



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
SOSIAALI-, TERVEYS- JA LIIKUNTA-ALA

SÄTEILYTURVALLISUUS HEVOSTEN RÖNTGENKU- VAUKSISSA

Ohje Yliopistolliseen eläinsairaalaan

TEKIJÄ: Pauliina Tolonen

Koulutusala Sosiaali-, terveyst- ja liikunta-ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Pauliina Tolonen	
Työn nimi Säteilyturvallisuus hevosten röntgenkuvauksissa – ohje yliopistolliseen eläinsairaalaan	
Päiväys	14.12.2017
Sivumäärä/Liitteet	38
Ohjaaja(t) Kaija Laitinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yliopistollinen eläinsairaala	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyössä selvitettiin, millä keinoin hevosten röntgentutkimuksia voidaan toteuttaa mahdollisimman säteilyturvallisesti. Työn tavoitteena oli antaa tietoa ionisoivan säteilyn turvallisesta käytöstä eläinlääketieteellistä säteilyä käyttäville, jonka avulla voidaan lisätä säteilyturvallisuuksia hevosten röntgentutkimuksissa. Teoriaosassa käsitellään säteilyä ja sen syntyä, säteilysuojelua, eläinlääketieteellisiä röntgentutkimuksia ja niitä ohjaavia lakeja, asetuksia ja muita säädöksiä sekä ohjeen tekemisen teoriaa.</p> <p>Röntgentutkimukset tulee toteuttaa siten, että henkilökunnalle ja muille henkilöille aiheutuva säteilyaltistus pidetään niin pienenä kuin mahdollista. Röntgentutkimuksia suorittaessa tulee noudattaa ALARA-periaatetta (As Low As Reasonably Achievable) ja vältettävä turhaa säteilyä.</p> <p>Suomessa eläinlääketieteellinen säteilyn käyttö ja röntgenlaitteiden määrä on kasvanut vuosi vuodelta. Säteilytoiminnan turvallisuudesta sekä lain ja säädösten noudattamisesta on vastuussa toiminnanharjoittaja. Eläinlääkinnässä käytettävien röntgenlaitteiden käyttöön tulee olla Säteilyturvakeskuksen myöntämä turvallisuuslupa. Käyttöpaikalla röntgenkuvia saa ottaa säteilysuojelukoulutusta saanut henkilö.</p> <p>Hevosia röntgenkuvatessa ei olla kiinnostuneita kuvauskohteen saamasta säteilyannoksesta vaan kuvauksessa avustavasta ihmisestä, joka altistuu hevosesta siroavalle säteilylle, hajasäteilylle. Hevosia kuvattaessa käytetään huomattavasti suurempia kuvausarvoja kuin ihmisten diagnostisissa natiiviröntgentutkimuksissa. Suuret kuvausarvot lisäävät säteilymäärää. Avustavien henkilöiden pienimmätkin mahdolliset säteilyaltistukset tulee pyrkiä eliminomaan, koska säteilyn käytössä piilee aina mahdollisuus biologisiin haittavaikutuksiin.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä projektityön periaatteita noudattaen. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Yliopistollinen eläinsairaala ja työ toteutettiin yhteistyössä eläinsairaalan henkilökunnan kanssa. Tuotoksena tuotettiin säteilyturvallisuusohje diagnostisen kuvantamisen yksikön käyttöön hevossairaalaan. Lähteinä käytettiin asiantuntijatietoon perustuvaa kirjallisuutta ja yleisistä tietokannoista löytynyttä aineistoa.</p> <p>Jatkotutkimusaiheeksi ehdotan kehittämissideoiden luomista säteilysuojelun parantamiseksi. Lisätutkimuksia voisi tehdä todellisten säteilyaltistusmäärien selvittämiseksi hevosten röntgentutkimuksissa. Tutkimukset voisivat keskittyä Compton-sironnan mittaamiseen. Tutkimuksessa voisi selvittää miten etäisyys ja röntgenputken suuntaaminen vaikuttavat hevosesta lähtevän hajasäteilyn leviämiseen ympäristössä. Myös eläinlääkäreiden todellista säteilysuojelutuntemusta olisi mielenkiintoista selvittää, esimerkiksi kyselyn avulla.</p>	
Avainsanat Säteilyturvallisuus, säteilysuojelu, säteilyaltistus, röntgenkuvaus, hevoset	

Field of Study Social Services, Health and Sports			
Degree Programme Degree Programme of Radiography and Radiation therapy			
Author(s) Pauliina Tolonen			
Title of Thesis Radiation safety in equine x-ray examinations: guidance for Helsinki Equine Hospital			
Date	14.12.2017	Pages/Appendices	38
Supervisor(s) Kaija Laitinen			
Client Organisation /Partners University of Helsinki, Equine hospital			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was implemented as a development work. The objective of this study was to provide information about the safe use of ionizing radiation for persons who use veterinary radiation and to improve the safety culture in veterinary radiology. The purpose of this thesis was to produce a radiation safety guide for the University of Helsinki Equine Hospital. The theoretical part consists of information about radiation in general, radiation safety, laws and guidelines of diagnostic equine imaging and theory basis of making a guide. The material used for the thesis was professional information collected from public databases and literature.</p> <p>The thesis investigated the methods of radiation protection in X-ray examinations of horses. Horses' X-ray examinations should be performed in such a way that radiation exposure to personnel and other people is kept as low as possible and unnecessary radiation is avoided.</p> <p>In Finland the use of veterinary radiation and the number of X-ray machines has increased year by year. The owner of the veterinary X-ray facility is responsible for the radiation safety of a veterinary X-ray facility and for complying with the laws and regulations. All veterinary x-ray equipment must be authorized by the Radiation and Nuclear Safety Authority. Only people who are trained to use the machinery and are familiar with the procedures should use an X-ray machine.</p> <p>The assistant for the X-ray examination (a person holding the horse or the detector) is exposed to scattered radiation from the horse. Radiation protection applies to this person, not to the horse. Any dose of radiation poses some possibility of causing a damaging effect, which is why radiation exposure should be minimized.</p> <p>Subjects of further research could be developing the radiation safety methods used in practise or investigating the actual radiation exposure for personnel in equine X-ray examinations. The studies could focus on measuring Compton scattering and on finding out how the distance and the direction of the X-ray beam affect the scattering of radiation. It would also be interesting to know the real radiation safety knowledge of veterinarians.</p>			
<p>Keywords Radiation safety, radiation protection, radiography, horses, radiation exposure</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	HEVOSTEN NATIIVIRÖNTGENTUTKIMUKSET	6
2.1	Ionisoiva säteily	6
2.2	Röntgensäteilyn synty	6
2.3	Röntgensäteilyn käyttö kuvantamisessa.....	7
2.4	Säteilyn ja aineen vuorovaikutus	9
2.5	Digitaalinen röntgenkuvaus	11
3	SÄTEILYN TURVALLINEN KÄYTTÖ	13
3.1	Säteilysuojelun periaatteet.....	13
3.2	Toimintaa ohjaavat säädökset.....	14
3.3	Työperäinen altistus	15
3.4	Säteilyn haitalliset terveysvaikutukset.....	17
3.5	Säteilyannoksen määrittäminen	18
4	SÄTEILYSUOJELU HEVOSTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA	20
4.1	Rakenteellinen säteilysuojelu	20
4.2	Hevonen röntgentutkimuksessa	21
4.3	Etäisyyden lisääminen säteilylähteeseen	22
4.4	Säteilysuojaimet.....	24
4.5	Työntekijät säteilyturvallisuuden toteuttajana	25
5	OPINNÄYTETYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	28
5.1	Toimeksiantaja	28
5.2	Tarkoitus ja tavoite	28
5.3	Hyvän ohjeen vaatimukset.....	29
5.4	Toteutus.....	29
6	POHDINTA	31
6.1	Opinnäytetyön prosessi	31
6.2	Ammatillinen kasvu	32
6.3	Kehittämisehdotukset.....	34
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	35

Hevosilla on vahva rooli osana suomalaisten harrastus- ja elinkeinoelämää. Suomessa oli viime vuonna 74 200 rekisteröityä ja 25 hevossairaala ja -klinikkaa, jossa näitä hevosia hoidetaan. (Mahdollisuuksien hevonen-työryhmä.) Röntgenkuvaus on hyvä keino saada tietoa sairauden tutkimiseksi tai pois-sulkemiseksi ja diagnoosin varmistamiseksi (Surjan, Ostwald, Milross ja Warren-Forward 2014). Eläinlääkäreiden vastaanotoilla tehdään arviolta vuosittain yli 170 000 eläinröntgentutkimusta. (Säteilyturvakeskus 2017.)

Röntgenhoitajat voivat työskennellä myös eläinlääketieteen parissa. Eläinröntgentutkimusmäärien lisääntyminen tarjoaa röntgenhoitajille enemmän työmahdollisuuksia eläinlääkintähuollossa ja tämä lisää röntgenhoitajien tiedontarvetta röntgenkuvauksen soveltamisesta eläinten kuvaamiseen. Aiheen ajankohtaisuutta lisää vuonna 2018 voimaantuleva säteilylakiuudistus, jonka myötä röntgenhoitaja voisi toimia eläinlääketieteen säteilyn käytössä säteilyturvallisuusvastaavana. Samoin kuin lääketieteellistä säteilyä käyttäviä, hevosten röntgentutkimuksia suorittavia tahoja sitovat Säteilylaki (592/1991), Säteilyasetus (1512/1991) ja Sosiaali- ja terveysministeriön asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä (432/2000). Säteilysuojelun periaatteet perustuvat kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan suosituksiin. Peruseriaatteet ovat oikeutus, optimointi ja yksilönsuoja. Säteilystä saatavan hyödyn tulee olla suurempi kuin haitan, säteilyaltistus on aina pidettävä niin pienenä kuin mahdollista eikä työntekijöiden ja väestön säteilyaltistus saa ylittää asetettuja annosrajoja. (Säteilyturvakeskus 2017.)

Samalla kun kuvauslaitteiden lukumäärä ja hevosille tehtävät röntgentutkimukset lisääntyvät, kasvaa myös työntekijöiden työperäisen altistuksen ja avustavien henkilöiden altistumisen riski (Säteilyturvakeskus 2015a). Säteilyaltistukselle ei ole olemassa turvallista rajaa vaan siitä aiheutuu aina biologisen haittavaikutuksen riski. Säteilyn haittavaikutukset voidaan jakaa välittömiin vaikutuksiin eli deterministisiin ja myöhäisiin eli stokastisiin vaikutuksiin. (Nieminen ja Oikarinen 2017.) Hevosten röntgentutkimuksissa säteilysuojelua ei kohdisteta kuvauskohteeseen vaan keskitytään suojaamaan henkilökuntaa ja muita henkilöitä. Hevosten röntgenkuvauksissa käytetään yleensä avustajaa, joka altistuu säteilylle. (Säteilyturvakeskus 2012.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, millä keinoin hevosten röntgentutkimuksia voidaan toteuttaa mahdollisimman säteilyturvallisesti ja tavoitteena oli antaa tietoa ionisoivan säteilyn turvallisesta käytöstä hevosten röntgentutkimuksia toteuttaville. Opinnäytetyön tuotos on säteilyturvallisuusohje Yliopistollisen eläinsairaalan hevospuolen röntgenkuvausohjekansioon. Tuotoksen avulla voidaan yhtenäistää eläinsairaalassa hevosia kuvaavien henkilöiden toimintatapoja ja helpottaa uusien tai satunnaisesti kuvaavien työntekijöiden säteilyturvallista toimintaa. Opinnäytetyön teoriaosa toimii muistilistana, josta asioita voi kerrata ja sen avulla voidaan parantaa henkilökunnan ja ulkopuolisten henkilöiden säteilysuojelua. Opinnäytetyötä on mahdollista hyödyntää muissakin hevosia kuvaavissa yksiköissä ja siitä saavat tietoa myös aiheesta kiinnostuneet röntgenhoitajaopiskelijat

2 HEVOSTEN NATIIVIRÖNTGENTUTKIMUKSET

Natiiviröntgentutkimuksella tarkoitetaan tavanomaista röntgensäteilyllä tehtyä tutkimusta, jossa ei käytetä varjoainetta. Hevosille voidaan tehdä myös tutkimuksia, jossa varjoaineella saadaan tehostetua halutun alueen näkyvyyttä. (Fogarty, Reinhart, Tzvetkov, Nesch ja Williams 2011.) Tässä opinäytetyössä röntgenkuvaus-termillä tarkoitetaan pääasiassa natiiviröntgentutkimuksia eli ilman varjoainetta tehtäviä tutkimuksia.

2.1 Ionisoiva säteily

Säteilylain (1991) mukaisesti säteilyllä voidaan tarkoittaa ionisoimatonta tai ionisoivaa säteilyä. Ionisoivaksi säteilyksi nimitetään säteilyä, joka on riittävän suurienergistä irrottamaan väliaineesta elektroneja eli ionisoimaan sitä (Lammentausta 2017, 416). Ionisoivaa säteilyä on hiukkassäteily ja energettinen sähkömagneettinen säteily, kuten gamma- tai röntgensäteily. Gamma- ja röntgensäteilyä voidaan kutsua myös fotonisäteilyksi ja ne pystytyään erottamaan toisistaan syntytapansa mukaan; gammasäteilyä syntyy atomin ytimestä ja röntgensäteilyä atomin elektronikuorilta (Bushong 2013, 42). Ionisoimattomassa säteilyssä ionisaatioita ei esiinny merkittävästi. Esimerkkejä ionisoimattomasta säteilystä ovat näkyvä valo, ultraviolettisäteily ja radioaallot. Ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn ero johtuu niiden erilaisista aallonpituuksista. (Pukkila 2004, 18). Säteilyä on myös ionisoiva luonnonsäteily, joka on peräisin avaruudesta tai luonnon radioaktiivisista aineista (Säteilylaki 1991, 8§).

2.2 Röntgensäteilyn synty

Röntgensäteilyä syntyy elektronien energiatilojen muutoksen vuoksi (Lammentausta 2017, 416). Röntgenputkessa suurinopeuksiset elektronit törmäytetään aineeseen, jolloin noin prosentti elektronien energiasta vapautuu röntgensäteilyä (Bushong 2013, 125). Lyijytettyyn suojavaippaan ja lasikuoreen verhotun röntgenputken sisällä tyhjiössä on kaksi tärkeää komponenttia röntgensäteilyn synnyn kannalta: anodi ja katodi. Katodina toimii kaksi hehkulankaa, jotka saavat virtaa röntgengeneraattorin suurjännitteen avulla. Anodin ja katodin väliin kytketään suurjännite (putkijännite), jolloin sähkökenttä vetää katodilta irtoavat elektronit anodille, johon ne törmäävät putkijännitteen suuruudesta riippuvalla nopeudella. Anodiin törmätessään elektronit menettävät nopeasti liike-energiaansa, joka vapautuu röntgensäteilyä sekä valo- ja lämpöenergiana. (Lammentausta 2017, 417-418.) Siitä anodin kohtaa, johon elektronit osuvat, nimitetään fokukseksi. Nykyaikaisissa laitteissa fokuskokoa voidaan vaihtaa pienen ja suuren välillä. (Butler, Colles, Dyson, Kold, Poulos ja Puchalski 2017.) Säteilyn lähteminen muualle kuin haluttuun suuntaan estetään röntgenputken lyijykuoren avulla. Siinä olevaa suojaamatonta kohtaa nimitetään säteilyikkunaksi ja sen kautta pääsee kuvantamiseen käytettävä säteily ulos. (Lammentausta 2017, 418).

Röntgenputkesta ei saada vain yhtä energiaa vaan jatkuva jakauma aallonpituudeltaan erilaista säteilyä. Röntgenspektrillä tarkoitetaan säteilyn määrä energian funktiona. Röntgenputkesta saadaan ulos pääasiassa kahta erityyppistä säteilyä: jarrutus- ja karakterististä säteilyä (Lammentausta 2017, 418.)

Jarrutussäteilyä (bremsstrahlung) syntyy kiihdytetyn elektronin liike-energian muutoksen vuoksi. Vapaa elektroni kulkee läheltä raskaan atomin ydintä ja elektronin liikkeen suunta muuttuu ja vauhti hidastuu. Jarrutussäteilyn energia riippuu elektronin kokeman muutoksen suuruudesta; mitä suurempi muutos sitä enemmän elektroni hidastuu eli jarruuntuu ja sitä suurempi on energia (Lammentausta 2017, 418). Karakterististä säteilyä eli ominaissäteilyä syntyy kun anodimateriaalin atomien elektroniverhoon syntyneet viritysilat purkautuvat. Karakteristinen näkyy röntgensäteilyn spektrissä korkeina piikkeinä. (Bushong 2013, 134).

