



Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä

Etäisyyden ja väliaineen vaikutus annosnopeuteen

Sini Hakkarainen

Kaisa Hirsimäki

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2020

Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma

HAKKARAINEN, SINI & HIRSIMÄKI, KAISA:
Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä:
Etäisyyden ja väliaineen vaikutus annosnopeuteen

Opinnäytetyö 74 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Marraskuu 2020

Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tietoa säteilyturvallisen työskentelyn merkityksestä isotooppiyksikössä ja tarkoituksena oli kuvailla väliaineen ja etäisyyden merkitystä annosnopeuteen ja säteilytyöntekijän vuotuisten annosrajojen täyttymiseen. Isotooppiyksiköissä tutkitaan ja hoidetaan sairauksia radioaktiivisilla lääkkeillä. Työntekijöille aiheutuu työstä säteilyaltistusta, kun he saattavat käyttökuntoon radioaktiivisia lääkkeitä ja ovat tekemisissä radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden kanssa. Säteilysuojelulla pyritään minimoimaan työntekijöiden säteilyaltistusta ja säteilystä aiheutuvia haittoja. Tärkeimmät keinot suojautua ulkoiselta säteilyltä ovat aika, etäisyys ja väliaine.

Opinnäytetyö toteutettiin määrällisenä tutkimuksena ja yhteistyökumppanina toimi Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin kuuluva Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Tutkimusaineisto kerättiin mittauksina, ja se koostui kahdesta erillisestä aineistosta: kuvantamistilanteisiin liittyvästä mittausaineistosta ja ruiskumittausaineistosta. Kummassakin osassa tutkittavana isotooppina oli teknetium-99m.

Tulosten perusteella etäisyydellä on suuri vaikutus annosnopeuteen radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden lähellä. Etäisyyden kasvaessa 0,25 metristä 0,50 metriin annosnopeus pieneni yli 50 %. Etäisyyden kasvaessa 2 metriin annosnopeus pieneni noin 90 %. Käsiteltäessä radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja suojan käyttö pienensi annosnopeuden keskimäärin 1 prosenttiin alkuperäisestä. Etäisyyden kasvattaminen (1 cm → 20 cm) ruiskuun pienensi annosnopeutta keskimäärin 66 % ilman suojaa ja 64 % suojan kanssa.

Työn tulosten perusteella voidaan todeta, että jokainen työntekijä pystyy itse vaikuttamaan merkittävästi säteilyannokseensa. Radioaktiivista lääkettä saaneisiin potilaisiin tulisi kasvattaa etäisyyttä aina kun mahdollista. Radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja ei tulisi käsitellä ilman asianmukaisia suojia ja ruiskujen pitämistä käsissä tulisi välttää.

Kehitysehdotuksena esitetään etäisyyden ja väliaineen merkityksen tarkastelua muiden isotooppiyksikössä käytettävien isotooppien yhteydessä. Lisäksi ehdotetaan suojaimien vaikutuksen tutkimista kuvantamistilanteissa.

Asiasanat: ionisoiva säteily, työperäinen säteilyaltistus, isotooppilääketiede, säteilysuojelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Radiography and Radiotherapy

HAKKARAINEN, SINI & HIRSIMÄKI, KAISA:
Occupational Radiation Exposure in the Department of Nuclear Medicine:
Effect of Distance and Shielding Material on the Dose Rate

Bachelor's thesis 74 pages, appendices 6 pages
November 2020

Personnel working in nuclear medicine departments routinely get exposed to radiation while preparing and administering radiopharmaceuticals, as well as while handling with radioactive patients during the imaging procedure. The aim of this study was to increase knowledge related to the importance of radiation-safe working method in the Department of Nuclear Medicine. An answer was sought to the question of how distance and shielding affect dose rate when dealing with technetium-99m-labelled radiopharmaceuticals. It was also evaluated how long does it take for the personnel's effective dose limit of 20 mSv or finger dose limit of 500 mSv to be reached at different distances, or with and without a syringe shield.

When the distance to the patient increased from 0,25 meter to 0,50 meters, the dose rate decreased approximately 50 %. As the distance increased to 2 meters, the dose decreased as much as 90 %. When dealing with syringes, the dose rate, when an appropriate shield was used, was approximately 1 %, compared to the dose rate without shielding. Increasing the distance to a syringe also reduced the dose rate about 60–70 %, whether or not a syringe shield was used.

With small changes, everyone working in nuclear medicine department can influence their own radiation dose. It is important to increase the distance to the radioactive patient whenever possible, and always use a syringe shield when the syringe is held in the hand. The syringe should also be removed from hand whenever possible.

Key words: ionising radiation, occupational radiation exposure, nuclear medicine, radiation protection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RADIOAKTIVIIVISUUS JA IONISOIVA SÄTEILY	7
2.1	Radioaktiivisuus	7
2.2	Gammasäteily	8
2.3	Säteilyn terveysvaikutukset	8
3	ISOTOOPPITUTKIMUKSET	11
3.1	Radioaktiivisen lääkkeen käyttökuntoon saattaminen ja annostelu	11
3.2	Luuston gammakuvaus	12
3.3	Sydänlihasperfuusion gammakuvaus	13
4	TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SÄTEILYSUOJELU ISOTOOPPIYKSIKÖSSÄ	14
4.1	Säteilyaltistusta ja -suojelua koskeva lainsäädäntö	14
4.2	Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä	16
4.3	Työntekijän säteilysuojelu isotooppiyksikössä	20
4.3.1	Aika	21
4.3.2	Etäisyys	22
4.3.3	Väliaine	24
5	TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	29
6	MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT	30
6.1	Kvantitatiivinen tutkimus	30
6.2	Aineiston keruu	30
6.2.1	Kuvantamistilanteisiin liittyvät mittaukset	31
6.2.2	Ruiskumittaukset	37
6.3	Aineisto ja sen analyysi	40
7	TULOKSET	45
7.1	Kuvantamistilanteisiin liittyvät mittaukset	45
7.2	Ruiskumittaukset	48
8	POHDINTA	54
8.1	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	54
8.2	Opinnäytetyön luotettavuus	58
8.3	Opinnäytetyön eettisyys	61
8.4	Oppimiskokemus ja jatkotutkimusehdotukset	62

