjoittamia osia. Katrin huolellisen suunnittelutyön ansiosta työn kirjoittaminen on ollut helppoa ja Katrin kirjoittamat osat on jätetty työhön kunnioittamaan Katrin muistoa.

2 LÄPIVALAISUN TURVALLINEN KÄYTTÖ TOIMENPIDERADIOLOGIASSA

Toimenpideradiologiassa käytettävä laitteisto on useimmiten C-kaarityyppinen. Laitteisto koostuu röntgenputkesta ja kuvanvahvistimesta/detektorista, jotka on kiinnitetty samaan C-kaareen. Tutkimuspöydän etupuolella on hallintalaitteisto, jonka avulla laitetta ohjataan. Muodostunutta kuvaa tarkastellaan monitoreilta, jotka on kiinnitetty kattotelineisiin. Laitteen kuvaussuuntaa voidaan muuttaa helposti tarpeen mukaan, mutta laitteisto voi olla myös kahden suunnan järjestelmä, jolloin siihen kuuluu potilaspöydän ja varjoaineruiskun lisäksi kaksi röntgenputkea: toinen vaaka- ja toinen pystysuuntaista kuvausta ja läpivalaisua varten. Läpivalaisututkimuksia tehdään, kun tarvitaan reaaliaikaista kuvaa toimenpiteen aikana. (Paile 2002, 43.)

2.1 Ateroskleroosi eli valtimoahtaumatauti

Alaraajojen tukkiva valtimotauti on yksi muoto ateroskleroosista eli valtimoahtaumataudista. Muita ateroskleroosin muotoja ovat sepelvaltimotauti ja aivovaltimotauti. Alaraajojen valtimotautiin liittyy suurentunut sydän- ja aivoinfarktirisä. Tukkevalla valtimotaudilla tarkoitetaan alaraajaan johtavien valtimoiden ateroskleroosia ja siihen liittyviä trombooseja. (Recallmed Oy 2008, 115)

Suurin osa alaraajan valtimotaudista on oireetonta. Näissä löydöksenä on usein ultraäänellä havaittavia seinämämuutoksia alaraajan valtimoissa. Akuutti alaraajan valtimotukos on välitöntä hoitoa vaativa tilanne. Akuutin alaraajavaltimotukoksen aiheuttaa usein valtimokovettumataudin (ateroskleroosin) aiheuttama tromboosi. Alaraajojen valtimokovettumataudin vaikein aste on kriittinen alaraajaiskemia. Alaraajaiskemia on lähes poikkeuksetta ateroskleroosin aiheuttama. Alaraajaiskemiassa pääasiallinen hoitomuoto on kirurginen, eli ohitusleikkaus. (Recallmed Oy 2008, 115) Alaraajojen valtimotaudissa voidaan taas käyttää hoitomuotona pallolaajennushoitoa elämäntapaohjauksen lisäksi. (Recallmed 2008, 123.)

2.2 Valtimotukosten pallolaajennus

Verisuonitukoksia hoidetaan usein pallolaajennuksen avulla (percutaneous transluminal angioplasty, PTA). Pallolaajennushoitoon liitetään usein stentin eli metalliverkon asennus. Pallolaajennushoito on selvästi vähentänyt verisuonikirurgian tarvetta, mutta osassa tapauksia verisuonikirurgian tarve on siirtynyt tulevaisuuteen ahtauman tai tukoksen uusiutumisen vuoksi.

Pallolaajennusta käytetään verisuonikirurgian asemesta usein siksi, että se on leikkaukseen verrattuna pienempi riski potilaalle. Verisuonten ahtaumat avataan ohuesta muoviputkesta valmistetun pallokatetrin avulla paikallispuudutuksessa suoritettavassa toimenpiteessä. Katetrin päässä on pallo, joka laajenee. Pallon laajentuessa, ahtautunut verisuoni eli stenoosi levenee. Lääkäri seuraa toimenpidettä röntgenkuvauksessa ruiskuttamalla suoneen varjoainetta verisuonen ja ahtauman näkyvyyden parantamiseksi. (Recallmed 2008, 125).

Perifeeristä pallolaajennusta käytetään useissa eri verisuonissa, erityisesti jalkojen ja lantion valtimoissa. Lääkäri puuduttaa nivustaipeen, työntää ohjattavan ohjainlangan joko ylöspäin lantion valtimoihin tai alaspäin jalan valtimoihin, ja asemoi langan ahtaumaan (stenoosiin). Pallokatetri viedään ahtaumaan ohjainlangan avulla ja asemoidaan sen keskelle. Paineella ja nesteellä täytetty pallo laajenee ja avaa ahtauman. Pallo tyhjenetään noin minuutin kuluttua. (Recallmed 2008, 125).

Pallolaajennus sopii lyhyisiin valtimomuutoksiin ensimmäiseksi hoitovaihtoehdoksi. Yksittäiset lyhyet ahtaumat sekä tukokset säären valtimoissa hoidetaankin yleensä pallolaajennuksella, jos syöttävät valtimot ovat avoimet ja jos valtimoihin on saatavilla hyvä virtaus suonensisäisellä toimenpiteellä. Pallolaajennus tehdään läpivalaisuhjauksessa. Perustekniikat suonensisäisessä hoidossa ovat pallolaajennus (PTA) ja stenttaus eli metalliverkon asentaminen laajennettuun suonisegmenttiin. Tukkeutunut valtimo avataan viemällä johdinvaijeri tukoksen läpi. Toinen tapa on subintimaalinen jolloin johdinvaijeri viedään tukoksen ohi suoneen intiman ja median välitilassa ja sen alapuolella takaisin suonen oikeaan lumeniin. PTA yhdistettynä valikoivaan stenttaukseseen on reisivaltimon alueella perusmenetelmä. (Käypä hoito, viitattu 30.9.2015)

2.3 Säteilyn terveydelliset stokastiset haittavaikutukset sekä kaihi

Stokastisella haittavaikutuksella ei ole olemassa kynnyksarvoa, jota pienemmällä annoksella haitta ei voi syntyä. Annosnopeus ei vaikuta stokastisen haittavaikutuksen riskiin eikä haitta-aste riipu annoksen suuruudesta. Annoksen kasvaessa ainoastaan haitan todennäköisyys kasvaa. Elinaikana kerääntynyt kumulatiivinen annos määrää yksilön kokonaisriskin. Näin esimerkiksi jokainen röntgenkuvaus tuo mukanaan mitättömän pienen lisäriskin, joka on riippumaton aikaisemmista kuvauksista ja muusta säteilyaltistuksesta. Yksilön riski on suhteellisen pieni melko isonkin annoksen jälkeen. Väestötasolla sen sijaan kokonaishaitta voi olla merkittävä, jos suuri joukko ihmisiä altistuu säteilylle, vaikka yksilöannokset eivät olisikaan suuria. Tämä laskennallinen

haitta ei riipu siitä, tulisiko esimerkiksi lisääntynyt syöpäriski koskaan näkyviin tilastollisesti. Stokastisten vaikutusten osalta huomioidaan säteilysuojelussa kokonaisia väestöryhmiä, jolloin koko ryhmän kollektiivinen annos on ratkaiseva. (Paile 2002, 45.)

Ionisoiva säteily voi aiheuttaa henkilökunnalle sekä deterministisiä ja stokastisia haittoja, jotka ilmenevät erilaisina terveysvaikutuksina. Koska deterministisille haittavaikutuksille on olemassa kynnyksarvo, ne voidaan välttää radiologisissa tutkimuksissa ja toimenpiteissä rajoittamalla säteilyannoksia. Terveysthuollossa henkilökunnan deterministiset haittavaikutukset ovatkin hyvin harvinaisia. Stokastisia haittavaikutuksia ei puolestaan voida koskaan täysin välttää, koska niille ei ole olemassa kynnyksarvoa. Ionisoivan säteilyn henkilökunnalle aiheuttamat haittavaikutukset ovat yleensä pitkällä aikavälillä ilmeneviä stokastisia haittoja. Henkilökunta pyrkii suojaamaan itseään mahdollisuuksien mukaan sekä deterministisiltä että stokastisilta haittavaikutuksilta. (Paile 2002, 158.)

Tavallisimmat ionisoivan säteilyn aiheuttamat henkilökunnan terveysvaikutukset ovat säteilyn aiheuttama kaihi ja aivokasvaimet. Säteilyn aiheuttamaa kaihia eli silmän linssin samentumista pidetään säteilyn deterministisenä haittavaikutuksena (Mrena, Kivelä, Kurttio & Auvinen 2011, 237).

Kaihi tarkoittaa sairautta, jossa silmän mykiö samentuu. Samentuminen johtuu mykiön aineenvaihdunnan heikkenemisestä ja proteiinirakenteessa tapahtuvista muutoksista. Samentunut mykiö läpäisee huonosti valoa ja heikentää näkökykyä. Kaihi on maailman yleisin sokeuden aiheuttaja. Kaihi on erityisesti ikääntyvien ihmisten sairaus, mutta sitä voi esiintyä myös lapsilla. Kaihilla on useita riskitekijöitä, kuten auringosta peräisin oleva ultraviolettisäteily, ionisoiva säteily, alkoholin ja tupakan käyttö, diabetes ja kortikosteroidien säännöllinen käyttö. Kaihista aiheutuvaa näkökyvyn samentumista ei voida korjata silmälaseilla, vaan sitä voidaan hoitaa ainoastaan leikkauksella. Leikkauksessa silmän mykiö poistetaan ja korvataan keinomykiöllä. (Seppänen 2013, viitattu 7.4.2014.)

Harmaakaihista voidaan erottaa eri muotoja sen mukaan, missä osassa linssiä kaihi on saanut alkunsa. Ionisoiva säteilyn on havaittu aiheuttavan muutoksia pääasiassa linssin takalaatikon alueelle. Tästä käytetään myös nimitystä posteriorinen subkapsulaarinen samentuma (posterior sub-capsular, PSC). Siten säteilystä ja ikääntymisestä johtuva kaihi voidaan erottaa toisistaan. (IAEA. 2014, viitattu 9.4.2014)

Säteilykaihi syntyy vuosien päästä säteilyaltistuksesta. Saatu säteilyannos vaikuttaa latenssiajan pituuteen: mitä suurempi annos on ollut, sitä lyhempi latenssiaika yleensä on. Säteilykaihi riskin on todettu olevan suurta erityisesti toimenpideradiologien ja kardiologien keskuudessa. (IAEA. 2014, viitattu 9.4.2014)

Toimenpideradiologeilla, jotka ovat työskennelleet useita vuosia angiografiatoimenpiteissä ja joiden jokavuotinen säteilyannos on lähellä 150 mSv, on havaittu säteilyn aiheuttamaa kaihia. Jos radiologi ei käytä säteilysuojia ja säteilysuojelun periaatteita ei ole noudatettu, säteilyannos voi ylittää kudoksen kynnsarvon työvuosien kuluessa. (Bartal, Vano, Paulo & Miller 2014, 292.)

Aikaisemmin sekä aivoja että silmän mykiötä on pidetty hyvin säteilyä kestävinä eliminä. Viime aikoina näitä oletuksia on alettu kyseenalaistamaan uusien tutkimustulosten johdosta. Tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että matala-annoksinen ionisoiva säteily voisi aiheuttaa aivokasvaimia sekä muita sairauksia pään alueelle. Tutkimustulosten perusteella on herännyt jopa epäily siitä, että aivokasvaimet voisivat olla toimenpideradiologien ja -kardiologien ammattitauti. Suoraa näyttöä asiasta ei kuitenkaan ole puutteellisen tutkimusaineiston vuoksi. Beir IV komitean mukaan tutkimusten perusteella tulisi määritellä ne haitat, joita pitkä matala-annoksiselle säteilylle altistuminen aiheuttaa. (Picano, Vano, Domenici, Bottai & Thierry-Chef 2012.)

Tutkimuksissa on todettu myös yhteys säteilyn sekä pään alueen verisuonisairauksien välillä. Verisuonten vaurioituminen on muun muassa yksi sädehoidon myöhäisvaikutuksista, ja sädehoidon jälkeen on todettu paikallista valtimotautia pään ja kaulan alueen syöpiin sädehoitoa saaneilla potilailla. ICRP 2011 mukaan sydän- ja verisuonitautien kehittymiselle voidaan antaa kynnsarvo 0,5 Gy. Tämän kynnsarvon toimenpideradiologi ja kardiologi voivat saada työuransa aikana päänalueelle ja potilas jopa yhden monimutkaisen toimenpiteen aikana. (Picano ym. 2012.)

Yksi tärkeimmistä säteilysuojelun päämääristä on säteilystä aiheutuvan syöpäriskin rajoittaminen väestötasolla. Säteily voi aiheuttaa soluun mutaation, joka yksinään ei aiheuta syöpää mutta jos mutatoituneen solun jälkeläisiin ilmenee vuosien kuluttua toinen mutaatio voi solusta tulla syöpäsolu. Syövän syntyminen on kuitenkin paljon monimutkaisempaa ja syövän syntyminen vaatii lukuisia muutoksia solussa. (Mustonen, Salomaa & Kiuru 2002.) Tiedetään kuitenkin, että suuret säteilyannokset suurentavat syöpävaaraa. Leukemialle riskikerroin on muita syöpämuotoja korkeampi. (Auvinen 2002, 94.)