2.3 Röntgensäteilyn käyttö kuvantamisessa



KUVA 1. Erään valmistajan säätöpöytä. Säätöpöydän yläpaneelissa nähdään käytettävä jännite (70 kV), virta (320 mA) ja säteilytisaika (500 msec). Alavalikoista valitaan sopiva kuvausohjelma. (Tolonen 2017)

Röntgenputken toimintaa ohjataan röntgengeneraattoria ohjaamalla. Säätöpöydästä (kuva 1) valitaan sopiva virta (mA) ja jännite (kV), kuvausajat sekä mahdollisesti valotusautomaatiikkaan liittyvät valinnat. Syntyneen säteilyn energiaspektriin vaikuttaa anodimateriaali, suodatus, jännite (kV) ja virta (mA). Röntgenputken läpi kulkevan sähkövirran eli putkivirran mittayksikkö on mA (milliampeeri) ja sillä kuvataan sitä minkä verran elektroneja siirtyy katodilta anodille sekunnin aikana. Mitä korkeampi mA sitä enemmän elektroneja siirtyy ja sitä enemmän syntyvässä säteilyssä on fotoneita, mikä määrää säteilyn voimakkuuden röntgenspektrin alueella. (Nieminen, Lammentausta ja Saarakkala 2017, 416.) Röntgensäteilyn määrä on riippuvainen katodilta anodeille päässeiden elektronien määrästä ja säteilytysajasta eli ajasta, jona röntgenputki tuottaa röntgensäteilyä. Yksikkö, jolla kuvataan putkivirtaa ja säteilytisaikaa, on mAs eli milliampeeria sekunnissa. (Bushong 2013, 237-238.) Pidentämällä säteilytisaikaa kasvatetaan samassa suhteessa fotonien kokonaismäärää. (Butler ym. 2017.) Liikkuvia kohteita, esimerkiksi hevosen päätä, kuvattaessa käytetään mahdollisimman lyhyttä valotusaikaa (matala mAs), jotta vältetään liikkeen aiheuttamilta haitoilta (Thrall 2013b, 106).

Röntgenputken jännite (kV) vaikuttaa tuotetun säteilyn määrään ja laatuun ja määrää syntyvän röntgensäteilyn maksimienergian. (Nieminen, Lammentausta ja Saarakkala 2017, 416.) Säteily on sitä läpitukevampaa mitä enemmän on kiloelektronivolteja käytössä, koska jännitteen nostaminen lisää

elektronien nopeutta ja nostaa niiden energiaa. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 249.) Kiloelektronivoltti (keV) on energian yksikkö, jolla kuvataan elektronien energiaa. Esimerkiksi kun kVp on 100, hehku-langalta anodille liikkuvien elektronien energia on 100 keV (100 000 voltia) tai vähemmän. Termi kVp on lyhennelmä englannin kielen sanoista peak kilovoltage, jolla kuvataan suurinta käytössä olevaa röntgenputken jännitettä eli röntgenspektrin suurinta energiaa. Todellisuudessa jännite vaihtelee ja röntgensäteilyn keskimääräinen energia on huomattavasti pienempi kuin suurin mahdollinen energia. (Thrall ja Widmer 2013, 11; Statkiewicz Sherer ym. 2014, 249.)

Röntgenputken säteilyikkunan kohdalla on vähintään 2,5 millimetriä alumiinia, primäärisäteilyn suodatin, jolla saadaan suodatettua pois pienienergiset fotonit. Säteilyn spektri muuttuu ja kuvanmuodostukseen sopivan säteilyn energia kasvaa. (Statkiewicz Sherer, Visconti, Ritenour ja Haynes 2014, 240; Lammentausta 2017, 418). Röntgenkuvaukseen sopivan energiaspektrin valinta on tasapainoteltua eri tekijöiden kesken. Kapea energiaspektri olisi optimaalinen kuvaukseen, koska silloin säteily on tasaisempaa, mutta tämän aikaansaamiseksi täytyisi käyttää hyvin paksua lisäsuodatusta, joka kuormittaisi liikaa röntgenputkea. Käytännössä pyritään luomaan energiaspektristä sellainen, että kuvailmaisoin saa riittävästi absorboituvaa säteilyä muodostaakseen kuvan ja säteilyä ei turhaan absorboidu potilaaseen. (Starck 2014.)

Röntgenkuvauksella saadaan lisätietoa luisista rakenteista ja jossain määrin pehmytkudoksista. Röntgenkuvauksen varjopuolia on rakenteiden kuvautuminen päällekkäin ja heikko informaation saanti pehmytkudoksista. (McKnight 2004.) Röntgensäteilyn diagnostinen käyttö perustuu sen läpäisykykyyn ja vuorovaikutukseen kudosten kanssa. Röntgenputken tuottama röntgensäteily ohjataan kuvattavan kohteen läpi kuvailmaisimelle. (Blanco Sequeros ja Lundbom 2017, 10.) Säteilyn intensiteetti vaimenee sen kohdatessa kuvauskohteen kudoksen, kun osa säteilyn fotoneista kokee vuorovaikutuksen kudoksen molekyylien atomien kanssa ja siroaa (Compton sirona) tai absorboituu (valosähköinen absorbtio) kudokseen ja osa kulkee kudoksen lävitse vuorovaikuttamatta. Säteilyn vaimenemiseen eli fotonien absorbtioon vaikuttavat kuvauskohteen paksuus, kudosten tiheys ja alkuainekoostumus sekä säteilyn spektri. (Lammentausta 2017, 416, 419.)

Kuvailmaisoin tunnistaa läpi kulkeneen säteilyn määrän ja paikan, ja tämä tieto muutetaan röntgenkuvaksi (Blanco Sequeiros ja Lundbom 2017, 10). Syntynyt röntgenkuva on kaksiulotteinen kuva kolmiulotteisesta kohteesta. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 40.) Kuvaan syntyy kontrastia, koska tiheydeltään erilaiset kudokset absorboivat säteilyä eri määrän (Starck 2014). Kudosten erilaisista tiheyksistä ja atomiluvuista johtuen röntgenkuvasta erotetaan erilaisia muotoja ja rakenteita (Butler ym. 2017). Tavanomaisessa röntgenkuvassa vaaleina kohtina näkyvät sellaiset kehon osat, jotka vaimentavat säteilyä voimakkaasti, ja tummina kohtina sellaiset, jotka läpäisevät hyvin säteilyä (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 40). Säteilyn on vaikeampaa läpäistä luuta kuin ilmaa, jonka takia vähemmän säteilyä saavuttaa ilmaisimen luun kohdalta ja röntgenkuvassa luu kuvautuu valkeana ja ilma mustana. Kudokset, joiden tiheys on jotain luun ja ilman välillä, näkyvät kuvassa harmaan eri sävyissä. (Butler ym. 2017.)

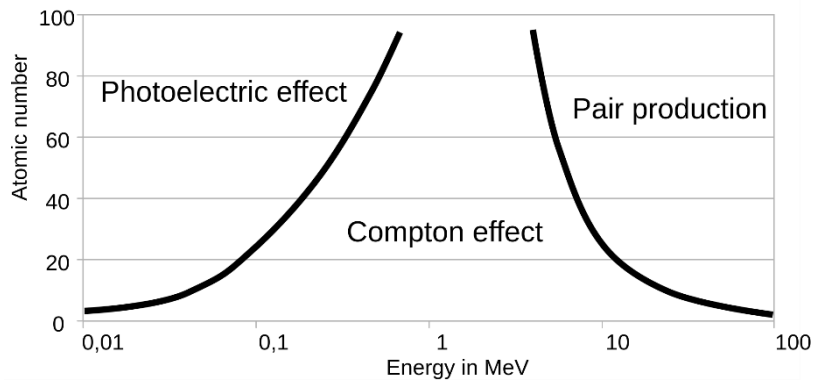
Kiihdytysjännite valitaan kuvattavan kohteen mukaan ja sitä muuttamalla saadaan kuvaan erilaista kontrastia (Pukkila 2004, 18; Statkiewicz Sherer ym. 2014, 249). Säteilyn läpitukenavuus lisääntyy jännitteen noustessa, jolloin kuvan kohina pienenee ja kontrasti huononee. (Pukkila 2004, 18; Statkiewicz Sherer ym. 2014, 249). Liian pienellä jännitteellä kuvauskohde absorboi fotoneja liikaa eikä niitä saada riittävästi kuvailmaisimelle kuvanmuodostusta varten (Nieminen, Lammentausta ja Saarakkala 2017, 416.) Luisia rakenteita tarkasteltaessa jännitteen tulisi tavallisesti olla alle 70 kilovolttia. Jos kuvaan halutaan vähemmän kontrastia, mAs puolitetaan ja virtaa lisätään virtaa noin 15 prosenttia. Vastavasti jos kuvaan halutaan enemmän kontrastia, mAs:ia lisätään ja virtaa vähennetään noin 15 prosenttia. (Butler 2017.)

Kuvailmaisimen saavuttaneen säteilyn määrään vaikuttaa myös kuvailmaisimen ja röntgenputken fokuksen välinen etäisyys. Lyhenteet FFD (focus-film distance) ja SID (source-image distance) kuvaavat tätä etäisyyttä. Säteilykeila leviää keilamaisesti joten kuvailmaisimen saavuttavan säteilyn määrä pienenee etäisyyden neliölain mukaisesti. Pienillä etäisyyden muutoksilla saatetaan vaikuttaa syntyneeseen kuvaan huomattavasti. Tyypillisesti hevosia kuvatessa FFD on 75-100 senttimetriä. (Butler ym. 2017.)

2.4 Säteilyn ja aineen vuorovaikutus

Energialain mukaisesti energiaa ei synny eikä sitä häviä. Suurinpiirtein vain 0,5 prosenttia röntgenputkesta tulleesta röntgensäteilystä saavuttaa kuvailmaisimen ja osallistuu kuvanmuodostukseen. Säteilyn energiaa siis jää jonkin matkalla röntgenputkesta kuvailmaisimelle. (Bushong 2014, 155.) Säteilyn vuorovaikuttaessa kudoksen kanssa osa säteilykvantin energiasta siirtyy väliaineeseen (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 40). Lääketieteellisissä röntgentutkimuksissa tällä on merkitystä sen vuoksi, että potilaalle syntyy säteilyannosta (Husso 2011). Eläinlääketieteellisissä röntgentutkimuksissa eläimeen absorboitunut annos vaikuttaa avustajan säteilyaltistukseen (BCCCD RIN #23 2014).

Röntgendiagnostiikalle tärkeät säteilyn vuorovaikutustavat ovat valosähköinen ilmiö ja Compton-sironna. Valosähköisessä ilmiössä fotonin osuu atomin elektroniin ja irrottaa sen elektronikuoreltaan. Osa fotonin energiasta kuluu elektronin irrottamiseen ja loppu jää irronneen elektronin liike-energiaksi. Liike-energiaa saanut elektroni jatkaa matkaansa. (Bushong 2014, 150.) Fotonilla pitää olla enemmän energiaa mitä irrottaminen vaatii, jotta tämä ilmiö tapahtuu. Ionisaation vuoksi valosähköisessä ilmiössä vapautuu karakterististä säteilyä. Compton-sironnassa fotonin osuu atomin elektroniin ja irrottaa sen eli tapahtuu ionisaatio. Fotonin ei menetä kaikkea energiaansa vaan vaihtaa suuntaansa ja jatkaa matkaa energialtaan heikompana. (Lammentausta 2017, 419.)



KUVIO 1. Fotonisäteilyn vuorovaikutusilmiöiden osuus säteilyenergian ja aineen protoniluvun funktiona (Wikimedia Commons s.a.)

Comptonin sironnan ja valosähköisen absorbtion ilmenemiseen vaikuttaa käytetyn säteilyn energia ja väliaineen atomin järjestysluku (Lammentausta 2017, 419). Kuviossa 1 kuvataan näiden vuorovaikutusilmiöiden valta-alueita. Valosähköisen ilmiön esiintymisen todennäköisyys kasvaa kun väliaineen järjestysluku on suuri ja säteilyn energia alhainen (Husso 2011). Compton-sironta on vallitseva ilmiö pehmytkudoksissa 30 kiloelektronivoltista alkaen ja luussa 50 kiloelektronivoltista alkaen (Lammentausta 2017, 420). Valosähköistä ilmiötä tapahtuu eniten tätä pienemmillä energioilla. Luun kalsiumilla on korkea atomiluku, jonka vuoksi on todennäköisempää, että säteily vuorovaikuttaa luun kanssa valosähköisellä ilmiöllä. (Starck 2014.)

Kuvauskohteesta itsestään lähtee säteilyä ulospäin, koska Compton-sironnassa säteilykvantti muuttaa väliaineessa kulkusuuntaansa ja siroaa. Tätä nimitetään siroavaksi säteilyksi tai hajasäteilyksi. Siroamista voi havainnollistaa esimerkiksi ajatteleamalla taskulampun valokeilaa pimeässä huoneessa; valonsäteet leviävät ympäri huonetta. Compton-sironneet fotonit eivät osallistu kuvanmuodostukseen vaikka ne osuisivatkin kuvailmaisimelle vaan aiheuttavat kuvaan kohinaa. (Bushong 2015, 154.) Kuvauskohteesta siroava säteily aiheuttaa säteilyannosta niille, jotka joutuvat säteilyn käytön ajan pysymään lähellä kuvauskohdetta (Husso 2011). Säteilyturvakeskuksen (2015) mukaan kiinnipitäjälle aiheutuu kuvauksesta noin 1-10 mikrosievertin (μSv) säteilyannos, johon vaikuttavat käytetyt kuvausarvot (Säteilyturvakeskus 2015a). Suomessa luonnon taustasäteily aiheuttaa ihmiselle noin 3,6 mikrosievertin (μSv) säteilyannoksen päivässä (Säteilyturvakeskus 2008). Säteilysuojelullisesti on tärkeää ymmärtää miten siroava säteily käyttäytyy ja hahmottaa sen leviämistä kuvaushuoneessa. Kun tiedetään mihin suuntaan säteily todennäköisimmin siroaa eniten, pystytään suunnittelemaan säteilyturvallisimmat paikat huoneessa oleville kuvauksen aikana. (Julkunen 2008.)

Sironnutta säteilyä voidaan mitata suoraan tai arvioida laskennallisesti Monte Carlo-menetelmällä. (Julkunen 2008.) Monte Carlo-simulaatio on numeerinen metodi, jossa toistetaan samankaltaisia laskelmia useita kertoja peräkkäin Monte Carlo-menetelmän avulla. Simulaatiossa asetetaan lähtötiedolle rajat, käytetään algoritmeja ja tehdään päätelmiä laskelmien perusteella. Menetelmä on yhdistelmä tilastotiedettä ja todennäköisyyslaskentaa. (Harrison 2010.) Takaisinsirontaa tapahtuu eniten takaisin

röntgenputken suuntaan (Säteilyturvakeskus 2017.) Sironneen säteilyn määrä voi olla jopa 40 prosenttia kuvauskohteen saavuttamasta säteilystä ja isoja kohteita kuvatessa sironneen säteilyn määrä voi olla suurempi kuin säteilyn, joka osallistuu kuvanmuodostukseen (Julkunen 2008).

2.5 Digitaalinen röntgenkuvaus

Nykyisin lähes kaikki eläinröntgenkuvauslaitteet tuottavat digitaalisia röntgenkuvia. Aiemmin, kun menetelmä oli analoginen, käytettiin kuvailmaisimena valokuvafilmiä. (Robertson ja Thrall 2013, 22). Nykyisin digitaalisella aikakaudella kuvailmaisimena on joko kuvalevy tai taulukuvailmaisim. Digitaalinen röntgenkuvaus voidaan jaotella digitaaliseen levykuvantamiseen (computed radiography, CR) tai suoradigitaaliseen röntgenkuvaukseen (digital radiography, DR). Kuvalevyissä on ilmaisinaaineena loistemateriaalia, tyypillisesti bariumfluorohalidia (Nieminen 2017,423.; Wrigley 2004.) Loistemateriaaliin osuessa fotonit aiheuttaa viritystiloja, joista osa purkautuu ja osa jää loukkuun. Levyn elektronit virityvät samassa suhteessa kuin säteilyä on kullekin alueelle tullut. Levyille on siis syntynyt väliaikainen latentti kuva, joka saadaan luettua kuvalevystä erillisessä lukijalaitteessa. (Robertson ja Thrall 2013, 23.) Lukijalaitteessa kasetti avataan ja kuvalevystä puretaan viritystilat piste pisteeltä laserin avulla. Purkautuessaan atomien viritystilat synnyttävät valoa eri aallonpituuksilla. Siihen kohtaan mihin on eniten tullut säteilyä, syntyy myös eniten valoa. (Wrigley 2004.) Tämä vapautunut valo vahvistetaan valomonistinputken avulla ja ohjataan analogi-digitaalimuuntimeen. Muunnin muuttaa valon sähköiseksi signaaliksi eli bittijonoksi, joka kulkee valokaapelia pitkin tietokoneen matriisille. (Nieminen 2017, 423.) Lopuksi fluoro-soivalla valolla kuvalevytä poistetaan latentti kuva ja se on jälleen käyttövalmis seuraavaa kuvausta varten (Wrigley 2004).

Suoradigitaalisessa kuvauksessa käytetään kuvalevyjen sijaan taulukuvailmaisimia röntgensäteiden havaitsemiseen. Taulukuvailmaisimilla kuvaaminen nopeuttaa työtä kun kuvan muodostaminen tapahtuu suoraan ilmaisimella. (Robertson ja Thrall 2013, 22.) Taulukuvailmaisimien etuihin kuuluu parempi kyky rekisteröidä fotoneita verrattuna kuvalevyyn (Nieminen 2017, 424). Taulukuvailmaisimia on kahta päätyyppiä: epäsuoran ja suoran konversion ilmaisimia. Epäsuoran konversion ilmaisimissa fotonit absorboituvat ilmaisinaaineeseen, esimerkiksi cesiumjodidiin, ja synnyttävät valontuikahduksen, jonka intensiteetti on verrannollinen ilmaisinaaineeseen absorboituneeseen säteilyn määrään. Fotodiodimatriisin avulla tuikahdus muuntuu sähköiseksi signaaliksi. (Bushong 2014, 298.) Suoran konversion ilmaisimien taas kostuu amorfisen seleenin kerroksesta, jonka yli on viritetty sähkökenttä. Fotonin osuessa ilmaisinaaineeseen syntyy sähkökentän avulla kondensaattorille kerättävä sähkövaraus, joka on verrannollinen säteilyn intensiteettiin. (Nieminen 2017, 423.)

