

Hautamäki Hanna & Tikkakoski Elina

SIRONNUT SÄTEILY ELÄINTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA

SIRONNUT SÄTEILY ELÄINTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA

Hanna Hautamäki
Elina Tikkakoski
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma

Tekijät: Hanna Hautamäki ja Elina Tikkakoski

Opinnäytetyön nimi: Sironnut säteily eläinten röntgentutkimuksissa

Työn ohjaajat: Anja Henner ja Anneli Holmström

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2015

Sivumäärä: 46 + 9 liitesivua

Eläinten röntgentutkimukset ja niissä käytettävät röntgenlaitteet ovat lisääntyneet viime vuosien aikana. Opinnäytetyössämme mittasimme sironnutta säteilyä eläinten röntgentutkimuksissa DoseAware-mittausjärjestelmän avulla. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisia sironneen säteilyn annoksia henkilökunta ja eläinten kiinnipitäjät saavat tutkimuksen aikana. Tavoitteena oli, että tulosten pohjalta eläinklinikoilla voidaan muuttaa työskentelytapoja aiempaa säteilyturvallisemmaksi eli kehitetään eläinröntgentoiminnan turvallisuuskulttuuria. Oppimistavoitteenamme kehitimme säteilysuojeluosaamistamme erityisesti sironneen säteilyn osalta.

Mittaukset tehtiin Animagi Oulun eläin- ja hevosklinikoilla sekä koirien että hevosten yleisimmissä röntgentutkimuksissa, jotta saimme tietoa sironneesta säteilystä erilaisilla kuvausarvoilla ja erilaisista kohteista. DoseAwaren avulla saimme tiedon säteilyn syväannoksista eri mittauspisteissä. Koirien tutkimuksissa kiinnipitäjän mittariin kertyi eniten annosta. Hevosten tutkimuksissa kuvaajan saama kokonaisannos kaikissa yhdeksässätoista kuvauksessa oli 3,61 μSv ja kasetin kiinnipitäjän 3,05 μSv . Koirien tutkimuksissa kiinnipitäjän saama kokonaisannos kaikissa neljässätoista kuvauksessa oli 9,05 μSv . Hevosten tutkimuksissa sekä kuvattavan kohteen paksuus että kohteen ja mittareiden sijainti vaihtelivat huomattavasti enemmän kuin koirien tutkimuksissa. Etäisyyttä kasvattamalla, kuvausarvoja optimoinnilla ja säteilysuojia käyttämällä saataisiin kuvaajan ja kiinnipitäjän säteilyannosta pienennettyä.

Avainsanat: Sironnut säteily, eläinten röntgentutkimukset, DoseAware, kulmariippuvuus

ABSTRACT

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

Authors: Hanna Hautamäki ja Elina Tikkakoski

Title of thesis: Scattered radiation in veterinary radiography

Supervisors: Anja Henner and Anneli Holmström

Term and year when the thesis was submitted: autumn 2015 Number of pages: 46 + 9 appendices

Past last decade there has been increment of veterinary radiological examinations and equipments. In our thesis we measured scattered radiation in animal radiological studies with DoseAware-system. The purpose of our study was to examine doses that staff and pet owners received during the procedure. The aim of our examination was to improve safety culture in veterinary radiology by changing work habits based on our study results. Our learning target was to improve our knowledge of radiation safety, especially in the field of scattered radiation. We orientated ourselves to the study by reading literature and previous reports of scattered radiation.

Measurements were made in Animagi Oulu animal- and horse clinics. The most common radiological examinations of dogs and horses were measured. We measured the amount of scattered radiation for different kind of imaging values and targets. With DoseAware-system we managed to get the information of personal dose equivalents Hp (10) in different measurement points.

Measurements were made on 14 dog x-rays and 11 horse x-rays. The results show that dog holders got highest dose of radiation. Dog holder's cumulative dose was 9.05 mSv. In examinations of horses grapher's cumulative dose was 3.61 mSv and the cassette holders cumulative dose was 3.05 mSv. In horses radiological examinations target, location and imaging values varied considerably more than dog examinations. Radiation doses could be reduced by increasing the imaging distance, optimizing examination values and using radiation shields properly.

Keywords: Scattered radiation, DoseAware, angle dependency, veterinary radiography

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SÄTEILYNKÄYTTÖ ELÄINTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA	8
2.1	Röntgensäteily ja sen siroaminen	8
2.2	Säteilyn havaitsemiseen käytettävät mittarit	10
2.3	Henkilökunnan annostarkkailu	12
2.4	Säteilyn haittavaikutukset	13
2.5	Eläinten röntgentutkimusten erityispiirteet klinikkaolosuhteissa	14
2.5.1	Eläinten röntgentutkimukset	14
2.5.2	Säteilynkäyttöä eläinradiologiassa ohjaava lainsäädäntö	16
3	TUTKIMUSONGELMAT	19
4	TUTKIMUSMETODOLOGIA	20
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	21
5.1	Sironneen säteilyn mittaaminen DoseAware-järjestelmällä	21
5.2	Sironneen säteilyn mittaaminen koirien röntgenkuvauksissa	23
5.3	Sironneen säteilyn mittaaminen hevosten röntgenkuvauksissa	26
6	TULOKSET	33
6.1	Sironneen säteilyn annokset eri puolilla kuvaushuonetta	33
6.2	Kuvattavan kohteen vaikutus siroavan säteilyn annokseen	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	35
8	POHDINTA	37
8.1	Sironneen säteilyn annokset eri puolilla kuvaushuonetta	37
8.2	Kuvattavan kohteen vaikutus siroavan säteilyn annokseen	38
8.3	Tutkimuksen validiteetti ja reliabiliteetti	40
8.4	Tutkimuksen eettisyys	41
8.5	Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet	42
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	499

1 JOHDANTO

Eläinten röntgenkuvaukset sekä niihin käytettävät laitteet ovat lisääntyneet 2000-luvun aikana. Vuonna 2013 röntgenlaitteita eläinradiologiassa oli käytössä yhteensä 338 kappaletta ja annostarkkailussa oli 636 työntekijää. Röntgenlaitteista 260 oli tavanomaisia röntgenlaitteita ja näistä valtaosa oli digitaalisia. (Pastila 2013, 40, 40-43.) Uusien laitteiden ja tekniikoiden myötä eläimille voidaan tehdä samoja tutkimuksia kuin ihmisillekin jopa isotooppitutkimuksia (Säteilyturvakeskus 2011, viitattu 24.9.2014). Eläinten lisääntyneiden kuvausten vuoksi valitsimme aiheeksemme sironneen säteilyn annosten mittaamisen eläinten röntgentutkimuksissa. Mittaukset tutkimuksemme tehtiin kahdella eläinlääkäriasemalla DoseAware-mittausjärjestelmää käyttäen, jotta saimme mittauksia sekä hevosten että koirien röntgentutkimuksista.

DoseAware-järjestelmää on käytetty aikaisemmin kolmessa Oulun ammattikorkeakoulun radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelman opinnäytetyössä. Nämä ovat Niina Turusen opinnäytetyö ”Säteilyn sironna O-kaariavusteisissa leikkauksissa”, Elisa Vähäkankaan ja Niina Myllylahden opinnäytetyö ”Henkilökunnan säteilyaltistus C-kaariavusteisissa traumakirurgisissa leikkauksissa” sekä Minna Väänäsen opinnäytetyö ”Kasvojen alueen säteilyannokset ja säteilyn sironna kartiokeilatiekonetomografiatutkimuksissa”. Jenni Teppo on esittänyt opinnäytetyötämme koskevan jatkotutkimushaasteen vuonna 2014 julkaisemassaan opinnäytetyössä ”Säteilyturvallisuus eläinröntgentoiminnassa: Säteilyn käytön turvallisuusopas lin eläinlääkäriaseman henkilökunnalle”. Hänen jatkotutkimushaasteensa on millaisia säteilyannoksia eläinröntgentutkimuksista aiheutuu henkilökunnalle ja eläimen kiinnipitäjälle. Tutkimuksen tarkoituksena on havainnollistaa sironneen säteilyn määrää eläinten röntgentutkimuksissa valvonta-alueella. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää eläinradiologiassa työntekijöiden ja eläinten omistajien säteilysuojelun parantamisessa. Tavoitteena on, että eläinklinikoilla muutetaan työskentelytapoja säteilyturvallisemmaksi eli kehitetään eläinröntgentoiminnan turvallisuuskulttuuria. Lisäksi saamme itsellemme konkreettista näyttöä säteilyn sironnasta teoriaopintojen tueksi.

Säteilyn haittavaikutuksille herkimpiä ovat jakautuvat solut, joita on mm. ihossa, limakalvoissa ja luuytimessä (Paile 2002b, 50, 59). Säteilyn haittavaikutukset jaetaan kahteen ryhmään, deterministisiin ja stokastisiin. Deterministiset haittavaikutukset aiheutuvat välittömästä altistuksesta vaa-

tien suuren kerta-annoksen säteilyä. Deterministisille haittavaikutuksille on kynnsarvo, jonka ylityessä näkyviä muutoksia kudoksessa tapahtuu. Stokastisille haittavaikutuksille ei ole kynnsarvoa, vaan säteilystä aiheutuvat haitat syntyvät sitä todennäköisimmin, mitä enemmän säteilylle altistutaan ajan kuluessa. DNA vaurioita voi syntyä hyvinkin pienistä säteilyannoksista ja se on aina yksilöllistä. (Paile 2002a, 44–45.) Eläinröntgentutkimuksissa suurimmat stokastiset haitat aiheutuvat silmän mykiölle ja käsien iholle. Jos työntekijä tai eläimen/kuvalevyn kiinnipitäjä on raskaana, ovat sikiövauriot myös mahdollisia (Paile 2002c, 132- 138).

2 SÄTEILYNKÄYTTÖ ELÄINTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA

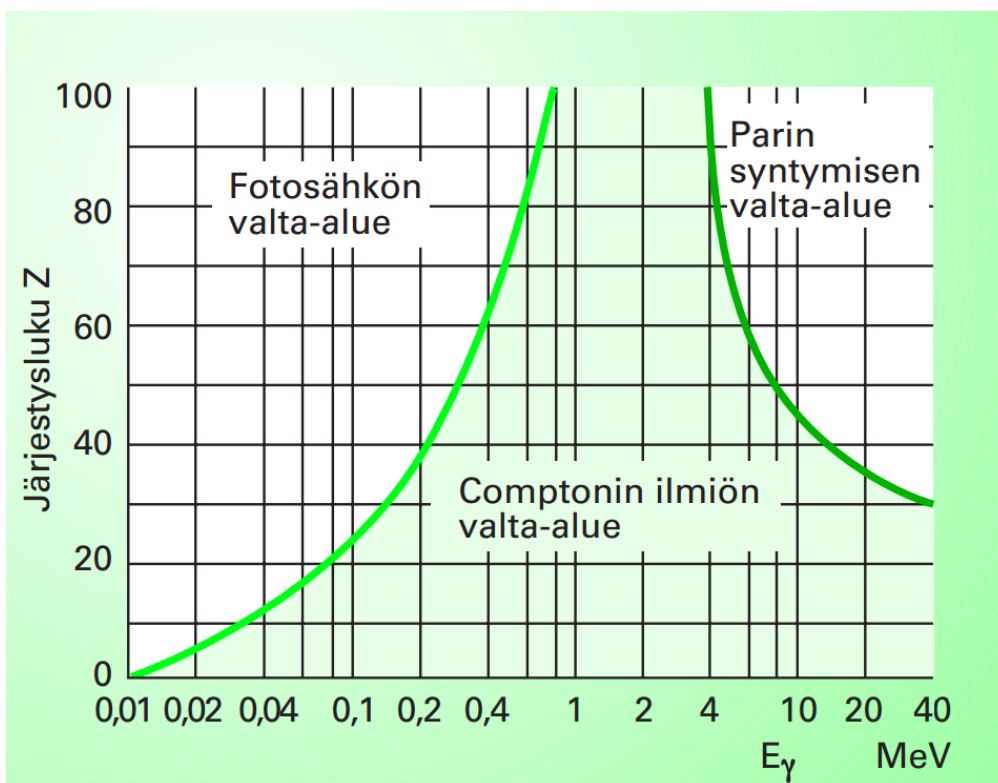
Eläinten röntgenkuvaukset sekä niihin käytettävät röntgenlaitteet ovat lisääntyneet 2000-luvun aikana. Vuonna 2013 röntgenlaitteita eläinradiologiassa oli käytössä yhteensä 338 kappaletta, joista 260 oli tavanomaisia röntgenlaitteita ja näistä valtaosa oli digitaalisia. (Pastila 2013, 40.) Uusien laitteiden ja tekniikoiden myötä eläimille voidaan tehdä samoja tutkimuksia kuin ihmisillekin, jopa isotooppitutkimuksia (Säteilyturvakeskus 2011, viitattu 24.9.2014). Mille tahansa eläimelle voidaan tehdä röntgentutkimuksia, mutta perehdymme työssämme hevosten ja koirien röntgentutkimuksiin.

Oulun seudun ammattikorkeakoulussa on tehty vuonna 2012 tutkimus Säteilynkäytön turvallisuuskulttuurista pieneläinröntgentoiminnassa. Heidi Heikkinen ja Sonja Sirviö tekivät tutkimuksen havainnoimalla ja haastatteleamalla, mutta havainnoinnissa ei käytetty apuna mittauksia. Tutkimuksessa kävi ilmi, että työntekijät kokivat kiireen ja suurten potilasmäärien vaikeuttavan työturvallisuuden noudattamista. Kiire heikensi työn tarkkuutta ja vaikutti tutkimuksen toteutukseen ja henkilökunnan säteilyaltistuksen seurantaan. Henkilökunta kuitenkin tiedosti keinot, joilla säteilysuojelua voidaan parantaa. (Heikkinen & Sirviö 2012, viitattu 16.2.2015.) Aihettamme koskeva jatkotutkimushaaste on esitetty Sari Tenhon vuonna 2009 tekemässä opinnäytetyössä ”Kiinnipitäjän säteilysuojelu ja ohjeistus pieneläimen keuhkojen natiiviröntgentutkimuksessa”. Tenho esittää työssään, että kiinnipitäjän säteilysuojelua pieneläinlinikoilla pitäisi kehittää ja tutkia. Jatkotutkimushaasteen on esittänyt myös Jenni Teppo vuonna 2014 julkaisemassaan opinnäytetyössä ”Säteilyturvallisuus eläinröntgentoiminnassa: Säteilyn käytön turvallisuusopas lin eläinlääkäriaseman henkilökunnalle”. Hänen jatkotutkimushaasteensa on millaisia säteilyannoksia eläinröntgentutkimuksista aiheutuu henkilökunnalle ja eläimen kiinnipitäjälle.

2.1 Röntgensäteily ja sen siroaminen

Röntgensäteily on atomin elektroniverhosta tai vapaan elektronin liiketilan muutoksista peräisin olevaa suurenergistä sähkömagneettista säteilyä. Röntgensäteily tuotetaan röntgenputkessa, jossa elektroneita kiihdytetään voimakkaassa sähkökentässä. Elektronit törmäytetään anodiin, jossa erilaiset vuorovaikutukset saavat aikaan karakteristista- ja jarrutussäteilyä. (Sandberg & Palmtemaa 2002, 15–16.)

Röntgensäteily on ionisoivaa säteilyä, joka voi solujen kanssa reagoidessaan aiheuttaa DNA-vaurioita. Vaurion syntymiseksi vaaditaan energianluovutus fotonilta. (Mustonen & Salo 2002, 29, 31.) Kun säteily törmää aineeseen, tapahtuu vuorovaikutus, joka aineen järjestysluvusta sekä säteilyn energiasta riippuen on fotosähköinen ilmiö, Comptonin ilmiö tai parinmuodostus. Kuviossa 1 kuvataan näiden tekijöiden vaikutusta tapahtuvaan vuorovaikutukseen. Natiiviröntgentutkimuksissa käytettävällä energialla valtaosa vuorovaikutuksista tapahtuu Comptonin sironnalla. Fotoni siroaa sellaisesta elektronista, jonka sidosenergia on paljon pienempi kuin fotonin, menettäen osan energiastaan elektronin liike-energiaksi. (Sandberg & Paltemaa 2002, 44–47.) Sironneella säteilyllä tarkoitetaan kuvattavaan kohteeseen tai muuhun pintaan osunutta säteilyä, joka on poikennut alkuperäisestä suunnastaan tai menettänyt osan energiastaan (Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu 2011, 23).