2.4 Säteilysuojelu ja siihen liittyvät ohjeistukset

Lääketieteellistä kuvantamista käytetään diagnostiikassa, toimenpiteissä ja sairauksien hoidossa yhä enenevässä määrin. Koska lääketieteellisessä kuvantamisessa hyödynnetään ionisoivaa säteilyä, sekä potilas että henkilökunta altistuvat säteilylle ja saavat säteilyannoksen. Toimenpideradiologiassa potilaan ja henkilökunnan säteilyaltistukset ovat suurimpia koko lääketieteen alueella. Toimenpiteen aikana potilaan läheisyydessä työskenneltäessä potilaasta ja pinnoilta sironnut säteily voi aiheuttaa verrattain suuren säteilyannoksen henkilökunnalle. Jos henkilökunnan säteilysuojelusta ei ole huolehdittu, useat päivittäiset toimenpideradiologiset toimenpiteet vuosien saatossa voivat aiheuttaa henkilökunnalle stokastisia haittavaikutuksia. (Sanchez, Vano, Fernandez & Gallego 2010, 1210.)

Säteilysuojelun tarkoituksena on parantaa henkilökunnan turvallisuutta rajoittamatta tarpeettomasti säteilyn hyötykäyttöä tai vaarantamatta potilaan turvallisuutta. Säteilyn lääketieteellisen käytön tulee aina olla oikeutettua ja optimoitua sekä noudattaa yksilön suoja. Henkilökunnan säteilysuojelun tulee noudattaa kansallisia ja kansainvälisiä suosituksia. (Paile 2002, 159.)

Toimenpideradiologissa tutkimuksissa henkilökunnan säteilysuojeluun on kiinnitettävä huomiota, jotta henkilökunnan säteilyannokset saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisina ALARA-periaatteen (as low as reasonably achievable) mukaisesti. (Sanchez, Vano, Fernandez & Gallego 2010, 1210–1211.)

2.5 Henkilökunnan annosrajat Suomessa

Kansainvälinen säteilysuojelu toimikunta (The International Commission on Radiological Protection, ICRP) julkaisee suosituksia säteilysuojelun toteutuksesta rajoittamatta kuitenkaan aiheettomasti säteilyn hyötykäyttöä. Kansainvälisen säteilysuojelu toimikunnan suositukset eivät sido ketään oikeudellisesti, mutta useiden maiden, kuten myös Suomen, säteilysuojelulainsäädäntö perustuu ICRP:n suosituksiin. (Paile 2002, 152–153.)

Annosraja tarkoittaa säteilyannoksen vuosittaista enimmäisarvoa. (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisen perusteet 2007, 4.) Suomessa Säteilyturvakeskus valvoo, että henkilökunnan annosrajat eivät ylitä. Henkilökunnan säteilyannosten pitäisi pysyä annosrajoja huomattavasti pienempänä.

Henkilökunnan annosrajat on laadittu rajoittamaan säteilyn stokastisia vaikutuksia ja välttämään deterministisiä vaikutuksia. Henkilökunnan annosrajoille on säädetty kaksi eri annosrajaa: efektiivinen annos ja ekvivalentti annos. Efektiivisellä annosrajalla pyritään minimoimaan säteilyn satunnaiset haittavaikutukset. Kudosten ja elinten ekvivalenttiannosten annosrajojen avulla pyritään estämään säteilyn suorat haittavaikutukset eri kudoksissa ja elimissä. Annosrajat koskevat sekä säteilytyöluokkaan A ja B kuuluvia henkilöitä. (Bartal, Vano, Paulo & Miller 2014, 292; Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisen perusteet 2007, 4.)

Efektiiviselle annokselle asetettu yläraja ei ylitä, jos työntekijälle mitattu syväannos ei ylitä annosrajan arvoa. Koska annosmittari on säteilysuojainten päällä, syväannos ei kuvaa luotettavasti efektiivistä annosta. Efektiivinen annos voidaan kuitenkin määrittää syväannoksen avulla. (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2007, 5.) Annosrajan alittaminen ei takaa säteilysuojelun tavoitteiden saavuttamista, vaan aina on pyrittävä mahdollisimman vähäiseen säteilyannokseen ALARA-periaatteiden mukaisesti (Paile 2002, 160).

Säteilyasetuksessa (20.12.1991/1512) on säädetty ionisoivaa säteilyä työssään käyttävien eli säteilytyötä tekevien henkilöiden säteilyaltistuksen enimmäisarvot eli annosrajat. Euroopan Unionin direktiivissä määritellään suositeltavat annosrajat säteilytyöntekijöille. Suomessa vuoden 1992 alussa ovat tulleet voimaan säteilytyötä koskevat annosrajat, joiden mukaan työntekijän säteilyannos ei saa ylittää arvoa 50 mSv kalenterivuoden aikana eikä keskiarvoa 20 mSv/vuosi viiden kalenterivuoden aikana. Vuonna 1996 ja 2011 ICRP on suositellut vartalon ääriosien annosrajoiksi 500mSv/vuosi (ekvivalenttiannos). Silmän linssin annosrajaksi ICRP esitti vuonna 1996 150mSv/vuosi, mutta vuonna 2011 suositusta on laskettu niin, että silmän mykiön annos ei saa ylittää 50 mSv kalenterivuoden aikana eikä keskiarvoa 20 mSv/vuosi viiden kalenterivuoden aikana. Uusi vuosittainen matalampi annos vaatii tarkempia mittauksia, jotta henkilökunnan kaihia voidaan paremmin ehkäistä. (Bartal et.al 2013.)

Annosrajojen tarkoituksena on pienentää stokastisten vaikutusten riskiä ja välttää deterministiset riskit, lähinnä ihovauriot. Lainsäädäntö vaatii, ettei henkilökunta saa altistua suuremmalle säteilylle kuin annosrajoissa sanotaan. Koska lainsäädäntö vaatii myös optimointia, ovat annokset usein pienempiä kuin suositukset. Mikäli työntekijän annos on vuodessa enemmän kuin 6 mSv, kuuluu hän säteilytyöluokkaan A ja hänelle on järjestettävä henkilökohtainen säteilyaltistuksen seuranta ja

terveydentilan tarkkailu. Säteilytyöluokkaan B kuuluvat kaikki säteilytyöntekijät, jotka eivät kuulu säteilytyöluokkaan A. (Säteilyasetus 20.12.1991/1512) EU-suositusten mukaan potilasannoksien mittaamisen tulisi olla osa laadunvarmistusohjelmaa. Muutamissa Euroopan maissa potilasannosten mittaaminen ja kirjaaminen on pakollista, ja näin tulee luultavasti olemaan tulevaisuudessa kaikissa Euroopan maissa. (Bartal ym.2013, 290.)

Työntekijän annostarkkailun järjestäminen perustuu työntekijän säteilytyöluokkaan. Säteilytyöluokka määrää, millainen annostarkkailu toiminnanharjoittajan on järjestettävä työntekijälle. Säteilytyöluokkaan A kuuluvalla työntekijällä on järjestettävä henkilökohtainen annostarkkailu. Säteilytyöluokkaan B kuuluvan työntekijän säteilyannos on pystyttävä määrittämään tarpeen vaatiessa, mutta myös säteilytyöluokkaan B kuuluville työntekijöille on usein tarkoituksenmukaista järjestää annostarkkailu. Annostarkkailun avulla määritetään työntekijöiden henkilökohtaiset säteilyannokset. Tarkkailujakson pituus on säteilytyöluokkaan A kuuluvilla työntekijöillä yksi kuukausi ja muilla tarkkailujakson pituus voi olla enimmillään kolme kuukautta. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 3-4, 7.)

Työolojen tarkkailu, joka on osa työntekijän säteilyaltistuksen seuranta, on järjestettävä kaikilla työpaikoilla, joissa tehdään säteilytyötä. Työolojen seuranta toteutetaan tarkkailumittauksilla, joiden tulokset on kirjattava ylös. Tarkkailumittaukset voivat olla ulkoisen säteilyn annosnopeuden mittaamista, työympäristön kontaminaatiomittauksia ja ryhmäannosmittareiden käyttöä. Näiden antamien tietojen pohjalta voidaan tarpeen tullen laskea työntekijän saama säteilyaltistus. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 5.)

Säteilysuojelussa säteilyn haittavaikutusten arvioimiseen käytetään kahta säteilysuojelusuuretta, jotka ovat ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos. Kudoksen tai elimen ekvivalenttiannos tarkoittaa säteilylajin painotuskertoimella kerrottua kudokseen tai elimeen absorboitunutta annosta. Absorboitunut annos tarkoittaa ionisoivan säteilyn energiasta aineeseen siirtyneen energian määrää massayksikköä kohti. Ekvivalenttiannosta käytetään, kun tarkastellaan säteilyn haittavaikutuksia tietyssä kudoksessa tai elimessä. Efektiivinen annos saadaan laskemalla kudosten painotuskertoimella kerrottujen ekvivalenttiannosten summa. Efektiivisen annoksen avulla arvioidaan stokastisten haittavaikutusten riskiä. Molempien suureiden yksikkö on sievert (Sv). (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 8.)

Henkilöekvivalentti kuvaa säteilyannosta (annosekvivalentti) tietyllä syvyydellä kehon pehmytkudoksessa. Henkilöekvivalentti määritellään 10 millimetrin syvyydeltä kovalla säteilyllä, jolloin sitä nimitetään syväannokseksi, $H_p(10)$. Pehmeällä säteilyllä henkilöekvivalentti määritellään iholla 0,07 millimetrin syvyydeltä ja silmässä 3 millimetrin syvyydeltä. Tätä henkilöekvivalenttia sanotaan pinta-annokseksi, $H_p(0,07)$ ja $H_p(3)$. Sekä syvä- että pinta-annoksen yksikkö on Sievert (Sv). (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 16.)

Kun henkilökohtaiset säteilysuojat eivät ole käytettäessä, syväannos on hyvä efektiivisen annoksen likiarvo. Syvä annos mitataan säteilysuojien päältä, joten henkilökohtaisia säteilysuojia käytettäessä efektiivinen annos huomattavasti pienempi kuin syväannos. Pinta-annos on puolestaan tietyn ihoalueen tai silmän ekvivalenttiannoksen likiarvo. (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 16–17.)

Potilasannoksen mittaamiseen ja seurantaan käytettävä suure on annoksen ja pinta-alan tulo DAP. Annoksen ja pinta-alan tulo mitataan röntgenputkeen kiinnitetyllä DAP-mittarilla. Mittayksikkö on yleensä $mGy\ cm^2$. (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 17)

2.6 Henkilökunnan säteilysuojelu ja annosseuranta

Henkilökunnan saama säteilyannos aiheutuu pääasiassa potilaasta ja pinnoista sironneesta säteilystä. Joskus osa työntekijästä, kuten kädet, voivat sijaita säteilyn primaarikeilan alueella ja aiheuttaa säteilyannoksen. Henkilökunnan säteilysuojelu on välttämätöntä säteilyä käytettäessä. Erityisen tärkeää säteilysuojelu on läpivalaisututkimuksissa ja -toimenpiteissä, koska niissä säteilyannokset voivat nousta suuriksi. Säteilysuojelu koskee kaikkia, jotka työskentelevät toimenpideradiologisella osastolla, kuten esimerkiksi toimenpideradiologeja, muita tutkimusta suorittavia lääkäreitä, röntgenhoitajia, sairaanhoitajia, teknistä henkilökuntaa, sairaalafysikkoo, anestesiahoitajaa ja anestesia lääkäriä. (Miller, Vano, Bartal, Balter, Dixon, Padoovani, Schueler, Cardella, & Baère 2010, 611.)

Henkilökunnan säteilysuojelu voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin tekijöihin. Passiivisiin tekijöihin kuuluu muun muassa rakenteellinen säteilysuojelu ja toimenpidehuoneen varustelu. Aktiivinen säteilysuojelu tarkoittaa toimenpidehuoneessa olevien säteilysuojien ja henkilösuojainten käyttöä. (Bartal, Vano, Paulo & Miller 2014, 293.)

Rakenteellinen säteilysuojelu käsittää mm. lattian, seinien ja katon eli rakenteiden ja rakennusmateriaalien valinnan ja paksuuden. (Bartal ym. 2014, 293.) Rakenteellista säteilysuojelua ei tarkastella tässä opinnäytetyössä, vaan opinnäytetyössä keskitytään aktiiviseen säteilysuojeluun.

Toimenpidehuoneessa voi olla liikuteltavia tai paikallaan olevia säteilysuojia. Säteilyseinä on rakennettu joko kokonaan tai osittain läpinäkyvästä lyijylevystä. Säteilyseinät sopivat erityisesti hoitajien ja anestesia lääkäriin suojaksi. Kattoon kiinnitetyllä säteilysuojalla on tarkoitus suojata tutkimusta suorittavaa lääkäriä. Kunnolla asennettujen ja käytettyjen suojien on todettu vähentävän merkittävästi henkilökunnan säteilyannosta. (Miller ym. 2010, 611.) Säteilyseinien käyttäminen on suositeltavaa sillä niiden on todettu pienentävän henkilökunnan säteilyannosta merkittävästi. (Bartal ym. 2014, 293).

Laitteeseen asetetut suojat tarkoittavat tutkimuspöydästä riippuvia alasuojaliuskoja. Suojaliuskat ovat röntgenputken ja radiologin välissä. Tutkimuspöydästä riippuvia suojaverhoja ei voida hyödyntää esimerkiksi silloin, kun läpivalaisu tehdään viistosti tai horisontaalisätein. (Miller ym. 2010, 611.)