Syntyneestä kuvasta on mahdollista säätää harmaasävyä, kirkkautta ja kontrastia sekä kuvan tasaisuutta ja terävöitystä. Kuva tallennetaan tietokoneelle digitaalisessa muodossa ja on tarkasteltavissa tietokoneen näyttöpäätteeltä. (Nieminen 2017.) Kuvanlaatua arvioidaan kolmen toisistaan riippuvaisen parametrien avulla. Kontrasti, terävyys ja kohinan vaikuttavat kuvattavan kohteen visualisoitumiseen. (Bushong 2014, 245). Terävyys on yksi keskeisimmistä tekijöistä hyvälle kuvalle. Kontrastiksi kutsutaan kuvan tummimman ja vaaleimman alueen erotusta. Matalakontrastisessa kuvassa on käytössä kapea skaala harmaasävyjä ja vastaavasti korkeakontrastisessa kuvassa on harmaasävyyskaala

laaja. (Bushong 2014, 249.) Kontrastin pitää olla riittävä, jotta haluttu muutos voidaan erottaa ympäröivästä kudoksesta. Kontrastinerotuskyvyllä arvioidaan kuvantamisen kykyä siirtää todellinen fysikaalinen kontrasti lopulliseen kuvaan. Kohina, joka on harmaansävyn vaihtelua fysikaalisesti samantyyppisillä alueilla, heikentää kuvanlaatua. Kohinaa syntyy kuvaan kun liian vähän röntgensäteitä saavuttaa kuvanilmaisimen esimerkiksi sironneen säteilyn vaikutuksesta ja kuva näyttää rakeiselta. Kuvan kohinaa mitataan signaali-kohinasuhteella (Signal to Noise Ratio, SNR), joka ilmaistaan suhdeluvulla. Mitä suurempi suhdeluku on, sitä vähemmän kuvassa on kohinaa. (Saarakkala ja Nieminen 2017, 457-458.)

3 SÄTEILYN TURVALLINEN KÄYTTÖ

Röntgensäteilyn lääketieteellinen käyttö alkoi muutaman vuoden kuluttua siitä, kun Wilhelm Conrad Röntgen oli vuonna 1895 keksinyt röntgensäteilyn. Jo 1900-luvun alussa huomattiin, että röntgensäteilyllä on sekä hyödyllisiä että haitallisia vaikutuksia ihmisille. Näiden haitallisten vaikutusten hallitsimiseksi tarvitaan säteilysuojelua. Säteilyturvallisuus on sitä, että kaikessa säteilyn käytössä estetään ja vähennetään eri toimenpiteiden avulla potilaiden, työntekijöiden ja väestön säteilyaltistusta. (Statkiewicz Sherer 2014, 2.) Kaikki säteilysojelukeinot perustuvat kolmeen pääperiaatteeeseen, jotka ovat oikeutus-, optimointi ja yksilönsuojaperiaate. (Säteilyturvakeskus 2013).

Säteilytoiminnan turvallisuudesta sekä lain ja säädösten noudattamisesta on vastuussa toiminnanharjoittaja (Säteilyturvakeskus 2012). Säteilysojelua toteuttavat kaikki säteilyä käyttävät ja säteilyturvallisella työskentelyllä estetään ei-toivottua ja tarpeetonta säteilyaltistusta. Ihmisen altistumista säteilyllä ei voida välttää. Noin puolet suomalaisten säteilyaltistuksesta aiheutuu sisäilman radonista, luonnon radioaktiivisuudesta ja avaruussäteilystä (Nieminen ja Oikarinen 2017). Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos on noin 3,2 millisievertiä vuodessa. Säteilylle voi altistua ionisoivaa säteilyä käyttävissä kuvantamistutkimuksissa, joko potilaana tai henkilökuntana. (Säteilyturvakeskus 2015b.) Lukuisista tutkimuksista huolimatta ei ole saatu selvyttä siihen, että onko olemassa turvaraja, jonka alle jäävä säteily määrä olisi turvallista. Pienessäkin säteilyaltistuksessa on aina riski biologisille haittavaikutuksille. (Thrall ja Widmer 2013, 5.)

3.1 Säteilysojeluksen periaatteet

Säteilysojeluksen periaatteet perustuvat kansainvälisen säteilysojelutoimikunnan ICRP:n (International Commission on Radiological Protection) suosituksiin (Säteilyturvakeskus 2013). Säteilylain (1991) mukaisesti säteilyn lääketieteellistä käyttöä ohjaavat säteilysojeluksen pääperiaatteet, joiden tulee toteutua, että säteilyn käyttö on hyväksyttävää. Oikeutusperiaatella tarkoitetaan, että toiminnalla saatavan hyödyn tulee olla suurempi kuin haitan. Optimointiperiaatteen mukaisesti säteilylle altistava tutkimus tulee tehdä niin, että tutkimuksen tavoite täyttyy, mutta säteilyaltistus pidetään niin pienenä kuin mahdollista. Kun työntekijöiden tai väestön yksilön saama säteilyannos ei ylitä säteilyasetuksessa asetettuja annosrajoja, niin yksilönsuojaperiaate toteutuu. (Säteilylaki 1991.)

Hevosten röntgentutkimuksissa eläinlääkäri arvioi kuvauksen tarpeellisuuden eli oikeuttaa tutkimuksen. Tutkimuksella saadun diagnostisen tiedon antaman hyödyn pitää ylittää pienestä säteilyaltistuksesta mahdollisesti saadun haitan, jotta sen toteuttaminen on oikeutettua. (Statkiewicz Sherer 2014, 4.) Optimointiperiaatella tarkoitetaan samaa kuin ALARA-periaatella (As Low As Reasonably Achievable). Turhaa säteilyaltistusta vältetään pitämällä säteily määrä ja siitä aiheutuva säteilyannos niin pienenä kuin on käytännön toimin mahdollista. (Statkiewicz Sherer 2014, 5.) Oikeat työtavat ja optimoitu tutkimustekniikka ovat keinoja säteilyaltistuksen pienentämiseen (Thrall ja Widmer 2013, 5). Röntgenkuvaus toteutetaan käyttäen niin vähäistä säteily määrää kuin on mahdollista, kuitenkin niin, että saadaan diagnostisesti riittävä kuva yhdellä kertaa. Uusintakuvaus lisää aina säteilyaltistusta, joten tulee pyrkiä siihen, että kuvauslaitteisto ja -tekniikka ovat kunnossa, jottei uusintoja täydy tehdä

niiden vuoksi. Turvallista säteilyannosta ei ole olemassa, jonka takia on tärkeää pyrkiä minimoimaan säteilyaltistuksen määrä jokaisessa röntgentutkimuksissa. (Statkiewicz Sherer 2013, 5.)

Yksilönsuojaperiaatetta toteutetaan rakenteellisella ja toiminnallisella säteilysuojelulla kun ympäröivien tilojen säteilyaltistus minimoidaan eikä väestön yksilöille aiheuteta säteilyrasitusta. (Säteilyturvakeskus 2012.) Väestön yksilön saama säteilyaltistus ei saa ylittää vuodessa 1 millisievertiä eikä silmän mykiön ekvivalenttiannos saa ylittää arvoa 15 millisievert eikä ihon minkään kohdan annos 50 millisievertiä vuodessa. Tähän ei lasketa mukaan mahdollisesta lääketieteellisestä tutkimuksesta saatua annosta, jossa henkilö on itse ollut potilaana. (Säteilyasetus 1991). Yksilöksi huomioidaan myös syntymätön lapsi. Säteilyaltistuksen vaikutus alkioon tai sikiöön riippuu sen iästä ja säteilyn voimakkuudesta. Alkuvaiheessa säteilyaltistukseen joutuessaan alkio joko kuolee tai jatkaa kehittymistään normaalisti. Myöhemmässä vaiheessa mahdollinen haittavaikutus riippuu sikiön kehitysvaiheesta. Syntyvälle lapselle voi aiheutua korkeasta säteilyaltistuksesta synnynnäisiä poikkeavuuksia, hidastunutta kasvua ja kehitystä, henkistä jälkeenjääneisyyttä tai pahanlaatuisia sairauksia. (Bushong 2013, 532.)

3.2 Toimintaa ohjaavat säädökset

Hevosten röntgentutkimuksia suorittavia tahoja sitovat samat lait ja asetukset kuin muitakin lääketieteellistä säteilyä käyttäviä. Suomessa Säteilylaki 592/1991, Säteilyasetus 1512/1991 ja Sosiaali- ja terveysministeriön asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä 432/2000 perustuvat kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan ICRP:n (International commission on radiological protection) periaatteisiin ja suosituksiin. Säteilyturvakeskus (STUK) on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalan viranomainen, joka valvoo säteilylain, säännösten ja määräysten noudattamista. STUK valvoo säteilyn lääketieteellistä käyttöä ja antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevia ohjeita. (Säteilyturvakeskus 2016.) Säteilyturvakeskus suorittaa tarkastuksia säteilyä käyttäviin paikkoihin säännöllisesti. Vuonna 2016 eläinröntgentoimintaan kohdistuvia tarkastuksia oli 43. (Pastila 2017.)

Säteilylain (1991) määrämänä eläinröntgenlaitteiden käyttöön on haettava turvallisuuslupa Säteilyturvakeskukselta. Hakemuksen yhteydessä täytyy toimittaa selvitys säteilyn käyttötarkoituksesta, röntgenlaitteista ja kuvausmääristä sekä pohjapiirustus röntgenhuoneesta ja ympäröivistä tiloista, jotta on mahdollista tarkastella onko huoneessa turvallista suorittaa röntgenkuvauksia. Jos laitetta käytetään myös muualla kuin varsinaisessa käyttötilassa, esimerkiksi tallilla, on turvallisuuslupahakemukseen liitettävä selvitys miten säteilyturvallisuus taataan näissä olosuhteissa. Toiminnanharjoittajan, esimerkiksi säteilylähteitä käyttävän yrityksen, on nimettävä säteilyn käytön turvallisuudesta vastaava johtaja, joka on eläinlääkäri tai muu vastaavan johtajan kuulustelun suorittanut henkilö, jolla on eläinlääketieteellistä, eläinröntgentoimintaan tai terveydenhuollon röntgentoimintaan liittyvää koulutusta ja hyvä käyttöpaikan toiminnan tuntemus. Turvallisuusluvan tulee olla ajantasalla eli Säteilyturvakeskukseen tulee ilmoittaa muun muassa jos turvallisuusluvan haltija muuttuu tai laitteita siirretään, poistetaan tai hankitaan uusia. (Säteilyturvakeskus 2012.)

Uuden vuonna 2018 voimaantulevan säteilylain luonnoksessa esitetään, että nykyisen turvallisuudesta vastaavan johtajan tehtävät voitaisiin jakaa kolmeen eri vaatimustasoiseen tehtävään. Tulevaisuudessa vastaavan johtajan tehtävät jakautuisivat säteilyturvallisuusvastaavalle, säteilyturvallisuusasiantuntijalle ja lääketieteellisen fysiikan asiantuntijalle. Säteilyturvallisuusasiantuntijalta vaadittaisiin ylemmän korkeakoulun tutkinto, mutta säteilyturvallisuusvastaavana terveydenhuollon röntgentoiminnoissa ja eläinlääketieteen röntgentoiminnoissa voisivat toimia röntgenhoitaja. Vastaavanlainen järjestely on ollut käytössä jo muualla Euroopassa. Säteilyturvallisuusvastaavan tehtävänä on huolehtia toiminnanharjoittajan apuna säteilysuojelun toteuttamisesta ja röntgenhoitajalla on laaja käytännön säteilysuojelukoulutus, joka soveltuisi säteilyturvallisuusvastaavana toimimiseen. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2017.)

3.3 Työperäinen altistus

Säteilylain (1991/592) mukaisesti toiminnanharjoittajan tulee suunnitella ja toteuttaa työntekijöiden säteilysuojelu laissa säädettyjen periaatteiden mukaisesti. Säteilyasetuksessa (1991) ohjeistetaan, että työntekijöiden säteilyaltistusta täytyy valvoa ja määrittää annostarkkailun avulla sekä säteilyaltistukseen vaikuttavia työoloja tarkkailla. Työntekijään kohdistuva säteilyaltistus ennakoidaan ja sen perusteella työntekijät jaotellaan säteilytyöluokkaan A tai B (Säteilylaki 1991, 32§). Säteilytyöluokkaan A kuuluu työntekijät, joiden työssä saatava mahdollinen annos on 6mSv tai enemmän tai silmän mykiön ekvivalenttiannos on suurempi kuin 45 mSv vuodessa tai ihon, käsien ja jalkojen ekvivalenttiannos on suurempi kuin 150 mSv vuodessa. Eläinröntgentutkimuksissa säännöllisesti valvonta-alueella säteilytyksen aikana työskentelevät työntekijät luokitellaan säteilytyöluokkaan A. Valvonta-alue tarkoittaa säteilytyksen aikana tutkittavan eläimen lähiympäristöä, johon kohdistuu primäärisäteilyä tai siroavaa säteilyä (Säteilyturvakeskus 2009). Muut työntekijät kuuluvat säteilytyöluokkaan B.

Tieto säteilyannosten terveysvaikutuksista lisääntyy jatkuvasti ja tutkimustietoa sovelletaan käytäntöön. Säteilytyötä tekeville on säädetty tarkat enimmäisarvot säteilyaltistuksen suhteen. Työntekijän efektiivinen annos ei saa ylittää keskiarvoa 20 millisievertiä (mSv) vuodessa viiden vuoden ajanjaksolla eikä koskaan vuodessa ylittää arvoa 50 millisievertiä (mSv). Silmän mykiön ekvivalenttiannos ei saa ylittää arvoa 150 mSv eikä käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannos arvoa 500 mSv vuodessa. Silmän linssin ekvivalenttiannosta on tiukennettu uuden Euroopan komission asettaman Euratom-direktiivissä (2013/59), joka asetti silmän linssin ekvivalenttiannoksen rajaksi 20 mSv vuodessa tai viiden vuoden aikana 100 mSv. Naisen raskauden aikana työ on järjestettävä niin että sikiön ekvivalenttiannos on korkeintaan 1 mSv (Säteilyasetus 1991).

Säteilytyöluokkaan A kuuluvilla työntekijöillä kuuluu lakisääteinen annostarkkailu. Säteilytyöluokkaan B kuuluvien työntekijöiden annokset tulee voida määrittää tarvittaessa ja mikäli heidän kuukauden säteilyannos 0,04 mSv tai enemmän, tulisi annostarkkailua harkita heillekin. (Säteilyturvakeskus 2014; Statkiewicz Sherer 2014, 84.) Työntekijöiden henkilökohtaisella säteilyannosvalvonnalla seurataan työtapojen turvalisuutta, ja että asetetut annosrajat eivät ylity (Le Heron, Padovani, Smith, Czarwinski 2010; Säteilyturvakeskus 2017). Optimointiperiaatteiden toteutumista tarkastellaan säteilyannosval-

vonnan tulosten perusteella (Le Heron ym. 2010). Säteilyannos määritetään kehon pinnalla pidettävällä annosmittarilla, dosimetrilla, joka mittaa sen alueen säteilymäärän missä sitä pidetään (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 84). Vuonna 2016 Suomessa oli 700 eläinlääketieteessä työskentelevää henkilöä annostarkkailtavana ja heidän saamansa kokonaisannos eli syväannosten summa oli 0,13 mSv (Pastila 2017).

Dosimetrin käyttöön on eri käytäntöjä, jotka vaihtelevat sen mukaan minkä alueen annoksista ollaan kiinnostuneita (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 591). Säteilyturvakeskus (2014) ohjeistaa eläinröntgentutkimuksissa pukemaan annosmittarin säteilysuojaimien päälle, jotta samalla mittarilla voidaan arvioida kehon, sekä tarvittaessa myös silmän, annos. Silmille ei ole omaa mittaria vaan silmien annos arvioidaan suojaimen päältä rinnan tai kauluksen kohdalta mitatusta pinta-annoksesta. (Säteilyturvakeskus 2014; Larjava ja Aarnio 2016). Le Heronin (2010) mukaan säteilysuojainten alle puettuna dosimetrillä saadaan hyvä arvio henkilön säteilyannoksesta suojatun vartalon alueelta. Statkiewicz Sherer ym. (2014) puoltaa ajatusta sillä, että suojaamattomien vartalon osien annosta tarkasteltaessa dosimetri antaa virheellisen tuloksen jos se on puettu säteilysuojainten päälle. Oikein puettuna säteilysuojaimet vaimentavat säteilyä, joten mikäli dosimetri on mitannut vain hyvin pieniä annoksia suojaimien päältä, niin niiden alle ei pitäisi päästä säteilyä. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 85). Todellista efektiivistä annosta ajatellen kaksi dosimetria olisi paras vaihtoehto; toinen puettuna säteilysuojainten alle ja toinen säteilysuojainten päälle kauluksen kohdalle tai hartioiden korkeudelle. (Le Heron ym. 2010; Statkiewicz ym. 2014, 85.) Säteilyturvakeskus (2014) suosittaa kahden säteilymittarin käyttöä niissä tapauksissa kun altistus on yli 20 mSv vuodessa. Näin suuria annoksia ei hevosten natiiviröntgentutkimuksissa synny.