KUVIO 1. Säteilyn vuorovaikutus aineessa (Sandberg & Paltemaa 2002, 46)

Säteilyn aiheuttamiin vaurioihin vaikuttavat säteilyn laatu, energia sekä altistusaika. Sironneen säteilyn energia pienenee jatkuvasti, kun se etenee ilmassa. Samalla sen läpäisevyys pienenee, joten se aiheuttaa enemmän ionisaatioita eli enemmän vaurioita kudokselle. (Mustonen & Salo. 2002,

29.) Säteilyn energian yksikkönä käytetään yleensä elektronivoltia, eV, joka kuvaa tyhjiössä kiihtyvän elektronin liike-energian muutosta yhden voltin potentiaalieron yli. Yksi elektronivolti on $1,6022 \cdot 10^{-19}$ joulea. (Sandberg & Paltemaa 2002, 16–17.)

2.2 Säteilyn havaitsemiseen käytettävät mittarit

Säteilyn mittaamiseen käytetään useita erilaisia mittaussuureita, joissa mittaaminen perustuu säteilyn ja väliaineen vuorovaikutukseen. Väliaine voi olla joko kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta, jolle säteily menettää energiaansa ionisoitumisessa ja virittymisessä. Havainnot aineen muutosista rekisteröidään muodossa, jota voidaan käyttää tiedonsaantiin säteilystä. (Klemola 2002, 116.) ”Säteilymittarin on sovellettava mittauksen kohteena olevan säteilyn mittaamiseen niillä mitattavan suuren arvoilla ja säteilyn lajeilla ja energioilla, joita säteilyn käyttöpaikalla tai sen ympäristössä esiintyy” (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 6).

Kaasutäytteisessä ilmaisimessa säteilyn mittaaminen perustuu kahden elektrodin välillä olevan sähkökentän ja säteilyn reaktioon, jossa syntyvät ioniparit kerätään elektrodeille. Kaasutäytteisiä ilmaisimia ovat ionisaatiokammio, verrannollisuuslaskuri ja geigerputki, joiden toiminta eroaa sähkökentän voimakkuuden mukaan siten, että korkeammalle annosnopeudelle tarvitaan korkeamman jännitteen omaava mittari. Ionisaatiokammiossa mitataan syntyvien ioniparien lukumäärä virran avulla, jolloin saadaan määritettyä säteilytys tai absorboitunut annos. Yksittäisiä virtapulsseja tarkasteltaessa pulssi-ionisaatiokammioilla voidaan määrittää hiukkasten energia tai lähteen aktiivisuus. Ionisaatiokammioita voidaan käyttää röntgen- ja gammasäteilyn mittaamiseen, joihin se soveltuu hyvin. Kannettavista säteilysuojelumittareista yleisin on Geigerputki. Geigerputkessa keräysjännite on kaasutäytteisistä ilmaisimista suurin. Säteilyn ominaisuuksista riippumatta ilmaisimen antama pulssi on samansuuruinen, joten mittari ei sovellu energian määrittämiseen. Putkessa tapahtuu paljon viritusten purkauksia, jotka aiheuttavat elektronivyöryjä. Elektronivyöryt aiheuttavat muutoksia sähkökenttään, jotka mittarilla havaitaan. (Klemola 2002, 116–122.)

Kun ilmaisimen keräysjännitettä nostetaan kaasutäytteisessä ilmaisimessa, ionit ja elektronit alkavat kaasumolekyyleihin törmätessään muodostaa ionisaatiota. Ionisaatio lisääntyy edelleen, kun syntyneet elektronit kiihtyvät sähkökentässä, jolloin muodostuu elektronivyöry. Elektrodille kertyy varaus, joka on verrannollisesti moninkertainen alkuperäiseen ioniparien lukumäärään ver-

rattuna. Mittaustavasta käytetään nimeä verrannollisuuslaskuri ja mittarilla on hyvä energia- ja aikaerotuskyky. Erilaisia täytekaasuja käytettäessä mittari soveltuu pintakontaminaation mittaamiseen, alfa- ja beetasäteilyn sekä neutronien mittaamiseen. (Klemola 2002, 118–120.)

Tuikeilmaisimen toiminta perustuu tuikeaineeseen ja valomonistinputkeen. Tuikeaineena toimii kaasu, neste tai kiinteä aine, jonka valitseminen vaikuttaa havaittavaan säteilyyn. Useampia tuikeaineita voidaan yhdistää yhteen ilmaisimeen, jolloin voidaan erottaa ja mitata eri säteilylajeja yhtä aikaa. Säteilyenergian absorptio virittää tuikeaineen atomin energiatilalle, jonka purkautuminen havaitaan näkyvänä valona tai ultraviolettifotoneina. Syntyneet fotonit muutetaan mitattavaan muotoon valomonistinputken avulla. Valomonistinputki voidaan korvata myös fotodiodilla tai hybridivalomonistinputkella. (Klemola 2002, 122–125.)

Ionisaatiokammiota herkempi ja erinomaisen energian erotuskyvyn omaa puolijohdeilmaisim, jota käytetään pääasiallisesti spektrometrisissä mittauksissa. Puolijohdeilmaisim toimii samalla periaatteella kuin ionisaatiokammio, mutta kiinteään aineeseen muodostuu elektroni-aukko-pareja ionien sijasta. Puolijohdeilmaisimet valmistetaan piistä ja germaniumista sekä yhdistelmistä. (Klemola 2002, 126–130.)

Valokuvausfilmiä, joka koostuu gelatiinimatriisiin jakautuneista hopeabromidi- ja hopeajodidikeiteistä, voidaan käyttää säteilyilmaisimena. Kun filmiä käytetään henkilöannosmittarissa, voidaan säteilyn laatu saada selville erilaisten metallisuodattimien avulla. Filmin korvaajaksi on kehitetty Direct ion storage- eli DIS-dosimetrit. DIS-dosimetrin luenta perustuu muistiin tallennetun sähkövarauksen muutoksiin. Dosimetrissa irtoaa ionisoivan säteilyn vaikutuksesta elektroneja, jotka reagoivat ilman hapen kanssa muodostaen ioneja, jotka muuttavat sähkövarausta puolijohteessa. (Klemola 2002,130–132.)

Termoiloisteilmaisimen eli TL-dosimetrin toiminta perustuu sen sisältämien kiteiden reaktioon. Säteillettäessä ilmaisinta kiteet absorboivat osan energiasta metastabiileihin energiatiloihin, jotka luetaan kuumennettamisen avulla. Kuumennettaessa ilmaisinta energiaa vapautuu valona, joka voidaan havaita valomonistinputkella. Absorboitunut annos on verrannollinen valon intensiteettiin. (Klemola 2002,132–133.)

2.3 Henkilökunnan annostarkkailu

Eläinröntgentutkimuksissa työskentelevä säteilytyöntekijä, jonka efektiivinen annos voi olla vuodessa 6 mSv tai yli, kun huomioidaan mahdollisuus poikkeaviin säteilyaltistuksiin, kuuluu säteilytyöluokkaan A. Säteilytyöluokkaan A kuuluvat myös ne työntekijät joiden silmän mykiön, ihon, käsien tai jalkojen ekvivalenttiannos ylittää kolme kymmenesosaa niille säteilyasetuksessa säädetystä annosrajoista. Säteilytyöluokkaan A kuuluville täytyy järjestää annostarkkailu sekä säännölliset terveystarkastukset ST- ohjeen 7.5 (2014) mukaisesti. Muut työntekijät kuuluvat säteilytyöluokkaan B ja heille suositellaan järjestettävän annostarkkailu ryhmädosimetrin avulla. (Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa 2012, 4.)

Säteilytyöntekijöille on määrätty efektiivisen annoksen rajaksi vuodessa 50 mSv ja viiden vuoden keskiarvo ei saisi ylittää arvoa 20 mSv vuodessa. Silmän mykiön ekvivalenttiannos on säteilytyöntekijöillä 150 mSv, ihon 500 mSv sekä käsien ja jalkojen 500mSv vuodessa. Uuden Euratomin direktiivin (2013/59) mukaan silmän linssin ekvivalenttiannos vuodessa on 20 mSv tai viiden vuoden aikana 100 mSv. Annos ei kuitenkaan saa ylittää arvoa 50 mSv vuodessa. Väestölle efektiivisen annoksen rajaksi yhdelle vuodelle on asetettu 1mSv. Lisäksi ekvivalenttiannos ei saa silmän mykiössä ylittää 15 mSv ja iholla 50 mSv vuodessa. (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2014, 5.) Ulkoiselle fotonisäteilylle kirjauskynnys yhden kuukauden mittausjaksolla on 0,10 mSv ja kolmen kuukauden mittausjaksolla 0,30 mSv (Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen 2014, 4).

Ekvivalenttiannos kuvaa säteilyn suoria haittavaikutuksia kudoksissa ja elimissä (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2012, 4). Ekvivalenttiannos saadaan kertomalla säteilyn painotuskerroin w_R kudoksen tai elimen keskimääräisellä absorboituneella annoksella $D_{T,R}$. Efektiivisellä annoksella tarkoitetaan arvioita säteilyn ihmiselle aiheuttamien satunnaisten haittavaikutusten riskistä. Efektiivinen annos saadaan laskettua, kun kerrotaan ekvivalenttiannos H_T kudosten painotuskertoimilla w_T . Sekä efektiivisen- että ekvivalentin annoksen yksikkö on Sievert, Sv. (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2014, 8.)

Eläinlääketieteessä oli vuonna 2013 636 työntekijää annostarkkailussa. Näiden työntekijöiden kokonaisannokset, eli syväannosten summat, olivat samana vuonna 0,12 Sv. Vastaavat annokset

olivat terveydenhuollossa röntgensäteilylle altistuvilla työntekijöillä 1,24 Sv. Suurin annos eläinlääkäreillä oli 9,7 mSv ja eläintenhoitajilla ja avustajilla 5,9 mSv, kun taas vastaava arvo röntgenhoitajilla oli 2,6 mSv. Korkeimman annoksen sai toimenpideradiologi, jonka annos oli 45,1 mSv. (Pastila 2013, 43.) Taulukossa 1 on esitetty radiologien, röntgenhoitajien, eläinlääkäreiden sekä eläintenhoitajien ja avustajien suurimmat syväannostiedot vuosilta 2009–2013.

TAULUKKO 1 Eri työntekijäryhmien suurimmat syväannostiedot vuosilta 2009–2013 (Rantanen 2010, 38; Rantanen 2011, 42; Rantanen 2012, 43; Rantanen 2013, 37; Pastila 2014, 44)

Työntekijäryhmä	2009	2010	2011	2012	2013
	Suurin annos (mSv)				
Radiologit	14,9	13,7	19,7	20,5	21,9
Röntgenhoitajat (röntgensäteily)	4,4	3,1	2,4	2,8	2,6
Eläinlääkärit	8,7	6,1	9,5	9,0	9,7
Eläintenhoitajat ja avustajat	12,4	9,9	8,6	5,6	5,9

2.4 Säteilyn haittavaikutukset

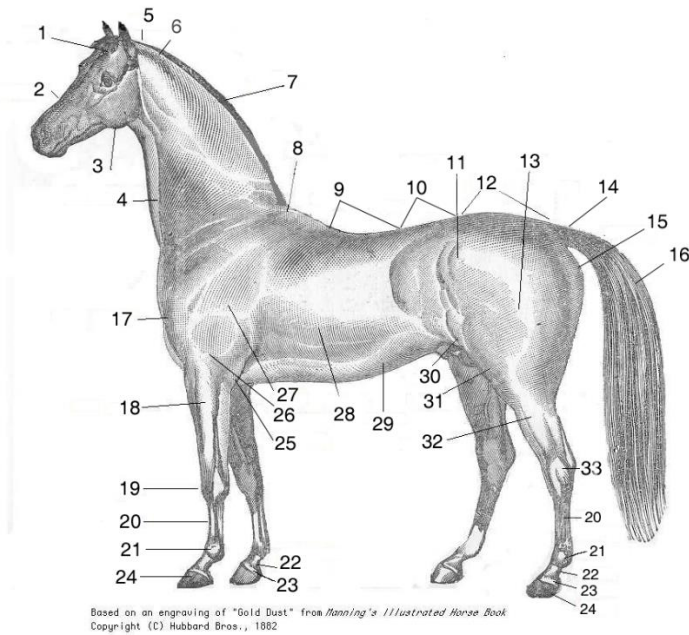
Säteilyn haittavaikutukset jaetaan kahteen ryhmään, deterministisiin ja stokastisiin. Deterministiset haittavaikutukset aiheutuvat välittömästi altistuksesta, vaatien suuren kerta-annoksen säteilyä. Tällaisia säteilyannoksia aiheutuu esimerkiksi sädehoidossa tai vakavissa onnettomuuksissa. Deterministisille haittavaikutuksille on kynnsarvo, jonka ylittyessä näkyviä muutoksia kudoksessa tapahtuu. Stokastisille haittavaikutuksille sen sijaan ei ole kynnsarvoa, vaan säteilystä aiheutuvat haitat syntyvät sitä todennäköisimmin, mitä enemmän säteilylle altistutaan ajan kuluessa. DNA vaurioita voi syntyä hyvinkin pienistä säteilyannoksista ja ne ovat aina yksilöllisiä. (Paile 2002a, 44–45.) Kokokehon säteilyaltistuksen jäädessä alle yhden grayn vuorokaudessa, säteily sairautta ei synny (Paile 2002b, 51). Eläinröntgentutkimuksissa suurimmat stokastiset haitat aiheutuvat silmän mykiölle ja käsien iholle ellei käytössä ole suojasilmälaseja ja lyijykumikäsineitä (Säteilyturvakeskus 2015, viitattu 14.10.2015). Jos työntekijä tai eläimen/kuvalevyn kiinnipitäjä on raskaana, ovat sikiövauriot myös mahdollisia (Paile 2002c, 132-138).

Säteilyn haittavaikutuksille herkimpiä ovat jakautuvat solut, joita on muun muassa ihossa, limakalvoissa, luuytimessä ja sikiössä. Silmän mykiön reunassa sijaitsevat solut jakautuvat koko elämän ajan, jolloin ne ovat hyvin herkkiä säteilylle. Silmän mykiön samentumaa saattaa aiheuttaa säteilyannos, joka ylittää 2 Grayn (Gy) kynnysarvon ja samentuma syntyy vasta pitkän ajan jälkeen altistumisesta. (Paile 2002b, 50, 59.) On epätodennäköistä, että ihossa tapahtuu säteilyn aiheuttamia reaktioita, jos annos on pienempi kuin 2 Gy ihon pinnalla (IAEA 2013, viitattu 24.9.2014). Näiden kynnysarvojen yksikkö on Gray, Gy, joka on absorboituneen annoksen yksikkö, josta voidaan käyttää myös yksikköä Joulea/kilogramma (Marttila 2002, 74). Sikiövaurion syntyyn vaikuttaa oleellisesti raskauden vaihe, säteilyannos ja annosnopeus. Säteilyn suora vaikutus ilmenee sikiössä aivojen toimintaan vaikuttavana, jos sikiöannos ylittää 0,1 Sievertiä (Sv), ja henkisen kehityksen vakavana jälkeenjääneisyytenä, jos annos ylittää 0,5 Sv. (Säteilyturvakeskus 2009, viitattu 24.9.2014.)

2.5 Eläinten röntgentutkimusten erityispiirteet klinikkaolosuhteissa

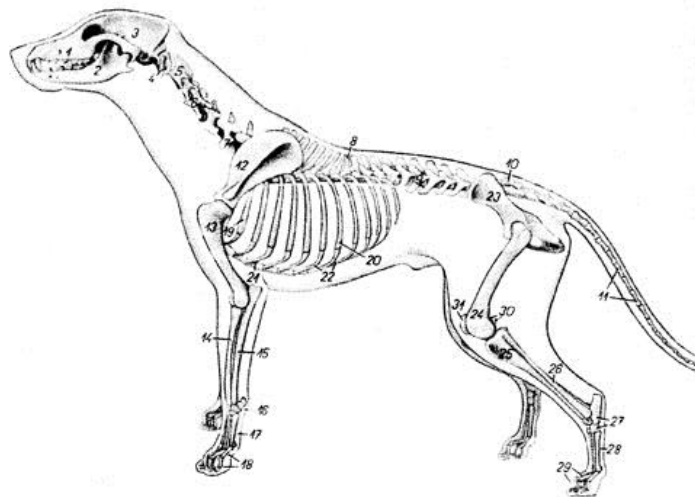
2.5.1 Eläinten röntgentutkimukset

Hevosilla yleisimmät röntgentutkimukset ovat osto- ja vakuutustarkastusten yhteydessä tehtävät raajojen kuvaukset sekä tarvittaessa ontumatutkimuksen yhteydessä tehtävät kuvaukset. Myös selkärankaa kuvataan yleensä omistajan mieltymyksen ja eläinlääkärin osoittaman tarpeellisuuden mukaan. (Animagi 2014c, viitattu 24.9.2014.) Kuviossa 2 on esitetty hevosen anatomia. Kuvauskohteita mittauksissamme olivat etupolvi (19), vuohinen (21) ja kinner (33).