Henkilöstösuojaimet tarkoittava suojavaatetusta, johon kuuluu lyijykumiset esiliina ja kilpirauhassuoja sekä suojalasit ja tarpeen vaatiessa suojakäsineet. Lyijykumiesiliina, joka vastaa 0,5 mm lyijykerroksen suojausta (0,25 mm joka kaksin-kerroin edessä), päästää esim. läpivalaisu toiminnassa säteilystä läpi noin 1 – 5 % prosenttia (riippuen mm. käytetystä kV-arvosta). (Miller ym. 2010, 611.)

2.7 Henkilökunnan säteilyannoksen optimointi

Terveydenhuollon säteilytyössä henkilökuntaa suojelee pitkälti samat tekijät kuin potilaita. Potilaan säteilyannoksen rajoittaminen pienentää myös henkilökunnan säteilyannosta.

Läpivalaisuajan minimoiminen vähentää toimenpiteessä käytetyn säteilyn määrää, ja pienentää siten myös henkilökunnan saamaa säteilyannosta. Last-image-hold toiminnon käyttäminen on suositeltavaa. Toiminta jättää viimeisen läpivalaisu kuvan näkyviin näytölle, kun läpivalaisu on lopetettu. Pulsoivan läpivalaisuun käyttäminen pienentää läpivalaisu aikaa. (Miller, Vano, Bartal, Balter, Dixon, Padoovani, Schueler, Cardella, & Baère 2010, 612.) Etäisyydenneliölain

sisäistäminen on tärkeää. Henkilökunta siirtyy mahdollisimman kauaksi säteilylähteestä/röntgenputkesta ja säteilyä sirottavasta pinnasta. Jos mahdollista, henkilökunnan tulee poistua toimenpidehuoneesta läpivalaisun ajaksi. (Pirinen & Tenkanen-Rautakoski 2011, 47.)

Hyvä kuvausgeometria on tärkeä tekijä. Röntgenputki tulee sijoittaa mahdollisimman kauaksi potilaasta ja kuvanvahvistin/detektorin mahdollisimman lähelle potilasta. Röntgenputken käyttöä tutkimuspöydän yläpuolella tulisi välttää. Viistossa ja horisontaalisessa läpivalaisussa röntgenputken tulisi olla eri puolella tutkimuspöytää kuin toimenpiteen tekijä, sillä siroavan säteilyn määrä on suurempi röntgenputken puolella. (Miller, Vano, Bartal, Balter, Dixon, Padoovani, Schueler, Cardella, & Baère 2010, 612–613.)

Kuvakentän huolellinen ja tarkka rajaaminen parantaa kuvanlaatua ja vähentää siroavan säteilyn määrää (Miller, Vano, Bartal, Balter, Dixon, Padoovani, Schueler, Cardella, & Baère 2010, 612). Laitetekniikan tuntemus on tärkeää, koska silloin laitteen teknisten ominaisuuksien (Korkea kVp, matala mAs, lisäsuodaukset) käyttö on optimaalista. Laitteen teknisillä valinnoilla voidaan vaikuttaa sekä henkilökunnan että potilaan saamaan säteilyannoksen suuruuteen. (Pirinen & Tenkanen-Rautakoski 2011, 48.)

Henkilökunnan säteilyturvallisuus edellyttää, että toimenpiteen suorittavalla työryhmällä on tietämystä, kokemusta ja osaamista turvallisesta työskentelystä ja työtavoista. Säteilyturvallisten työtapojen käyttö edellyttää säteilykoulutusta ja jatkuvaa täydennyskoulusta. (Pirinen & Tenkanen-Rautakoski 2011, 47.)

2.8 Henkilökunnan säteilyannoksen mittaaminen

Ihmisellä ei ole aistia, joka havaitseisi säteilyä ja varottaisi liian voimakkaasta säteilystä tai liian suuresta säteilyannoksesta. Tätä varten on kehitetty erilaisia annosmittareita, dosimetrejä, joiden avulla säteilytyötä tekevien säteilyannos voidaan määrittää. Dosimetrin käyttäminen on hyödyllistä, sillä henkilökunnan annostietoja seuraamalla voidaan havaita puutteet säteilyturvallisissa työtavoissa.

Annosmittarit voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin mittareihin. Aktiiviset mittarit näyttävät henkilökunnan säteilyannoksen reaaliajassa, kun passiivisten mittareiden mittaama säteilyannos saadaan selville vasta jälkepäin. Aktiiviset annosmittarit eivät kuitenkaan ole toistaiseksi

korvanneet passiivisia annosmittareita, vaan niitä käytetään passiivisten annosmittareiden lisäksi antamaan lisäinformaatiota säteilyaltistuksesta. (Chiriotti, Ginjaume, Vano, Sanchez, Fernandez, Duch & Sempau 2011, 1266.)

Toimenpideradiologiassa annostarkkailu tarkoittaa ulkoisen säteilyn eli röntgensäteilyn työntekijälle aiheuttaman säteilyannoksen mittaamista ja määrittämistä. Annostarkkailuun kuuluu myös mittaustulosten kirjaaminen ja arkistointi. Annostarkkailusta vastaa Säteilyturvakeskuksen hyväksymä annosmittauspalvelu, joka myös arkistoi mittaustulokset. Annostarkkailussa olevien työntekijöiden annostiedot (säteilyaltistus) on ilmoitettava Säteilyturvakeskuksen annosrekisteriin. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 3-4.)

Terveydenhuollon ammattiryhmistä toimenpideradiologit saavat suurimmat vuosittaiset säteilyannokset, koska he käyttävät työssään paljon läpivalaisua. Suomessa vuonna 2012 annostarkkailun piiriin kuuluneiden toimenpideradiologien säteilyannosten keskiarvo on 8,3 mSv. Toiseksi suurimmat säteilyannokset ovat toimenpidekardiologeilla, joiden säteilyannosten keskiarvo on 3,1 mSv. Vuonna 2012 suurin syväannos Suomessa, 44,6 mSv, on kirjattu toimenpideradiologille. (Rantanen 2013, 14)

Säteilyturvakeskuksen tuoreimman eli vuoden 2014 vuosiraportin mukaan vuonna 2012 yhdenkään säteilytyötätekevän työntekijän efektiivinen säteilyannos ei ylittänyt vuosiannosrajaa (50 mSv) tai viiden vuoden annosrajaa Suomessa. Myöskään yhdenkään työntekijän käsiannos ei ylittänyt 500 mSv sormien annosrajaa. Kirjauskynnyksen ylittäneitä työntekijöitä on eniten toimenpideradiologien joukossa. (Rantanen 2013, 14.) Toimenpideradiologin saama säteilyannos samoissa toimenpiteissä voi vaihdella riippuen potilaan ominaisuuksista ja toimenpiteen haastavuudesta. (Miller ym. 2010, 608.)

Henkilökunnan annostarkkailussa käytetään usein termoluminesenssi dosimetria. Annosmittari tulee sijoittaa siten, että säteily tulee siihen kohtisuorasti. Mittari ei saa jäädä minkään kehon osan varjoon. Yleisesti on sovittu, että mittarin hyvä paikka on työvaatteiden päällä rinnan korkeudella. Annosmittari tulee asettaa oikeinpäin. Henkilökohtaisia säteilysuojaimia käytettäessä annosmittari kiinnitetään säteilysuojaimien päälle. Tällöin mittari mittaa suojaamattomien kehon osien ja silmien saamaa säteilymäärää. Jos terveydenhuollossa työstä aiheutuva vuosittainen säteilyannos voi olla suuri, yli 20 mSv vuodessa, työntekijän on käytettävä toista annosmittaria suojainten alla. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 7.)

Toimenpideradiologiassa käsien ja sormien säteilyannokset on määritettävä silloin, kun otetaan käyttöön uusia menetelmiä, joiden aiheuttamista säteilyannoksista ei ole riittävästi aikaisempaa tietoa. Sormiannosmittarin oikea paikka on keskisormen tyvessä siten, että ilmaisimella on kohti säteilyn tulosuuntaa. (Säteilyaltistuksen seuranta 2007, 7.)

ICRP suosittelee, että toimenpideradiologit käyttäisivät kahta dosimetriä, jolloin toinen on lyijyesiliinan alla ja toinen kauluksessa tai kilpirauhassuojassa. Käsien annosta tulisi myös seurata dosimetrin avulla. (Miller ym. 2010, 611.)

2.9 Säteilyn ilmaisimet

Säteilyilmaisimien toiminta perustuu säteilyn ja aineen väliseen vuorovaikutukseen. Vuorovaikutuksessa kaasun, nesteen tai kiinteän aineen kanssa, säteilyn fotonit menettävät energiaansa. Osa fotonin luovuttamasta energiasta aiheuttaa ionisaatioita ja viritystiloja aineen atomeihin, osa muuttuu lämmöksi. Aineessa syntyy siis muutoksia, jotka voidaan havaita ja muuttaa signaalinkeräysjärjestelmän avulla haluttuun muotoon. Ilmaisimen ja elektrodien välille syntyy virta säteilyn synnyttämien varauksenkuljettajien (ionit, elektronit ja aukot) avulla. (Klemola 2002, 116.)

Säteilyilmaisimet voidaan jakaa signaali-ilmaisimiin ja passiivisiin ilmaisimiin. Signaali-ilmaisimia on kolmea tyyppiä kaasutäytteiset ilmaisimet, tukeilmaisimet ja puolijohdeilmaisimet. Signaali-ilmaisimeen saapuva ionisoiva hiukkanen aiheuttaa hetkellisen signaalin, joka mitataan. Kaasutäytteisiä ilmaisimia ovat esimerkiksi ionisaatiokammio, verrannollisuuslaskuri ja geigerputki. (Klemola 2002, 116.)

Puolijohdeilmaisimella vastaa toiminnaltaan kiinteän aineen ionisaatiokammio, mutta ionien tuoton sijasta säteily aiheuttaa elektroni-aukopareja puolijohdeilmaisimen pn-rajapintaan aiheuttaen estosuuntaisen virtapulssin ilmaisimpiin. Puolijohdeilmaisimella on 10 000 kertaa herkempi kuin ionisaatiokammio, koska elektroni-aukko-parien muodostuminen vaatii vähemmän energiaa kuin kaasussa tapahtuvaan ioniparien muodostaminen. Puolijohdeilmaisimen erinomainen energian erotuskyky johtuu siitä, että syntyvien varausten rekombinaatio on vähäisempää. (Klemola 2002, 126.) Passiiviset säteilyn ilmaisimet ovat mittareita, joista absorboitunut säteilyannos saadaan mitattua vasta jälkikäteen kuten filmi tai termolosteilmaisimella (Klemola 2002, 130, 132).

Termoloisteilmaisoin eli termoluminesenssi dosimetri (Thermoluminescence dosimeter, TLD) on passiivinen säteilyilmaisin. Termoloisteilmaisimessa säteilyn ilmaisimena käytetään termoloistekidettä, jossa ionisoiva säteily saa aikaiseksi atomien viritystiloja, jotka jäävät kidehilan "loukkuihin". Kun termoloistekiteitä myöhemmin kuumennetaan lukulaitteen avulla viritystilat purkautuvat, minkä seurauksena emittoituu valoa. Emittoituva valo voidaan havaita ja mitata valomonistinputken avulla. Termoloistekiteen lukemisen tuloksena saadaan hehkukäyrä. Käyrän pinta-ala on suoraan verrannollinen termoloistekiteeseen absorboituneeseen annokseen. (Klemola 2002, 132–133.)

Termoloisteilmaisinta on käytetty vuosikymmenet henkilökunnan saaman ulkoisen säteilyannoksen tarkkailuun. Termoloisteilmaisoin on Säteilyturvakeskuksen hyväksymä annosmittari henkilökohtaisen säteilyannoksen määrittämiseen.

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvailla toimenpiteisiin osallistuvalla henkilökunnalla aiheutuvaa säteilyannoksen suuruutta reisivaltimoahtauksen pallolaajennustoimenpiteessä sekä säteilysuojien vaikutusta henkilökunnan saamaan säteilyannoksen suuruuteen Oulun yliopistollisen sairaalan Keskusröntgenissä. Säteilyannokset määritettiin toimenpidekohtaisesti.

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää Oulun yliopistollisen sairaalan Keskusröntgenin henkilökunnan säteilysuojelua tuottamalla mahdollisimman objektiivista ja luotettavaa tietoa henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimustulosten avulla voidaan ohjeistaa henkilökuntaa toimimaan säteilyturvallisesti. Tutkimuksesta saatua tietoa voidaan hyödyntää myös henkilökunnan säteilyturvallisuuskoulutusta suunniteltaessa ja toteuttaessa sekä toimenpidemenetelmiä ja toimenpideohjeistuksia kehitettäessä.

Tutkimusongelmat olivat:

1. Minkä suuruisia säteilyannoksia henkilökunta saa reisivaltimoahtauksen pallolaajennuksessa?
2. Minkälainen vaikutus liikuteltavalla kattoon kiinnitetyllä säteilysuojalla on henkilökunnan säteilyannosten suuruuteen?