Työtapoja ja -oloja tarkastellessa voidaan käyttää ryhmäannosmittareita, jolloin yhtä laitekohtaista annosmittaria käyttää useampi henkilö. Annosmittaria käyttävistä henkilöistä ja käytetyt ajankohdat on kirjattava ylös. Ryhmäannosmittaria käyttää yleensä eniten altistuva säteilylähteen läheisyydessä toimiva henkilö, jolle ei ole järjestetty henkilökohtaista annostarkkailua. (Säteilyturvakeskus 2014.)

TAULUKKO 1. Eräiden ammattiryhmien syväannostiedot vuodelta 2016. (Pastila 2017)

Ammattiryhmä	Työntekijöiden lukumäärä	Kokonaisannos (Sv)	Annoksen keskiarvo (mSv)	Suurin annos (mSv)
Eläintenhoitajat	432	0,07	1,1	6,1
Eläinlääkärit	270	0,05	1,4	6,5
Toimenpideradiologit	31	0,22	9,1	24,9

Taulukossa 1 on esitetty annostarkkailussa olleiden eläintenhoitajien ja eläinlääkärien syväannostiedot vuodelta 2016. Vertailun vuoksi taulukossa esitetään toimenpideradiologien syväannostiedot. Tämä ammattiryhmä käyttää säteilyä päivittäin huomattavasti enemmän kuin eläinlääketieteessä ja tälle ammattiryhmälle oli kirjattu suurin yksittäinen annos. Kuten taulukosta huomataan, vuonna 2016 suurin eläinlääketieteessä annostarkkailussa kirjattu syvä annos oli 6,5 millisievertin (mSv) an-

nos eläinlääkärille, mikä vastaa 0,2 millisievertin efektiivistä annosta. Syväannos on efektiivisen annoksen likiarvo. Suojaimen päältä mitattu annos voidaan määrittää laskennallisesti ja tulokseksi saadaan efektiivinen annos (Pastila 2017). Australialaisessa tutkimuksessa suurin raportoitu eläinlääkärin saama säteilyannos oli 1,2 millisievertiä (mSv) kuukaudessa (Surjan, Ostwald, Milross ja Warren-Forward 2014).

3.4 Säteilyn haitalliset terveysvaikutukset

Säteilyn aiheuttamia haitallisia terveysvaikutuksia voidaan tarkastella molekyyli- tai solutasolla sekä elinkohtaisesti ja ne voidaan jaotella syntyperään mukaan välittömiin ja satunnaisiin vaikutuksiin. (Statkiewicz Sherer 2014, 154). Terveysvaikutuksia arvioitaessa tulee ottaa huomioon säteilyn laatu, säteilykentän voimakkuus sekä säteilyn ja aineen väliset vuorovaikutukset, koska säteilyn ionisoimiskyky riippuu näistä tekijöistä. (Marttila 2002, 69.)

Deterministiset eli välittömät vaikutukset ovat suurten säteilyannosten aiheuttamia haitallisia kudosta-reaktioita, jotka johtuvat solukuolemista tai solujen toimintahäiriöistä. Välittömiä vaikutuksia ovat esimerkiksi säteily sairaus, harmaakaihi, sikiövauriot ja hiusten irtoaminen. (Säteilyturvakeskus 2002, 28). Tyypillisesti haittoja ilmaantuu tietyn kynnyksarvon ylittyttyä ja haitan vakavuus kasvaa annoksen myötä, kuten esimerkiksi ihon paikallista punoitusta esiintyy kun 2 Grayn kynnyksarvo ylittyy rinnan sädehoitoa annettaessa (Nieminen ja Oikarinen 2017, 472.) Deterministisiä haittoja ei esiinny natiiviröntgentutkimuksissa käytettävillä kuvausenergioilla.

Stokastisille eli satunnaisille myöhäisvaikutuksille ei tunneta kynnyksarvoa, vaan niitä voi syntyä myös pienillä säteilyannoksilla jokapäiväisissä röntgentutkimuksissa (Nieminen ja Oikarinen 2017, 473.) Satunnaisten haittavaikutusten syntymistodennäköisyys kasvaa, kun absorboitunut sädeannos kasvaa, mutta vaikutuksen vakavuus ei ole riippuvainen siitä. Satunnaisiin haittoihin lukeutuu syöpä ja jälkeläisille periytyvät geneettiset vauriot. (Säteilyturvakeskus 2002, 68; Nieminen ja Oikarinen 2017, 473.)

Ionisaatio on keskeinen vuorovaikutustapahtuma säteilyn haittavaikutuksista puhuttaessa. Röntgen diagnostiikassa käytetyn säteilyn energia on suhteellisen pieni, mutta sillä on kuitenkin riittävästi energiaa irrottamaan aineen atomien elektroneja eli ionisoimaan. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 130; Nieminen ja Oikarinen 2017, 472.) Ionisaatiossa elektroni irtoaa kohdeatomista, se muuttuu positiiviseksi ioniksi ja kykenee sen jälkeen reagoimaan kemiallisesti ympäristön kanssa (Nieminen ja Oikarinen 2013, 472). Atomin virittyminen aiheuttaa lämpenemistä, jolla ei ole kudostasolla merkitystä (Säteilyturvakeskus 2002, 28). Biologisten vaikutusten laajuuteen vaikuttaa säteilyn energiansiirtokyky, joka voidaan ilmaista LET-arvolla. Säteilyn LET-arvo (linear energy transfer) ilmaistaan kiloelektronivoltia mikrometriä kohti (3.0 keV/μm) ja se kuvaa sitä energian määrää, jonka ionisoiva säteily luovuttaa kudokseen kulkiessaan sen läpi. Mitä korkeampi säteilyn LET-arvo on, sitä korkeampi on riski saada biologisia haittavaikutuksia säteilystä. (Säteilyturvakeskus 2002, 28; Bushong 2013, 480.) Diagnostisen röntgensäteilyllä on matala LET-arvo, 3.0 keV/μm. Raskailla alkuaineen ytimillä LET-arvo on jopa 1000.0 keV/μm. (Bushong 2013, 480.)

Ionisoivan säteilyn osuessa ihmiseen sen vaikutus kohdistuu joko elintärkeisiin makromolekyyleihin tai veteen. Todennäköisemmin säteilyn vaikuttaa veden kanssa, koska ihmisen kehosta 80 prosenttia koostuu soluelimille tärkeistä vesimolekyyleistä (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 132). Säteilyhiukkasen osuessa vesimolekyyliin se aiheuttaa siinä hajoamisen, josta syntyy ioneja ja vapaita radikaaleja. Biologista vahinkoa ei synny jos ionit yhdistyvät uudelleen vesimolekyyleiksi. Vapaat reaktiiviset radikaalit voivat kuitenkin synnyttää uusia radikaaleja tai yhdistyä muiden molekyylien kanssa muodostaen toksisia yhdisteitä, jotka pystyvät vahingoittamaan solua ja katkaisemaan kemiallisia sidoksia. Kemiallisten sidosten katkeamisella on silloin merkitystä, jos kohteena on solujen geneettistä informaatiota sisältävä DNA, joka voi muuntua tai DNA-juoste katketa. (Statkiewicz Sherer ym. 2013, 137.) Epäsuora vaikutus on tällainen tapahtuma, jossa säteily on vaikuttanut toisen tapahtuman kautta DNA:han (Bushong 2013, 492).

Keskenään reagoidessaan vapaita radikaaleista syntyy vetyperoksidia, joka on hyvin voimakas myrkkö solulle. Ionit tai vapaat radikaalit voivat solun tumaan osuessaan aiheuttaa monenlaisia vaurioita kuten menettää jakautumiskykynsä tai kuolla. (Nieminen ja Oikarinen 2017, 472.) Usein solu pystyy kuitenkin itse korjaamaan vauriot. Terveyshaittaa syntyy jos solujen kokonaismäärä kasvaa suureksi. (Husso 2011.) Vapaiden radikaalien ja vetyperoksidin uskotaan olevan pääasialliset syylliset biologisten haittojen syntymiselle säteilyn ja vesimolekyyliin kohtaamisessa. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 136; Bushong 2013, 489.)

Ionisoiva säteily voi osua suoraan solun DNA:han, RNA:han, proteiineihin tai entsyymeihin valosähköisen ilmiön tai Comptonin vuorovaikutuksesta. Näihin makromolekyyleihin osuessaan säteily katkoo kemikaalisia sidoksia ja aiheuttaa niihin epänormaaleja rakenteita, joka aiheuttaa häiriötä soluihin ja niiden toimintaan. (Statkiewicz Sherer 2014, 134.) DNA:n laaja-alaisten ja kaksoisjuostekatkoksia sisältävien vaurioiden korjautuminen on hidasta ja siinä voi tulla virheitä tai se voi olla onnistumatta, jonka seurauksena yleensä solu kuolee. Vaurio myös voi jäädä korjautumatta tai korjautua väärin, jolloin syntyy mutaatio. Tällä on merkitystä seuraavassa solunjakautumisessa kun DNA:n kahdentuu väärin ja virhe periytyy jälkeläissolun DNA:han (Husso 2011). Virheelliset somaattiset solut voivat lopulta muuttua syöpäsoluksi ja kasvaa syöpäsolukoksi (Nieminen ja Oikarinen 2017, 472). Mutaation sattuessa sukusoluihin perinnölliset sairaudet ilmaantuvat säteilylle altistuneiden henkilöiden jälkeläisissä. (Säteilyturvakeskus 2002, 28).

3.5 Säteilyannoksen määrittäminen

Säteilysuojelullisesti ollaan kiinnostuneita mittaamaan sitä energiaa mikä siirtyy säteilystä kudokseen. (Marttila 2002). Absorboitunut annos on mitattavissa suoraan säteilymittarilla ja sen avulla voidaan ilmaista kuinka paljon säteilyä keskimäärin on absorboitunut tiettyyn elimeen tai kudokseen. (Mustonen, Sjöblom, Bly, Havukainen, Ikäheimonen, Kosunen, Markkanen ja Paile 2009). Absorboitunut annos kuvaa energian siirtymistä aineeseen eli ilmaisee massayksikköön säteilyltä siirtyneen energian. Absorboituneen annoksen yksikön nimi on gray (Gy). Yksi gray vastaa yhtä joulea per kilogrammaa (1 J/kg). (Marttila 2002; Nieminen ja Oikarinen 2017, 473.)

Ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos ovat laskennallisia suureita, joita käytetään säteilysuojelutyössä määriteltäessä altistusrajoja (Pöllänen 2003, 26; Mustonen ym. 2009). Altistusrajojen avulla varmistetaan, että stokastisten terveysvaikutusten ilmaantuminen pysyy hyväksyttävällä tasolla ja vältetään haitallisia kudoksetta (Mustonen ym. 2009). Ekvivalenttiannos kuvaa eri säteilylajien absorboituneen annoksen biologista vaikutusta tietyssä elimessä tai kudoksessa. Sen yksikkö on joulea per kilogramma ja yksikön nimi on sievert (Sv). Elinten tai kudosten ekvivalenttiannosten summaa kutsutaan efektiiviseksi annokseksi ja senkin yksikkö on sievert (Sv). Efektiivisen annoksen laskennassa otetaan huomioon eri elinten säteilyherkkyydet ja sen avulla arvioidaan säteilyn aiheuttamaa biologista kokonaisriskiä (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 582). Säteilysuojelussa efektiivisen annoksen avulla voidaan kehittää satunnaisten haittavaikutusten riskienhallintaa ja parantaa säteilysuojelun suunnittelua ja optimointia. Sen avulla osoitetaan, että annosrajoja noudatetaan ja saatuja annoksia voidaan verrata annosrajoituksiin tai enimmäistasoihin. (Mustonen ym. 2009.)

Ihmisen keho koostuu erityyppisistä soluista ja kudoksista, joilla on erilaiset säteilyherkkyydet (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 219). Säteilyherkät kudokset reagoivat nopeammin ja pienempiin säteilyannoksiin kuin vähemmän herkät kudokset (Bushong 2013, 480). Elimen säteilyherkkyyteen vaikuttaa kuinka paljon se sisältää jakautuvia soluja, joita ovat esimerkiksi sukusolut, veren punasolut ja lymfocytyt sekä ihon tyvikerroksen solut. Jakautumattomista soluista, kuten aivo- ja hermosoluista, pääasiassa koostuvat elimet eivät ole kovinkaan herkkiä säteilylle. (Statkiewicz Sherer ym. 2014, 147.) Säteilylle herkimpiä elimiä ovat keuhkot, luuydin, mahalaukku, paksusuoli, rinnat ja sukupuolirauhaset sekä kilpirauhanen ja silmän mykiö. (Nieminen ja Oikarinen 2017, 473).

4 SÄTEILYSUOJELU HEVOSTEN RÖNTGENTUTKIMUKSISSA

Hevosten röntgentutkimuksissa ei olla kiinnostuneita kuvauskohteen säteilyannoksesta, vaan kuvauksessa avustavasta ihmisestä. Hevoset elävät käyttötarkoituksesta riippuen vain joitain vuosikymmeniä, joten säteily ei kerkeä haitallisesti vaikuttamaan niiden terveyteen, eikä röntgenkuvauksen energioilla saada aikaiseksi välittömiä vaikutuksia. Hevosia kuvatessa joudutaan usein käyttämään hevosen kiinnipitäjänä tai kuvauskasetin pitäjänä avustajaa, joka altistuu hevosesta siroavalle säteilylle. Avustavien henkilöiden pienimmätkin mahdolliset säteilyaltistukset tulee pyrkiä eliminoimaan, koska säteilylle ei ole olemassa turvarajaa ja sen käytössä piilee aina riski haittavaikutuksiin. (Säteilyturvakeskus 2017; Thrall ja Widmer 2013, 8.)

Säteilysuojelun haasteena on säteilyn näkymättömyys. Säteilyä ei pystytä näkemään tai tuntemaan, joten on vaikea ymmärtää miksi siltä tulisi suojautua (Thrall ja Widmer 2013, 3; Ward 2015). Säteilyä käytetään ALARA-periaatetta noudattaen eli säteilyn määrä pidetään niin pienenä kuin on käytännössä mahdollista (Bushong 2013, 543). Säteilyä käyttävien ammattitaito vaikuttaa säteilyn määrään; röntgentutkimuksen toteuttaja vaikuttaa sen optimointiin kuvaustekniikalla ja säteilysuojaimien käytöllä. Kuvaushuoneessa kuvauksen aikana olevien säteilyaltistuksen minimoinnin periaatteisiin kuuluu aika, etäisyys ja suojautuminen. Pyritään pienentämään altistusaikaa, siirrytään kauemmaksi kuvauskohteesta ja röntgenputkesta sekä käytetään säteilyä vaimentavia materiaaleja kehon ja säteilylähteen välissä. Lisäksi säteilyn leviäminen ympäröiviin tiloihin estetään rakenteellisilla suojauksilla. (Thrall ja Widmer 2013, 6; Stakiewicz Sherer ym. 2013, 313.)

4.1 Rakenteellinen säteilysuojelu

Hevosia voidaan kuvata varsinaisissa röntgenkuvaushuoneissa klinikoilla ja liikuteltavilla röntgenlaitteilla talleilla tai muussa ympäristössä, esimerkiksi raviradalla (Säteilyturvakeskus 2012). Hevostutkimusten käyttötilojen säteilysuojauksen tarpeeseen vaikuttaa röntgentutkimusten määrä, laitteen kuvausjännite, kuvausvirran ja -ajan tulo, säteilykeilan koko ja suuntaus sekä röntgenlaitteen sijainti huoneessa sekä ympäröivien tilojen käyttötarkoitus. Rakenteellisten keinojen avulla varmistetaan, että säteily ei leviä ympäröiviin tiloihin ja aiheuta tarpeetonta säteilyaltistusta väestölle tai muille työntekijöille. (Thrall ja Widmer 2013, 6; Säteilyturvakeskus 2012.) Ympäröiviin tiloihin leviävä säteily ei saa ylittää annosrajaa 0,3 mSv vuodessa. Rakenteellisten suojausten lisäksi on varmistettava, että tutkimushuoneeseen eivät pääse asiattomat henkilöt ja huoneen ovet tulee merkitä säteilyvaaraa osoittavilla merkinnöillä. (Säteilyturvakeskus 2012).

Kuvatessa muualla kuin kuvaushuoneessa, esimerkiksi hevostallilla, ei rakenteellisista suojauksista ole hyötyä. Tällöin laitteen tai hevosen läheisyydessä ei saa olla ulkopuolisia henkilöitä kuvauksen aikana (Lord s.a.) Hevosia kuvataan useimmiten horisontaalisätein ja kuvauksen aikana primäärisädekeilan suunnassa täytyy olla kymmeniä metrejä tyhjää tilaa, jossa ei oleskella (Lord s.a.). Oikein suunnitelluilla kuvaussuunnilla ja hyvällä kuvausalueen rajaamisella pidetään säteilyvaara-alue mahdollisimman pienenä. (Säteilyturvakeskus 2012.)