KUVIO 2. Hevosen anatomia (Hubbard 1882, viitattu 19.2.2015)

Koirille Kennelliiton määrääminä virallisina tutkimuksina suoritetaan lonkka- ja kyynärnivelten röntgenkuvauksia. Myös selkärankaa kuvataan muutosten havaitsemiseksi. Lausunnot toimitetaan Kennelliittoon ja niitä hyödynnetään koirien jalostustoiminnassa. Rotujärjestöt ovat asettaneet myös omille roduilleen vaatimuksia siitä, mitä tutkimuksia koiralle tulee tehdä ennen hyväksymistä jalostuskäyttöön. (Animagi 2014b, viitattu 24.9.2014.) Kuviossa 3 havainnollistetaan koiran anatomia. Kyynärnivelen kuvissa näkyvät olka- värttinä- ja kyynärloo, jotka ovat esitettynä kuviossa numeroilla 13- 15 (Kennelliitto 2013b, viitattu 19.2.2015). Lonkkanivelen kuvissa näkyvät luurakenteet ristiluusta polvilumpioon (Kennelliitto 2013b, viitattu 19.2.2015). Ristiluu näkyy kuvassa numerolla 10 ja polvilumpiot numerolla 31. Myös kissoille tehdään röntgentutkimuksia, esimerkiksi jalostukseen käytettävällä Maine coon-rotuisella kissalla lonkkanivelten röntgenkuvaus on suotavaa perinnöllisten sairauksien poissulkemiseksi. (Animagi 2014a, viitattu 24.9.2014.)



- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. yläleukaluu | 17. Välikämmenluut |
| 2. alaleukaluu | 18. varvasluut |
| 3. pääläenluu | 19. 2. kylkiluu |
| 4. 1. kaulanikama (ATLAS) | 20. 8. kylkiluu |
| 5. 2. kaulanikama (AXIS) | 21. rintalasta |
| 6. kaulanikamia | 22. kylkiluurustot |
| 7. 6. kaulanikama | 23. lantioluu |
| 8. 10. rintanikama | 24. reisiluu |
| 9. 3. lannenikama | 25. sääniluu |
| 10. ristiluu | 26. pohjeluu |
| 11. häntänikamia (20-23) | 27. (kinnerluut) |
| 12. lapaluu | 28. väljalaniut |
| 13. olkaluu | 29. varvasluut |
| 14. varttinäluu | 30. fabelat=papuluut |
| 15. kyynäriluu | 31. polvilumpio |
| 16. ranneluu | |

KUVIO 3. Koiran luusto (Kotiranta 2015, viitattu 19.2.2015)

2.5.2 Säteilynkäyttöä eläinradiologiassa ohjaava lainsäädäntö

Säteilylaki (592/1991) velvoittaa röntgentutkimuksia tekevät organisaatiot hakemaan Säteilyturvakeskukselta turvallisuuslupa. Turvallisuusluvasta selviää muun muassa käyttöorganisaatio, säteilyn käyttötarkoitus, toimitilat, käytettävät laitteet ja säteilynkäytöstä vastaava johtaja. Turvallisuuslupa myönnetään, mikäli toiminta on yleisesti hyväksyttävää eli se täyttää oikeutus, optimointi ja yksilönsuojaperiaatteet. (Säteilylaki 592/1991 1:2§; 5:16§.) Oikeutusperiaatteella tarkoitetaan, että säteilyn käytöstä aiheutuvan hyödyn on oltava suurempi kuin siitä aiheutuva haitta. Optimoinnilla pyritään pitämään säteilyannokset niin pieninä kuin käytännössä on mahdollista. Yksilönsuojaperiaatteen avulla suojellaan työntekijöitä ja tutkimuksen ulkopuolisia yksilöitä säteilyltä siten, ettei heidän annosrajansa, jotka perustuvat Euroopan unionin neuvoston direktiiviin 96/29/Euratom, ylitä. (Säteilytoiminnan turvallisuus 2013, 4.)

Eläinten röntgentutkimusten tavoitteena on saavuttaa tutkimukselle asetettu tavoite siten, että henkilökunnan ja muiden henkilöiden säteilyaltistus pidetään mahdollisimman pienenä. Onnistuneen eläinröntgentutkimuksen edellytyksenä ovat muun muassa säteilyn käyttöön koulutettu henkilökunta, tutkimusten toteutukseen soveltuvat laitteet, optimoitu kuvaustekniikka sekä riittävä kuvanlaatu. (Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa 2012, 4.) Kuvaustekniikan optimoinnissa voidaan käyttää hyödyksi säteilyfysiikan osaamista. Kuvan kontrasti määräytyy röntgenputken jännitteen avulla (Ruohonen, luento 2010). On olemassa potilaan paksuudesta ja signaalien luonteesta riippuva optimaalinen säteilylaatu, jonka avulla saadaan paras annosefektivisyys (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004,113). Röntgenputken virran avulla säädetään säteilyn voimakkuutta ja se on suoraan verrannollinen annokseen (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004,166; Ruohonen, luento 2010). Jännitettä nostamalla ja virtaa vähentämällä muuntotaulukon mukaisesti saadaan optimoitua säteilyannosta pienemmäksi ja samalla kuvanlaatu säilyy hyvänä (Guo, Wen-Ya ym. 2013, viitattu 16.3.2015). Taulukossa 2 esitetään muuntotaulukko, josta voidaan valita haluttu jännite ja sen muutosta vastaavat pisteet. Muutos virran arvoon tehdään vastaavan pistemäärän mukaisesti. Esimerkiksi jos jännitettä nostetaan arvosta 40 kV arvoon 50 kV, on jännitteen muutos kuusi pistettä. Jos käytetty virran arvo on 10 mAs, pienennetään sitä kuudella pisteellä eli arvoon 2,5 mAs.

TAULUKKO 2. kV:n ja mAs:n muuntotaulukko (Siemens 2006, 93–94)

kV	Pisteet	mAs
40	0	1
41	1	1,25
42	2	1,6
44	3	2
46	4	2,5
48	5	3,5
50	6	4
52	7	5
55	8	6,3
57	9	8
60	10	10
63	11	12,5
66	12	16

70	13	20
73	14	25

Usein eläinröntgentutkimuksissa joudutaan käyttämään kiinnipitäjää, jonka tulee olla vähintään 18-vuotias eikä hän saa olla raskaana. Käytännössä useimmiten kiinnipitäjänä toimii eläimen omistaja. Tutkimuksen aikana kuvaushuoneessa olevilla henkilöillä tulee olla asianmukaiset säteilysuojat. Valvonta -alueella olevien henkilöiden on pysyttävä mahdollisimman kaukana säteilyn primäärikeilasta. (Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa 2012, 4.) Valvonta-alueella tarkoitetaan tilaa, jossa säteilylähde sijaitsee, eli kuvaushuonetta. Kiinnipitäjä voidaan korvata esimerkiksi eläimen rauhoittamisella tai erilaisilla tukivälineillä. Myös kuvalevyn kiinnipitäjän tilalla voidaan käyttää apuna erilaisia kasettelineitä. (Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa 2012, 12.)

Tutkimushuoneen suojaustarve riippuu tehtävistä tutkimuksista sekä ihmisten oleskelusta kuvaushuoneen välittömässä läheisyydessä. Esimerkiksi pieneläinten kuvauksissa säteilykeila suunnataan usein alaspäin, jolloin huoneen säteilysuojaukseksi yleensä riittää 1 mm lyijyä vastaava materiaalikerros esimerkiksi betonia tai tiiltä. Suojauksen tarve kasvaa, jos tutkimuksen aikana välittömässä läheisyydessä oleskelee ihmisiä, jolloin noudatetaan yksilönsuojaperiaatetta. Suuria eläimiä kuvattaessa säteilykeila on usein vaakasuorassa, jolloin säteilykeilan suunnassa olevan tilan seinässä säteilysuojauksen on vastattava vähintään 2 mm lyijykerroksen suojausta, jos tutkimuksen aikana ei voida varmistaa, että kyseisessä tilassa ei oleskella. (Havukainen 1996, 3.)

3 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena on havainnollistaa siroavan säteilyn määrää eläinten röntgentutkimuksissa valvonta-alueella. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää eläinradiologiassa työntekijöiden ja eläinten omistajien säteilysuojelun parantamisessa. Tavoitteena on, että eläinklinikoilla voidaan muuttaa työskentelytapoja säteilyturvallisemmaksi eli kehitetään eläinröntgentoiminnan turvallisuuskulttuuria. Mittaukset tehdään DoseAware -mittausjärjestelmän avulla sellaisilla klinikoilla, joissa saamme otantaan vähintään 10 hevosen ja 10 koiran kuvauksen sironneen säteilyn annosmittaukset.

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Minkä suuruisia sironneen säteilyn annokset ovat eri puolilla kuvaushuonetta?
2. Miten kuvattava kohde vaikuttaa siroavan säteilyn annokseen?

4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimuksessamme käytetään kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusmetodia, koska siroavaa säteilyä voidaan havaita mittareilla, joista saadaan numeerinen tulos (Heikkilä 2001,16). Kvantitatiivisen tutkimuksen tarkoituksena on yleistää, ennustaa ja havainnollistaa syy -seuraussuhteita. Tutkija on ulkopuolinen ja ainoastaan tarkkailee tutkimuksen etenemistä. Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa tarkoituksena on ymmärtää ja tulkita tutkittavaa asiaa. (Kananen 2011, 15.)

Ennen varsinaisten mittausten aloittamista tutkimuksessa syvennytään aikaisempiin teorioihin tutkittavasta aiheesta. Tämä etenemistapa teoriasta käytäntöön on ominaista hypoteettis-deduktiiviseen päättelyyn. (Anttila 1998, viitattu 10.9.2014.) Jotta tulokset olisivat luotettavat eli reliabiliteetti olisi mahdollisimman korkeatasoinen, otannan täytyy olla numeerisesti suuri (Heikkilä 2001, 16, 187.) Tutkimuksemme perusjoukko koostuu klinikoilla kuvattavista eläimistä, joista valitsemme tutkimukseemme joukon keskenään vertailukelpoisia yksilöitä. Keskenään vertailukelpoisiksi valitsemme saman kokoisia eläimiä, joilta kuvataan samaa kohdetta. Tutkimuksen validius eli pätevyys määräytyy siitä kuinka hyvin tutkimusmenetelmä soveltuu mitattavan asian tutkimiseen (Hirsjärvi, Remes, Sajavaara 2014, 231).

Jatkuvia muuttujia tutkimuksessa on paljon: mittareiden paikka, kuvalevyn kiinnipitäjä, kuvattava kohde, kuvausarvot, primäärikeilan koko, fokus -kohde -etäisyys ja mittauspaikan toistettavuus. Vaikka mittaamalla ei saataisikaan täysin tarkkoja tuloksia, saadaan kuitenkin määritettyä luottamusväliä minkä välillä yksittäinen mittaustulos voi vaihdella (Nummenmaa 2009, 367).

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Saimme tutkimukseemme yhteistyökumppaneiksi eläinklinikka Animagi Oulun ja Animagi Oulun hevosklinikkan, joissa teimme mittauksia aidoissa röntgentutkimustilanteissa. Eläinklinikka Animagissa mittasimme sironnutta säteilyä koirien kyynär- ja lonkkatutkimuksissa. Saimme mittauksia yhteensä 29 kappaletta, joista valitsimme tutkimukseemme 14 onnistunutta lonkkakuvausta. Mittauksissa kolme mittaria pidettiin kokoajan samoissa paikoissa. Neljäs mittari kiinnitettiin kiinnipitäjän kilpirauhassuojaan. Tämän vuoksi mittarin paikka vaihteli jonkin verran koiran koon mukaan. Animagin hevosklinikalla mittauksissa käytettävät tutkimukset vaihtelivat enemmän kuin koirien tutkimuksissa. Mittasimme sironnutta säteilyä sekä hevosen mahan että jalkojen kuvauksissa. Mittarit täytyi asettaa turvalliseen paikkaan, jotta ne eivät häirinneet eläimiä tai kuvauksien suorittajia. Hevosklinikalla teimme mittaukset yhteensä 28 kuvauksessa. Tutkimukseen sopivia mahan kuvauksia valitsimme kaksi kappaletta ja jalkojen kuvauksia 17 kappaletta.

Mittaukset tehtiin Dose Aware-mittausjärjestelmän avulla, jonka käyttöön perehdyimme ennen varsinaisia mittauksia koulumme röntgenluokassa. Tämä auttoi meitä sisäistämään laitteen toimintaperiaatteen sekä sen, kuinka mittarit tulisi sijoittaa. Lisäksi ensimmäisen klinikkaoloissa tehdyn mittauskerran jälkeen teimme muutoksia mittareiden sijoittamisessa ja myös korjauksia mittauslomakkeeseen. Lopullinen mittauslomake löytyy liitteestä 1. Merkitsimme mittausten aikana mittareiden paikat sekä muut tarvittavat tiedot tutkimuksesta mittauslomakkeeseen. Lomakkeen pohjalta teimme kuvaushuonetta havainnollistavat pohjapiirustukset (kuviot 6 ja 10–12 sekä liite 4 kuviot 1–8), jotka eivät ole mittakaavassa.

5.1 Sironneen säteilyn mittaaminen DoseAware-järjestelmällä

Sironneen säteilyn mittaamiseen tutkimuksessamme valitsimme DoseAware-järjestelmän opettajamme Anja Hennerin suosituksesta. DoseAware on Philipsin valmistama mittalaitteisto, joka koostuu neljästä Personal Dose-mittarista sekä BaseStationista, joiden avulla pystytään mittaamaan reaaliaikaisesti sironnutta säteilyä. Mittauksien analysoinnissa käytetään DoseView- ja DoseManager-ohjelmistoilla, joilla annostiedot voidaan siirtää tietokoneelle. (Philips 2013, viitattu 16.9.2014.) Personal Dose-mittarissa on kiinteää piitä oleva sensoriodi mittaamassa röntgensäteilyä (Henner & Manninen 2011, viitattu 24.9.2014).

DoseAwaren avulla voidaan mitata röntgensäteilyä, kun sen annos vaihtelee välillä 1 μSv –10 Sv ja se on energialtaan 33 keV–101 keV. Mittaustarkkuus on 1 μSv ja epävarmuus 5 % tai 1 μSv . Mittari käyttää mittaussuureena henkilöannosekvivalenttia 10 millimetrin syvyydellä eli syväannosta, josta käytetään lyhennettä $H_P(10)$. (Philips 2013, viitattu 16.9.2014.) Se kertoo kovan säteilyn aiheuttaman annosekvivalentin pehmytkudoksessa tietyssä kehon pinnan kohdassa. (Marttila 2002, 85.)

Opinnäytetyössään Minna Väänänen (2014, viitattu 23.2.2015) viittaa Nissilään kulmariippuvuuden määrittämisessä. Säteilyn absorboituminen dosimetriin riippuu säteilyn tulokulmasta. Koska mittari ei ole jatkuvasti suunnattuna primääri- tai sironneen säteilyn tulosuuntaan, tulee kulmariippuvuus ottaa huomioon mittausepävarmuudessa. Taulukosta 3 ilmenee annoksen kulmariippuvuus, joka meidänkin tulee ottaa huomioon mittauksissamme. 0-kulma merkitsee kohtisuoraan mittarin säteilyherkkään pintaan tulevaa säteilyä. 180 asteen kulmassa tuleva säteily tulee mittarin takapinnalle.

TAULUKKO 3. Annoksen kulmariippuvuus (Väänänen 2014, viitattu 23.2.2015)

Kulma-aste	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Annos, μSv	16	15	15	16,3	16,7	14	11	8,3	13	14	18,3	14	14
%-ero 0-kulmaan		6,3	6,3	1,9	4,4	12,5	31,3	48,1	18,8	12,5	14,4	12,5	12,5

DoseAware järjestelmän avulla henkilökunta pystyy muuttamaan työskentelytapojaan heti kuvauksen jälkeen toisin kuin termoloisteilmaisinta käytettäessä, jossa mittausjakso on yhden tai kolmen kuukauden mittainen (Philips 2013, viitattu 16.9.2014). Koska työntekijöiden annostarkkailu on toteutettava henkilökohtaisin annosmittauksin tai muulla henkilökohtaisella annosmäärityksellä, jonka toteuttaa hyväksytty annosmittauspalvelu, ei DoseAwarea voida käyttää annostarkkailussa (Säteilytoiminta ja säteilymittaukset 2008, 8).