4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimusmenetelmänä tässä tutkimuksessa käytettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta, koska tässä tutkimuksessa tavoiteltiin määrällistä mitattavaa tietoa henkilökunnan säteilyannoksista. Tutkimuksessa oli myös kvalitatiivisia eli laadullisia ominaisuuksia, koska tutkimukseen sisältyi havainnointia.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tietoa tarkastellaan numeerisesti, toisin sanoen asioita ja niiden ominaisuuksia kuvataan numeroiden avulla. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa on keskeistä johtopäätökset ja teoriat aiemmista tutkimuksista sekä hypoteesien esittäminen ja käsitteiden määrittely. Kvantitatiivisen tutkimuksen vaiheita ovat aineiston keruun tai koejärjestelyn suunnitelman tekeminen sekä perusjoukon ja otannan valinta. Tutkimuksen vaiheisiin kuuluvat myös aineiston käsitteleminen, tiedon esittäminen taulukkomuodossa sekä perusteltujen päätelmien tekeminen. Tutkimuksen olennaisimmat tiedot esitetään myös sanallisesti. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2013, 136, 140; Vilka 2007, 14.)

Tutkimusstrategia eli tutkimusote tarkoittaa niitä valintoja ja tutkimusmenetelmiä, joiden avulla tutkimus on tarkoitus toteuttaa. Tutkimuksen tarkoitus vaikuttaa tutkimusstrategian valintaan. Kvantitatiivisen tutkimuksen tutkimustyyppinä ovat muun muassa kokeellinen tutkimus ja survey-tutkimus. (Hirsjärvi ym. 2013, 132, 191.) Tämän tutkimuksen tutkimusstrategiaksi valikoitui kokeellinen tutkimus. Kokeellisen tutkimuksen pyrkimyksenä on kontrolloitujen, systemaattisten havaintojen tekeminen sekä luotettavien tutkimustulosten saaminen. Tutkimustilanteessa tutkijan on mahdollista havainnoida ilmiöiden vaikutuksia ja syy-seuraus-suhteita. (Hirsjärvi ym. 2013, 134.)

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimusta alettiin suunnitella huhtikuussa 2014 yhdessä yliopettaja Anja Hennerin ja fyysikko Anna-Leena Mannisen kanssa. Tutkimuksen kohteeksi valittiin reisivaltimon PTA-tutkimukset Oysin keskusröntgenosastolla yhdellä laitteella, joka on GE Healthcare, Innova 4100 IQ, Buc, Ranska. Tutkimuksessa mitattiin henkilökunnan altistumista säteilylle reisivaltimon pallolaajennustoimenpiteen aikana sekä säteilysuojien vaikutusta henkilökunnan säteilyannoksiin. Potilaiden säteilyannoksia ei mitattu tässä tutkimuksessa, mutta potilaan DAP-annos otettiin kuitenkin vertailuihin mukaan. DAP-annosta käyttämällä voitiin paremmin havainnollistaa säteilynkäytön määrää tutkimuskohtaisesti. Aihe oli mielenkiintoinen, koska henkilökunnan säteilyaltistuksesta on vähän tietoa tässä nimienomaisessa tutkimuksessa.

Koska fantomimittauksen järjestäminen olisi ollut laitteiden ja tilojen järjestämisen suhteen haasteellista, päädyttiin mittaamaan henkilökunnan säteilyannoksia todellisessa toimenpiteessä. Alustavasti toimenpiteet rajattiin tarkasti koskemaan reisivaltimon PTA toimenpidettä GE Innova laitteella, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. PTA toimenpiteitä on yleensä lähes päivittäin mutta toimenpiteitä joudutaan usein myös perumaan, joten tutkimuksen suorittamiseen piti varata riittävästi aikaa. Suunnitteluvaiheessa päädyttiin mittaamaan henkilökunnan säteilyannoksia vähintään kymmenessä tutkimuksessa.

Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriltä (PPSHP) hankittiin tutkimuslupa ennen mittausten aloittamista. Tutkimusluvan myönsi ylihoitaja Kirsi Rannisto. Tutkimuksen suorituksella ei ollut tarkoitus vaikeuttaa henkilökunnan toimintaa, vaikka mittaukset tehtiin varsinaisessa tutkimustoimenpiteessä. Mittauksien ei ollut myöskään tarkoitus aiheuttaa minkäänlaisia turvallisuusriskejä. Mittareiden kiinnittämiseen henkilökunnan säteilysuojiin sekä tutkimushuoneen suojiin varattiin aikaa viisi minuuttia yhtä tutkimusmittausta kohden. Henkilökunnan tai potilaiden henkilötietoja ei paljasteta, koska tavoitteena on yleispätevän tiedon kerääminen.

5.1 Aineiston keruu

Tutkimusaineiston keräämiseen käytettiin DoseAware-annosmittausjärjestelmää sekä Unfors EDD-silmäannosmittaria. DoseAware- järjestelmään perehdyttiin kirjallisten käyttöohjeiden avulla sekä opettaja Karoliina Paalimäki-Paakin opastuksella. Järjestelmää ei ehditty testaamaan koululla ennen mittauksen aloittamista, joten testit suoritettiin Oulun yliopistollisen sairaalan keskusröntgenosastolla keväällä sekä syksyllä 2014. Testien lisäksi keskusröntgenosastolla tehtiin vielä yksi koemittaus sekä yksi mittareiden toimintaa selvittävä mittaus ennen varsinaisia tutkimusmittauksia.

DoseAware-järjestelmä on Philipsin kehittämä laitteisto, joka mahdollistaa säteilyannosten mittaamisen ja seuraamisen reaaliajassa. DoseAware-järjestelmään kuuluu henkilökohtainen dosimetri (Personal Dosimeter, PDM) ja Base Station (Kuvio 1.). Dosimetrin mittaama säteilyannos siirtyy sekunnin välein langattomasti Base Stationiin, jonne ne myös tallentuvat. Base Stationiin voi tallentaa jopa 3600 annosta. Yhteen Base Stationiin voidaan liittää useita henkilökohtaisia dosimetrejä. Dosimetrien mittaama aineisto voidaan siirtää Base Stationilta tietokoneelle. (Sanchez, Vano, Fernandez & Gallego 2010, 1211.) Laitteiston lisäksi järjestelmään kuuluu myös Tietokoneelle ladattava Dose Manager -ohjelmisto, joka mahdollistaa muun muassa toimenpiteissä mitattujen säteilyannoksien vertailun. (Vano, Fernandez & Sanchez 2011, 1263–1264).



Kuvio 1. DoseAware-järjestelmän Base Station ja henkilökohtainen dosimetri. (www.healthcare.philips.com, viitattu 21.9.2015)

Henkilökohtainen dosimetri on pienikokoinen, joten sitä on helppo käyttää toimenpiteiden aikana. Dosimetri koostuu kiinteästä pii detektorista. Dosimetri mittaa henkilökunnan kumulatiivisen säteilyannoksen 10 millimetrin syvyydeltä eli syväannoksen (Hp(10), sekä annosnopeuden.

Dosimetriä tulee käyttää lyijyesiliinan päällä, jolloin se mittaa suojaamattomille kehonosille tulevan säteilyannoksen. (Sanchez ym. 2010, 1211.)

DoseAware-järjestelmän mittaamia säteilyannoksia voidaan havainnollistaa ja seurata Base Stationin näytöltä. (Kuva 2.) Säteilyannokset näkyvät näytöllä logaritmisella skaalalla värikoodein. (Sanchez, Vano, Fernandez & Gallego 2010, 1211.) Vihreä väri ilmaisee annosta, jonka annosnopeus on alle 0,2 mSv/h, keltainen väri annosta, jonka annosnopeus on 0,2-2 mSv/h ja punainen väri annosta, jonka annosnopeus on yli 2 mSv/h (Henner & Manninen, 2011).



Kuvio 2. Toimenpiteeseen osallistuvan henkilökunnan säteilyannokset Base Stationin näytöllä. (www.healthcare.philips.com, viitattu 21.9.2015)

Henkilökunnan reaaliaikainen annosseuranta lisää käyttäjien motivaatiota säteilysuojelua kohtaan. (Sanchez ym. 2010, 1211.)

Annosmittari on työskentelyn aikana harvoin kohtisuorasti säteilyä vastaan ja koska säteilyn absorboituminen annosmittariin riippuu tulokulmasta, täytyy mittauksissa ottaa huomioon (epävarmuustekijänä) kulmariippuvuus. (Nissilä, 2005, 13) Minna Väänänen on osana opinnäytetyötään testannut Philipsin DoseAware-annosmittarin kulmariippuvuutta. Opinnäytetyössä säteilyannoksen suuruuden todetaan riippuvan siitä, missä kulmassa säteily tulee annosmittariin. Annoksen suuruus pysyy kuitenkin paria poikkeusta lukuun ottamatta 20 % sisällä. (Väänänen 2014, 21.)

EED-30 -annosmittari (Educational Direct Dosimeter) on kehitetty erityisesti läpivalaisutkimuksia varten. EDD-annosmittari mittaa annosnopeuden, kokonaisannoksen ja säteilytysajan. Mittari voidaan sijoittaa siten, että se mittaa tiettyyn kehon osaan tulevaa sironnutta säteilyä. Annosmittariin voidaan asettaa säteilyannosraja, jonka ylittyessä mittari hälyttää ja tällä tavalla

annosmittaria voidaan käyttää ohjaamaan henkilökuntaa säteilyn turvallisessa käytössä. (Unfors 2014, viitattu 7.4.2014.)

EDD-annosmittari koostuu anturiosasta ja näyttöyksiköstä, jotka on yhdistetty toisiinsa johdolla (Kuvio 3.). Anturi osa on pieni ja sen sisällä säteilyntunnistimena toimii pieni puolijohdeilmaisin, joka mittaa siihen tulevan säteilyannoksen. Anturiosa on helppo kiinnittää siinä olevan klipsin avulla esimerkiksi suojalasiensa sankaan tai vaatteisiin tai teipin avulla haluttuun kohtaan ihossa. Näyttöyksikössä on digitaalinen näyttö, joka näyttää reaaliajassa mitatut annokset. Näyttöyksikkö voidaan kiinnittää toimenpiteen ajaksi toimenpidettä esimerkiksi suorittavan henkilön vyötärölle. EDD-annosmittari on kevyt, joten sen käyttäminen on helppoa eikä aiheuta häiriötä toimenpiteen suoritukselle. (Unfors 2014, viitattu 7.4.2014.)



Kuvio 3. EDD-annosmittari.

Aktiiviset annosmittarit ovat parantaneet henkilökunnan säteilysuojelua, pienentäneet henkilökunnan säteilyannoksia ja lisänneet henkilökunnan tietoisuutta poikkeavista säteilyannoksista.

EDD-30 mittaa säteilyenergiaa välillä 0,014-0,120 MeV ($\pm 10\%$) ja annosnopeus 0,03 mSv/h – 2Sv/h. DoseAware mittaa säteilyenergiaa välillä 0,048-0,100 MeV ja annosnopeus 40 μ Sv/h – 300 Sv/h.

Kattokiinnitteisessä säteilysuojassa olevat DoseAware mittarit oli alun perin tarkoitus sijoittaa sekä suojatulle ja suojaamattomalle puolelle toimenpidettä suorittavan lääkärin silmien korkeudelle. Tämä oli käytännössä kuitenkin mahdotonta, koska kattokiinnitteisen suojan paikka vaihteli tutkimuksen aikana eikä suoja ollut muutamaa tutkimusta lukuun ottamatta kertaakaan radiologin

silmien korkeudella. Suoja myös pyörähti välillä ympäri ja mittarit vaihtoivat samalla paikkaa. Otin ylös ajan, jolloin suoja pyörähti ja erotin raakadatan kellonajan mukaan mittareihin tulleet säteilymäärät. Kuviossa 4 näkyy mittareiden sijoittelu kattokiinnitteiseen säteilysuojaan.



Kuvio 4. Philips DoseAware mittareiden kiinnitys kattokiinnitteiseen säteilysuojaan.

Tutkimus toteutettiin radiologisella osastolla yhdellä läpivalaisulaitteella (GE Innova) lokakuun ja marraskuun aikana vuonna 2014. Mittauksia tehtiin reisivaltimon pallolaajennustoimenpiteessä mutta aineistosta ei suljettu pois tutkimuksia, joissa pallolaajennus jatkui sääreen tai lantioon. Vaikka alustavasti oli tarkoitus mitata vain reisivaltimon pallolaajennustoimenpiteessä, päädyttiin myös sääreen tai lantioon jatkuneet tutkimukset sisällyttämään tutkimusaineistoon ajallisista syistä. Aineiston keruu olisi muuten venynyt kohtuuttoman pitkäksi tai toisaalta kerätty materiaali olisi jäänyt vähäiseksi.

Aineiston keräämiseen käytettiin neljää DoseAware-mittaria sekä yhtä Unfors EDD-annosmittaria kaikissa 12 tutkimusmittauksessa. Unfors EDD-mittari kiinnitettiin radiologin lyijylasien vasempaan sankaan, siitä syystä että säteilylähde sijaitsee tutkimusta suorittavan lääkärin vasemmalla

puolella. Unfors EDD mittarin Base Station kiinnitettiin tutkimusta suorittavan lääkärin vyötärölle Base Stationiin kuuluvalla vyöllä. Base Station kiinnitettiin steriilin takin alle mutta lyijysuojan päälle. DoseAware-mittarit kiinnitettiin katosta roikkuvan sädesuojan molemmille puolille, tutkimusta suorittavan lääkärin kilpirauhassuojaan sekä röntgenhoitajan kilpirauhassuojaan. Mittarit pystyi erottamaan toisistaan värien perusteella. DoseAware mittariston Base Station sijoitettiin tutkimushuoneen ulkopuolelle, jotta pystyimme samanaikaisesti havainnoimaan sekä tutkimuksen toteutusta, henkilöstön sijoittumista tutkimuksen aikana sekä DoseAware mittareiden arvoja. DoseAware järjestelmän Base Stationista voi seurata annosnopeuksia reaaliaikaisesti, jolloin havainnointi helpottuu kun korkean annoksen kohdalla voi suoraan nähdä miten henkilökunta on sijoittunut. Korkeaan annokseen voi havainnoinnin avulla löytyä mahdollinen syy, kun annoksia voi seurata reaaliaikaisesti.