4.2 Hevonen röntgentutkimuksessa

Työskentely hevosten kanssa voi joskus olla vaikeaa eikä hevosten kuvaaminen aina onnistu helposti. Hevoset ovat suurikokoisia saaliseläimiä, mikä tuo haastetta niiden käsittelyyn. Turvallisen hevostoinnin lähtökohtana on hevosten toiminnan tunteminen. Jo yksinolo saattaa luoda niille turvattomuuden tunnetta. Hevosten kommunikointi on suurimmaksi osaksi elekieltä. Hevosten aistinelimet eroavat huomattavasti ihmisten aistinelimistä, joten hevoset aistivat ympäristöään eri tavoin. Hevosilla on erityäin hyvä ympäristön havainnointikyky, jonka takia ne ovat hyvin tietoisia ympärillään tapahtuvista asioista ja äärettömän nopeita reagoimaan ympäristön muutoksiin. Hevosten luontaista lajikäyttäytymistä ja tarpeita täytyy ymmärtää, jotta niiden kanssa voi työskennellä turvallisesti. (Suomen hevos-tietokeskus ry s.a.) Hevosia kuvatessa täytyy olla kärsivällinen sekä hevoselle että itselleen. Kiireetön ilmapiiri, hevosen rauhallinen ja huolellinen käsittely sekä kunnollinen rauhoittaminen lääkkein vähentävät hevosen herkkien aistien toimintaa (Lord s.a.; Ward 2015; Butler ym. 2017.)

Hevosharrastajien ja hevosten määrä on viime vuosina kasvanut, joka on lisännyt eläinlääkäreiden työmäärää ja tarvetta kuvantamistutkimuksille. Röntgenkuvaus on yleisin säteilyä käyttävä kuvantamistutkimus eläinlääketieteen diagnostiikassa (McKnight 2004). Hevosille voidaan tehdä kuvantamistutkimuksia myös ultraäänellä, magneetilla ja ulkomailla tietokonetomografia-laitteella. Hevosille tehdään röntgentutkimuksia sairauden tutkimiseksi, hoidon suunnitteluksi ja diagnoosin varmistamiseksi (Surjan, Ostwald, Milross, Warren-Forward 2014). Hevosten röntgentutkimuksille on ominaista, että niitä tehdään myös oireettomille ja terveille hevosille. Niin sanottuja ostotarkastuksia tehdään usein hevoskauppojen yhteydessä, kun halutaan varmistua, että hevosen terveydentila on sellainen kuin oletetaan (Suslak-Brown 2004). Röntgenkuvien avulla saadaan tietoa esimerkiksi raajojen vanhoista vammoista ja muutoksista, jotka eivät näy kliinisesti (Butler ym. 2017).

Röntgentutkimuksella pyritään yleisimmin saamaan lisätietoa hevosen luustosta, rangasta ja nivelistä (McKnight 2004; Wanderperren ja Saunders 2009). Yleisimpiä kuvauskohteita ovat raajojen distaaliset osat, mutta kuvauskohteena voi olla myös proksimaalisemmat osat, ranka, vatsa, keuhkot, hampaat tai kallo. Näiden alueiden kuvaaminen on haastavampaa niiden paksuuden vuoksi. (Säteilyturvakeskus 2012; Yliopistollinen eläinsairaala s.a.a) Röntgentutkimukset lisäävät suosiotaan eläinlääkäreiden keskuudessa, koska ne ovat informatiivisia, kajoamattomia ja melko nopeita tutkimuksia toteuttaa (Fogarty, Reinhart, Tzvetkov, Nesch ja Williams 2011; Ward 2015). Eläinlääkäreiden on nykyisin helppoa ja nopeaa saada konsultaatioapua kuvien tulkitsemiseen koska digitaalisia röntgenkuvia pystytään lähettämään toisiin yksiköihin. (Ward 2015; Wrigley 2004.) Vuoden 2016 lopulla Suomessa oli käytössä 300 tavanomaista eläinlääketieteellistä röntgenlaitetta, joka on noin viidennes lääketieteellisessä käytössä olleista röntgenlaitteista. (Pastila 2017.)

Hevosta hoitava eläinlääkäri tekee kliinisen tutkimuksen jälkeen lähetteen röntgentutkimukseen, jonka toteuttaa joko eläinlääkäri itse, säteilykoulutusta saanut klinikkatyöntekijä tai hevosiin perehtynyt röntgenhoitaja. Suomessa röntgenhoitajia työskentelee ainakin kahdessa hevossairaalassa. Röntgentutkimushuoneessa saa olla hevosen lisäksi muita henkilöitä vain jos se on aivan välttämätöntä tutkimuk-

sen tai toimenpiteen onnistumiseksi (Säteilyturvakeskus 2017). Kuvaajan tulee poistua kuvaushuoneesta tai käyttää liikuteltavia suojaseiniä. Jos huoneesta poistuminen ei ole mahdollista, kuvaajia kannattaa vuorotella työkierron avulla jotta säteilyaltistusmahdollisuudet jakautuvat useammalle työntekijälle (Farrelly 2017.)

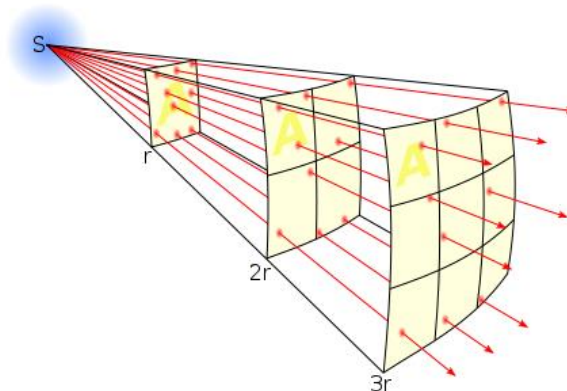
Hevonen yleensä rauhoitetaan röntgenkuvauksen ajaksi, jolloin se saadaan paremmin pysymään aloillaan. Lääkkeellinen rauhoitus eli sedaatio heikentää hevosen aistien toimintaa, jolloin se ei reagoi niin voimakkaasti esimerkiksi koviin ääniin tai pelottaviin tilanteisiin. Hevosista tulee monesti yhteistyöhaluisempia rauhoitettuina. Rauhoitusaineita käyttäessä tulee muistaa, että liikaakaan ei ole hyväksi. Sedaatio-aineet vähentävät hevosen lihastonusta eli lihasten jänteys häviää. Tämä saa hevosen huojumaan ja pahimmassa tapauksessa kaatumaan. (Da Silva Azevado ym. 2015.) Hevosen reagoitua laitteiston ääniin voidaan vähentää korvatulppien avulla, jos hevonen on tottunut niitä käyttämään. Rauhallisella taustamusiikilla saadaan peitettyä kuvauksesta aiheutuvia ääniä. Silmälaput, eli hevosen silmille asetettavat näköesteet, pienentävät hevosen näkökenttää ja mahdollisesti rauhoittavat ja auttavat sitä keskittymään. (Butler 2017.) Hevonen valmistellaan kuvaukseen harjaamalla lika ja pöly pois niistä kohdista, joita aiotaan kuvata. Pään aluetta kuvatessa hevoselle vaihdetaan riimut, joissa ei ole metallia tai paksuja saumoja, koska ne saattaisivat aiheuttaa kuvausvääristymää, artefaktaa. Kavioita kuvatessa kavionpohjan ilmataskut täytetään, jotta näkymä parantuisi. (Butler 2017.)

Avustaja (kiinnipitäjä) joutuu pitämään hevosta kiinni kuvauksen ajan mikäli kuvauspaikassa ole niin sanottua pakkopilttuuta, johon hevosen saa sidottua turvallisesti liikkumattomaksi. Avustajaa voidaan tarvita myös pitämään kuvauskasettia (kasetinpitäjä) tai hevosen jalkaa tietyssä asennossa. Röntgenkuvaukseen avustavaksi henkilöksi tulee valita ensisijaisesti hevosen omistaja tai joku muu hevosen taustajoukoista, esimerkiksi hoitaja. (Säteilyturvakeskus 2012; Thrall ja Widmer 2013,6). Tällä tavoin vähennetään henkilökunnan saamaa annosta, kun samat työntekijät eivät ole päivittäin avustajina ja alltiina säteilyaltistukselle (Diagnostic Imaging Systems 2016). Kuvaustilanteessa avustaja altistuu kuvauskohteesta eli hevosesta siroavalle säteilylle. Kuvaukset suoritetaan aina siten, ettei avustaja tai mikään hänen ruuminosansa ole primäärisädekeilassa. (Säteilyturvakeskus 2015; Diagnostic Imaging Systems Inc 2016). Avustajan mahdollisesti saama säteilyannos syntyy siis siroavasta säteilystä. Kaikki ratkaisut, joilla saadaan vähennettyä kuvauskohteeseen kohdistuvaa säteilyä, pienentävät myös avustajan säteilyaltistusta. (Pukkila 2004, 156-157; Diagnostic Imaging Systems Inc 2016). Lähetteen perusteella suoritettun kuvauksen jälkeen eläinlääkäriltä vielä varmistetaan onko tarvetta lisäprojektiolle vai onko kuvaus päätynyt (Thrall 2013a, 80).

4.3 Etäisyyden lisääminen säteilylähteeseen

Etäisyyden lisääminen vaimentaa säteilyä, koska säteilyn intensiteetti pienenee etäisyyden neliölain mukaisesti (Le Heron 2010). Pistemäisen säteilylähteen säteilyn voimakkuus on kääntäen verrannollinen säteilylähteen etäisyyden neliöön (kuvio 2). Kun kaksinkertaistetaan etäisyys säteilylähteeseen, säteilyn intensiteetti pienenee neljäsosaan (Bushong 2013, 541.) Hevosen riittävä rauhoittaminen helpottaa avustajan ja kuvauskohteen välisen etäisyyden lisäämistä. (Diagnostic Imaging Systems 2016).

Kiinnipitäjän tai kasetinpitäjän kannattaa myös kurkottaa mahdollisimman etäälle hevosesta, jolloin ylävartalon annos pienenee (Säteilyturvakeskus 2017).



KUVIO 2. Säteilyn intensiteetin vaimeneminen etäisyyden funktiona (Wikipedia Commons 2008)

Erialaisten apuvälineiden (kuva 2) voidaan lisätä etäisyyttä kuvauskohteeseen (Thrall ja Widmer 2013, 8). Hevosia kuvatessa kuvauskasetti tai kuvailmaisim pitää saada lähelle hevosta, niin ettei sitä pidetä käsin. Erityisesti hevosten kuvauksiin suunnitelluilla kasetinpidikkeillä ja kasettitelineillä vähennetään käsin pitelemistä ja kädet saadaan kauemmaksi primäärisäteilystä ja siroavasta säteilystä. (Diagnostic Imaging Systems 2016.) BCCDC:n eli British Columbia Centre for Disease Controlin (2014) mukaan avustajan on suositeltavaa olla vähintään 20 senttimetrin päässä kuvauskasetista. Joissain tapauksissa kasettia täytyy pitää käsin, esimerkiksi kun kuvataan hevosen takapolvea, avustaja ei jaksa pitää varrellista kasetinpidikettä oikeassa paikassa liikkumatta. Silloin täytyy käyttää isointa mahdollista kuvauskasettia ja rajata kuvakoko tarkasti, niin etteivät kasetinpitäjän sormet osu primäärisädekenttään (Säteilyturvakeskus 2017; Yliopistollinen eläinsairaala s.a.c). Kasettitelineen sijaan voidaan käyttää myös esimerkiksi kankaasta valmistettua taskua, joka kiinnitetään tukevaan telineseen tai hevoseen. (Säteilyturvakeskus 2017; Yliopistollinen eläinsairaala s.a.c) Asettelun tukemiseksi käytetään erilaisia korokkeita ja tukia, joiden avulla hevosen jalka saadaan pysymään paremmin (Butler 2017).



KUVA 2. Erilaisia versioita kuvauksessa käytettävistä apuvälineistä. Ensimmäisenä varrellinen kasetinpidike kintereen tai etupolven kuvaukseen, toisena kasettiteline kavion kuvaukseen ja kolmantena koroke, jonka päälle hevosen jalka asetetaan raajan distaalisten osien kuvauksessa, kuvakasetti voidaan tukea koroketta vasten. (Tolonen 2017)

4.4 Säteilysuojaimet

Parhaiten säteilyltä suojaudutaan kun poistutaan kuvaushuoneesta tai liikuteltavan lyijyseinän taakse säteilyn käytön ajaksi. Liikuteltavat lyijyseinät ovat yleisempiä radiologissa tutkimuksissa kuin natriiviröntgentutkimuksissa. (Larjava ja Aarnio 2016.) Hevosten röntgentutkimuksissa kuvaajan tulee poistua kuvaushuoneesta, jos se vain on mahdollista niin, että näköyhteys kuvattavaan säilyy (Säteilyturvakeskus 2012). Hevosen kiinnipitäjä ja kasetinpitäjä eivät voi poistua kuvaushuoneesta säteilyn käytön ajaksi. Henkilökohtaisesti avustajat suojaautuvat käyttämällä säteilysuojaimia, joiden tarkoitus on vaimentaa hevosesta sironnutta säteilyä (Diagnostic Imaging Systems 2016).

Sädesuojia voidaan valmistaa erilaisista säteilyä vaimentavista materiaaleista. Yleisimmin sädesuojien suojaava materiaali on lyijyllä kyllästettyä vinyyliä tai kumia. On olemassa myös lyijyttömiä vaihtoehtoja. (Thrall ja Widmer 2013, 8.) Suojien suojauskyky ilmoitetaan lyijyvastaavuuden (mmPb) avulla, joka kertoo kuinka paksua kerrosta lyijyä sädesuojan suojauskyky vastaa. Tyypillisesti suojaavan osan lyijyvastaavuus on 0,5 mmPb. (Statkiewicz Sherer 2014, 593). Röntgensäteilyn 70 keV:n energia tarvitsee noin 0,12 mm lyijyä vaimentuakseen puoleen (Farrelly 2017). Riippuen säteilyn energiasta ja sädesuojan lyijyvastaavuudesta, suoja vaimentaa jopa 90 prosenttia siroavasta säteilystä (Le Heron, Padovani, Smith ja Czarwinski 2010). Varmuuden vuoksi ei kannata käyttää huomattavasti paksumpia sädesuojia, koska ne ovat hyvin painavia. Samasta syystä kannattaa käyttää vain sopivan kokoisia sädesuojia. (Statkiewicz Sherer 2014, 593.)



KUVA 3. Säteilysuojaimia. Vasemman puoleisessa kuvassa on omissa hengareissaan roikkumassa erilaisia sädesuojatakkeja ja -esiliinoja sekä kaulurin tapaisia kilpirauhassuojia. Oikealla olevassa kuvassa on lyijytetyt hanskat. (Tolonen 2017)

Säteilysuojaimilla (kuva 3) suojattunakaan ei ole turvallista olla primäärisädekeilassa. Kaikilla kuvauksen aikana kuvaushuoneessa olevilla tulee olla käytössä sädesuojaesiliina tai -takki ja kilpirauhassuoja. Sädesuojaessua käytettäessä tulee huomioida, että essu puetaan niin, että se on henkilön ja siroavan säteilyn lähteen välissä (Le Heron ym. 2010.) Mikäli avustavan henkilön kädet ovat lähellä primäärisädekeilaa, tulee pukea myös lyijyhanskat (Thrall ja Widmer 2013, 7; Säteilyturvakeskus 2017). Lyijyhanskojen kanssa työskentely on hieman hitaampaa ja kömpelömpää kuin ilman, mutta on huomattavasti säteilyturvallisempaa toimia niiden kanssa (Ward 2015). On huolehdittava, että hanskat eivät osu primäärisädekeilaan koska osuessaan siihen ne nostavat sädeannosta kun käytetään kuvausautomaattia. Tällöin niistä on enemmän haittaa kuin hyötyä. (Le Heron ym. 2010.)

Säännöllisesti lähellä kuvauskohdetta työskenteleville silmän linssin annokset voivat nousta yllättävän korkeiksi. Tällöin suositellaan käytettäväksi silmien suojaksi suojaavia laseja. (Le Heron ym. 2010.) Suojalaseja käyttävät Suomessa lähinnä pitkiä läpivalaisuja tekevät toimenpideradiologit ja kardiologit (Larjava ja Aarnio 2016). Normaalityönteissä hevosten röntgentutkimuksissa riittää, että avustava henkilö kääntää katseensa pois päin säteilykeilasta, jolloin silmien linssit siirtyvät kauemmaksi säteilystä. (Säteilyturvakeskus 2012).

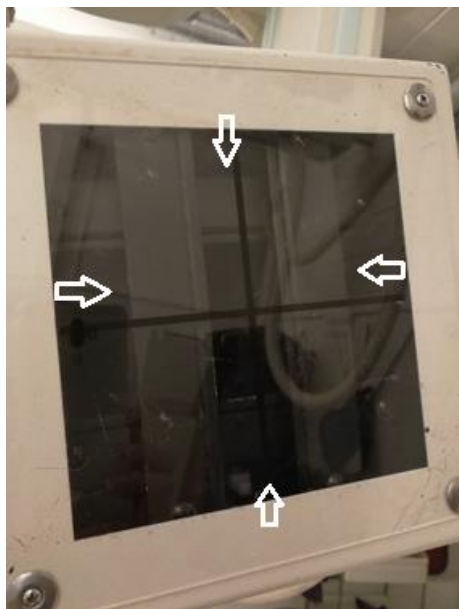
Säteilysuojainten käyttöön kuuluu niiden huolellinen pito ja hoito. Suojaimet säilytetään väljästi ja suorassa niille varatuissa hengareissa tai telineissä. Tällä ehkäistään säteilysuojaimen suojaavan kerroksen halkeilu ja murtuminen, jolloin sen suojausteho laskee. Säteilysuojaimia täytyy puhdistaa säännöllisesti niille soveltuvilla puhdistusaineilla. Säteilysuojainten kunto tarkastetaan vuosittain röntgenkuvaamalla tai läpivalaisemalla ne. (Thrall ja Widmer 2013, 7-8; Statkiewicz Sherer ym. 2014, 311.)