Koulullamme oli myös sironneen säteilyn mittaamiseen soveltuva Unfors EDD-30-mittari. EDD eli Educational Direct Dosimeter-mittarissa on pieni anturi, joka on kytketty näyttölaitteeseen, josta voidaan nähdä annos, annosnopeus ja kuvausaika. Mitattavan annoksen vaihtelu on 1 nSv–9999 Sv. Anturi on pallomainen, joten se mittaa annoksen riippumatta säteilyn tulokulmasta ja se mittaa tarkemmin pienempiä annoksia. (Unfors 2015, viitattu 24.2.2015.) Tämän vuoksi EDD-mittari olisi

ollut tarkempi erityisesti hevosklinikalla tehdyissä mittauksissa, koska mittareiden paikkoja ei aina pystytty muuttamaan optimaalisiksi. Mittareita olisi kuitenkin pitänyt olla useampi, jotta olisimme saaneet mitattua sironnutta säteilyä eri puolilla kuvaushuonetta.

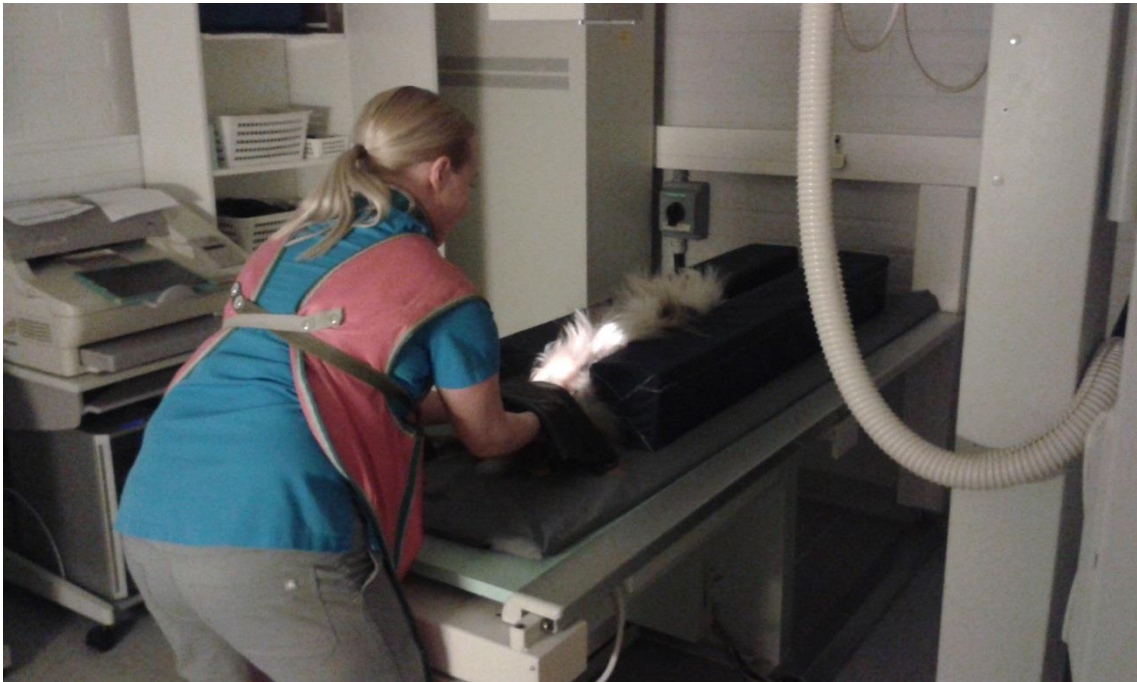
Mehdi Khosravinia tutkii säteilyfysiikan maisterityössään (2013) "Staff dose measurement in real time, an evaluation of Unfors Raysafe i2" DoseAware -mittarin käyttöä reaaliaikaisessa annosmittauksessa ja vertaa EDD -mittariin. Unfors Raysafe i2 on ruotsalaisen Unforsin kehittämä, suunnittelema ja valmistama mittausjärjestelmä, jota Philips myy kauppanimellä DoseAware. Tutkimuksen mukaan DoseAware visualisoi hyvin säteilyannosta niille, joilla ei ole hyvää teknistä tietämystä. Se ei kuitenkaan anna todellisia säteilyannoksia, ellei mittari ole juuri oikein suunnattu. Tämän vuoksi DoseAware ei voi olla ainut mittari henkilökunnan annostarkkailussa.

Aiemmissä tutkimuksissa, joissa Doseaware-järjestelmää on käytetty, mittaukset on tehty toimenpideradiologisissa tutkimuksissa, joissa on käytetty läpivalaisua. Esimerkiksi DoseAware-järjestelmän avulla on tutkittu Espanjassa henkilökunnan säteilyannoksia angiografiatutkimuksissa. Sanchez'n, Vano'n, Fernandez'n ja Gallego'n tutkimuksessa "Staff radiation doses in a real-time display inside the angiography room" (2010) saatiin selville, että kumulatiiviset annokset yhdessä tutkimuksessa vaihtelivat 0,6 μSv ja 350 μSv välillä. Annosnopeus oli läpivalaisun aikana 1–5 mSv/h ja digitaalisessa subtraktioangiografiassa 12–235 mSv/h. Tutkimuksen tapauksissa kumulatiivinen sironnut säteily on voinut olla enemmän kuin 3 mSv yhdessä tutkimuksessa.

5.2 Sironneen säteilyn mittaaminen koirien röntgenkuvauksissa



KUVIO 4. koiran kyynärnivelten kuvauksen toteutus

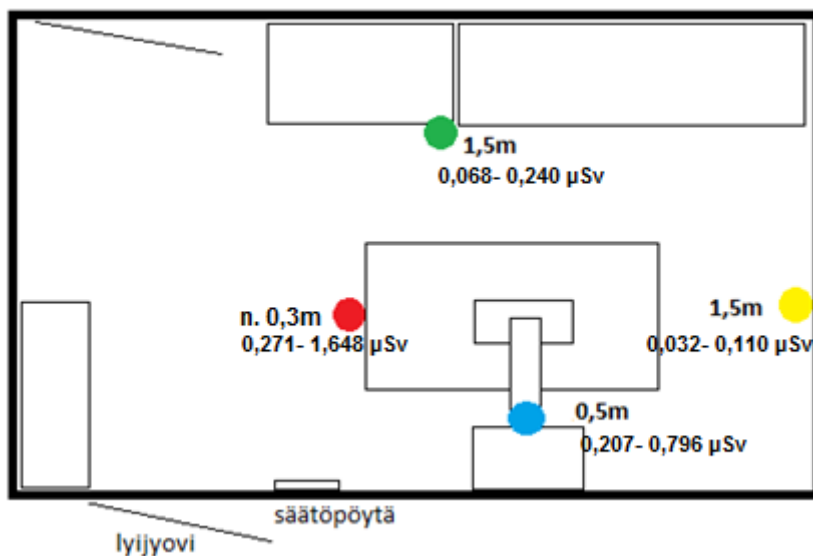


KUVIO 5. Koiran lonkkanivelten kuvauksen toteutus

Koirat rauhoitettiin jokaiseen tutkimukseen, joita olimme mittaamassa. Mittasimme sironneen säteilyn annoksia kyynär- ja lonkkakuvauksissa. Kuvaukset suoritettiin Kennelliiton ohjeiden mukaisesti. Kyynärnivelten kuvaus suoritettiin kasetille ilman hilaa molemmat nivelet omalla kuvauksella. Kuvauksen ajaksi toinen kyynärnivel fiksoitiin hiekkapussin avulla pois kuvauskentästä, joka nähdään kuviossa 4. Kuvan laadun tuli olla riittävän hyvä, jotta arvostelussa huomioon otettavat seikat erottuvat hyvin. Kuvausarvot säädettiin koirakohtaisesti, jotta välttyttiin yli- ja alivaloilukselta. (Kennelliitto 2013a, viitattu 16.2.2015)

Lonkkakuvissa koira fiksoitiin selälleen kuvauksiin tarkoitetun patjan avulla. Kiinnipitäjä veti koiran jalvoja suoraan taaksepäin röntgenpöydän pinnan suuntaisesti. (Kennelliitto 2013b, viitattu 16.2.2015.) Kuvauksen toteutus nähdään kuviosta 5, jossa kiinnipitäjä on suojattu lyijyessulla, kilpirauhassuojalla sekä käsien päälle laitettavalla sädesuojalla. Kasetti asetettiin lonkkakuvauksissa Bucky-pöytään ja röntgenputki oli kiinteästi asennettuna sen päälle. Tällöin mittareiden paikkaa ei tarvinnut vaihtaa eri kuvauksissa, mutta etäisyys mittareista kuvattavaan kohteeseen vaihteli liikutettavan pöydän vuoksi. Fokus-detektorietäisyys lonkkien kuvauksessa on 110cm ja kyynärkuvauksissa 106cm. Kuvaaja oli eksponoinnin ajan kuvaushuoneen ulkopuolella lyijyoven takana. Pysyimme myös itse seuraamaan tutkimuksen tarkkaa toteutusta ovesa olleen lyijylasi-ikkunan kautta.

Koirien kyynärkuvauksissa käytettiin kuvausarvoina jännitteenä 45–50 kV ja putkivirtana 2,2–2,8 mAs. Lonkkakuvauksissa arvot olivat hieman suuremmat; 60–66 kV ja 8–9 mAs. Tutkimuksessa mukana olleiden koirien paino vaihteli välillä 6–15 kg. Teimme mittauksia sekä kyynär- että lonkkakuvauksista, mutta ainoastaan lonkkakuvauksista saimme vertailukelpoisia mittaustuloksia. Kuviossa 6 esitetään mittareiden paikat koirien röntgentutkimuksissa sekä mitatut annosvaihtelut mitareittain. Kaikki koirien röntgentutkimuksista saadut mittaustulokset löytyvät liitteestä 2.



KUVIO 6. Mittareiden sijainti koirien röntgentutkimuksissa ja mittareiden annosvaihtelut kaikissa tutkimuksissa

Mittareiden paikat kuvauksissa on esitetty kuviossa 6 mittareiden väriä kuvaavilla ympyröillä. Mittarit pidettiin samoissa paikoissa, eikä kuvattavan kohteen paikassa ollut merkittäviä muutoksia. Keltainen mittari sijaitsi noin 1,5 metrin päässä kuvattavasta kohteesta ja se oli noin 50 senttimetrin korkeudella Bucky -pöydästä. Sininen mittari oli kiinnitetty röntgenputken kannatinpalkkiin 0,5 metrin etäisyydelle ja 60 senttimetrin korkeuteen. Punainen mittari oli kiinnitetty kiinnipitäjän kilpirauhassuojaan, noin 30 senttimetrin korkeuteen, ja noin 0,4 metrin etäisyyteen kuvattavasta kohteesta. Punaisen mittarin paikka kuitenkin vaihteli hieman eri kuvauksissa. Vihreä mittari sijaitsi 1,5 metrin päässä ja 20 senttimetrin korkeudella.

5.3 Sironneen säteilyn mittaaminen hevosten röntgenkuvauksissa

Hevoset röntgenkuvattiin rauhoitettuna sekä yleensä pakkopilttuussa, jolloin hevoselle ei tarvittu kiinnipitäjää. Kuviossa 7 on hevonen laitettu pakkopilttuuseen jalkojen kuvausta varten. Kuitenkin esimerkiksi pienet ponit jouduttiin kuvaamaan pakkopilttuun ulkopuolella pienen koon takia. Kaikissa röntgentutkimuksissa, joissa olimme mittaamassa, tarvittiin kuvalevyn kiinnipitäjä. Avustajan etäisyyttä kasvatettiin apuvälineiden avulla, joista esimerkki kuviossa 8. Kuvaukset tehtiin liikuteltavalla osastokuvauslaitteella, joka näkyy kuviossa 9, joten sekä laitteen että kuvaajan paikka vaihteli eri tutkimuksissa. Fokus-detektorietäisyys hevosten jalkojen kuvauksissa oli noin

90cm. Olimme itse kuvaushuoneen ulkopuolella tutkimusten ajan ja lyijyvi esti näkyvyyden tutkimushuoneeseen. Tämän vuoksi tarkka kuvaajan ja kuvalevyn kiinnittäjän paikka eivät ole tiedossa jokaisesta tutkimuksesta.



KUVIO 7. Hevonen pakkopilttuussa, johon mittarit ovat kiinnitetty

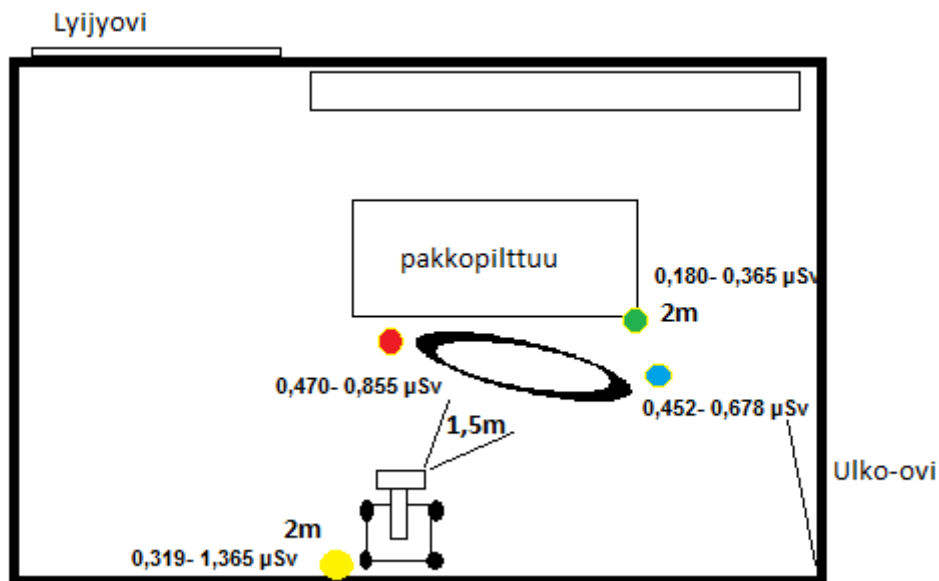


KUVIO 8. Kasettiteline

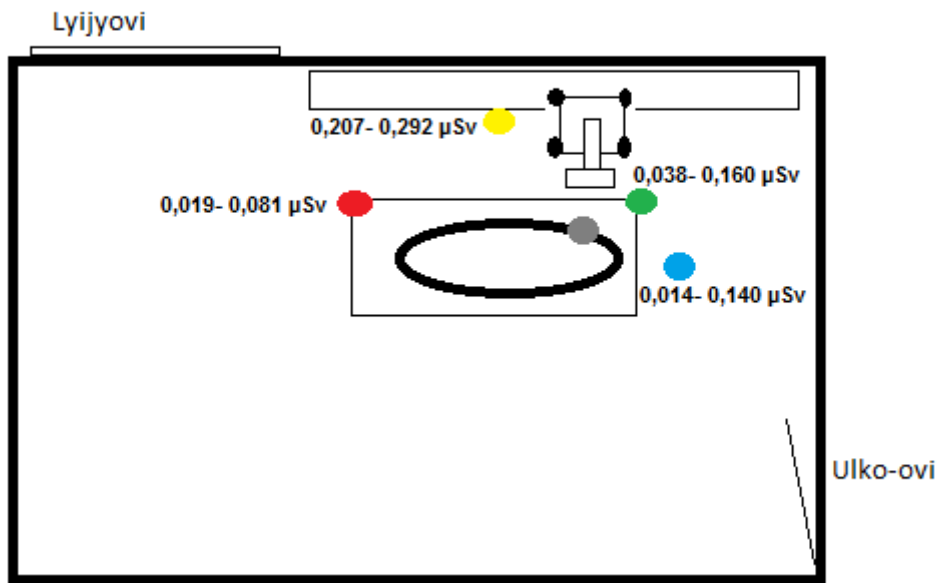


KUVIO 9. Hevosklinikan kuvaushuone, lyijysuojia ja osastokuvauslaite

Hevosten röntgentutkimuksissa mittauksissa 1 ja 2 kuvattavana oli poni, joka painoi noin 200 kilogrammaa. Näiden kahden mittauksen mittareiden paikat ja mitatun annoksen vaihteluväli on esitetty kuviossa 10. Mittauksissa 3–11 ja 17–19 kuvattavana oli hevonen, joka painoi noin 500 kilogramma ja mittauksissa 12–16 hevonen painoi noin 450kg. Kuviossa 11 esitetään mittareiden sijainti hevosen jalan tutkimusten mittauksissa 7–11 sekä mitatun annoksen vaihteluväli. Fokus-detektorietäisyys mahan kuvauksessa oli 1,5 metriä ja jalkojen kuvauksessa 0,9 metriä. Kaikki hevosten röntgentutkimuksista saadut mittaustulokset löytyvät liitteestä 3.