Keruumuotona oli systemaattinen mittaaminen DoseAware-järjestelmällä sekä EDD-mittausjärjestelmällä. Lisäksi aineiston keräämismenetelmänä käytettiin havainnointia, jolloin saatiin numeerisen tiedon lisäksi tietoa henkilökunnan sijoittumisesta säteilylähteeseen nähden sekä yksilöiden toiminnasta toimenpiteen aikana. Lähinnä havainnoinnin kohteeksi valikoitui tutkimuksen suorittava lääkäri, koska hänelle oli kiinnitetty sekä silmäannosmittari että DoseAware-mittari. Röntgenhoitajan sijoittumista seurattiin erityisesti silloin, kun hänen DoseAware mittari alkoi keräämään annosta.

Mittarit sijoitettiin jokaisella mittauksella samoihin paikkoihin, tämä oli helppoa, koska toimenpidehuone oli aina sama, vaikka toimenpiteen suorittava lääkäri ja röntgenhoitaja vaihtuivat lähes jokaisessa mittauksessa. Mittareiden sijoittaminen aina samoille paikoille oli helppoa, koska mittareissa oli värikoodit. Koska Philips DoseAware mittareita oli käytössä vain neljä kappaletta, emme voineet mitata muiden huoneessa oleskelevien henkilöiden annoksia. Kirjasimme kuitenkin mittauspöytäkirjaan ylös henkilöiden lukumäärän, jotka olivat tutkimushuoneessa toimenpiteen aikana.

Jokaisen toimenpiteen jälkeen toimenpidettä suorittavan lääkärin lyijyglasien sangassa olevan EDD-mittarin arvot (annos ja annosnopeus) kirjattiin erilliselle lomakkeelle. LIITE 1. Mittarin nollaaminen puolestaan suoritettiin jokaisen tutkimuksen aluksi. Philips DoseAware-mittareiden tiedot selvitettiin aineiston käsittelyvaiheessa mittareista puretusta raakadatasta.

5.2 Aineiston käsittely

Tutkimuksessa mitattu aineisto koostuu tutkimusta suorittavan lääkärin ja röntgenhoitajan kilpirauhasmittariin kiinnitettyjen mittareiden mittaamasta säteilyaltistuksesta sekä mittareihin tallentuneista annosnopeustiedoista. Lisäksi aineistossa oli mukana vertailun vuoksi kattoon kiinnitetyn sädesuojan molemmille puolille kiinnitettyjen mittareiden säteilyaltistus sekä mittareihin tallentuneet annosnopeustiedot.

Mittausjakson jälkeen purimme mittaustulokset Dose Manager- ohjelmalla, joka kuuluu Philipsin Dose Aware – järjestelmään. Dose Manager ohjelmisto mahdollistaa toimenpiteissä mitattujen säteilyannosten vertaamisen (Vano ym. 2011. 1263–1264.) Jokaisen käytetyn mittarin mittaama säteilyannos purettiin erikseen ja näin ollen jokaisesta mittarista saatiin oma numeerinen raakadata. Raakadata sisälsi kaikki mittaukset, joten eri mittausten annokset piti erottaa toisistaan päivämäärän ja kellonajan perusteella. Tästä syystä mittausten aikana oli tarpeellista kirjoittaa muistiin mittauksen päivämäärä ja kellonaika, jolloin mittaus aloitettiin.

Dose Manager-ohjelmasta saatu raakadata siirrettiin Microsoft Excel- ohjelmaan, jossa raakadatasta oli mahdollista laskea keskiarvoja sekä tehdä taulukoita. Jokaisen mittarin sisältämä raakadata siirrettiin omaan Microsoft Excel- taulukkoon, jossa jokaisen mittarin sisältämä numeerinen tieto analysoitiin erikseen. Laskimme kaikista mittareista tutkimuskohtaiset keskimääräiset annokset sekä annosnopeudet, jotka ilmoitettiin arvoina μSv ja $\mu\text{Sv/h}$. Analysoinnissa käytettiin myös apuna tutkimusten aikana kerättyjä havaintoja ja tietoja, jotka oli kirjattu havainnointilomakkeeseen. Havainnoimme tutkimusten aikana kattokiinnitteisen säteilysuojan käyttöä ja henkilökunnan sijoittumista tutkimuhuoneeseen tutkimuksen aikana.

Dose Aware mittareiden lisäksi teimme taulukkomuotoon Unfors EDD- mittarilla mitatut radiologin silmäannokset. Unfors EDD-mittari ei säilytä mittaustuloksia, kuten Dose Aware- mittarit, joten jokaisen mittauksen radiologin silmäannos kirjattiin havainnointilomakkeeseen tutkimuksen jälkeen, tämän jälkeen mittari nollattiin seuraavaa tutkimusta varten. Jokaisen mittaustutkimuksen jälkeen kirjasimme ylös myös potilaalle kertyneen annoksen (DAP) sekä potilaan painoindeksin kaikista niistä tutkimuksista, joista se oli mahdollista saada.

Kvalitatiivisen tutkimuksen vaiheita ovat aineiston keruun suunnittelun ja toteuttamisen lisäksi aineiston käsitteleminen, tiedon esittäminen taulukkomuodossa sekä johtopäätösten tekeminen (Hirsjärvi ym. 2013, 136.) Kaikkien mittausten annosnopeudet ja kumulatiiviset annokset on esitetty

taulukkomuodossa, jossa on lisäksi säteilyaltistus aika. Säteilyaltistus aika otettiin mukaan vertailtaviin tietoihin, koska sen avulla voi helpommin vertailla eri tutkimusten annonopeuksia ja kumulatiivisia annoksia. Taulukkoon on otettu mukaan myös radiologin silmäannos. Taulukkomuodossa on myös esitetty potilaalle kertynyt annos (DAP) ja potilaan painoindeksi.

6 TULOKSET

Potilaiden painoindeksit vaihtelivat tutkimuksittain. Suurin painoindeksi oli 37,6 kahdessa erillisessä tutkimuksessa ja pienin 17,7. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan ollut aineiston suurimmat tai pienimmät annokset, joten potilaan koko ei vaikuta toimenpidettä suorittavan lääkärin tai röntgenhoitajan annokseen. Saman kokoisella potilaalla saatiin myös aivan erilaisia annoksia toimenpidettä suorittavalle lääkärille. Vaikutusta ei ole kumpaankaan, ei annosnopeuteen eikä kumulatiiviseen annokseen.

6.1 Henkilökunnan säteilyannokset

Mittauksissa tutkimusta suorittavan lääkärin kilpirauhasmittarin kumulatiivisen annoksen keskiarvo oli 9,91 μSv , kun suurin annos oli 62,49 μSv ja pienin annos 0 μSv . Hoitajan kilpirauhasmittarin kumulatiivinen annos oli huomattavasti pienempi kuin tutkimusta suorittavan lääkärin annos ollen 0,90 μSv , kun suurin annos oli 6,58 μSv ja pienin 0 μSv . Hoitajan kilpirauhasmittarin kumulatiivinen annos oli 0 μSv neljässä tutkimuksessa. Radiologin lyijyglasien vasemmassa sangassa olevan mittarin kumulatiivisen annoksen keskiarvoksi tuli 34,56 μSv ja suurin annos oli 268,5 μSv ja pienin 0,03 μSv . Silmien tasolla olevassa mittarissa olevat annokset olivat huomattavasti suuremmat kuin kilpirauhasuojassa olevassa mittarissa olevat annokset. Tämä johtuu siitä, että pään alue ei ollut suojattuna useassakaan tutkimuksessa.

Kattokiinnitteisen säteilysuojan suojaamattoman puolen kumulatiivisen annoksen keskiarvoksi tuli 35,92 μSv ja korkein annos oli 113,46 μSv ja pienin annos 0,19 μSv . Suojatun puolen kumulatiivisen annoksen keskiarvo oli 0,59 μSv ja korkein annos oli 1,74 μSv ja pienin 0 μSv . Kumulatiiviset annokset sekä säteilyaltistusaika ja potilaan painoindeksi ovat taulukkomuodossa liitteessä 1. Kumulatiiviset annokset ja säteilyaltistusaika ovat taulukkomuodossa taulukossa 1.

RADIOLOGI kilpirauhasmittari μSv	HOITAJA μSv	SUOJATTU μSv	SUOJAAMATON μSv	RADIOLOGI silmämittari μSv	SÄTEILYALTISTUSAIKA μSv
0	0	0	0,1864	0,057	2 min. 27 s.
16	0,3584	0	39,603	20,06	15 min. 54 s.
5,222	0,512	0,0512	2,9436	0,18	6 min. 51 s.
3,482	0,1536	0,0768	12,083	10,97	5 min. 29 s.
62,4896	6,5792	0,179	55,68	112,5	21min. 45 s.
1,7408	0	0,0256	11,75	0,025	14 min. 22s.
1,024	0	0	22,8608	0,567	16 min. 1 s.
0,384	0	0	49,92	0,047	4 min. 31 s.
2,688	0,0256	0	31,9628	1,594	9 min. 14 s.
0,8192	0,0256	1,7408	2,842	0,075	6 min.
24,6784	3,0976	5,043	113,459	268,5	11 min. 23 s.
0,4352	0,0256	0	87,706	0,152	7 min. 22 s.
9,91	0,90	0,59	35,92	34,56	10min. 34 s.

TAULUKKO 1. Henkilökunnan säteilyannokset tutkimuskohtaisesti.

Annosnopeuksissa korkeimmat arvot olivat kumulatiivisten annosten tapaan tutkimusta suorittavan lääkärin lyijylasien vasemmassa sangassa olevassa mittarissa. Siinä annosnopeuden keskiarvoista laskettu keskiarvo oli 196,5 μSv/h kun korkein annosnopeuden keskiarvo yksittäisessä tutkimuksessa oli 806,4 μSv/h ja pienin 39,6 μSv/h. Tutkimusta suorittavan lääkärin kilpirauhasmittarissa olevan mittarin annosnopeuden keskiarvoista laskettu keskiarvo oli 4,26 μSv/h eli huomattavasti pienempi kuin lyijylasien sangassa olevasta mittarista saadut arvot. Korkein annosnopeuden keskiarvo yksittäisessä tutkimuksessa tutkimusta suorittavan lääkärin kilpirauhasuojassa oli 20,83 μSv/h ja pienin 0 μSv/h. Hoitajalle kaikista tutkimuksista laskettujen annosnopeuksien keskiarvojen keskiarvoksi tuli 0,30 μSv/h ja suurin annosnopeuden keskiarvo oli 2,19 μSv/h ja pienin 0 μSv/h. Hoitajan annosnopeuden keskiarvo oli nolla neljässä tutkimuksessa. Kattokiinnitteisessä säteilysuojassa oleviin mittareihin kaikkien tutkimusten annosnopeuden keskiarvoista lasketuksi keskiarvoksi tuli suojatulle puolelle 1,74 μSv/h ja suojaamattomalle puolelle 34,62 μSv/h. Suojatulla puolella korkein annosnopeuden keskiarvo oli 18,98 μSv/h ja suojaamattomalla puolella 82,86 μSv/h.

Läpivalaisuajan keskiarvo oli 10min. 34s. Lyhyin tutkimus kesti 2 min. 27 s. ja pisin 21 min. 45 s.

Lyhimmässä tutkimuksessa oli pienimmät annosnopeudet kaikissa mittauspisteissä. Myös kumuloituneet annokset olivat pienemmät kuin muissa tutkimuksissa, lukuun ottamatta radiologin silmäannosta. Pisimmässä tutkimuksessa ei ollut suurin silmä- eikä kilpirauhasannos, vaikka näissä mittauspisteissä annosnopeuden keskiarvot olivat suurimmat. Liitteessä 2 on taulukkomuodossa kaikki henkilökunnalle kertyneet annokset. Taulukossa 2 ovat tutkimuskohtaiset annosnopeudenkeskiarvot ja säteilyaltistusaika taulukkomuodossa.