4.5 Työntekijät säteilyturvallisuuden toteuttajana

Työntekijöiden säteilysuojelukoulutuksella pyritään saamaan toimintaa turvallisemmaksi (Le Heron 2010). Röntgentutkimuksen toteuttaja vaikuttaa kuvauksen tekniseen onnistumiseen ja turvalliseen toteutumiseen. Säädökset ohjaavat työntekijää ottamaan huomioon työskentelyssään säteilyn riskit ja työskentelemään ALARA-periaatetta noudattaen. Työnantajan tehtävä on perehdyttää työntekijä riittävän hyvin hevosten asetteluun, röntgenlaitteen toimintaan ja kuvan käsittelyyn ja järjestää tarvittava säteilysuojelukoulutus. (Thrall ja Widmer 2013, 4-6; Le Heron 2010.) Röntgentutkimuksia tekevällä täytyy olla hallussa perustiedot ionisoivasta säteilystä ja sen käytöstä sekä kuvauksen onnistumiseksi pitää tuntea kuvausprotokolla ja omata tietoa ja taitoa käyttää kuvauslaitteita. Osaamattomalla kuvaajalla saattaa jäädä huomaamatta, jos kuvauslaitteisto ei toimikaan odotetulla tavalla (Lord s.a.; Ward 2015.) Huonosti otetuista röntgenkuvista voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä, kuten Dr. Peter Suter on todennut: "At best, poor radiographs are totally useless and at worst they are totally misleading." (Thrall 2013a, 83.)

Optimoidulla tutkimustekniikalla pienennetään säteilyaltistuksen määrää. Säteilynkäyttäjät optimoivat säteily määrää oikeanlaisella rajauksella ja optimaalisten kuvausarvojen käytöllä. Aiemmin käytössä olleessa analogisessa röntgenkuvauksessa on ollut hyvin suppea valikoima kuvausarvoja, joilla on päästy tarpeeksi hyvään lopputulokseen. Käytettäessä väärää arvoa kuvasta on tullut aina yli- tai alivalottunut ja se on ollut käyttökelvoton. Digitaalisessa kuvauksessa käytettävien kuvausarvojen skaala on paljon laajempi. (McKnight 2004; Wrigley 2004.) Digitaalisen menetelmän avulla saadaan myös parempia kuvia paksuudeltaan epätasaisista ja kudostiheydeltään erilaisista kohteista, esimerkiksi hevosen kaviosta (Wrigley 2004). Miinuspuolena on se, että hyvin erilaisilla kuvausarvoilla saatetaan päästä lähes yhtä hyvään diagnostiseen kuvanlaatuun. Tämä johtaa siihen, että saatetaan käyttää huomattavan paljon suurempia kuvausarvoja kuin olisi tarpeen, jolloin syntyy tarpeetonta säteilyaltistusta. (Robertson ja Thrall 2013, 33.)

Säteilykeila rajataan röntgenputken kopassa olevilla kaihtimilla (kuva 4) sen kokoiseksi kuin on tarpeen. Liian löyhästi tehty kuvanrajaus aiheuttaa ylimääräistä säteilyrasitusta ja kasvattaa sironneen säteilyn määrää, joka lisää säteilyaltistusta kiinnipitäjille ja heikentää kuvanlaatua. Luonnollisesti liian tiukastikaan tehty rajausta ei ole hyvä koska haluttua informaatiota jää pois. (Nieminen 2017, 422) Säteilykeilan rajaamisessa auttaa primäärisädekeilaa mukaileva valokeila, joka näkyy parhaiten hämärissä olosuhteissa (Lord s.a.)



KUVA 4. Röntgenputken kopassa olevat säteilykeilaa rajaavat kaihtimet. (Tolonen 2017)

Röntgenlaitteisto ja sen oikeaoppinen käyttö vaikuttavat syntyvään säteilyaltistukseen. Röntgenputkessa on aina vähintään 2,5 mm alumiinia suodattamassa syntyvästä röntgenfotoni-keilasta pois ne pienienergiset fotonit, jotka eivät koskaan saavuttaisi ilmaisinta ja aiheuttaisivat vain turhaa säteilyrasitusta. (Starck 2014). Hila voidaan käyttää vähentämään kuvailmaisimelle saapuvan kuvauskohdeessa sironneen säteilyn haittavaikutusta. Varsinkin kuvatessa suuria kohteita syntyy paljon primäärisädekeilasta poikkeavia fotoneita, jotka heikentävät kuvanlaatua. Hilassa on ohuet primäärisäteilyn suuntaiset lamellit, joiden välissä on vähän säteilyä absorboivaa ainetta. Lamellit voivat olla fokusoi-mattomat tai ne voidaan fokusoida tietylle kuvausetäisyydelle. (Nieminen 2017, 422.) Hila poistaa noin viidenneksen sädekeilan fotoneista koska hajasäteily ei tavoita kuvailmaisinta lamellien läpi. Tätä joudutaan kompensoimaan nostamalla sähkömäärää (mAs) kaksin- tai kolminkertaisesti. (Thrall ja Widmer 2013, 111.) Kohteen paksuuden pitäisi olla yli 11 senttimetriä, että hila on hyödyllistä käyttää. Hevosten röntgentutkimuksissa tämä tarkoittaa, että raajoja kuvatessa hilasta ei ole hyötyä (Butler 2017.) Käytännön ongelmat vaikeuttavat hilan käyttöä. Hila tuo lisää painoa kuvailmaisimeen, jolloin sitä on vaikeampi käsitellä. Käsinsideltyn hilalliseen kuvailmaisimeen on lähes mahdotonta saada primäärisädekeila täsmälleen kohtisuoraan, jolloin hilan raidat tulevat mahdollisesti näkyviin. Hila on toimivinta käyttää kiinteässä telineessä, esimerkiksi ihmispuolelta tutun thorax-telineen tyyppisessä toteutuksessa. (Thrall ja Widmer 2013, 17, 111.)

Hevosten suuri koko on haaste röntgenlaitteiden suorituskyvyille. Hevosten röntgentutkimuksissa käytettävät laitteet ovat lähes kaikki alun perin lääketieteellisessä käytössä olleita. (Säteilyturvakeskus

2012.) Vanhat ja pienet laitteet tuottavat vain rajoitetun variaation energioita, joten niillä ei välttämättä pystytä kuvamaan hevosten paksuimpia ruumiinosia, kuten lantiota, vatsaa tai selkää. Paremmat ja kehittyneemmät röntgengeneraattorit tuottavat paremmin säteilyä, jolloin syntyy parempia kuvia ja vähemmän sirontaa. (Butler ym. 2017.) Muualla kuin kuvaushuoneessa kuvatessa käytetään liikutettavaa röntgenlaitetta. Niissä on yleensä vakiokokoa oleva fokus, joka rajoittaa röntgenputken ulostuloa, joka jälleen vaikeuttaa paksujen kohteiden kuvaamista. (Butler ym 2017.) Toiminnan harjoittaja on vastuussa siitä, että röntgenlaitteet ja välineet ovat kunnossa sekä käyttö-ohjeet ja menettelyt ovat asianmukaisia. Röntgenlaitteille tehdään teknistä laadunvalvontaa, joilla varmistetaan että laitteisto toimii niin kuin kuuluukin ja sen suorituskyky säilyy hyvänä. Käytännössä tämä toteutetaan röntgenlaitteen, kuvamonitorien ja kuvailmaisimien erilaisilla testeillä. Havaitut viat tai puutteet tulee korjata ennen kuin toimintaa jatketaan. (Säteilyturvakeskus 2008.)

Kuvauskohteen ja kuvanilmaisimen välisen etäisyyden kasvattamista kutsutaan ilmahilan käytöksi. Tällä keinolla saadaan vähennettyä sironnutta säteilyä, kun sironneet fotonit ohittavat kuvanilmaisimen. (Pukkila 2004, 65-66; Nieminen 2017, 422.) Isoissa kuvauskohteissa, esimerkiksi hevosen lantio tai selkä, ilmahila aiheuttaa suurentumista eli kuvauskohde näyttää varsinaisessa kuvassa suurentuneen. (Butler ym. 2017). Johtuen hevosröntgentutkimusten haasteellisuudesta ilmahila syntyy kuvailmaisimen ja kuvauskohteen väliin lähes automaattisesti. Kuvailmaisimen laittaminen hevoseen kiinni voi säikäyttää hevosen, joten kuvailmaisinta ei yritetäkään saada ihokontaktiin. (Mäki 2017.)

Hevosen anatomian tuntemus ja hahmottamiskyky on välttämätöntä kuvan onnistumisen kannalta. Kuvaajan tulee tietää milloin hevonen on oikeassa asennossa ja mistä anatomisesta suunnasta kuva otetaan. (Ward 2015.) Jalkojen kuvauksessa apuvälineiden avulla jalka saadaan pysymään paremmin paikoillaan ja todennäköisemmin kerralla oikeaan haluttuun asentoon (Lord s.a.). Kuvaussuunnat merkitään huolellisesti, koska niitä on vaikeaa tunnistaa jälkikäteen (Ward 2015)

Eläinlääketieteessä röntgenkuvat tulkitsee ja lausuu eläinlääkäri. Kuvia tulkitaan johdonmukaisesti muistaen mikä on normaalia röntgenanatomiaa ja mikä poikkeavaa (Thrall 2013a, 81). Tulkinnan tarkkuutta parantavat diagnostiseen käyttöön tarkoitettu näyttö sekä sopivan hämärä ja rauhallinen ympäristö. Sekundäärimonitorilta eli röntgenlaitteen yhteydessä olevalta monitorilta tarkastetaan vain kuvan tekninen onnistuminen. Heikkolaatuista monitoria käytettäessä kuvasta saattaa jäädä näkyväksi jotain tärkeää ja pahimmassa tilanteessa se johtaa kuvauksen uusintaan. (Ward 2015.) Tulkitsijan pitää pystyä luottamaan, että kuva on otettu oikealla tekniikalla ja kuvaussuunta ja puolenmerkit on merkattu oikein. Projektioit nimetään primäärisäteiden kulkusuunnan mukaan säteiden sisäänkäynnistä kuvauskohteeseen ja siitä ulostuloon. Esimerkiksi kuvatessa sivukuvaa mediaalipuolelta säteet kulkevat mediaalipuolelta lateraalipuolelle, jolloin projektiio on ML eli mediolateral. (Thrall 2013a, 81, 85.)

5 OPINNÄYTETYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Toteutin opinnäytetyöni toiminnallisena kehittämistyönä projektityön periaatteita noudattaen Yliopistollisen eläinsairaalan diagnostisen kuvantamisen yksikköön. Toiminnallisen opinnäytetyön tavoite on tuottaa ammattillisen kentän käytännön toimintaan ohje, ohjeistus, opastus tai järjestää käytäntöön toimintaa (Vilkka ja Airaksinen 2003, 9). Opinnäytetyöni tuotos on säteilyturvallisuusohje Yliopistollisen hevossairaalan käyttöön.

Toimeksiannettu opinnäytetyö lisää vastuuntuntoa opinnäytetyöstä ja opettaa projektinhallintaa (Vilkka ja Airaksinen 2003, 48). Projekti on tavoitteellinen tietyn aikaa kestävä prosessi, jonka työvaiheisiin kuuluu aiheen valinta, aiheen rajaaminen, suunnittelu, organisointi ja tuotoksen tuottaminen sekä arviointi (Salonen 2013). Toiminnallinen opinnäytetyö on työelämälähtöinen ja käytännönläheinen (Vilkka ja Airaksinen 2003, 9). Koko opinnäytetyöprosessin ajan tehtyä tuotosta reflektoidaan, arvioidaan ja toteutetaan vuorovaikutuksessa työn tilaajan kanssa. Kehitysideat ja -ehdotukset otetaan huomioon jo toteutusvaiheessa ja työtä voidaan muokata jokaisessa prosessin vaiheessa. (Vilkka ja Airaksinen 2003, 48; Salonen 2013.)

5.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyöni toimeksiantaja Yliopistollinen eläinsairaala on osa Helsingin yliopiston eläinlääketieteellistä tiedekuntaa. Eläinsairaala on opetussairaala, jossa eläinlääketieteen opiskelijat harjoittelevat käytännön taitoja ja se toimii myös harjoittelupaikkana pieneläinlääketieteen opiskelijoille ja jatkokoulutuspaikkana erikoistuville eläinlääkäreille. Röntgenkuvauksia digitaalisella kuvantamislaitteistolla hevossairaalassa tekevät pääasiassa eläimiin perehtyneet röntgenhoitajat. Kuvauksia tehdään myös päivystyksellisesti ja liikuteltavalla kuvauslaitteistolla leikkaussaleissa, jolloin kuvaajina toimivat eläinlääkärit tai klinikkaeläinlääkärin hoitajat. (Yliopistollinen eläinsairaala s.a.b)

Hyvät ohjeet ja perinpohjainen perehdyttäminen takaavat sen, että jokainen röntgenkuvaamiseen oikeutettu pystyy sen teknisesti ja säteilyturvallisesti toteuttamaan. Eläinsairaalalla on kuvausohjekansio, jossa on esitelty eläinsairaalassa käytetyt projektiot ja kuvausohjelma valitaan pyydetyn kuvauksen mukaisesti. Näiden ohjeiden lisäksi eläinsairaala tarvitsee säteilyturvallisuusohjeen, joka auttaa parantamaan säteilyturvallisuutta. Säteilysuojeluohjeiden avulla jokainen voi tarkastella omaa toimintaansa säteilyä käyttäessä ja muistuttaa itseään miten ja miksi toimia turvallisemmin.

5.2 Tarkoitus ja tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää millä keinoin hevosten röntgentutkimuksia voidaan toteuttaa mahdollisimman säteilyturvallisesti. Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa tietoa ionisoivan säteilyn turvallisesta käytöstä eläinlääketieteellistä säteilyä käyttäville. Opinnäytetyön tuotos on säteilyturvallisuusohje Yliopistollisen eläinsairaalan hevospuolen röntgenkuvausohjekansioon. Opinnäytetyön tuotos yhtenäistää hevosia kuvaavien henkilöiden toimintatapoja ja helpottaa uusien tai satunnaisesti kuvaavien työntekijöiden säteilyturvallista kuvaamista. Opinnäytetyön teoriaosuus toimii muistilistana,

josta asioita voi tarvittaessa kerrata. Työn avulla voidaan lisätä säteilyturvallisuutta hevosten röntgen-tutkimuksissa. Opinnäytetyötä on mahdollista hyödyntää myös muissa hevosia kuvaavissa yksiköissä.

Opinnäytetyötä ohjaavat tutkimuskysymykset olivat:

1. Miten säteilysuojelua voidaan toteuttaa hevosröntgentoiminnassa?
2. Millä keinoin saadaan pienennettyä tutkimuksessa avustavien henkilöiden säteilyaltistusta?

5.3 Hyvän ohjeen vaatimukset

Opinnäytetyön tuotoksen on palveltava kohderyhmää. Tähän kuulu, että teksti on suunniteltu ja muokautettu tekstin sisältöä, tavoitetta, vastaanottajaa, viestintätilannetta ja tekstilajia palvelevaksi. (Vilka ja Airaksinen 2003,51.) Ohjeen tulisi olla helppokäyttöinen ja käytettävä. Lukijan pitäisi löytää ohjesta varmasti, vaivattomasti ja nopeasti tarvitsemansa tiedon (VirtuaaliAMK s.a.). Sisältöön tulee kiinnittää huomiota, koska allekkain listatut vinkit tai neuvot eivät yksistään riitä muuttamaan toimintatapoja. (Hyvärinen 2005). Opinnäytetyöni säteilyturvallisuusohjeen tarkoitus on saada työntekijät toimimaan säteilyturvallisemmin. Siksi oli tärkeää, että esitetyt asiat on perusteltu tarkemmin ohjeen toisen sivulla. Ohje muuttuu lukijalle ymmärrettävämmäksi (Hyvärinen 2005).

Hyvässä ohjeessa juonirakenne on kunnossa. Tarinan pitää edetä luontevasti ja loogisesti, jotta sitä on helppoa seurata. Esimerkiksi potilasohjeissa juoni muodostetaan tärkeysjärjestykseen; tärkeimmät asiat mainitaan ensin kun lukijan tarkkaavaisuus on suurimmillaan. (Hyvärinen 2005.) Toimintaohje on selkeintä esittää yksiselittäisenä, allekkain aseteltuna ohjelueteloa (VirtuaaliAMK s.a.). Hyvään ohjeeseen kuuluu, että se on kirjoitettu kieliopillisesti oikein. Huono tai väärä kielioppi saattaa hankaloittaa lukijan ymmärtämistä ja aiheuttaa ärtymystä. Useat kirjoitusvirheet ja asiavirheet saattavat saada lukijan epäilemään kirjoittajan ammattipätevyyttä, jolloin ohjeen neuvot ja vinkit menettävät arvoaan. (Hyvärinen 2005.)