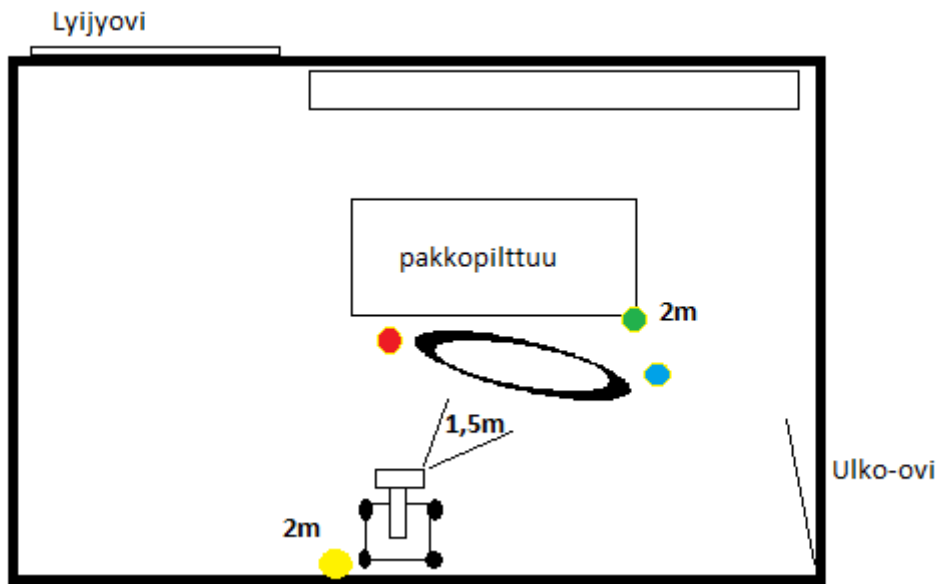
KUVIO 10. Mittareiden sijainti hevosen mahan röntgentutkimuksissa sekä mitatun annoksen vaihteluväli



KUVIO 11. Mittareiden sijainti hevosen jalan tutkimusten mittauksissa 7–11 sekä mitatun annoksen vaihteluväli

Vuohisen sivukuva otettiin sivusta horisontaalisätein siten, että kuvassa näkyi vuohisen lisäksi ruunuluu ja kavionivel ja säteet keskitettiin vuohisniveleen. Vuohisen nujuluun kuvaus otettiin noin 30 astetta röntgenputkea alaspäin kipaten jalan asennosta riippuen ja noin 45 asteen etuviistosta. Vuohisen dorso- plantaari, eli edestä taaksepäin, kuva otettiin tilanteesta riippuen joko suoralla putkella tai alaspäin kipattuna noin 10 astetta. Säteet keskitettiin vuohisniveleen ja kuvassa tuli näkyä yläosasta sääriluun alaosa nujuluineen sekä alaosasta kavionivel. Vuohisniveltä voitiin kuvata tarvittaessa dorsaali-plantaari suunnasta, joko suoralla putkella tai noin 30 asteen kippauksella. Etujalan polven kuvauksessa kuvausalue rajattiin sääriluun alaosasta luun yläosaan. Useimmissa polvenkuvauksissa lateraali- ja skyline- projektio riittivät. Skyline-projektiossa polvi koukistettiin siten, että sääriluu on horisontaalitasossa ja säteet suunnattiin yläviistosta koukistetun polven alapuolella olevalle kuvalevyille. Lisäksi voitiin ottaa dorsaali-plantaari-suunnan projektio ja 45 asteen viistokuvia sekä taivutettuja sivukuvia, jossa carpus taivutettiin noin 90 asteen kulmaan. Kinnernivelen kuvauksessa kuvausalue rajattiin siten, että nivelet näkyivät kokonaan sääriluun yläosasta ylöspäin ja myös kantapää näkyi kuvassa kokonaan. Kintereestä otettiin yleensä 45 asteen viistokuvat lateraali ja mediaali suunnasta ilman kippausta. Tarvittaessa otettiin myös plantaari-dorsaali-suunnan projektio sekä sivukuva suoralla putkella. (Väätäinen, sähköpostiviesti 19.3.2015.)

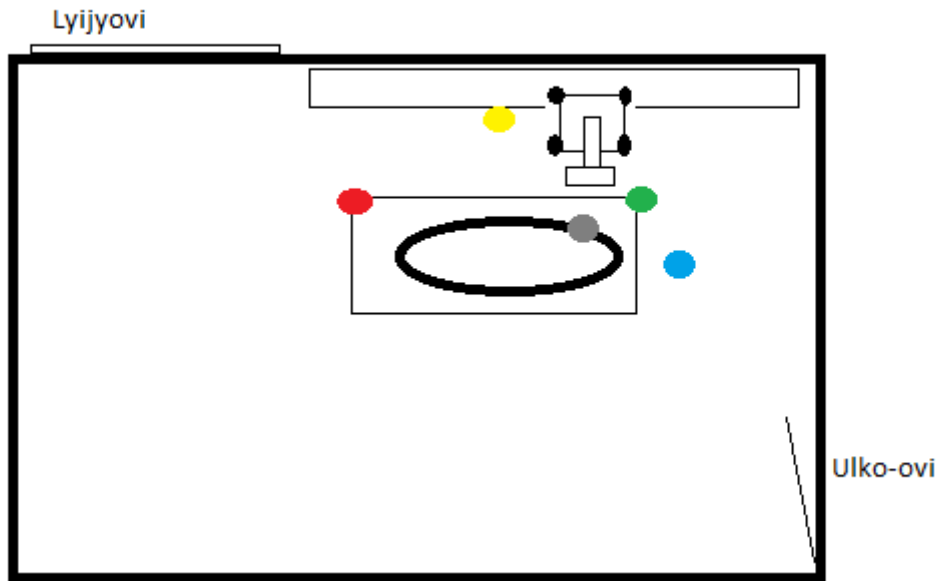
Kuviossa 10 esitetään mittareiden paikat ponin mahan kuvantamisessa mittareiden väriä kuvaavilla ympyröillä. Punainen mittari oli ponin kiinnipitäjällä noin 1,5 metrin päässä röntgenputkesta suunnattuna sitä kohti. Sininen mittari oli kuvalevyn kiinnipitäjällä noin 1,8 metrin päässä röntgenputkesta. Vihreä mittari oli asetettu pakkopilttuun runkoon ponin taakse noin 2 metrin etäisyydelle röntgenputkesta. Keltainen mittari oli kuvaajan kilpirauhassuojaan kiinnitettynä ja hän sijaitti lähimpänä osastokuvauslaitetta.



KUVIO 10. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosen kuvauksissa n:o 1 ja 2

Tutkimuksissa 3 ja 4 kuvattiin hevosen vasemman etujalan polvea ja vuohista. Mittareiden paikat on havainnollistettu liitteen 4 kuviossa 1. Punainen ja vihreä mittari oli asetettu pakkopilttuun runkoon 120 cm korkeuteen ja 192 cm etäisyydelle toisistaan. Pakkopilttuun leveys oli 90 cm. Punaisen ja vihreän mittarin paikat pidettiin samana, siten että punainen oli hevosen etupään puolella ja vihreä takapään puolella suunnattuna röntgenputkeen. Kuvausetäisyys kohteeseen oli noin 0,9 metriä. Sininen mittari oli kuvalevyn kiinnipitäjällä, joka oli hevosen edessä. Keltainen mittari oli kiinni kuvaajan kilpirauhassuojassa. Kuvaajan ja kuvalevyn kiinnipitäjän paikka vaihteli eri kuvauksissa. Kuvausarvot etujalan polven ja vuohisen kuvauksessa olivat 55kV ja 5mAs. Kuviossa 7, jonka pohjapiirros löytyy liitteen 4 kuvioista 2, kuvattiin vasemman takajalan kinner- ja vuohisniveitä tutkimuksissa 5 ja 6. Kuvausarvot kintereen kuvauksessa olivat 57 kV ja 6,3 mAs ja vuohisnivelen kuvauksessa 55kV ja 5mAs.

Kuviossa 12 kuvattiin oikean takajalan kinner- ja vuohisniveltä. Tutkimuksissa 7 ja 8, eli kintereen kuvauksissa, kuvausarvot olivat 57 kV ja 6,3 mAs. Kuvaukset 9–11 toteutettiin samoilla kuvausarvoilla, eli 55 kV ja 5 mAs. Kuvattava kohde kuvauksessa 9 oli nuljuluu ja 10 sekä 11 kuvauksessa takajalan vuohinen.



KUVIO 12. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 7–11

Mittauksissa 12–19 kiinteiden mittareiden, eli vihreän ja punaisen mittarin, korkeutta laskettiin noin 15 cm. Mittarit pidettiin muuten samoilla paikoilla, mutta mittauksessa 19 mittareita käännettiin hie- man toisiaan ja säteilyn tulosuuntaa kohti. Mittauksessa 12 kuvattiin vasemman takajalan vuo- hista sivustapäin ja mittauksessa 15 edestäpäin vuohisen kuvauksen perusarvoilla 55 kV ja 5 mAs. Mittareiden paikat selviävät liitteen 4 kuvioista 3. Mittauksessa 16 sama kuvaus uusittiin kuvausar- voilla 57 kV ja 6,3 mAs. Kasetin kiinnipitäjän paikka vaihtui, joka selviää liitteen 4 kuvioista 4. Liitteen 4 kuvioista 5 ilmenee tutkimusten 13 ja 14 toteutus. Kuvausarvot olivat vuohisen kuvauksen perus- arvot. Liitteen 4 kuvioissa 6–8 kuvattiin hevosen etujalkojen polvia kuvausarvoilla 55 kV ja 5 mAs. Mittauksessa 18 kuvattiin polvea ns. skyline- eli aksiaaliprojektiossa, jossa nähdään nivelpinnat. Kasetin kiinnipitäjä pitää hevosen polvea koukistettuna ja kuvalevy sijoitetaan koukistetun polven alapuolelle, jolloin säteily tuli yläviistosta.

6 TULOKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli havainnollistaa siroavan säteilyn määrää eläinten röntgentutkimuksissa valvonta-alueella. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää eläinradiologiassa työntekijöiden ja eläinten omistajien säteilysuojelun parantamisessa. Tavoitteena oli, että eläinlinikoilla voidaan tulostemme pohjalta muuttaa työskentelytapoja entistä säteilyturvallisemmaksi eli kehitetään eläinröntgentoiminnan turvallisuuskulttuuria. Vahvistimme lisäksi ammatillista osaamistamme säteilysuojelussa erityisesti sironneen säteilyn osalta. Mittaustulokset esitetään kokonaisuudessaan koirien tutkimuksista liitteessä 2 ja hevosten tutkimuksista liitteessä 3.

6.1 Sironneen säteilyn annokset eri puolilla kuvaushuonetta

Koirien tutkimuksissa kiinnipitäjälle kertyi eniten annosta muihin mittareihin verrattuna. Kiinnipitäjän mittari oli kiinnitettynä kilpirauhassuojaan, jolloin se sijaitsi lähimpänä primäärikeilaa. Kaikissa neljässätoista mittauksessamme kiinnipitäjälle kertyi annosta yhteensä 9,046476 μSv . Vertailuna tähän toiseksi lähimpänä primäärikeilaa sijaitsi sininen mittari, jonka sironneen säteilyn annokset kaikissa tutkimuksissa olivat 6,762132 μSv . Vihreässä mittarissa vastaava arvo oli 1,915855 μSv ja keltaisessa mittarissa 0,680472 μSv .

Hevosten kuvauksissa vihreä ja punainen mittari olivat samoissa paikoissa kuvauskohteesta riippumatta, jolloin etäisyys ja säteilyn tulosuunta mittareihin nähden vaihtelivat. Tutkimuksissa 13 ja 14 kuvattiin hevosen takajalan vuohista lähes samoilla kuvausarvoilla hieman eri projektioista. Kiinnipitäjän annos oli 13. tutkimuksessa 0,003945 μSv ja 14. tutkimuksessa 0,132018 μSv , joissa molemmissa hän oli pitämässä kuvalevyä hevosen etupuolella.

Viimeisissä hevosten mittauksissa halusimme kokeilla EDD-mittarin mittaamaa annosta ja verrata sitä DoseAware -mittarin vastaavaan mittaustulokseen. EDD-mittari sijoitettiin kuvaajalle DoseAware -mittarin lähelle kahden hevosen kuvauksissa. Ensimmäisen hevosen tutkimuksessa EDD-mittari antoi kuvaajan kokonaisannokseksi 0,875 μGy , josta saimme annoksen 0,875 μSv kertomalla sen röntgensäteilyn painotuskertoimella. DoseAware -mittarin annos oli vastaavassa tutkimuksessa 0,896 μSv . Toisessa mittauksessa vastaavat tulokset olivat EDD-mittarilla 0,276 μSv ja DoseAware-mittarilla 0,2048 μSv .

Hevosten tutkimuksissa kuvaajan saama kokonaisannos kaikissa yhdeksässätoista kuvauksessa oli 3,60561693 μSv ja kasetin kiinnipitäjän 3,05050239 μSv . Näistä keskimääräinen annos yhtä tutkimusta kohti oli kuvaajalla noin 0,18976 μSv ja kasetin kiinnipitäjällä noin 0,16055 μSv . Koirien tutkimuksissa kiinnipitäjän saama kokonaisannos kaikissa neljässätoista kuvauksessa oli 9,046476 μSv , josta keskimääräinen annos yhdessä tutkimuksessa oli 0,47613 μSv .

6.2 Kuvattavan kohteen vaikutus siroavan säteilyn annokseen

Koirien tutkimuksissa 1–4 kaikkien mittareiden yhteenlasketut sironneen säteilyn annokset ovat suurimmat kaikista tutkimuksista. Mittauksissa 5–14 koirat olivat painoltaan 6–8 kg, ja näillä käytettiin pienempiä kuvausarvoja. Mittaukset 11–13 tehtiin samalle koiralle, joista viimeisessä kuvauksessa jännite oli korkeampi ja putkivirta pienempi kuin aiemmissa kuvauksissa, jonka takia yhteenlaskettu sironneen säteilyn annos oli pienempi. Kuvausarvot pysyivät useimmissa tutkimuksissa samana ja ainoastaan kenttäkokoja muutettiin. Tästä esimerkkinä ovat tutkimukset 6,8 ja 9, joissa koirat olivat pienikokoisimpia.

Hevosen tutkimuksissa 1 ja 2 kuvattiin saman hevosen mahaan siten, että ensimmäinen kuva on otettu mahan takaosasta kuvausarvoilla 80 kV ja 12 mAs ja toinen kuva mahan etuosasta virran arvoa 20 mAs käyttäen. Sironneen säteilyn annoksissa huomataan suuret erot, vaikka kuvaustilanne oli lähes identtinen.

Hevosten kuvauksissa vihreä ja punainen mittari olivat samoissa paikoissa kuvauskohteesta riippumatta, jolloin etäisyys ja säteilyn tulosuunta vaihtelivat. Hevosten jalkojen tutkimuksissa kuvaajan mittarissa (keltainen) isoin mitattu sironneen säteilyn annos oli 16. tutkimuksessa 0,291547 μSv . Kasetin kiinnipitäjän mittarissa (sininen) suurin annos mitattiin 15. tutkimuksessa, jossa sironneen säteilyn annos oli 0,325189 μSv . Punaisessa mittarissa suurin annos oli 3. mittauksessa 0,113641 μSv ja vihreässä mittarissa 12. mittauksessa 0,160329 μSv .