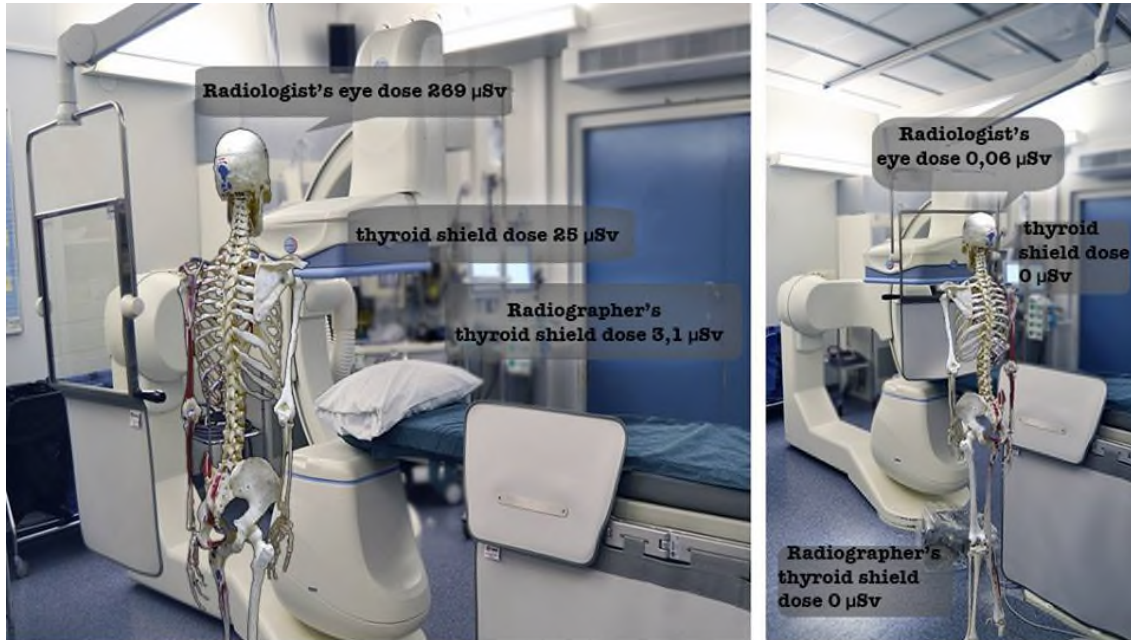
RADIOLOGI kilpirauhasmittari μSv/h	HOITAJA μSv/h	SUOJATTU μSv/h	SUOJAAMATON μSv/h	RADIOLOGI silmämittari μSv/h	SÄTEILYALTISTUSAIKA μSv/h
0	0	0	0,4864	39,6	2 min. 27 s.
8	0,1792	0	19,8016	183,6	15 min. 54 s.
2,6112	0,0512	0,0512	1,6768	61,2	6 min. 51 s.
3,4816	0,0768	0,0768	12,0832	129,6	5 min. 29 s.
20,82987	2,193067	0,1792	18,56	806,4	21min. 45 s.
0,580267	0	0,0256	11,7504	46,8	14 min. 22s.
0,341333	0	0	82,858667	72	16 min. 1 s.
0,384	0	0	49,92	61,2	4 min. 31 s.
1,344	0,0256	18,9824	15,8464	79,2	9 min. 14 s.
0,8192	0,0256	1,3312	1,740800026	61,2	6 min.
12,3392	1,058133	0,1792	56,72960085	766,8	11 min. 23 s.
0,2176	0,0256	0	48,8528	50,4	7 min. 22 s.

TAULUKKO 2. Annosnopeuden keskiarvot tutkimuskohtaisesti.

6.2 Kattokiinnitteisen säteilysuojan vaikutus henkilökunnan säteilyannoksiin

Lähes kaikissa tutkimuksissa toimenpidettä suorittavat lääkärit suojasivat kattokiinnitteisellä säteilysuojalla ainoastaan jo suojattua kehonosaa eli kilpirauhasta ja vartaloa. Pää jäi suurimmassa osassa tutkimuksia kokonaan suojaamatta, ja tämä näkyi sekä annosnopeuksien keskiarvoissa että kumulatiivisissa annoksissa, jotka molemmat olivat toimenpidettä suorittavan lääkärin lyijylaseissa olevassa mittarissa huomattavasti suuremmat kuin kilpirauhassuojassa olevassa

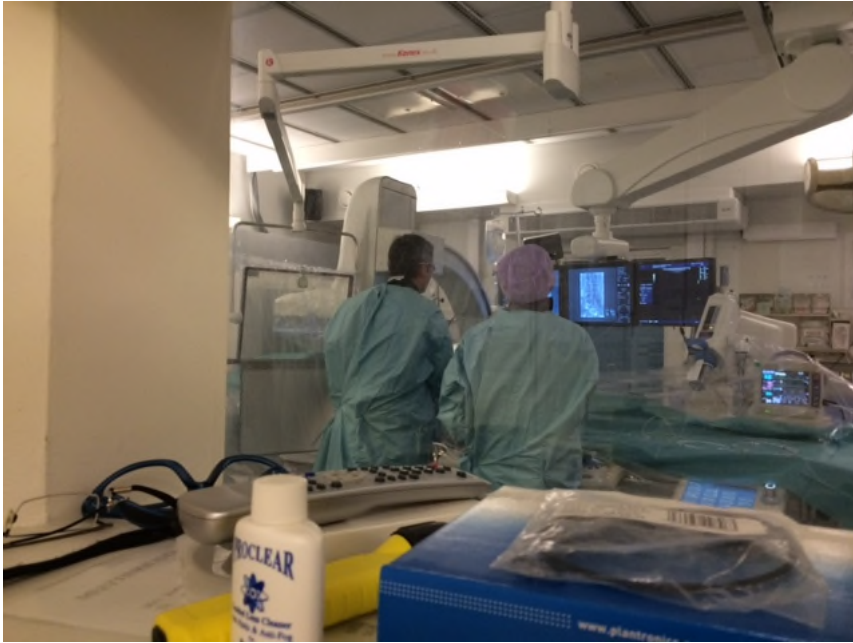
mittarissa. Hyvin usein tutkimusta suorittavan lääkärin pää ja osa ylävartaloa oli suorassa säteilyssä ja vain osa ylävartalosta sädesuojan takana. Kuvio 5 selvittää miten kattokiinnitteisen säteilysuojan käytöllä voidaan pienentää selkeästi henkilökunnan säteilyannoksia.



These pictures demonstrate the conclusion of our study. Ceiling suspended lead screen is not positioned right so the accumulated doses are high in the eye and thyroid. When the ceiling suspended lead screen is positioned right the accumulated doses are low in the eye and thyroid.

KUVIO 5. Suojan merkitys tutkimusta suorittavan lääkärin silmä- ja kilpirauhasannokseen. (Kaakinen, Juutinen, Hiltunen, Henner & Manninen 2015)

Yhdessä tutkimusmittauksessa tutkimusta suorittavan lääkärin silmäannos oli tutkimuksessa pieni 0,18 μ Gy. Radiologin kilpirauhasuojaan tuli tässä tutkimuksessa poikkeuksellisesti suurempi annos kuin silmälasien sankaan kiinnitettyyn mittariin. Radiologin kilpirauhasuojaan kiinnitetyn mittarin annos oli 5 μ Gy. Kattokiinnitteisen säteilysuojan suojatulle puolelle ei kertynyt annosta lainkaan ja suojaamattomallekin puolelle vain 3 μ Gy. Suoja on poikittain lattian päällä koko tutkimuksen ajan ja tämä on luultavasti syynä pienille annoksille säteilysuojan suojaamattomallakin puolella. Koska säteilysuoja oli sijoitettu poikittain lattian päälle, tuli suojaan vain sivulle sironnutta säteilyä. Tutkimuksen suorittavaa lääkäriä kohden siroava säteily tuli näin suoraan lääkärin mittareihin, ei suojaan. (Kuvio 6).



KUVIO 6. Kattokiinnitteinen säteily suoja on sijoitettu poikittain lattian päälle. Tutkimuksen suorittava lääkäri jää ilman suojausta.

Viidennessä tutkimusmittauksessa potilas oli isokokoinen. Potilaan painoindeksiä ei valitettavasti ollut tämän tutkimuksen osalta saatavilla. Tutkimusta suorittava lääkäri ei käyttänyt lyijylaseja eikä muutakaan suojausta, kuten kypärää, päänsä suojana. Tutkimusta suorittava lääkäri ei käyttänyt katosta roikkuvaa suojaa ollenkaan, vaan suoja oli koko tutkimuksen ajan lattian päällä sängyn suuntaisesti. (Kuvio 7.).



What is protected here?

Kuvio 7. Kattokiinnitteinen säteily suoja on sijoitettu lattian päälle, jolloin se ei suojaa henkilökuntaa. (Kaakinen ym. 2015)

Hoitaja sai myös annosta etäisyydestä huolimatta. Hoitajan annos oli tässä tutkimuksessa $7 \mu\text{Gy}$. Osasyynä hoitajan keräämälle annokselle voi olla se, että hoitaja kumarteli paljon potilaan päälle. Tutkimuksessa jouduttiin potilaan DAP lukemasta päätellen käyttämään myös enemmän säteilyä, joka myös selittää hoitajan keräämää annosta. Potilaan DAP-arvo oli tässä tutkimuksessa $5830\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$.

Seitsemännessä tutkimusmittauksessa tutkimuhuoneessa oli tutkimuksen aikana tutkimuksen suorittavan lääkärin lisäksi kolme röntgenhoitajaa. Yksi hoitajista oli ilman lyijysuojia, tosin kaukana säteilylähteestä. Kaikki henkilöt olivat huoneessa läpivalaisun käytön aikana. Vaikka läpivalaisuaika oli pitkä 16 min. 22 s. jäivät annokset pieniksi sekä tutkimusta suorittavalla lääkärillä että röntgenhoitajalla. Tutkimuksen suorittavan lääkärin silmäannos oli $0,567 \mu\text{Gy}$ ja kilpirauhasannosta ei kertynyt ollenkaan. Röntgenhoitajan kilpirauhasannos oli $0\mu\text{Gy}$. Kattoon kiinnitetyn sädesuojan suojatulle puolelle ei kertynyt annosta lainkaan ja suojaamattomalle puolelle annosta kertyi $23 \mu\text{Gy}$. Tämä kertoo sen, että suoja oli hyvin säteilyn edessä suojaamassa sekä lääkäriä että röntgenhoitajaa. Huoneessa oli kuitenkin tutkimuksen aikana tarpeettomia ihmisiä altistumassa turhaan säteilylle.

Tutkimusmittauksessa yhdeksän oli isokokoinen potilas, painoindeksi 37,6, ja tutkimuksessa tehtiin pallolaajennus molempiin reisivaltimoihin. Tästä huolimatta annokset olivat matalat, radiologin silmäannos oli 1,594 μGy ja kilpirauhassuojan annos vain 3 μGy . Röntgenhoitajalle ei kertynyt annosta ollenkaan eikä myöskään kattoon kiinnitetyn suojan suojatulle puolelle. Kattoon kiinnitetyn säteilysuojan suojaamattomalle puolelle annosta puolestaan kertyy 32 μGy , mikä kertoo siitä, että suoja on säteilyn edessä. Tutkimusta suorittava lääkäri käyttää suojaa hyvin. Suojan merkitys näkyi selkeästi tilanteissa, joissa tutkimusta suorittava lääkäri seiso i säteen ja suojan välissä. Näissä tilanteissa annosnopeudet nousivat hetkellisesti yli 100 $\mu\text{Sv/h}$. Tällaisissa tilanteissa suoja oli ovelle päin, kuten Kuviossa 8.



KUVIO 8. Suoja on ovelle päin, jolloin tutkimusta suorittavalle lääkärielle kertyy sekä silmäannosta että kilpirauhasannosta.

7 POHDINTA

Tutkimusten mukaan toimenpideradiologeilla, joiden jokavuotinen säteilyannos on lähellä 150 mSv, on todettu säteilyn aiheuttamaa kaihia. Ilman säteilysuojia ja niiden oikeaa käyttöä, säteilyannos voi ylittää kudoksen kynnyksarvon työvuosien kuluessa. (Bartal, Vano, Paulo & Miller 2014, 292.) Tässä tutkimuksessa korkein radiologin saama silmäannos oli 295 μGy . Kaihi on deterministinen haitta, jolle on osoitettu kynnyksarvo. (Mrena ym. 2011, 237). Säteilyn aiheuttamat aivokasvaimet ovat puolestaan stokastinen haitta, jolle ei ole osoitettu kynnyksarvoa. Tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että matala-annoksinen ionisoiva säteily voisi aiheuttaa aivokasvaimia sekä muita sairauksia pään alueelle. (Picano ym. 2012.) Jos henkilökunnan säteilysuojelusta ei ole huolehdittu asianmukaisesti, voivat useat päivittäiset toimenpideradiologiset tutkimukset aiheuttaa henkilökunnalle stokastisia haittavaikutuksia. (Sanchez, Vano, Fernandez & Gallego 2010, 1210.) Stokastisia haittavaikutuksia ei voi kuitenkaan koskaan täysin välttää, koska niille ei ole olemassa kynnyksarvoa.

Yhdessä tutkimusmittauksessa tutkimusta suorittava lääkäri käytti kattokiinnitteistä säteilysuojaa hyvin suojaamaan koko päätään. Tutkimusta suorittavan lääkärin sekä röntgenhoitajan kilpirauhassuojassa oleviin mittareihin ei kertynyt annosta ollenkaan. Tutkimusta suorittavan lääkärin silmäannos jäi pieniksi, ollen 0,057 μGy . Annosnopeuden keskiarvo oli nolla sekä tutkimusta suorittavan lääkärin että röntgenhoitajan kilpirauhassuojassa. Tutkimusta suorittavan lääkärin lyijyglasien vasempaan sankaan kiinnitettyyn mittariin annosnopeuden keskiarvoksi kertyi 0,011 $\mu\text{Gy/h}$ mikä on pienin arvo kaikissa mittauksissa. Potilaan DAP oli myös tässä tutkimuksessa pieni, 141 $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$. Viidennessä tutkimusmittauksessa taas tutkimusta suorittavan lääkärin silmäannosmittariin tulee annokseksi 112,5 μGy ja kilpirauhassuojaan kiinnitettyyn mittariin 62 μGy . Tämä kertoo hyvin siitä, ettei suoja ollut kunnolla säteiden edessä ja tutkimusta suorittavan lääkärin pää altistuu näin suurelle säteilyannokselle.