Ensivaikutelma on tärkeää, sen perusteella lukija tekee jopa tiedostamatta päätöksen miten suhtautuu tekstiin ja ylipäätänsä aikooko lukea sen. Ohjeen silmäiltävyyteen voi vaikuttaa myös tekstinasetuksilla. (VirtuaaliAMK s.a.) Sopivalla kirjaisinkoon valinnalla, kapealla tekstipalstalla ja tekstin ilmavalla asettelulla sopivin rivivälein ohjeesta luotiin esteettisesti selkeä ja tyylikäs ohje, jota lukija lukee mielellisesti. Ohjeen värityksen pitää olla tasapainoinen, yhtenäinen ja sopia aiheeseen (VirtuaaliAMK s.a.). Ohjeessa käytetty tekstiasu ja sanat tulee valita lukijan mukaan (VirtuaaliAMK s.a.). Opinnäytetyöni tuotos on suunnattu henkilöille, joilla on perustiedot hallussa säteilyn käytöstä ja jotka ovat toteuttaneet jonkin verran hevosten natiiviröntgentutkimuksia, joten ohjeessa on käytetty ammattisanastoa ja alaan liittyviä ilmaisuja. Ohjeen kieliasu on suunniteltu käyttäjille sopivaksi.

5.4 Toteutus

Opinnäytetyöni tekeminen alkoi elokuussa 2016 osallistumalla oppilaitoksemme opinnäytetyöaihepäajaan, jossa alkoi aiheen ideointi. Aihekuvaukseni hyväksyttiin kuukautta myöhemmin syyskuussa,

jonka jälkeen aloitin kirjallisen kehittämissuunnitelman eli työsuunnitelman työstämisen. Työsuunnitelmassa tuli ilmi työni tavoitteet, vaiheet, toimijat sekä aikataulu, tiedonhankintamenetelmät ja dokumentointitavat.

Tammikuussa 2017 olin harjoittelussa Yliopistollisessa eläinsairaалassa, jolloin opinnäytetyön tarve varmistui. Hevossairaalan kuvausohjekansio oli uudistuksen alla ja sinne tarvittiin säteilyturvallisuusohje. Rajasimme yhteistyössä tilaajan kanssa aihetta tarkemmaksi. Sovimme mikä olisi ohjeen kohderyhmä ja pohdimme millainen toteutustapa palvelisi kohderyhmää parhaiten. Aloin hahmottelemaan säteilyturvallisuusohjeen sisältöä.

Opinnäytetyön teoria koottiin alan kirjallisuudesta ja asiantuntijalähteistä. Tiedonhakuun sain apua toukokuussa Savonia-ammattikorkeakoulun informaattikolta. Tiedonhakua suoritin SavoniaFinna-tietopalvelun kautta sekä ScienceDirect-, eViikki- ja PubMed-tietokannoista. Suomalaisilla hakusanoilla ei aihetta koskevia artikkeleita löytynyt. Englannin kielellä hakusanoina oli radiation protection, radiation safety, equine, horses, x-ray, imaging, radiology, occupational exposure, radiation exposure. Säteilyyän ja säteilyn käyttöön liittyvää tietoa löytyi alan kirjallisuudesta ja oppimateriaaleista sekä Säteilyturvakeskukseen sivuilta ja julkaisuista. Harjoitteluni aikana sain arvokasta tietoa käytännön toimijoilta Yliopistollisen eläinsairaalan röntgenhoitajilta, eläinlääkäreiltä ja lehtorilta.

Työsuunnitelman hyväksyminen venyi syksylle. Toteutusvaiheessa työn tilaaja pääsi tutustumaan ja kommentoimaan työtä. Työtä muokattiin tilaajaan toiveiden mukaiseksi. Opinnäytetyötä tehtiin yhteistyössä hevossairaalan kuvauksista vastuussa olevan röntgenhoitajan ja yksikön johtajan kanssa siten, että vaihdoimme ajatuksia työn edetessä. Käytännön osuus eli työn tuotos toteutettiin kaksisivuisena ohjeistuksena (liite 1). Ensimmäisellä sivulla on muistilistan tapaan kerrottu mitä asioita tulee muistaa säteilyturvallisuudesta hevosia kuvatessa ja toisella sivulla on perusteltu ensimmäisen sivun vinkkejä. Harjoittelujakson aikana kävimme läpi mitä toimeksiantaja haluaa ohjeelta, jonka jälkeen sain hyvin vapaat kädet sen toteuttamiseen. Varmistin työn edetessä toimeksiantajalta, että suunta on ohjeessa oikea ja käytän sopivia termejä heidän käyttöönsä. Värimaailma ohjeistukseen ja typografia on Helsingin yliopiston muotoiluohjeista.

Jatkoin teoriaosuuden kirjoittamista ja ohjeen viimeistelyä marraskuuhun saakka. Suunnitelman ja toteutuksen lisäksi projektityyppiseen opinnäytetyöhön kuuluu loppuraportti, jossa esitellään projektin taustaa ja tavoitteita, aikaansaannoksia ja tuloksia sekä työn kulkua eri vaiheineen. (Vilka ja Airaksinen 2003, 49; Salonen 2013.) Loppuraporttiin kuuluvien johtopäätöksien esittäminen ja työn arviointi on esitetty luvussa 6. Allekirjoitettuun ohjaus- ja hankkeistamissopimukseen päivitettiin lopulliset tiedot ja se liitettiin arkistoitavaksi yhdessä opinnäytetyön kanssa. Jätin opinnäytetyön tuotoksineen tarkasteltavaksi työn tilaajalle marraskuussa, jonka jälkeen vielä viimeistelin työtä ja palautin sen arviotavaksi.

6 POHDINTA

6.1 Opinnäytetyön prosessi

Aiheen valinta oli aluksi vaikeaa, koska halusin tehdä opinnäytetyön minua kiinnostavasta aiheesta, josta olisi todellista hyötyä. Suunnitteluvaiheessa arvioin swot-analyysin avulla opinnäytetyön vahvuuksia ja heikkouksia. Aihetta kohtaan minulla oli paljon kiinnostusta ja innostusta, koska siinä yhdistyi pitkäaikainen harrastus hevosten parissa ja tuleva ammatti. Ensimmäinen ajatus säteilysuojelun kehittamisestä hevosen röntgentutkimuksissa syntyi, kun ensimmäisenä opiskeluvuoteni käytin omaa hevostani kuvattavana. Klinikon senhetkinen eläinlääkäri ilahtui kerrottua röntgenhoitajaopinnoistani, koska silloinhan tietäisin paremmin miten nämä tulee ottaa. Siihen aikaan minulla ei ollut aavistustakaan hevosten kuvaamisen tekniikasta, mutta sen verran oli oppi päähän uponnut koulussa, että tajusin heidän toiminnassaan olevan paljon parantamista säteilyturvallisuutta ajatellen. Opinnäytetyön ideasta innostuivat muutkin ulkopuoliset tahot. Mielestäni se osoitti, että aiheesta oli potentiaalia. Projektin onnistuessa tuotoksella on mahdollisuus päästä laajempaankin käyttöön kuin vain tässä opinnäytetyössä määritellyyn. Tuotos voi olla alkusysäys suuremmalle, sillä säteilysuojeluun hevosten kuvantamisessa on kiinnitetty liian vähän huomiota. Heikkouksiin lukeutuu opinnäytetyön tekeminen yksilötyönä. Aikataulussa pysymisestä joutuu vastaamaan yksin. Toisaalta ajan löytäminen opinnäytetyönprojektin työstämiseen oli helpompi löytää yksin tehdessä, mutta toisaalta hetkittäin toisen tuesta olisi ollut apua. Ohjaava opettaja ja opponetti auttoivat tietenkin tarvittaessa. Johtuen suurimmaksi osaksi itsestäni, opinnäytetyön aikataulu hieman venyi suunnitellusta. Talouden tasapainon säilyttämiseksi oli opintojen ohella käytävä töissä, joka vei aikaa ja energiaa opinnäytetyöprosessilta.

Toiminnallisessa opinnäytetyössä ei välttämättä käytetä tutkimuksellisia menetelmiä, mutta prosessi tulee silti toteuttaa noudattaen tieteellisen tutkimuksen periaatteita (Vilkkä 2015, 21). Vakutaan, että tein opinnäytetyöni hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Pysin toimimaan tutkimusetiikkaa noudattaen kurinalaisesti, järjestelmällisesti ja täsmällisesti tehdessäni opinnäytetyötäni. Hyvään tieteelliseen käytäntöön kuuluu, että tekijä noudattaa eettisesti kestäviä eli tiedeyhteisön hyväksymiä tiedonhankintamenetelmiä (Vilkkä 2015, 30). Työtä tehdessäni olen kiinnittänyt paljon huomiota lähdeviitteiden oikeaan ja rehelliseen käyttöön, jotta lukija tunnistaisi mikä on omaa tekstiäni tai yleistietoa ja mikä muilta lainattua. Tällä tavoin pyrin kunnioittamaan toisten tutkijoiden työtä ja saavutuksia.

Opinnäytetyön luotettavuus rakentuu tutkimuskohteen ja tulkittujen materiaalin yhteensopivuudesta sekä siitä, ettei työn tuotokseen ole vaikuttaneet epäolennaiset tai satunnaiset tekijät. Tutkimuksen tulisi olla toistettava, jotta sitä voidaan pitää luotettavana (Vilkkä ja Airaksinen 2003, 53). Työn tekijänä vakuutan olleeni työtä tehdessä rehellinen ja puolueeton. Olen arvioinut työni luotettavuutta jokaisen tekemäni valinnan kohdalla.

Opinnäytetyöni tuotos on ohje, jolloin tärkeään rooliin nousee lähdekritiikki (Vilkkä ja Airaksinen 2003, 53). Valitessani materiaalia työhöni arvioin tiedonlähteen luotettavuutta tarkastelemalla sen auktoriteettiä, ikää, laatua ja tunnettavuutta. En ottanut työhöni mukaan epäilyttäviä tai epäuskottavia

sivuilta hankittua materiaalia ja kiinnitin suurta huomiota tiedon ajankohtaisuuteen. Tiedonhankinta perustui oman alan tieteellisen kirjallisuuden tuntemukseen, muihin asianmukaisiin tietolähteisiin ja omiin havaintoihini. Pysin käyttämään opinnäytetyössä vain kymmenen vuoden sisällä julkaistua tietoa. Valitettavasti muutamien artikkelien kanssa jouduin joustamaan tästä. Näissä artikkeleissa oli arvokasta aihetta spesifisesti käsittelevää tietoa, joka ei vuosien saatossakaan ole menettänyt luotettavuuttaan.

Opinnäytetyön tuotosta oli tarkoitus markkinoida myös Suomen Hippos ry:lle, joka on raviurheilun ja hevoskasvatuksen keskusliitto. Suomen Hippos ry vaatii, että jalostukseen hyväksyttävät hevosoriitit täytyy röntgenkuvata tietyn kuvausprotokollan mukaisesti. Suomen Hippos ry on laatinut kuvausohjeet tätä varten. (Suomen Hippos ry 2017.) Suomen hippos ry olisi voinut käyttää hyväksi opinnäytetyön tuotosta kuvausohjeiden liitteenä tai erillisenä oppaana, mutta koska ohjeen kohdistin niin yksityiskohtaisesti Yliopistolliselle eläinsairaualalle, niin ainakaan tässä muodossa sitä ei voida käyttää muissa yksiköissä.

Tiedonhaussa ongelmaksi muodostui tutkimuskysymyksiini vastaavan tiedon vähäisyys. Hain tähän apua informaatikolta, jonka kanssa toteutetussa tiedonhaussa tuli lisävarmistusta sille, että vapaasti käytettävissä olevaa aihetta käsittelevää tietoa löytyi niukasti. Pääasiassa kaikki käyttämäni artikkelit ovat englanninkielisiä. Artikkelien tulkitsemiseen meni paljon aikaa tämän vuoksi. Halusin kuitenkin tehdä käännöstyön huolellisesti, jottei syntyisi virhetulkintoja väärinymmäryksen vuoksi. Englanninkielinen ammattisanasto karttui lukiessa kansainvälisiä lähteitä.

Röntgenhoitajat ovat säteilynkäytön ammattilaisia, joiden ydinosaamisalueisiin kuuluu kuvantamistutkimukset (Savonia-ammattikorkeakoulu s.a.). Muut henkilöt, jotka ovat oikeutettuja käyttämään säteilyä, ovat saaneet säteilykoulutusta joko opinnoissaan tai työnsä kautta. Tämä säteilyyn liittyvä koulutus on kuitenkin huomattavasti vähäisempi määrä, mitä röntgenhoitajien koulutusohjelmaan kuuluu. Käytännössä tämä voi ilmetä siten, että säteilynkäyttöön liittyvä syvällisempi ymmärtäminen ja osaaminen jäävät heikolle tasolle. Käytännössä säteilynsuojelua toteuttaa jokainen säteilyä käyttävä henkilö.

6.2 Ammatillinen kasvu

Opinnäytetyön prosessiin kuuluvassa arvioinnissa arvioidaan omaa osaamistaan röntgenhoitajan ammatin osaamisalueiden kautta. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2017.) Asiantuntijuuden kehittyminen ja ammatillinen kasvu röntgenhoitajaksi alkoi opiskelujen ensimmäisenä vuotena perehtymällä ammattialaan ja eteni siitä lukukausien vaihtuessa oman osaamisen kehittämiseen, syventämiseen ja soveltamiseen. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2017.) Opintojaksot on Savonia-ammattikorkeakoulussa suunniteltu niin, että ne tukevat opiskelijoiden kokonaiskehitystä ja asiantuntijuuden kehittämistä. Röntgenhoitajan osaamisprofiili rakentuu yleisistä pätevyyksistä ja ammattispesifeistä pätevyyksistä. Valmistuneella röntgenhoitajalla on osaamista seuraavilta osa-alueilta: oppimisen taidot, eettinen osaaminen, työyhteisö-osaaminen ja innovaatio-osaaminen. Röntgenhoitajan ammatin osaamisalueisiin kuuluvat radiografia- ja sädehoitotyön hoitamis- ja ohjaamisosaaminen, viestintä- ja vuorovaiku-

tusosaaminen, menetelmäosaaminen, turvallisuusosaaminen sekä kehittäminen, tutkimus ja johtaminen. Ammattispesifien pätevyysien hallinta luo pohjan asiantuntijuuden kehittymiselle. (Savonia-ammattikorkeakoulu 2017.)

Radiografia- ja sädehoitotyön tehtävälueen kattavuudet ja rajat tulivat opinnäytetyötä tehdessä konkreettisesti esille. Ennen opintojen aloittamista en ollut edes tiennyt, että röntgenhoitajat voivat työllistyä myös eläinlääketieteen pariin. Tämän harhakäsitys kumoutui opinnäytetyöprosessin aikana kun sain uutta tietoa, taitoa ja valmiuksia työskennellä eläinlääketieteellisissä kuvantamisen parissa. Vuonna 2018 voimaantuleva säteilylaki saattaa tuoda muutosta röntgenhoitajien toimenkuvaan ja oli mielenkiintoista perehtyä laki- ja asetusluonnoksiin etukäteen. Jos laki ja asetus toteutuvat luonnoksen mukaisesti niin, röntgenhoitajat saavat pätevyiden toimia terveydenhuollon ja eläinlääkehuollon röntgentoiminnoissa säteilyturvallisuusvastaavana (Sosiaali- ja terveysministeriö 2017).

Oivalsin vasta opinnäytetyön prosessin loppuvaiheessa, miksi opinnäytetyö tehdään. Prosessin avulla pystyn osoittamaan, että hallitsen röntgenhoitajan osaamiseen kuuluvat osa-alueet. Opinnäytetyöhön kuului paljon erinäisiä määräyksiä, miten mikäkin asia täytyi tehdä, ja nyt löysin näille yhteyden. Osa-alueisiin kuuluu muun muassa viestintään liittyvä vaatimus, että opiskelija osaa viestiä sekä oman alan että alan ulkopuoliselle yleisölle. Juuri sillä tavallahan opinnäytetyö täytyy tehdä; kirjoittaa siten, että tekstiä ymmärtävät röntgenhoitajien lisäksi nekin, jotka eivät ole opintoja suorittaneet. Opinnäytetyöprojektin loppuun saattamisenkin voisi sanoa vaativan edistyneiden taitojen hallintaa eli on omattava kykyä hallita, soveltaa ja keksiä luovia ratkaisuja (työn) monimutkaisten tai odottamattomien ongelmien ratkaisemissa. Prosessi opetti ajankäytön hallintaa. Röntgenhoitajalla tulee olla myös valmius jatkuvaan oppimiseen. Korostan tätä myös opinnäytetyössäni, koska radiografia- ja sädehoito on jatkuvasti muuttuva ja kehittyvä ala, jonka kyydissä täytyy pysyä.

Opinnäytetyöprosessin aikana kehityin tiedonhakijana ja tiedon luotettavuuden arvioinnissa. Opinnäytetyötäni varten etsin paljon tietoa käyttäen eri tietokantoja. Löysin paljon ulkomaalaisia nettisivustoja, joissa aihetta oli käsitelty muun muassa perustuen sen maan säteilyviranomaisten ohjeistukseen. Näistä oli apua ymmärtääkseni kokonaisuuksia ja saadakseni eri näkökulmia, mutta opinnäytetyön lähteiksi niistä ei ollut. Jo aihekuvausta tehdessä olin ymmärtänyt, että luotettavaa asiantuntijatietoa olisi haastavampaa löytää. Opinnäytetyön ansiosta kerrytin kokemusta tieteellisen tekstin kirjoittamisesta ja lukemisesta. Samalla harjaantui kriittisen arvioinnin kyky. Opinnäytetyöprosessi opetti tutkimaan tietoa ja arvioimaan sen luotettavuutta. Artikkeleista saatavan tiedon löytämisessä ja hyödyntämisessä oli välillä vaikeuksia, koska pääasiassa käytin muita kuin kotimaisia artikkeleita, mutta kehityin siinä. Opinnäytetyötä tehdessä oli välttämätöntä kehittyä tekstin tuottajana. Minulla ei ole aikaisempaa kokemusta näin laajan ja tieteellisen tekstin kirjoittamisesta. Aluksi olin jopa kauhuissani, koska joutuisin tekemään tämän uuden ja oudon asian yksin. En voinut jättää tekstin tuottamista, jäsentelyä ja muokkaamista kenellekään muulle vaan kaikki piti tehdä itse. Aiemmin haasteenani on ollut hyvin jäsennellyn tekstin tuottaminen. Opinnäytetyön viimeistelyssä luin omaa tekstiäni kriittisesti ja pyrin sisäistämään, yhdistelemään ja kokoamaan tietoa selkeämmäksi kokonaisuudeksi.