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koirien lonkkien kuvauksissa saimme luotettavia ja keskenään vertailukelpoisia mittaustuloksia, koska mittarit pidettiin paikallaan ja kuvattava kohde jokaisessa tutkimuksessa oli lähes samassa paikassa. Mittaustemme aikana koirat olivat suhteellisen samankokoisia, joten kuvausarvot eivät suuresti vaihdelleet. Näissä mittauksissa ainoastaan kahdessa tutkimuksessa emme saaneet kauimpana sijaitsevaan mittariin ollenkaan annosta. Tämä johtuu siitä, että kuvattavana ollut kohde oli pienempi kuin muissa samoilla kuvausarvoilla tehdyissä tutkimuksissa. Mitä pienempi kuva-ala on, sitä vähemmän röntgensäteilyä tarvitaan kuvan tuottamiseen ja sitä vähemmän syntyy sironnutta säteilyä (Säteilyturvakeskus 2015, viitattu 14.10.2015).

Koirien kuvauksissa mittaustemme pohjalta voimme vertailla sironneen säteilyn annosjakaamaa eri puolilla kuvaushuonetta. Koska kaikki tutkimukseen valitsemamme mittaukset olivat samasta kohteesta, eli lonkista, on kuvattavan kohteen vaikutusta siroavan säteilyn annoksiin vaikeampi arvioida. Pystyimme havaitsemaan kuvattavan kohteen vaikutuksen siitä, että koirien kyynärnivelen röntgenkuvauksissa tekemistä mittauksista emme saaneet kaikkiin mittareihin annosta. Tämä johtui siitä, että kyynärnivelet kuvattiin pienemmillä kuvausarvoilla sekä kuvattava kohde ja säteilyn primäärikeila olivat pieniä, jolloin siroavaa säteilyä syntyi vähemmän (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004, 166; Säteilyturvakeskus 2015, viitattu 14.10.2015). Koirien tutkimuksissa mittarit oli helppo suunnata siroavan säteilyn tulosuuntaan päin, joten nollatuloksia ei juuri ollut lonkkien röntgentutkimuksissa tehdyissä mittauksissa.

Hevosten tutkimuksissa sekä kuvattavan kohteen paksuus että kohteen sijainti vaihtelivat huomattavasti enemmän kuin koirien tutkimuksissa. Mittareiden kulmariippuvuuden takia mittareiden sijoittaminen oli haastavaa, eikä niitä aina saatu suunnattua siroavan säteilyn tulosuuntaan päin. Mittareiden kulmariippuvuuden olemme esitelleet työmme kappaleessa 5.1 ”Sironneen säteilyn mittaminen DoseAware-järjestelmällä”. Tästä johtuvat kuvalevyn kiinnipitäjän ja kuvaajan mittareissa olevat nollatulokset. Muissa mittareissa nollatulokset johtuvat siitä, että mittari on ollut liian korkealla tai kaukana eikä sironnut säteily ole osunut siihen oikeassa suunnassa. Emme halunneet häiritä kuvauksia niin, että olisimme muuttaneet jokaiseen kuvaukseen mittareiden paikkoja. Nollatulokset olisimme voineet välttää sillä, että olisimme ottaneet mukaan klinikalle BaseStationin, jolloin olisimme voineet muuttaa mittareiden paikkaa eri tutkimuksissa.

Koska EDD- ja DoseAware -mittarit olivat sijoitettuna lähes samaan paikkaan, ei mittareiden vertailussamme annos oletetusti vaihdellut suuresti mittareiden välillä. Suuremman eron olisimme todennäköisesti havainneet, jos EDD-mittari olisi pystytty sijoittamaan pakkopilttuuseen kiinnitettyjen mittareiden paikalle hevosen jalkojen kuvauksiin.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihetta valitessamme halusimme yhdistää kuvantamisen ja oman kiinnostuksemme eläimiin. Aluksi mietimme säteilysuojeluoppaan tekemistä eläinklinikalle, mutta tutustuessamme aikaisempiin opinnäytetöihin, huomasimme aiheesta tehdyn jo useampia opinnäytetöitä. Opettajamme Anja Henner ehdotti, että hyödyntäisimme DoseAware -mittausjärjestelmää eläinten röntgentutkimuksissa. Päädyimme mittaamaan sironnutta säteilyä eläinten röntgentutkimuksissa. Jotta saimme kattavan aineiston tutkimukseemme, halusimme mittauksiin sekä pieneläinten- että hevosten röntgentutkimuksia. Aihettamme koskeva jatkotutkimushaaste on esitetty Sari Tenhon vuonna 2009 tekemässä opinnäytetyössä ”Kiinnipitäjän säteilysuojelu ja ohjeistus pieneläimen keuhkojen natiiviröntgentutkimuksessa”. Tenho esittää työssään, että kiinnipitäjän säteilysuojelua pieneläinklinikoilla pitäisi kehittää ja tutkia. Myös Jenni Teppo on esittänyt opinnäytetyötämme koskevan jatkotutkimushaasteenvuonna 2014 julkaisemassaan opinnäytetyössä ”Säteilyturvallisuus eläinröntgentoiminnassa: Säteilyn käytön turvallisuusopas lin eläinlääkäriaseman henkilökunnalle”. Hänen jatkotutkimushaaste on millaisia säteilyannoksia eläinröntgentutkimuksista aiheutuu henkilökunnalle ja eläimen kiinnipitäjälle.

8.1 Sironneen säteilyn annokset eri puolilla kuvaushuonetta

Hevosten tutkimuksissa kuvaajan ja kasetin kiinnipitäjän sekä koirien tutkimuksissa kiinnipitäjän kokonaisannosten erot johtuvat siitä, että koirien tutkimuksissa kiinnipitäjä on todella paljon lähempänä kuin hevosten tutkimuksissa. Koirien tutkimuksissa mittareiden etäisyys primäärikeilaan nähden vaihteli. Sininen oli noin 20 cm kauempana ja 30 cm korkeammalla kuin punainen mittari. Keltainen ja vihreä mittari olivat näihin mittareihin nähden noin metrin kauempana. Lähimmissä mittareissa annokset olivat suurempia kuin kauempana olleissa. Erot johtuvat siitä, että säteilyn annos on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön, eli etäisyyden kaksinkertaistaminen pienentää annoksen neljäsosaan (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara. 2004, 123).

Hevosten tutkimuksissa mittareiden paikat vaihtelivat eri tutkimuksissa ja niiden asettelu oli haastavaa siroavan säteilyn tulosuuntaan nähden. Vaikka jotkut mittarit näyttävät nolla-annosta hevosten tutkimuksissa, todennäköisesti niissä paikoissa sironneen säteilyn mitattu annos ei ole todellinen. Tämä johtuu DoseAware -mittareiden kulmariippuvuudesta, jolloin todellinen annos pysyttäi-

siin havaitsemaan muun muassa samaan paikkaan sijoitetulla EDD-mittarilla. DoseAware -mittareiden kulmariippuvuuden olemme esitelleet työmme kappaleessa 5.1 "Sironneen säteilyn mittaminen DoseAware-järjestelmällä". Kokeilumielessä tekemämme mittaukset EDD-mittarilla vahvistivat havaintojamme useimmista mittareiden nollatuloksista. Vaikka klinikalla tekemässämme mittauksessa erot EDD-mittarin ja DoseAware -mittarin välillä eivät olleet suuret, olisimme saaneet huomattavia eroja aikaan, jos EDD-mittari olisi sijoitettu hevosen lähellä olevien mittarien paikalle. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä käytössämme oli vain yksi EDD-mittari ja sen tuloksia emme olisi pystyneet yhtä vaivattomasti vertailemaan kuvauskohtaisesti.

8.2 Kuvattavan kohteen vaikutus siroavan säteilyn annokseen

Koirien tutkimuksissa 1–4 kaikkien mittareiden yhteenlasketut sironneen säteilyn annokset ovat suurimmat kaikista tutkimuksista. Tämä johtuu siitä, että näissä tutkimuksissa kuvatut koirat olivat isoimmat ja niillä käytettiin myös suurempia kuvausarvoja. Virran arvon muuttaminen suurentaa myös siroavan säteilyn määrään, koska virta on suoraan verrannollinen annokseen (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004,166). Mittauksissa 5–14 koirat olivat painoltaan 6-8 kg, ja näillä käytettiin pienempiä kuvausarvoja. Mittaukset 11–13 tehtiin samalle koiralle, joista viimeisessä kuvauksessa jännite on korkeampi ja putkivirta pienempi kuin aiemmissa kuvauksissa, jonka takia yhteenlaskettu sironneen säteilyn annos on pienempi. Vaikka kuvausarvot pysyvät useimmissa tutkimuksissa samana, vaikuttaa siroavan säteilyn annokseen myös kenttäkoko. Tästä esimerkkinä ovat tutkimukset 6,8 ja 9, joissa koirat olivat pienikokoisimpia. Säteil Kentän pinta-ala on likimain suoraan verrannollinen siroavan säteilyn määrään (Säteilyturvakeskus 2015, viitattu 14.10.2015). Kuvausarvot olivat koirien tutkimuksissa isommat, sillä niissä kuvausarvot vaihtelivat välillä 60–66 kV ja 8–9 mAs ja hevosten tutkimuksissa 55–57 kV ja 5–6,3 mAs. Kahdessa hevosten kuvauksessa arvot olivat isommat 80 kV 12–20 mAs.

Koiran kiinnipitäjän saama kokonaisannos oli mitatuista annoksista suurin. Kiinnipitäjän annosta saataisiin pienennettyä etäisyyttä kasvattamalla ja kuvausarvoja muuttamalla. Annoksen pienentämiseksi virran arvoa tulisi pienentää, koska virta on suoraan verrannollinen annokseen (Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004,166). Jotta kuvanlaatu saataisiin kuitenkin pidettyä samana kuvausarvoja muutettaessa, täytyisi jännitettä nostaa, kun virtaa lasketaan. Eli esimerkiksi, jos jännitteen arvoa nostettaisiin 10 kV:n verran, eli arvosta 60 kV arvoon 70 kV, pienennettäisiin virran arvoa 8 mAs:ta arvoon 4 mAs. Nämä muutokset saadaan muuntotaulukosta, muuntopisteiden avulla, jossa

vastaavalla kV:n alueella 10 kV:n muutos tarkoittaa kolmea pistettä. Muuntotaulukko on esitetty työmme kappaleessa 2.5.2 "Säteilynkäyttöä eläinradiologiassa ohjaava lainsäädäntö" taulukossa 2.

Koirien tutkimuksissa kiinnipitäjän saama annos, joka oli kaikissa tutkimuksissa yhteensä noin 9,0 μSv , oli keskimäärin yhdessä tutkimuksessa 0,47613 μSv . Suomalaiset saavat säteilyannosta keskimäärin noin 3,2 mSv vuodessa, joka koostuu luonnon taustasäteilystä sekä lääketieteellisistä röntgen- ja isotooppitutkimuksista. Luonnontaustasäteilyä tästä koko vuoden säteilyannoksesta on noin 2,75 mSv. Jotta koiran kiinnipitäjä saisi luonnontaustasäteilyä vastaavan säteily määrän tutkimuksista, tulisi hänen olla kiinnipitäjänä noin 5 700 pienen koiran lonkkatutkimuksessa. (Säteilyturvakeskus 2014, Viitattu 22.4.2015.) Koiran kiinnipitäjän silmät saavat lähes samansuuruisen annoksen kuin kilpirauhassuojaan kiinnitetty mittari antoi tulokseksi. Kilpirauhanen sai kuitenkin huomattavasti pienemmän annoksen kuin mittari, koska kilpirauhanen oli suojattu lyijysuojalla, joka päästää alle 5 % säteilystä läpi (Säteilyturvakeskus 2015, viitattu 14.10.2015). Tutkimuksissa koiran kiinnipitäjällä ei ollut suoja, jotka olisivat suojanneet silmiä. Silmän mykiön ekvivalenttiannos ei saa vuodessa ylittää arvoa 150 mSv (Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet 2014, 5). Tämän vuoksi kiinnipitäjän silmät kannattaisi suojata sädesuojalaseilla.

Tutkimuksissa 13 ja 14 kuvattiin hevosen takajalan vuohista lähes samoilla kuvausarvoilla hieman eri projektiosta. Kiinnipitäjän annos oli tutkimuksessa 13 0,003945 μSv ja tutkimuksessa 14 0,132018 μSv , joissa molemmissa hän oli pitämässä kuvalevyä hevosen etupuolella. Koska kuvaajan annos kasvaa huomattavasti vähemmän, ero kiinnipitäjän annoksessa johtuu todennäköisesti siitä, että hänen mittarinsa on ollut tutkimuksessa 14 paremmin suunnattuna säteilyyn päin, jolloin mittarin kulmariippuvuus on vaikuttanut mittaustulokseen. Hän on voinut myös olla lähempänä säteilyn primäärikeitä. Tutkimuksessa 16 samaa kohdetta kuvattiin siten, että säteily tuli edestäpäin. Kasetin kiinnipitäjä oli hevosen sivulla toisella puolella röntgenputkeen nähden, joten osa sironneesta säteilystä absorboitui hevoseen. Tutkimuksessa 17 kuvattiin hevosen etujalan polvea sivuprojektiosta. Kuvausarvot olivat samat kuin takajalan vuohisen kuvauksessa, mutta kasetin kiinnipitäjä sijaitsi hevosen etupuolella sivuttain säteilyn tulosuuntaan nähden. Koska mittari on ollut sivuttain, on annos pienempi kuin muissa vertailluissa tutkimuksissa.

Hevosten tutkimuksissa 1 ja 2 on sama kuvauskohde, mutta kuvausarvoja kasvatetaan. Koska virran arvo lähes kaksinkertaistetaan toiseen kuvaukseen, nähdään tämä muutos myös säteilyannoksissa. Tämä muutos johtuu siitä, että annos on suoraan verrannollinen virran arvoon. (Miettinen ym. 2004, 123.) Ainoastaan kuvaajan mittari näytti huomattavasti pienempää annosta tässä tutkimuksessa, koska kuvaaja on ollut laitteen takana suojassa sironneelta säteilyltä. Vuohinen ja nultuu sijaitsevat hevosen jalan alaosassa, jolloin mittarit ovat korkeussuunnassa noin metrin etäisyydellä kuvattavasta kohteesta. Tämän vuoksi mittaustuloksissa huomataan, että kiinteiden mittareiden annokset ovat pienemmät näissä tutkimuksissa kuin polven ja kintereen tutkimuksissa. Kiinnipitäjällä ja kuvaajalla olevat mittarit mittasivat lähes jokaisessa tutkimuksessa säteilyä, koska mittarit olivat hyvin suunnattuna sironneeseen säteilyyn päin. Kuvaajan mittarin nollatulokset ovat selitettävissä kuvaajan paikan muutoksilla, sillä hän on voinut joissain tutkimuksissa olla kuvauslaitteen takana suojassa. Kuvaajan annosta saadaan helposti pienennettyä suojatamalla kuvauslaitteen taakse tai käyttämällä liikuteltavia säteilysuojia.

8.3 Tutkimuksen validiteetti ja reliabiliteetti

Tutkimuksemme tulosten luotettavuutta eli reliabiliteettiä lisää numeerisesti suuri otanta (Heikkilä 2001, 16, 187). Tutkimusongelmassa rajasimme, että saisimme vähintään mittaukset 10 koiran ja 10 hevosen röntgentutkimuksista. Tutkimuksen toteutuksessa saimme kuitenkin enemmän mittaustuloksia, joista valitsimme onnistuneimmat tutkimukset, joita hevosten tutkimuksissa oli kaksi mahahan kuvausta ja 17 jalkojen kuvausta ja koirien kuvauksissa 14 lonkan kuvausta. Tutkimuksemme perusjoukko koostui klinikoilla kuvattavista satunnaisista eläimistä, joista valitsimme tutkimukseemme joukon keskenään vertailukelpoisia yksilöitä. Keskenään vertailukelpoisiksi valitsimme samankokoisia eläimiä, joilta kuvattiin samaa kohdetta.

Tutkimuksen validius eli pätevyys määräytyi siitä kuinka hyvin tutkimusmenetelmä soveltuu mitattavan asian tutkimiseen (Hirsjärvi, Remes, Sajavaara 2014, 231). DoseAwaren-järjestelmä soveltuu röntgensäteilyn mittaamiseen, kun sen annos vaihtelee välillä 1 μSv –10 Sv ja se on energialtaan 33 keV–101 keV. Mittaustarkkuus on 1 μSv ja epävarmuus 5 % tai 1 μSv . Yleisesti ottaen annokset olivat pieniä sekä koirien että hevosten tutkimuksissa. Tästä johtuu, että joissakin mittaustuloksissa kaikkiin mittareihin ei saatu ollenkaan annosta. Myös mittareiden väärä asento röntgensäteilyn primäärikeilaan ja sironneen säteilyn suuntaan nähden aiheutti mittavirheitä. Päädyimme siis samaan johtopäätökseen mittareiden suuntaamisesta kuin Mehdi Khos-ravinia säteilyfysiikan maisterityössään (2013) "Staff dose measurement in real time, an evaluation of Unfors Raysafe

i2". Eli DoseAware-mittari ei anna todellisia säteilyannoksia, ellei mittari ole juuri oikein suunnattu. Tutkimuksen mukaan DoseAware visualisoi hyvin säteilyannosta niille, joilla ei ole hyvää teknistä tietämystä. Se ei kuitenkaan anna todellisia säteilyannoksia, ellei mittari ole juuri oikein suunnattu. Tämän vuoksi DoseAware ei voi olla ainut mittari henkilökunnan annostarkkailussa.