Tutkimuksissa on todettu, että pitkä altistuminen matalaenergiselle ionisoivalle säteilylle voi olla yksi aivokasvaimien syy (Picano, Vano, Domenici, Bottai & Thierry-Chef 2012). Päättä olisi siis hyvä suojata, vaikka tutkimuksessa olisi matalat annokset. Siirrettävä sädesuojaseinä voisi vähentää päähän tulevan säteilyn määrää, jos katosta roikkuva sädesuoja tuntuu liian pieneltä suojaamaan säteilyltä kaikissa halutuissa suunnissa. Sängyn reunassa on myös alaspäin roikkuvat sädesuojat, jotka suojaavat alapuolelta tulevalta säteilyltä.

Oikeanlaisella suojien käytöllä ja työtavoilla saadaan sekä potilaan että henkilökunnan annokset pysymään pieninä. Tärkeimmät tavat pienentää annosta ovat säteilytysajan pitäminen niin lyhyenä kuin mahdollista, etäisyyden pitäminen säteilylähteeseen, oikeanlaisten suojien pitäminen oikealla tavalla sekä oikeanlaiset protokollien mukaiset työtavat. Kattoon kiinnitettyä lyijysuojalla suojellaan nimenomaan tutkimusta tekevän lääkärin ylävartaloa. (Miller ym.. 2010.).

Toimenpidettä suorittavan lääkärin silmäannosmittarin kumulatiiviset annokset ja annosnopeuden tutkimuskohtaiset keskiarvot olivat myös huomattavasti suuremmat kuin kattokiinnitteisen sädesuojan suojaamattomalla puolella. Tämä kertoo siitä, ettei katosta roikkuva sädesuoja ollut sijoitettuna säteen eteen vaan hyvin usein suoja oli vinottain säteilylähteen edessä. Useassa tutkimuksessa tutkimusta suorittava lääkäri myös nojasi tutkimusta tehdessään voimakkaasti eteenpäin. Tällöin lattian päälle asetettu suoja ei suojannut tutkimusta suorittavaa lääkäriä siroavalta säteilystä. Röntgenhoitaja altistui myös säteilylle voimakkaasti, nojatessaan eteenpäin tutkimusta tehdessä. Paras työskentelyasento olisi hieman takakenoinen työasento. Mikäli työskentely vaatii eteenpäin kurottelua, tulisi suojan olla oikeassa kohdassa, eli potilaan päällä siten, että se suojaa henkilökuntaa siroavalta säteilystä.

Röntgenhoitajan annos jäi pieneksi jokaisessa tutkimuksessa, johtuen riittävästä etäisyydestä säteilylähteestä. Röntgenhoitaja oli myös usein sijoittuneena tutkimusta suorittavan lääkärin taakse, jolloin suurin osa siroavasta säteilystä jää tutkimusta suorittavaan lääkäriin. Etäisyyden ottaminen säteilylähteestä olikin lähes ainoa keino, miten röntgenhoitaja voi suojautua säteilystä, koska toimenpidettä suorittava lääkäri käytti läpivalaisulaitetta reisivaltimon PTA toimenpiteessä. Tutkimusta suorittava lääkäri valitsi kuvausparametrit ja oli lähinnä se henkilö, joka liikkui katosta roikkuvaa sädesuojaa. Röntgenhoitajat saavat kuitenkin Suomessa koulutuksen säteilysuojeluun ja röntgenhoitajia voidaankin pitää tämän alan asiantuntijoina. Röntgenhoitajat voisivat ottaa enemmän vastuuta oman säteilysuojelun lisäksi myös potilaan säteilysuojelusta esimerkiksi huomauttamalla radiologia katosta roikkuvan sädesuojan paikasta.

Potilaan koko ei ole korkeita annoksia selittävä tekijä. Samanlaisella painoindeksillä olevilla potilailla saatiin sekä isoja että pieniä annoksia. Potilaan koosta riippumatta läpivalaisuaika tulisi pitää niin lyhyenä kuin mahdollista ja kuvattavan alueen rajausta tulee suorittaa tarkasti. Pitämällä potilaan annoksen niin alhaisena kuin mahdollista, suojellaan myös henkilökuntaa. Henkilökunta voi myös vaikuttaa omaan annokseensa poistumalla tutkimushuoneesta kuvauksen ajaksi sekä

ottamalla etäisyyttä säteilylähteeseen aina kun mahdollista. Potilaalle kertynyt DAP ja kumuloitunut annos ovat liitteessä 2.

Toimenpidettä suorittavan lääkärin lyijylasien vasemmasta sangasta saadun kumulatiivisen annoksen keskiarvo oli 34,56 μSv , kun taas kilpirauhasmittarissa annos oli 9,91 μSv . Kattosuoja siis esti 24,65 μSv säteilystä. Annosnopeudessa vastaavat luvut olivat lyijylasien sangassa 196,5 $\mu\text{Sv/h}$ ja kilpirauhasmittarissa 4,26 $\mu\text{Sv/h}$, joten suojan vaikutus on täysin selkeä. Yksittäisessä tutkimuksessa ero oli vielä selkeämpi, radiologin silmäannos oli 268,5 μSv ja kilpirauhasannos 24,68 μSv . Ero oli siis 243,82 μSv . Kilpirauhasmittarin tuloksesta pitäisi pystyä määrittelemään silmäannos, koska tässä mittauksessa Philips DoseAware mittarit oli kiinnitetty lyijysuojan päälle ja näin ollen ne mittasivat pinta-annosta. (<http://www.finlex.fi/data/normit/2745-ST7-1.pdf> Hakupäivä 24.4.2015). Tässä tutkimuksessa toimenpidettä suorittavan lääkärin silmäannosta ei olisi voitu luotettavasti määrittää kilpirauhasuojaan kiinnitetystä mittarista, koska toimenpidettä suorittavan lääkärin lyijylasien vasempaan sankaan kiinnitetty mittari oli lähes jatkuvasti säteilyssä säteilyn ollessa päällä, kun taas kilpirauhasmittari oli suurimman osan ajasta suojattuna katosta roikkuvalla suojalla.

Mikäli tutkimusta suorittava lääkäri ei pysy läpivalaisun aikana kattokiinnitteisen sädesuojan takana altistuu hän säteilylle koko läpivalaisun päällä olo ajan. Toisessa tutkimusmittauksessa tutkimusta suorittava lääkäri kumartui tutkimusta tehdessään pitkälle potilaan päälle, jolloin sekä kilpirauhasen kohdalle kiinnitetty mittari että lyijylasien sankaan kiinnitetty mittari keräsivät annosta. Tutkimuksen suorittavan lääkärin silmäannos oli tässä toisessa mittauksessa 20,06 μGy kun kilpirauhasuojaan kiinnitetyn mittarin antama annos oli 16 μGy . Jos tutkimusta suorittava lääkäri olisi käyttänyt kattoon kiinnitettyä sädesuojaa potilaan päällä itsensä ja sädekeilan välissä, olisi annos tippunut reilusti sekä silmäannoksen että kilpirauhasannoksen osalta.

Lyijylasien sankaan kiinnitetyn mittarin antaman annoksen suuruus verrattuna kilpirauhasmittarin annokseen kertoo, ettei päätä ole suojattu kunnolla. Aivokasvaimien lisäksi ionisoivan säteilyn on katsottu olevan riskinä kaihin syntymiselle. (Picano ym. 2012). Silmiä tulisi suojata lyijylaseilla aina toimenpideradiologiassa. Kattoon kiinnitetyllä sädesuojalla saadaan suojattua silmien lisäksi pää ja aivot. ICRP esitti vuonna silmän mykiön enimmäisannokseksi 1996 150mSv/vuosi mutta vuonna 2011 suositusta oli laskettu niin että silmän mykiön annos ei saa ylittää 50 mSv kalenterivuoden aikana eikä keskiarvoa 20 mSv/vuosi viiden kalenterivuoden aikana. (Pinak 2013).

Kahdessa suurimmassa annoksessa oli myös potilaan saamaa annosta kuvaava DAP suurin. Näissä DAP oli selkeästi suurempi kuin muissa tutkimuksissa. Tämä kertoo siitä että säteilyä on käytetty enemmän kuin muissa tutkimuksissa. Toisessa suuren DAP-lukeman antaneessa tutkimuksessa läpivalaisuaika oli pisin 21.24 min mutta toisessa suuren DAP-lukeman antaneessa tutkimuksessa läpivalaisuaika on lyhempi kuin osassa tutkimuksia ollen 11 min. 23 s. Potilaan kumuloitunut annos oli myös näissä kahdessa tutkimuksessa selkeästi suurempi kuin muissa. Potilaan painoindeksin vaikutusta suureen DAP:iin ei voi tässä tutkimuksessa selvittää, koska suurimman DAP:in antaneesta tutkimuksesta ei ollut saatavilla potilaan painoindeksiä. Toiseksi suurin potilaalle kertynyt DAP oli 3736 cGy.cm² ja tässä tutkimuksessa läpivalaisuaika on 11min. 23 s. Potilaan painoindeksi oli tässä 37,6. Saman kokoisella potilaalla saatiin hieman lyhemmällä säteilytysajalla 9min 14s potilaan DAP-arvoksi 985 cGy.cm². Toisaalta tutkimuksessa, jonka kokonaissäteilytysaika oli 16 min. 11s on potilaan DAP 451 cGy.cm², joten pitkä säteilytysaika ei yksistään selittänyt potilaalle kertyviä annoksia. Otettujen röntgenkuvien lukumäärä ei voi myöskään yksinään olla korkeita DAP arvoja selittävä tekijä. Tutkimuksessa, jossa potilaalle mitattiin DAP annokseksi 3736 cGy.cm², otettiin kaiken kaikkiaan 9 röntgenkuvaa. Tutkimuksessa, jossa potilaan DAP arvoksi mitattiin 5830 cGy.cm², otettiin vain 5 röntgenkuvaa.

Tässä tutkimuksessa tutkimusta suorittavan lääkärin suurin silmäannos yksittäisessä tutkimuksessa oli 268 µSv. Jos tutkimuksen suorittavan lääkärin säteilyaltistusta seurataan vain normaalikäytössä olevasta dosimetrista, joka on kiinnitetty kilpirauhassuojaan tai rinnankorkeudelle, ei saada todellista kuvaa henkilön säteilyaltistuksesta ainakaan tutkimusta suorittavan lääkärin osalta. Rinnankorkeudella tai kilpirauhassuojaan kiinnitettynä oleva dosimetri on tutkimuksen ajan suurimmaksi osaksi suojattuna kattokiinnitteisellä säteilysuojalla. Tällaisissa tutkimuksissa olisikin hyvä seurata myös tutkimusta suorittavan lääkärin silmäannosta, koska näin saadaan selville kokonaisuudessaan tutkimusta suorittavan lääkärin säteilyannos.

Oysissa tehdään vuositasolla 268 reisivaltimon pallolaajennustoimenpidettä. Tässä tutkimuksessa saadut annokset olivat sellaiset, että keskiarvosta laskettuna vuositasolla 20mSv ei ylitä. Lisäksi kun dosimetri kiinnitetään rinnan korkeudelle tai kilpirauhassuojaan ei mahdolliset annoksen ylitykset edes näy, vaan korkeammat silmäannokset jäävät huomioimatta. Pitämällä kattokiinnitteisen säteilysuojan peittämässä koko pään alueen, olisivat sekä vartalon että silmän annokset yhtä suuret.

7.1 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Kävimme tutustumassa reisivaltimoahtauman pallolaajennustoimenpiteeseen Oulun yliopiston sairaalan keskusröntgenissä 23.4.2014. Tutustumiskäynnillä seurasimme toimenpideradiologin ja röntgenhoitajan työskentelyä sekä henkilökunnan säteilysuojien käyttöä toimenpiteen aikana. Lisäksi tutustuimme monitorien näytöillä näkyviin annostietoihin. Tutustumiskäynnin aikana täsmentyi muun muassa tutkimuksen tarkoitus, tutkimusongelmien asettelu sekä tutkimuksen toteutus. Keskusröntgenin henkilökunta suhtautui myönteisesti tutkimuksen ja mittausten tekemiseen.

Annosmittareiden toiminta testattiin useilla koemittauksissa keskusröntgenosastolla ennen mittausten aloittamista. Samalla testattiin mittauspöytäkirjan toimivuus. Mittauspöytäkirjan esitelmä on erityisen tärkeää tutkimuksen onnistumisen ja tutkimuksen luotettavuuden kannalta (Hirsjärvi, 204.)

Tutkimukset suoritettiin samassa toimenpidehuoneessa ja samalla läpivalaisulaitteella, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Annosmittarit sijoitettiin jokaisessa tutkittavassa toimenpiteessä samalla tavalla ja samaan paikkaan, mikä mahdollisti tulosten vertailun. Tutkimuksen tekijä oli aina paikalla Keskusröntgenissä toimenpiteen aikana asettamassa annosmittarit paikalleen ja kirjaamassa mittaustuloksia ja havaintoja, mikä lisää tutkimuksen luotettavuutta.