Opinnäytetyön teoriaosaa työstäessä syvensin tietouttani röntgensäteilystä, säteilysuojelusta ja erityisesti siihen liittyvästä sironneesta säteilystä. Kaiken opinnäytetyöhöni hankitun tiedon jouduin prosessoimaan päässäni ja yhdistelemään tietoja aiemmin opittuun. Säteilyturvallisuus liittyy kaikkeen säteilynkäyttöön ja oli hienoa, että pääsin omaa tietouttani syventämään opinnäytetyön avulla. Löysin uusia perusteluja asioille. Erityisen mielenkiintoista oli löytää tietoa miten säteily vaikuttaa kuhunkin ihmisen soluun tai kudokseen ja minkä vuoksi. Röntgenhoitajana olen säteilyn käytön ammattilainen ja säteilyturvallisuusasioiden tulee olla tuttuja. Huomasin opinnäytetyöprosessin loppumetreillä, että olin siirtänyt omiin työtapoihini opinnäytetyötä varten hankkimaani tietoa säteilyturvallisuudesta. Siroavan säteilyn käyttäytymisen syvempi tutkiminen laittoi miettimään esimerkiksi säteilysuojien käyttöä tavanomaisissa röntgenkuvauksissa. Mikäli röntgenhoitajalla ei ole ymmärrystä säteilyn käyttäytymisestä, voi hyvää tarkoittava säteilysuojien laittaminen potilaalle aiheuttaakin haittaa.

6.3 Kehittämisehdotukset

Jatkotutkimusaiheeksi ehdotan säteilyturvallisuustoimien toteutumisen tutkimista ja kehittämisideoiden luomista säteilysuojelun parantamiseksi. Työtapoja voidaan aina kehittää säteilyturvallisimmiksi. Erilaisten apuvälineiden avulla säteilyaltistusta on mahdollista pienentää, joten niiden kehittämiseen kannattaisi pyrkiä. Säteilyä käyttäville osoitetulla kyselytutkimuksella saataisiin tietoa esimerkiksi siitä, miten he kokevat säteilysuojelun toteutuvan. Myös tämän ohjeen toimivuutta olisi mielenkiintoista tutkia.

Lisäksi jatkotutkimuksilla kannattaisi selvittää todellisia säteilyaltistusmääriä hevosten röntgentutkimuksissa. Tutkimukset voisivat keskittyä Compton-sironnan mittaamiseen ja siihen, miten etäisyys ja röntgenputken suuntaaminen vaikuttavat hevosesta lähtevän hajasäteilyn leviämiseen ympäristössä. Aiheesta ei juurikaan löydy tutkimustietoa. Mittaamismenetelmien lisäksi altistusmääriä voi tutkia Monte Carlo -simulaation avulla käyttäen hevosten röntgentutkimusten yleisimpiä kuvausarvoja.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- BCCCD RIN #23 2014. Radiation protection for persons assisting during equine veterinary x-ray procedures. [Viitattu 2017-11-07]. Saatavissa: <http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/EH/RPS/RIN23-WorkerAssistEquineVet.pdf>
- BLANCO SEQUIEROS, Roberto, LUNDBLOM, Nina 2017. Tutkimusmenetelmien erityispiirteitä. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2017. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim
- BUSHONG, Stewart C. 2013. Radiologic Science for Technologists: Physics, biology and protection. 10th edition. USA: Elsevier Inc
- BUTLER, Janet, COLLES, Christopher, DYSON, Sue, KOLD, Svend, POULOS, Paul, PUCHALSKI, Sarah 2017. Clinical Radiology of the Horse. Fourth Edition. [Verkkokirja]. Saatavissa: <https://books.google.fi/books?id=BfalCgAAQBAJ&lpg=PP5&dq=INTERPRET%20RADIO-GRAPHS%20OF%20THE%20HORSE&lr&hl=fi&pg=PP2#v=onepage&q&f=true>
- DA SILVA AZEVADO, Marcos, DE LA CORTE, Flavio, BRASS, Karin, GALLIO, Miguel, POZZOBON, Ricardo, FERREIRA LOPES, Marco, DIAS LOPES, Luis 2015. The Use of Xylazine or Acepromazine Does Not Interfere in the Lameness Evaluation by Inertial Sensors. Journal of Equine Veterinary Science. Vol 23. [Verkkolehti]. [Viitattu 2017-11-26]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2014.10.007>
- EUROOPAN KOMISSIO. EURATOM 2013/59. Europaa komission direktiivi. [Viitattu 2017-11-28]. Saatavissa: <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/65527fd1-7f55-11e3-b889-01aa75ed71a1>
- FARRELLY, John 2017. Radiation Safety: How to educate and protect yourself and your staff. Cornell University Veterinary Specialists. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.cuvs.org/sites/default/files/2017-06/Radiation%20Safety.pdf>
- FOGARTY, Daniel P., REINHART, Benjamin, TZVETKOV, Tochko, NESCH, Ivan, WILLIAMS, Cooper 2011. In-Laboratory Diffraction-Enhanced X-ray Imaging of an Equine Hoof. Journal of Equine Veterinary Science. Vol 31, 365-369. [Verkkokirja]. [Viitattu 2017-11-28]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080611001079>
- HARRISON, Robert 2010. Introduction to Monte Carlo simulation. AIP Conference Proceedings. [Viitattu 2017-11-29]. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20733932>
- HUSSO, Minna 2010. Mikä on säteilyannos ja miten se syntyy? [Abstrakti]. [Viitattu 2017-10-18]. Saatavissa: <http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?422>
- HYVÄRINEN, Riitta 2005. Millainen on toimiva potilasohje? Duodecim [digilehti] 121, 1769–73. [Viitattu 2017-11-28]. Saatavissa: <http://www.duodecimlehti.fi.ezproxy.savonia.fi/lehti/2005/16/duo95167>
- JULKUNEN, Petro 2008. Esittely mittauksista - Röntgensäteilyn sironna tutkimushuoneissa. [Abstrakti]. [Viitattu 2017-11-10]. Saatavissa: <http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?249>
- LAMMENTAUSTA, Eveliina 2017. Ionisoivan säteilyn fysiikka. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2017. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim
- LE HERON, John, PADOVANI, Renato, SMITH, Ian, CZARWINSKI, Renate 2010. Radiation Protection of medical staff. European Journal of Radiology. [Verkkolehti] 76, 20-23. [Viitattu 2017-11-08]. Saatavissa: [http://www.ejradiology.com/article/S0720-048X\(10\)00309-8/fulltext](http://www.ejradiology.com/article/S0720-048X(10)00309-8/fulltext)
- LORD, Peter s.a. Radiographic techniques for the horse. [Luentomateriaali]. Helsinki: Yliopistollinen eläinsairaala
- MAHDOLLISUUKSIEN HEVONEN-TYÖRYHMÄ 2017. Hevostalous lukuina 2016. Saatavissa: http://www.hippos.fi/files/17847/Hevostalous_lukuina_2016_lopullinen.pdf

MARTTILA, Olli J. 2002. Suureet ja yksiköt. Teoksessa IKÄHEIMONEN, Tarja K. (toim.) 2002. Säteily ja sen havaitseminen. Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja I. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto Oy

MCKNIGHT, Alexia L 2004. Digital Radiography in Equine Practice. Clinical Techniques in Equine Practice. [Verkkootikkeli]. [Viitattu 2017-10-25]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1534751605000235>

MUSTONEN, Raimo, SJÖBLOM, Kirsti-Liisa, BLY, Ritva, HAVUKAINEN, Ritva, IKÄHEIMONEN, Tarja K., KOSUNEN, Antti, MARKKANEN, Mika, PAILE, Wendla 2009. Säteilysuojelun perussuositukset 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. [Viitattu 2017-09-10]. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/124335/stuk-a235.pdf?sequence=1>

MÄKI, Taina 2017-11-26. Röntgenhoitaja. Helsinki: Yliopistollinen eläinsairaala

NIEMINEN, Miika 2017. Röntgensäteilyyn perustuvat menetelmät. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2017. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim

NIEMINEN, Miika, LAMMENTAUSTA, Eveliina, SAARAKKALA, Simo 2017. Johdanto radiologisen kuvantamisen fysiikkaan ja tekniikkaan. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2016. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim

NIEMINEN, Miika, OIKARINEN, Heljä 2017. Säteilysuojelu ja optimointi. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2016. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim

NIEMINEN, Miika, SAARAKKALA, Simo 2017. Radiologinen kuvanlaatu. Teoksessa BLANCO SEQUEIROS, Roberto, KOSKINEN, Seppo, ARONEN, Hannu, LUNDBOM, Nina, VANNINEN, Ritva, TERVONEN, Osmo (toim.) 2016. Kliininen radiologia. Helsinki: Duodecim

NISSI, Ulla 2009. Kirjalliset potilasohjeet viestinnän näkökulmasta. Virtuaali-AMK. [Oppimateriaali]. [Viitattu 2017-11-25]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojak-sot/030905/1116425173436.html>

PASTILA, Riikka (toim.) 2017. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Säteilyturvakeskuksen vuosiraportti 2016. [Viitattu 2017-11-26]. Saatavissa: <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/134702/stuk-b213.pdf?sequence=1>

PUKKILA, Olavi (toim.) 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja III. [Verkkokirja]. Saatavissa: www.stuk.fi/julkaisut/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja/sateilyn-kaytto

PÖLLÄNEN, Roy (toim.) 2003. Säteily ympäristössä. Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja II. [Verkkokirja]. Saatavissa: https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2_sisluettelo.pdf/4ca058c8-bd59-431b-90f8-4e52f55d917d

ROBERTSON, Ian D., THRALL, Donald E. 2013. Digital Radiographic Imaging. Julkaisussa: THRALL, Donald E. 2013. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th edition. USA: Elsevier Inc

SALONEN, K. 2013. Näkökulmia tutkimukselliseen ja toiminnalliseen opinnäytetyöhön - opas opiskelijoille, opettajille ja TKI-henkilöstölle. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 72. [Verkkokjulkaisu]. [Viitattu 2017-08-09]. Saatavissa: <http://docplayer.fi/1986011-Nakokulmia-tutkimukselliseen-ja-toiminnalliseen-opinnaytetyohon.html>

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU 2017. Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma. Opetussuunnitelmat. [Verkkosivu]. [Viitattu 2017-11-11]. Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/amk/fi/opiskelijalle/opetus-suunnitelmat?yks=KS&krtid=791>

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUS SÄTEILYN LÄÄKETIETEELLISESTÄ KÄYTÖSTÄ 2000/432. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2016-10-16]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000423#Pidp3834272>

- SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖ 2017. Hallituksen esitys eduskunnalle säteilylaiksi. [Viitattu 2017-12-03]. Saatavissa: <http://.fi/documents/1271139/5137208/Hallituksen+esitys+eduskunnalle.pdf/3cbac63f-7208-4aef-8406-56506edc5b97>
- STARCK, Tuomo 2014. Digitaalisen kuvan synty ja anatomia. Sädeturvapäivät. [Abstrakti]. [Viitattu 2017-11-20]. Saatavissa: <http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?865>
- STATKIEWICZ SHERER, Mary Alice, VISCONTI, Paula J., RITENOUR, E. Russell, WELCH HAYNES, Kelli 2014. Radiation protection in medical radiography. Seventh edition. USA: Elsevier Inc
- SUOMEN HEVOSTIETOKESKUS RY. [Verkkosivu]. [Viitattu 2016-12-12]. Saatavissa: <http://www.hevostietokeskus.fi/>
- SUOMEN HIPPOS RY 2017. Jalostusohjesäännöt. [Verkkosivu]. [Viitattu 2017-10-31]. Saatavissa: http://www.hippos.fi/jalostus_ja_nayttelyt/jalostusohjesaannot
- SURJAN, Y., OSTWALD, P., MILROSS, C., WARREN-FORWARD, H. 2014. Radiation safety considerations and compliance within equine veterinary clinics: Results of an Australian survey. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 2017-04-22]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817414001539>
- SUSLAK-BROWN, Lisa 2004. Radiography and the Equine Prepurchase Exam. Clinical Techniques in Equine Practice. Vol 3. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 2017-10-12]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1534751605000247>
- SÄTEILYASETUS A 20.12.1991/1512. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2016-10-16]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911512>
- SÄTEILYLAKI L 27.3.1991/592. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2016-10-16]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19910592>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2017. Eläinröntgentutkimukset. [Verkkosivu]. [Viitattu 2017-10-31]. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/toiminnan-valvonta/elainrontgentutkimukset>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2016. STUK valvoo säteily- ja ydinturvallisuutta Suomessa. [Verkkosivu]. [Viitattu 2017-09-27]. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/stuk-valvoo/stuk-valvoo-sateily-ja-ydinturvallisuutta-suomessa>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2015a. Eläinten röntgentutkimukset. [Verkkosivu]. [Viitattu 2016-09-07]. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/elainten-rontgentutkimukset>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2015b. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. [Verkkosivu]. [Viitattu 2017-12-01]. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ihmisen-radioaktiivisuus/suomalaisen-keskimaarainen-sateilyannos>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2014. Säteilyaltistuksen seuranta. Säteilyturvallisuus-ohjeet 7.1. [Viitattu 2017-11-08]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST7-1>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2012. Säteilyturvallisuus eläinröntgentutkimuksissa. ST-OHJEET 8.1. [Viitattu 2016-09-09]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/39078-ST8-1.pdf>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2009. Säteilyturvallisuus työpaikalla. Säteilyturvallisuus-ohjeet 1.6. [Viitattu 2017-11-11]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST1-6>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2008. Terveysturvallisuuden röntgenlaitteiden laadunvalvontaopas. Stuk tiedottaa 2/2008. [Viitattu 2017-12-02]. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/documents/12547/718600/STUK-tiedottaa-2-2008.pdf/eff89f1a-38cb-4c98-811b-65191f601c0b>
- SÄTEILYTURVAKESKUS 2002. Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja III. Hämeenlinna: Karisto Oy
- THRALL, Donald E. 2013. Principles of Radiographic Interpretation of the Axial Skeleton. Julkaisussa: THRALL, Donald 2013. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th edition. USA: Elsevier

- THRALL, Donald E., WIDMER, William 2013a. Introduction to Radiographic Interpretation. Julkaisussa: THRALL, Donald 2013. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th edition. USA: Elsevier
- THRALL, Donald E., WIDMER, William 2013b. Principles of Radiographic Interpretation of the Axial Skeleton. Julkaisussa: THRALL, Donald 2013. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 6th edition. USA: Elsevier
- TOLONEN, Pauliina 02-02-2017. Kuva 1. Erään laitevalmistajan säätöpöytä
- TOLONEN, Pauliina 02-02-2017. Kuva 2. Säteilysuojaimia
- TOLONEN, Pauliina 02-02-2017. Kuva 3. Erilaisia versioita kasetinpidikkeistä
- TOLONEN, Pauliina 02-02-2017. Kuva 4. Säteilykeilaa rajaavat kaihtimet
- VANDERPERREN, Katrien ja SAUNDERS, Jimmy 2009. Diagnostic imaging of the equine fetlock region using radiography and ultrasonography. Part 1: Soft tissues. The Veterinary Journal. [Verkkolehti]. [Viitattu 2017-11-28]. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18445536>
- VILKKA, Hanna ja AIRAKSINEN, Tiina 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. 1.-2. painos. Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Tammi
- VILKKA, Hanna 2005. Tutki ja kehitä. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- WARD, Lesly 2015. Proper Imaging Techniques for Horses. Veterinary Practice News. [Verkkolehti]. [Viitattu 2017-11-07]. Saatavissa: <https://veterinarypracticenews.com/proper-imaging-techniques-for-horses/>
- WRIGLEY, Robert H. 2004. Computed Radiology. Clinical Techniques in Equine Practice. [Viitattu 2017-09-29]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1534751605000223>
- YLIOPISTOLLINEN ELÄINSAIRAALA s.a.a. Hevosten diagnostinen kuvantaminen. [Verkkosivu]. [Viitattu 2016-09-07]. Saatavissa: <http://elainsairaala.helsinki.fi/fi/diagnostinen-kuvantaminen>
- YLIOPISTOLLINEN ELÄINSAIRAALA s.a.b. Tietoa meistä. [Verkkosivu]. [Viitattu 2016-09-07]. Saatavissa: <http://elainsairaala.helsinki.fi/fi/tietoa-meista>
- YLIOPISTOLLINEN ELÄINSAIRAALA s.a.c. Projektio-ohjeet hevosten kuvauksiin. [Eläinsairaalan kuvausohjeet]. Helsinki: Yliopistollinen eläinsairaala