Mittareiden sijoittamisessa olisi auttanut, jos olisimme nähneet reaaliaikaisesti mittaustulokset. Emme kuitenkaan pystyneet kuljettamaan BaseStationia kuvauspaikoille, koska käytössämme ei ollut autoa emmekä halunneet ottaa riskiä laitteen vahingoittumisesta. Mittareiden sijoittamisessa auttoivat kuitenkin koululla tekemämme esitestaukset mittareille sekä klinikalla tekemämme harjoitusmittaukset. Kuitenkaan emme pystyneet sijoittamaan mittareita optimaalisesti siten, että olisimme voineet havaita sironneen säteilyn annoksia eri puolilla kuvaushuonetta. Koirien mittauksissa saimme sijoitettua mittarit eri etäisyyksille ja korkeuksille kuvattavasta kohteesta. Hevosten mittauksissa emme näin pystyneet kuitenkaan tekemään häiritsemättä tutkimuksen suoritusta. Lisäksi mittarit täytyi asettaa paikkaan, jossa ne eivät olleet hevosen ulottuvilla. Mielestämme DoseAware-järjestelmä ei sovellu täydellisesti tämän kaltaisten röntgentutkimusten sironneen säteilyn mittaamiseen. Saimme kuitenkin mittaamalla määritettyä luottamusväliä, jonka välillä yksittäinen mittaustulos voi vaihdella (Nummenmaa 2009, 367). Jotta olisimme saaneet tarkempia ja isompia sironneen säteilyn annoksia, mittarit olisi pitänyt sijoittaa lähemmäs primäärikeilaa. Esimerkiksi koirien tutkimuksissa säteilytusaika oli 11- 28 millisekuntia, kun taas läpivalaisututkimuksissa säteilytusaika voi olla kymmeniä minutteja, jolloin säteilyannokset ovat huomattavasti isompia.

8.4 Tutkimuksen eettisyys

Teimme klinikoiden kanssa yhteistyösopimukset sekä tutkimuslupa-anomukset, jotta osapuolten vastuut ja velvoitteet sovittiin. Klinikat osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja antoivat luvan mainita toimipisteensä nimen tutkimuksessamme. Tutkijoina meitä koski vaitiolovelvollisuus klinikoilla tapahtuvista tutkimuksista sekä nähdystä ja kuulluista asioista. Kenellekään ei aiheutettu ylimääräistä säteilyaltistusta mittaustemme vuoksi, sillä suoritimme ne oikeissa kuvaustilanteissa. Mittaukset pyrimme tekemään niin, ettei henkilökunnan työ häiriintynyt tutkimustemme aikana. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, viitattu 15.10.2015.)

Tutkimuksissa olevat eläimet sekä niiden omistajat pysyivät anonyymeinä ja eläimistä on kerrottu tutkimuksessamme ainoastaan laji sekä paino. Tutkimukseen mukaan hyväksytyt mittaukset merkittiin numeroin tulosten analysoinnin helpottamiseksi. Mittausten tarkkaa ajankohtaa ei ilmoiteta

raportissa, joten eläimiä ja niiden omistajia ei voida sen perusteella tunnistaa. Klinikoilla otettuihin kuviin kysyttiin lupa kuvissa esiintyviltä henkilöiltä sekä tunnistettavissa olevien eläinten omistajilta. Tutkimuksissa käytetyt mittauslomakkeet säilytettiin opinnäytetyön julkaisuun saakka, eikä niitä julkaistu raportin yhteydessä. Lomakkeet hävitettiin raportin julkaisun jälkeen. Merkitsimme käyttämämme lähteet asianmukaisesti ja emme käyttäneet toisten tekstiä omanamme. Käytimme lähteinä vain luotettavia ja uusimpia tutkimuksia sekä laitevalmistajien tietoja. Valitsimme lähteemme puolueettomasti. Piirsimme itse kuvaushuoneiden pohjapiirroksot sekä otimme kuvat klinikoilla. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, viitattu 15.10.2015.)

8.5 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet

Tietoperustaa tehdessämme pääsimme perehtymään laaja-alaisesti jo aikaisemmin opittuihin tietoihin röntgensäteilystä. Samalla myös perehdyimme syvällisemmin röntgensäteilyn mittauksiin, jota koulutukseemme on muuten sisällynyt vähäisesti. Erityisen mielenkiintoista ja opettavaista oli, että pääsimme perehtymään eläinten röntgenkuvantamiseen. Opimme tutkimuksen tekemisen peruseriaatteet sekä käytäntöjä. Opinnäytetyötä tehdessämme saimme etsiä tietoa erilaisista lähteistä, josta meille tulee olemaan työelämässä hyötyä. Opimme valitsemaan oikeita, asiantuntevia lähteitä ja käyttämään myös lähdekritiikkiä.

Tutkimusaineistoa käsitellessämme pääsimme pohtimaan syy-seuraussuhteita sekä tulosten oikeellisuutta, jotta emme hyväksyneet vääriä tuloksia. Opinnäytetyötä tehdessämme huomasimme, kuinka tärkeää suunnittelu on. Hyvin suunnitellut työvaiheet helpottivat mittausten toteutusta ja pysyimme hyvin aikataulussa.

Jatkotutkimushaasteena on tehdä mittauksia laajemmin erilaisissa eläinten röntgentutkimuksissa. Mittareiden sijoittaminen erityisesti hevosten tutkimuksissa tulisi miettiä tarkemmin, jos mittauksessa käytettäisiin DoseAware- mittausjärjestelmää, koska mittauksissamme mittareiden kulma-riippuvuus vähensi tutkimuksen luotettavuutta. Mittausten lisäksi tutkimusta voitaisiin tehdä eläin-klinikoilla kuvausarvojen optimoinnista.

LÄHTEET

Animagi, 2014a. Kissan jalostustarkastus. Viitattu 24.9.2014, <http://www.animagi.fi/kissat/kissan-jalostustarkastus>.

Animagi, 2014b. Koiran viralliset tarkastukset. Viitattu 24.9.2014, <http://www.animagi.fi/koirat/koiran-viralliset-tarkastukset>.

Animagi, 2014c. Palvelumme hevosesi hyvinvointiin. Viitattu 24.9.2014, <http://animagi.fi/oulu/animagi-hevosklinikka-oulu-ent-oulun-hevosklinikka/hevoset>.

Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen 2014. ST-ohje 7.4. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

Anttila, P. 1998. Deduktiivinen päättely. Tutkimisen taito ja tiedonhankinta. Metodix. Viitattu 10.9.2014, http://www.metodix.com/fi/sisallys/01_menetelmat/01_tutkimusprosessi/02_tutkimisen_taito_ja_tiedon_hankinta/07_tutkimuksen_logiikka/7_2deduktiivinen_paattely.

Council directive 5.12.2013/59/Euratom.

Fernandez, J. M., Gallego, J. J., Sanchez, R. & Vano, E. 2010. Staff Radiation Doses in a Real-Time Display Inside the Angiography Room. CardioVascular and Interventional Radiology 33 (6), 1210-1214.

Guo, Wen-Ya ym. 2013. Optimizing Imaging Quality and Radiation Dose by the Age-Dependent Setting of Tube Voltage in Pediatric Chest Digital Radiography. Viitattu 16.3.2015, <http://synapse.koreamed.org/search.php?where=aview&id=10.3348%2Fkjr.2013.14.1.126&code=0068KJR&vmode=FULL>.

Havukainen, R. 1996. Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Heikkilä, T. 2001. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita, 16, 186- 187.

Heikkinen, H., Sirviö, S. 2012. Säteilynkäytön turvallisuuskulttuuri pieneläinröntgentoiminnassa. Oulun ammattikorkeakoulu Oy. Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 16.2.2015, <https://www.theseus.fi/handle/10024/51675>.

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 24.9.2014 http://www.nordiccongress.fi/doc/abstraktit/DoseAware_henner_manninen.pdf.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2014. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi, 231.

Hubbard, B. 1882. Kuva. Teoksessa Manning, J. R. Manning's Illustrated Horse Book. Viitattu 19.2.2015, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Horse_parts-Schema_chevalnum.png.

IAEA. 2013. Skin injuries: Occurrence and Evolution. Viitattu 24.9.2014, https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/HealthProfessionals/5_Interventional-Cardiology/skin-injuries.htm.

Kananen, J. 2011. Kvantti: Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Sarjassa Heikkinen, R. (toim.) Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 15.

Kennelliitto. 2013a. Ohje kyynärnivelen kasvuhäiriöiden röntgenkuvauksista ja luokituksesta (Kyynärnivelen kasvuhäiriöiden ohje). Viitattu 16.2.2015, http://www.kennelliitto.fi/sites/default/files/media/kyynarohje_2014_0.pdf.

Kennelliitto. 2013b. Ohje lonkanivelen kasvuhäiriön röntgenkuvauksista ja luokituksesta (Lonkanivelen kasvuhäiriöohje). Viitattu 16.2.2015, http://www.kennelliitto.fi/sites/default/files/media/lonkaohje_2014_0.pdf.

Khosravinia, M. 2013. Staff dose measurement in real time, an evaluation of Unfors Raysafe i2. University of Umeå. Department of Radiation Physics. Master's degree thesis. Viitattu 24.2.2015, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:610239/FULLTEXT01.pdf>.

Klemola, S. 2002. Säteilyn ilmaisimet. Teoksessa Ikkäheimo, T. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 116-134.

Kotiranta, M-L. 2015. Tyyppi ja rakenne kasvatustyössä. Viitattu 19.2.2015, <http://www.springer-spanielit.com/jalostus/osa3.htm>.

Marttila, O. 2002. Suureet ja yksiköt. Teoksessa Ikkäheimo, T. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 66-91.

Miettinen, A., Pukkila, O. & Tapiovaara, M. 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja, osa 3., Hämeenlinna: Karisto, 113, 123, 166.

Mustonen, R & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. Luku 2. Teoksessa: Paile W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja, osa 4., Hämeenlinna: Karisto, 28-40.

Nummenmaa, L. 2009. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. Helsinki: Tammi, 367.

Paile, W. 2002a. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja, osa 4., Hämeenlinna: Karisto, 44- 46.

Paile, W. 2002b. Säteilyvammat. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja, osa 4., Hämeenlinna: Karisto, 50- 63.

Paile, W. 2002c. Säteily ja raskaus. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja, osa 4., Hämeenlinna: Karisto, 132- 138.

Pastila, R. 2013. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2013. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 40- 44.

Philips. 2013. Making the difference where it really matters. Viitattu 16.9.2014, http://www.healthcare.philips.com/pwc_hc/main/shared/Assets/Documents/Solutions/DoseAware_Product_Overview_v7.pdf.

Rantanen, E. 2010. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2009. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Rantanen, E. 2011. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2010. Helsinki: Säteilyturvakeskus

Rantanen, E. 2012. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2011. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Rantanen, E. 2013. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2012. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Ruohonen, J. 2010. Ylifyysikko, EPSHP, Seinäjoen keskussairaala. Luento 2010. Tekijän hallussa.

Sandberg, J. & Paltemaa, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Teoksessa Ikäheimo, T. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 12 - 63.

Siemens. 2004. Radiography Aid for Diagnostic Radiology. München: Siemens AB, 93-94.

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

Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet. 2014. ST-ohje 7.2. Säteilyturvakeskus. Helsinki.

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

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

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

Säteilyturvakeskus. 2014. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. Viitattu 22.4.2015, http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/ihmisen_radioaktiivisuus/fi_FI/keskimaarainen_sateilyannos/.

Säteilyturvakeskus. 2015. Tutkimuksiin osallistuvat altistuvat säteilylle. Viitattu 14.10.2015. <http://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/toiminnan-valvonta/elainrontgentutkimukset/tutkimuksiin-osallistuvat-altistuvat-sateilylle>.

Säteilyturvakeskus. 2011. Säteilytoiminta ja turvallisuus. Viitattu 24.9.2014, http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/esitteet/_files/82411517540041084/default/STUK_STO_esite-painos2-maaliskuu2011.pdf.

Säteilyturvakeskus. 2009. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia. Viitattu 24.9.2014, http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset/_files/12222632510026360/default/katsaus_sateilyn_terveysvaikutukset_elokuu_2009.pdf.

Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa. 2012. ST-ohje 8.1. Säteilyturva-keskus. Helsinki.

Säteilylaki 27.3.1991/592.

Tenho, S. 2009. Kiinnipitäjän säteilysuojelu ja ohjeistus pieneläimen keuhkojen natiiviröntgentutkimuksessa. Pirkanmaan ammattikorkeakoulu Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 16.2.2015, <http://www.theseus.fi/handle/10024/6601>.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Viitattu 15.10.2015, http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf.

Unfors. 2015. Unfors EDD-30. Viitattu 24.2.2015, <http://www2.unfors.se/products.php?prodkey=55&catid=9>.

Väänänen, M. 2014. Kasvojen alueen säteilyannokset ja säteilyn sironna kartiokeilatietokonetomografiatutkimuksissa. Oulun ammattikorkeakoulu Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 23.2.2015, <http://www.theseus.fi/handle/10024/70795>.

Väätäinen, K. 2015. Röntgen opinnäytetyö. Klinikahoitaja, Animagi hevosklinikka Oulu. Sähköpostiviesti 19.3.2015.

LIITE 1

MITTAUSLOMAKE

N:o

Tutkimuspaikka:

Tutkimusaika:

Kuvattava eläin: Koira/ hevonen

Paino: kg

Kuvauksen kohde:

Kuvausarvot: kV/ mAs msec

Säteilyannos: Gy

Kuvaushuoneen pohjapiirustus:



LIITE 2

Taulukossa 2 on esitetty koirien tutkimuksissa saadut mittaustulokset. Sironneen säteilyn annokset ovat eriteltyinä mittaus- ja mittarikohtaisesti, sekä mittareiden annokset on laskettu yhteen. Lisäksi taulukossa on myös käytetyt kuvausarvot.

TAULUKKO 2. Mittaustulokset Animagi Oulun eläinklinikalla

Mittaus	Säteilymittari ja mitatut annokset (μSv)				
	Keltainen	Sininen	Punainen	Vihreä	Mittarit yhteensä
1 (66 kV/9 mAs)	0,050553	0,663656	1,647564	0,239627	2,6014
2 (66 kV/9 mAs)	0,099283	0,775035	0,352179	0,221496	1,447993
3 (66 kV/9 mAs)	0,109515	0,785882	1,280906	0,177393	2,353696
4 (66 kV/9 mAs)	0,073449	0,796227	1,250551	0,231885	2,352112
5 (60 kV/8 mAs)	0,052551	0,470013	0,428795	0,099803	1,051162
6 (60 kV/8 mAs)	0,038888	0,323241	0,384724	0,102317	0,84917
7 (60 kV/8 mAs)	0	0,325456	0,543281	0,099126	0,967863
8 (60 kV/8 mAs)	0	0,207204	0,271072	0,067785	0,546061
9 (60 kV/8 mAs)	0,033108	0,349663	0,386088	0,102997	0,871856
10 (60 kV/9 mAs)	0,050636	0,425868	0,463966	0,117102	1,057572
11	0,032493	0,413201	0,572475	0,12938	1,147549

(60 kV/9 mAs)					
12	0,049406	0,440346	0,501103	0,105635	1,09649
(60 kV/9 mAs)					
13	0,039156	0,416519	0,493296	0,117102	1,066073
(62 kV/8 mAs)					
14	0,051434	0,369821	0,470476	0,104207	0,995938
(60 kV/8 mAs)					

LIITE 3

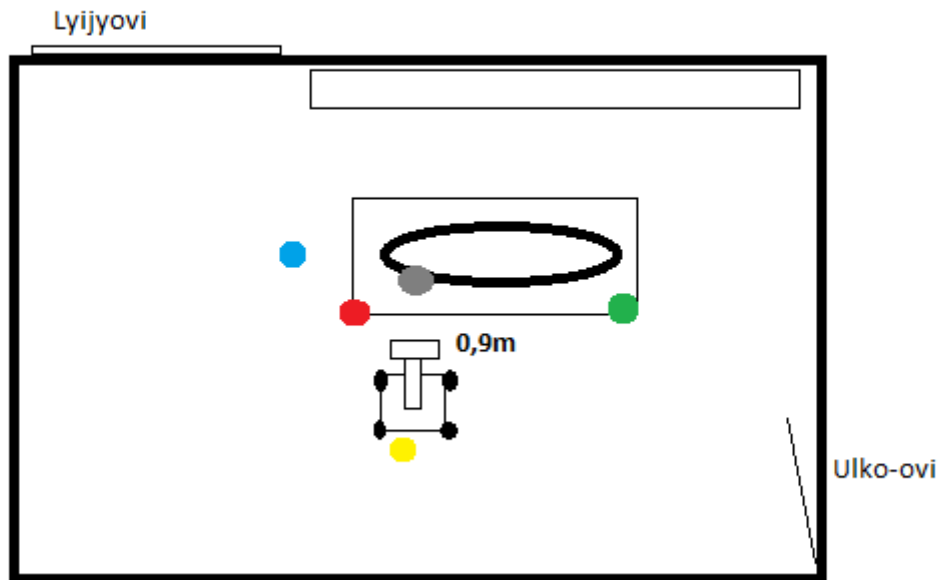
Taulukossa 3 on esitettyä hevosten tutkimuksista saadut mittaustulokset. Sironneen säteilyn annokset on eriteltyä mittaus- ja mittarikohtaisesti. Lisäksi taulukosta selviää yhdestä mittauksesta saatu sironneen säteilyn yhteismäärä kaikissa mittareissa.