Annosmittareiden herkkyys pienillä annoksilla ei ole välttämättä riittävä. Tämä voi olla ongelma, jos annosmittari joutuu toimenpiteen aikana huonoon asentoon tai jää jonkin varjoon. Tällöin mitattu säteilyannos on todellista pienempi. Tein muutamia ylimääräisiä mittauksia, jotta sain tarvittavan aineiston kerättyä mahdollisista virheellisistä tuloksista huolimatta. Molempia annosmittarityyppejä on käytetty aiemmissa tutkimuksissa – sekä opinnäytetöissä että kansainvälisissä julkaisuissa. Näiden perusteella on näyttöä, että annosmittarit toimivat tarkoituksen mukaisesti ja niistä saatavia mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina.

Validiteetti ilmaisee, kuinka hyvin tutkimuksessa käytetty tutkimusmenetelmä mittaa sitä ominaisuutta, mitä on tarkoitus mitata. Validiteetti on hyvä silloin, kun mittaukseen ei sisällä systemaattista virhettä. (Vilka 2007, 179.) Mittausten validiteettia parannetaan tutustumalla käytettävien mittareiden toimintaan ennen mittausten aloittamista, kalibroimalla mittarit sekä käyttämällä tarvittaessa korjauskerrointa.

Reliabiliteetti ilmaisee sen, kuinka luotettava ja toistettava käytetty mittaus- ja tutkimusmenetelmä on. Reliabiliteettia voidaan mitata uusintamittauksilla. Tutkimuksen reliabiliteetti on hyvä, kun tutkimuksen mittaustulokset ovat samat tutkijasta riippumatta. (Vilka 2007, 177.) Tutkimuksessa mitattiin säteilyannoksia aina samassa toimenpiteessä (reisivaltimoahtauman pallolaajennus). Toimenpiteet suoritettiin samassa toimenpidehuoneessa ja samaa läpivalaisulaitetta käyttäen. Näiltä osin tutkimuksen reliabiliteetti on hyvä.

Mittareiden luotettavuus varmistettiin useilla koemittauksilla. Dose Aware-mittareiden Base Stationin avulla on helppo seurata, miten mittarit havaitsevat säteilyä ja tämän avulla voi tukea havainnointia. Dose Aware-mittarit on todettu luotettaviksi tämän tyyppiseen käyttöön, mutta niillä ei voida tehdä henkilöannosten seuranta (esim. Henner ja Manninen 2013; Vano 2011). EDD-silmäannosmittarin tulokset vielä varmistivat havaintoja. Mittausten suorittamisessa oli aina mukana kaksi henkilöä.

7.2 Tutkimuksen eettisyys ja tutkimusten tulosten hyödyntäminen

Tutkimuksen vaiheiden tarkka esittely parantaa tutkimuksen luotettavuutta. (Hirsjärvi, Remes & Saajavaara, 2013, 227.) Loppuraportissa tutkimuksen vaiheet on esitelty tarkasti ja havainnollisesti.

Tutkimuksen aikana potilaista ei kirjattu muita tietoja kuin painoindeksi. Potilaita ei voi tunnistaa millään tavalla. Tutkimuksen aikana potilasturvallisuus ei vaarantunut millään tavalla eivätkä esimerkiksi potilaan säteilyannos noussut tutkimukset johdosta. Tutkimuksen aikana mitatukseen osallistunutta henkilökuntaa ei voi tunnistaa.

Tutkimuksen tuloksia voi hyödyntää toimenpideradiologiassa säteilysuojelussa. Tulosten perusteella on kiistatta selvää, että kattoon kiinnitetyn sädesuojan käyttöön olisi syytä kiinnittää enemmän huomiota. Jokainen huoneessa olijä voisi toimillaan vaikuttaa siihen, että sädesuojalla suojataan myös toimenpidettä suorittavan henkilökunnan pää.

Toimenpideradiologeilta olisi hyvä mitata sormiannokset yleisimmissä toimenpideradiologiassa toimenpiteissä. Samalla olisi hyvä miettiä keinoja, miten sormiannoksia voisi saada pienemmiksi. Silmäannoksien mittaamista voisi jatkaa ja mittauksia voisi tehdä myös kardiologisissa

toimenpiteissä siitä syystä, että tutkimusten mukaan etenkin kardiologeilla on suuret silmäannokset.

7.3 Oppimiskokemukset

Opin työtä tehdessä paljon. Tietoperustaa kirjoittaessa säteilylaki ja annosrajat tulivat tutuksi ja selviksi ja niiden tarkoitus konkretisoitui entisestään tutkimuksia lukiessa. Mittauksia tehdessä opin ennen kaikkea säteilysuojelusta ja siitä miten säteilynsuojelu lähtee jokaisesta työntekijästä. Säteilyltä suojautumiseen voi vaikuttaa vain omilla toimillaan ja siksi säteilyn ajatteleminen jokapäiväisessä työssä olisi erityisen tärkeää.

Opinnäytetyötä varten kerätystä aineistosta tehtiin elektroninen posterit European Congress of Radiologyyn ks. KUVIO 5. Esittelin myös tämän opinnäytetyön tekemisen vaiheet noin sadalle erimaalaiselle opiskelijalle Wienissä European Congress of Radiologyssa maaliskuussa 2015.

LÄHTEET

Auvinen, A. 2002. Säteilyepidemiologia. Stuk kirjasarja kirja 4. 45.

Bartal, G., Vano, E., Paulo, G. & Miller, D. L. 2014. Management of patient and staff radiation dose in interventional radiology: Current concepts. *Cardiovasc Intervent Radiol* 37, 289-298.

Chiriotti, S., Ginjaume, M., Vano, E., Sanchez, R., Fernandez, J. M., Duch M. A. & Sempau, J. 2011. *Radiation Measurements* 46, 1266-1270.

Henner, A. & Manninen A-L. 2011. DoseAware system in dose optimization of the staff. Nordic Congress Lifelong Imaging: From Prevention to Patient Centered Care. Maarianhamina. 8.-10.6.2011. Viitattu 3.4.2014,
http://www.nordiccongress.fi/doc/abstraktit/DoseAware_henner_manninen.pdf.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2013. Tutki ja kirjoita. Tammi. 227.

IAEA. 2014. viitattu 9.4.2014

https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/HealthProfessionals/6_OtherClinicalSpecialities/radiation-cataract/.

IAEA. 2014. Radiation and cataract: Staff protection. Viitattu 9.4.2014

https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/HealthProfessionals/6_OtherClinicalSpecialities/radiation-.

Kaakinen, K., Juutinen, P., Hiltunen, K., Henner, A & Manninen, A-L. 2015. Scattered radiation to the staff during the PTA of femoral artery. Viitattu 21.9.2015

http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&doi=10.1594/ecr2015/C-1246.

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

Miller, D. L., Vano, E., Bartal, G., Balter, S., Dixon, R., Padoovani, R., Schueler, B., Cardella, J. F. & Baère, T. 2010. Occupational radiation protection in interventional radiology: A joint guideline of the cardiovascular and interventional radiology society of Europe and society of interventional radiology. *J Vasc Interv Radiol* 21, 607–615.

Mrena, S, Kivelä, T, Kurttio, & Auvinen A 2011. Lens opacities among physicians occupationally exposed to ionizing radiation – a pilot study in Finland. *Scand J Work Environ Health*, 237–243.

Paile, W. 2002. Säteilyn terveysvaikutukset. Teoksessa W. Paile Säteily- ja ydinturvallisuus kirjasarja, 43–45.

Paile, W 2002. ICRP:n näkemys säteilyn riskeistä ja suojeluperiaatteista. Teoksessa W. Paile (toim.) Säteily- ja ydinturvallisuus kirjasarja, 152–160.

Philips 2015. Making the difference where it really matters. Viitattu 21.9.2015
http://www.healthcare.philips.com/pwc_hc/main/shared/Assets/Documents/Solutions/DoseAware_Product_Overview_v7.pdf

Picano, E., Vano, E., Domenici, L., Bottai, M. & Thierry-Chef, I. 2012. Cancer and non-cancer brain and eye effects of chronic low-dose ionizing radiation exposure. *BMC Cancer* 2012 12:157.

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

Sanchez, R., Vano, E., Fernandez, J. M. & Gallego, J. J. 2010. Staff radiation doses in a real-time display inside the angiography room. *Cardiovasc Radiol* 33, 1210–1214.

Seppänen, M. 2013. Kaihi (harmaakaihi, katarakta). Viitattu 7.4.2014,
http://www.terveyskirjasto.fi/terveysportti/tk.koti?p_artikkeli=dlk00921.

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

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

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

Säteilytoiminta ja säteilymittaukset. 2008. ST-ohje 1.9. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Unfors, 2014, Unfors EDD-30, Radiation Protection in Fluoroscopy. Viitattu 7.4.2014, http://www.nor-dax.no/documents/Leaflet_EDD_5101021-C.pdf.

Vano, E., Fernandez, J. M. & Sanchez, R. 2011. Occupational dosimetry in real time. Benefits for interventional radiology. Radiation Measurements 46, 1262–1265.

LIITTEET

LIITE 1

Mittauspöytäkirja

Oulun yliopistollinen sairaala, Keskusröntgen
Reisivaltimoahtauman pallolaajennus

Toimenpiteen tiedot

mittauksen nro: _____ päivämäärä: _____

kirjaaja: _____

henkikunnan määrä (radiologi/röntgenhoitaja): _____

EDD-annostittareiden annostiedot

Mittarin paikka: Annostittarin anturiosa kiinnitetään teipillä radiologin suoja-alasien oikeaan sankaan.

Silmäannos, radiologi		
säteilyannos (yksikkö)	annosnopeuden keskiarvo (yksikkö)	säteilyaltistus-aika (min)

DoseAware-annostittareiden annostiedot

Mittareiden paikat:

- Mittari 1 (sininen) kiinnitetään radiologin kilpirauhassuojaan
- Mittari 2 (punainen) kiinnitetään röntgenhoitajan kilpirauhassuojaan
- Mittari 3 (keltainen) kiinnitetään kattokiinnitteisen säteily-suojan suojatulle puolelle
- Mittari 4 (vihreä) kiinnitetään kattokiinnitteisen säteily-suojan suojaamattomalle puolelle

	Mittari 1	Mittari 2	Mittari 3	Mittari 4
Kumulatiivinen annos				

Läpivalaisulaitteen annostiedot

Läpivalaisuaika (min)	DAP (cGy \cdot cm ²)	Kumulatiivinen annos (mGy)	Kuvien lukumäärä

Kuvat

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Havainnot

Taulukot mittaustuloksista

Kumuloituneet annokset / tutkimus μSv

POTILAAN PAINOINDEKSI	RADIOLOGI kilpirauhasmittari	HOITAJA	SUOJATTU	SUOJAAMATON	RADIOLOGI silämättari	SÄTEILYALTISTUSAIKA
32,5	0	0	0	0,1864	0,057	2 min. 27 s.
23,9	16	0,3584	0	39,603	20,06	15 min. 54 s.
31,1	5,222	0,512	0,0512	2,9436	0,18	6 min. 51 s.
24,5	3,482	0,1536	0,0768	12,083	10,97	5 min. 29 s.
-	62,4896	6,5792	0,179	55,68	112,5	21min. 45 s.
17,7	1,7408	0	0,0256	11,75	0,025	14 min. 22s.
24,9	1,024	0	0	22,8608	0,567	16 min. 1 s.
-	0,384	0	0	49,92	0,047	4 min. 31 s.
37,6	2,688	0,0256	0	31,9628	1,594	9 min. 14 s.
22,6	0,8192	0,0256	1,7408	2,842	0,075	6 min.
37,6	24,6784	3,0976	5,043	113,459	268,5	11 min. 23 s.
23,3	0,4352	0,0256	0	87,706	0,152	7 min. 22 s.
	9,91	0,90	0,59	35,92	34,56	10min. 34 s.

Annosnopeuden keskiarvot/tutkimus $\mu\text{Sv/h}$

POTILAAN PAINOINDEKSI	RADIOLOGI kilpirauhasmittari	HOITAJA	SUOJATTU	SUOJAAMATON	RADIOLOGI silämättari	SÄTEILYALTISTUSAIKA
32,5	0	0	0	0,4864	39,6	2 min. 27 s.
23,9	8	0,1792	0	19,8016	183,6	15 min. 54 s.
31,1	2,6112	0,0512	0,0512	1,6768	61,2	6 min. 51 s.
24,5	3,4816	0,0768	0,0768	12,0832	129,6	5 min. 29 s.
-	20,82987	2,193067	0,1792	18,56	806,4	21min. 45 s.
17,7	0,580267	0	0,0256	11,7504	46,8	14 min. 22s.
24,9	0,341333	0	0	82,858667	72	16 min. 1 s.
-	0,384	0	0	49,92	61,2	4 min. 31 s.
37,6	1,344	0,0256	18,9824	15,8464	79,2	9 min. 14 s.
22,6	0,8192	0,0256	1,3312	1,740800026	61,2	6 min.
37,6	12,3392	1,058133	0,1792	56,72960085	766,8	11 min. 23 s.
23,3	0,2176	0,0256	0	48,8528	50,4	7 min. 22 s.

Potilaan DAP ja kumuloitunut annos / tutkimus

DAP (cGy.cm ²)	Kumulatiivinen annos (mGy)	Kuvien lukumäärä
141	9	3
956	104	7
380	14	3
950	111	9
5830	407	5
232	9	5
451	38	9
386	22	6
985	71	6
255	16	4
3736	237	9
603	30	9