TAULUKKO 3. Mittaustulokset Animagi Oulun hevostlinikalla

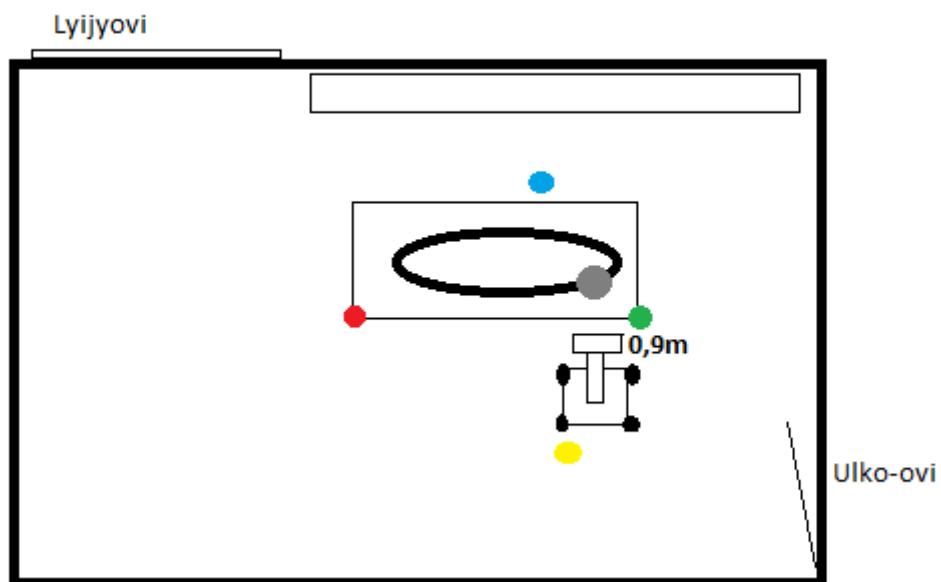
Mittaus	Säteilymittari ja mitatut annokset (μSv)				
	Keltainen	Sininen	Punainen	Vihreä	Mittarit yhteensä
1 maha (80 kV/12 mAs)	1,36537393	0,45156839	0,46940424	0,180479	2,466826
2 maha (80 kV/20 mAs)	0,318614	0,6777	0,854848	0,364547	2,215709
3 etupolvi (55 kV/5 mAs)	0,221301	0,045405	0,113641	0	0,380347
4 etuvuohinen (55 kV/5 mAs)	0	0,034774	0,05189	0	0,086664
5 kinner (57 kV/6,3 mAs)	0,06634	0,325189	0,020617	0,043774	0,45592
6 takavuohinen (55 kV/5 mAs)	0,034369	0,102137	0	0	0,136506
7 kinner (57 kV/6,3 mAs)	0,207272	0,022606	0,074798	0,160329	0,465005
8 kinner (57 kV/6,3 mAs)	0	0,014141	0,080805	0,066118	0,161064
9 nujuluu (55 kV/5 mAs)	0	0,030175	0,029163	0,042833	0,102171
10 takavuohinen (55 kV/5 mAs)	0	0,070906	0,026741	0,037919	0,135566
11 takavuohinen (55 kV/5 mAs)	0,291547	0,140417	0,018893	0	0,450857

12 takavuohinen ed. (55 kV/ 5mAs)	0,155205	0,117855	0	0	0,27306
13 takavuohinen (55 kV/ 5mAs)	0,149367	0,003945	0	0	0,153312
14 takavuohinen (55 kV/ 5mAs)	0,163055	0,132018	0	0	0,295073
15 takavuohinen (57 kV/6,3 mAs)	0,210462	0,125746	0	0	0,336208
16 takavuohinen ed. (57 kV/6,3 mAs)	0,217911	0,087607	0	0	0,305518
17 etupolvi (55 kV/5 mAs)	0,072613	0,031026	0	0	0,103639
18 etupolvi skyline (55 kV/5 mAs)	0,082746	0,449433	0	0	0,532179
19 etupolvi (55 kV/5 mAs)	0,049441	0,187854	0,0512	0,0256	0,314095

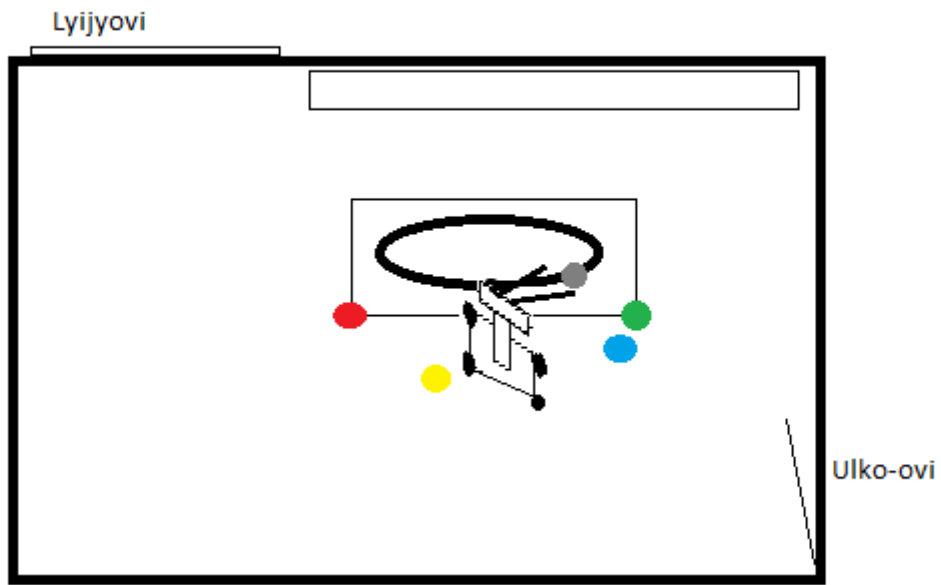
LIITE 4



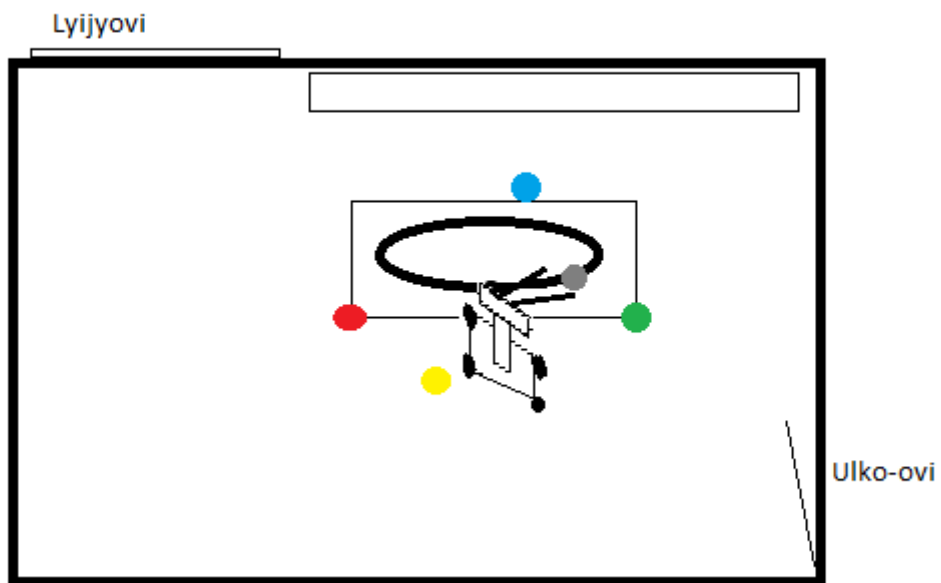
KUVIO 1. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 3 ja 4



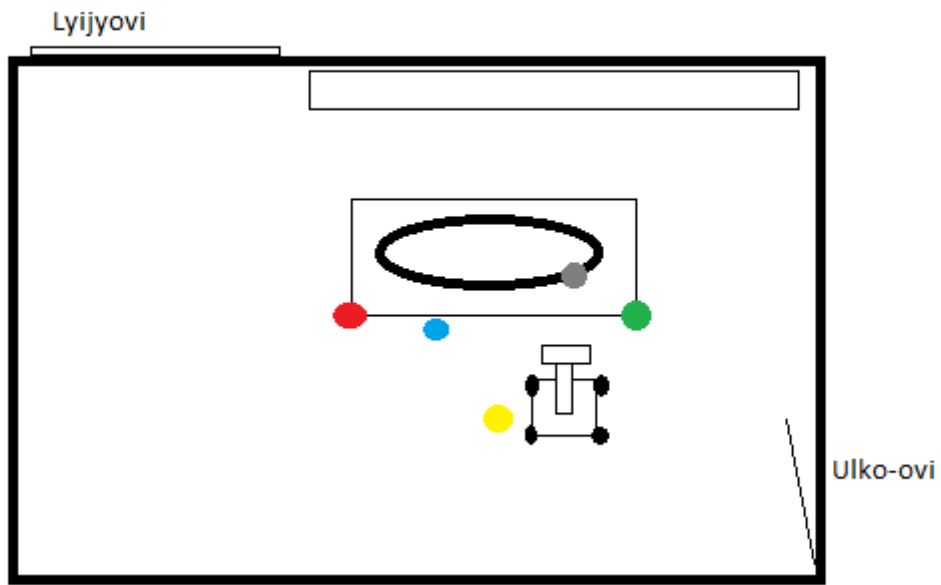
KUVIO 2. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 5 ja 6



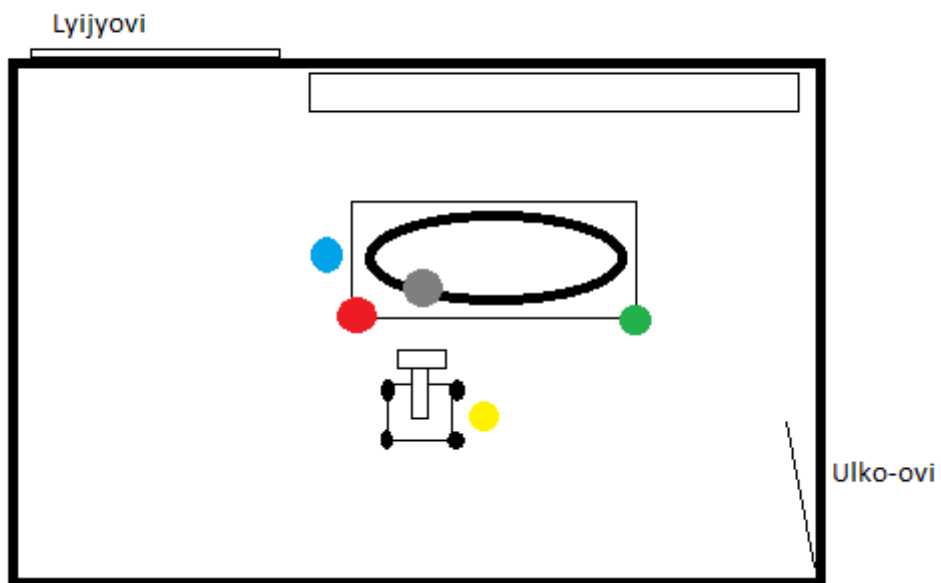
KUVIO 3. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 12 ja 15



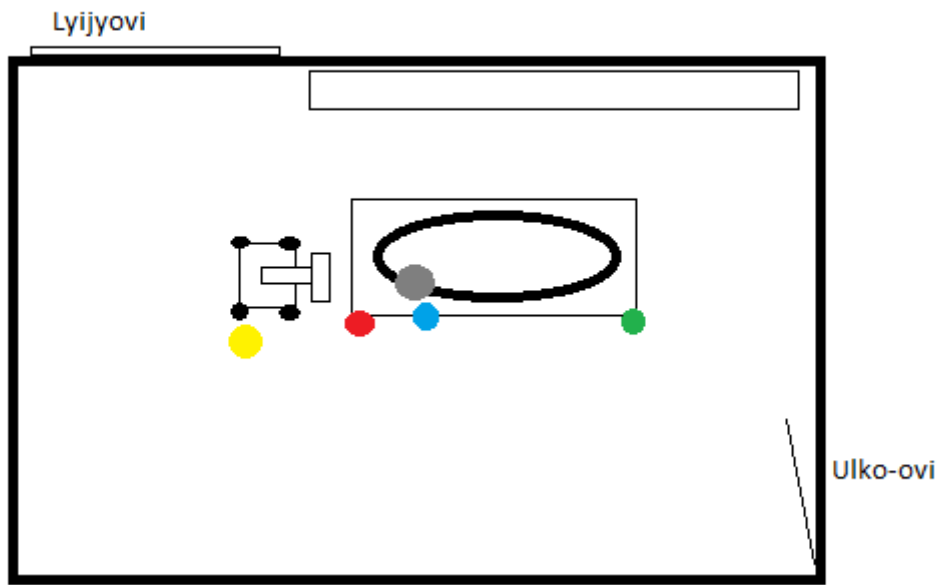
KUVIO 4. Kuvaushuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 16



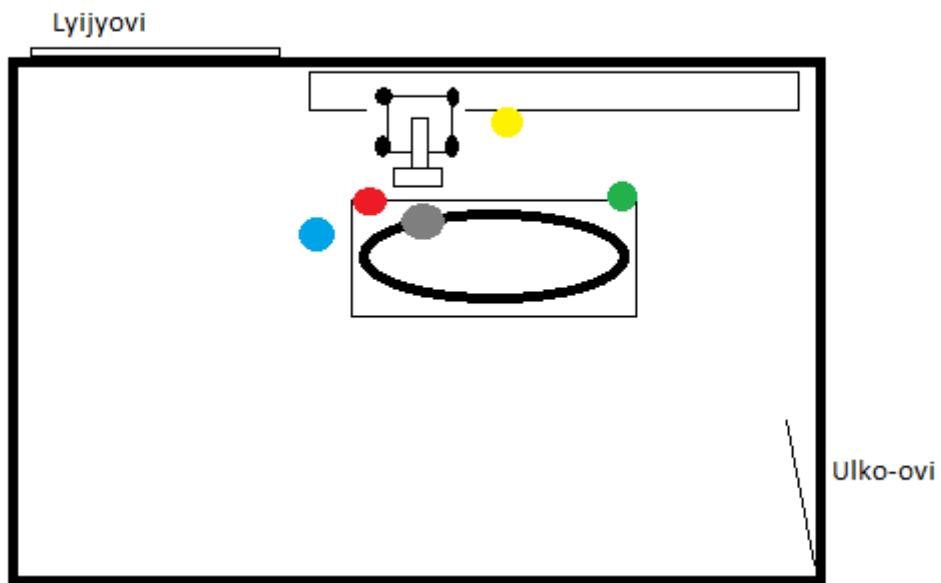
KUVIO 5. Kuvahuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 13 ja 14



KUVIO 6. Kuvahuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 17



KUVIO 7. Kuvahuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 18



KUVIO 8. Kuvahuoneen pohjapiirustus ja mittareiden paikat hevosten kuvauksissa 19