LÄHTEET	63
LIITTEET	69
Liite 1. Mittausprotokolla luuston gammakuvaukseen.....	69
Liite 2. Mittausprotokolla sydänlihasperfuusion gammakuvaukseen...	70
Liite 3. Ruiskumittausprotokolla	71
Liite 4. Ruiskumittausten tiedonkeruulomake.....	72
Liite 5. Prosenttitaulukko etäisyyden vaikutuksesta annosnopeuden pienentymiseen luuston gammakuvauksessa kahdessa eri sairaalassa	73
Liite 6. Prosenttitaulukko etäisyyden vaikutuksesta annosnopeuden pienentymiseen sydänlihaslihasperfuusion gammakuvauksissa TAYS:ssa	74

1 JOHDANTO

Säteilyturvakeskuksen (STUK) mukaan Suomessa tehtiin vuonna 2018 yhteensä 42 411 isotooppitutkimusta ja annettiin 2 571 isotooppihoitoa. Tutkimusmääriä ja -annoksia on kartoitettu vuodesta 1975 lähtien. Tutkimusten määrä on pysynyt monta vuotta lähes samana, mutta PET-tutkimusten osuus ja erityisesti isotooppihoitojen lukumäärät ovat kasvaneet. (Venelampi 2020, 16–17.)

Ionisoivalle säteilylle altistuminen aiheuttaa aina geneettisen muutoksen riskin ja säteilyannoksen kasvaessa haitan todennäköisyys kasvaa (Nieminen & Oikarinen 2017, 471). Koska isotooppiyksikössä työperäistä säteilyaltistusta kertyy monissa työtehtävissä ja annokset ovat muihin yksiköihin verrattuna melko suuria, työntekijöiden säteilysuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomioita (Carlsson & Le Heron 2014, 90; Nassef & Kinsara 2017, 1265). Suomessa henkilökohtaisessa annostarkkailussa oli vuonna 2019 kaikkiaan 15 700 säteilytyöntekijää. Heistä 1 316 altistui terveydenhuollossa muulle kuin röntgensäteilylle. Kenenkään työntekijän efektiivinen annos ei ylittänyt työntekijän vuosiannosrajaa. Myöskään iholle tai silmän mykiölle asetetut annosrajat eivät ylittyneet. (Venelampi 2020, 22, 62.)

Opinnäytetyön yhteistyökumppanina on Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin kuuluva Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Työn aiheena on työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä. Tavoitteena on lisätä tietoa säteilyturvallisen työskentelyn merkityksestä isotooppiyksikössä ja tarkoituksena kuvailla etäisyyden ja väliaineen merkitystä annosnopeuteen ja säteilytyöntekijän vuotuisten annosrajojen täyttymiseen. Opinnäytetyössä tarkastellaan annosnopeuksia teknetium-99m-leimattua radioaktiivista lääkettä saaneen potilaan ja radioaktiivista ainetta sisältävän ruiskun läheisyydessä.

Työyksikön säteilysuojelutaso riippuu yksilöiden suhtautumisesta säteilysuojelumenetelmiin (Carlsson & Le Heron 2014, 81–82). Opinnäytetyön aihe on käytännönläheinen, koska jokainen työntekijä pystyy omalla toiminnallaan vaikuttamaan merkittävästi saamaansa työperäiseen säteilyannokseen. Aihe on myös tärkeä, koska ilman huolellista säteilysuojelua työstä aiheutuvat annokset voivat olla suuria (Carlsson & Le Heron 2014, 91).

2 RADIOAKTIIVISUUS JA IONISOIVA SÄTEILY

Aineen perusosa on atomi, joka koostuu protoneista ja neutroneista. Atomi on radioaktiivinen, kun sen ydin on virittyneessä tilassa. (STUK 2020a.) Radioaktiivista atomia kutsutaan joko radionuklidiksi tai radioisotoopiksi (Saarakkala 2017, 428). Lähes jokaisella alkuaineella on sekä pysyviä, että radioaktiivisia isotooppeja (STUK 2020a). Isotoopit ovat saman alkuaineen eri muotoja, jotka eroavat toisistaan ytimen neutronien määrän perusteella (Bradley 2012, 450; Kemppainen & Tuokkola 2018, 290).

2.1 Radioaktiivisuus

Radioaktiivisuus tarkoittaa fysikaalista tapahtumaa, jossa rakenteeltaan epävakaa atomi muuttuu vakaammaksi lähettämällä hiukkasia ja/tai fotoneja ympäristöönsä. Tässä radionuklidin fysikaalisessa hajoamisprosessissa atomin ydin voi lähettää ionisoivaa hiukkassäteilyä tai sähkömagneettista säteilyä. (Saarakkala 2017, 428.) Hiukkassäteilyä on esimerkiksi alfa- ja beetasäteily. Gammasäteily puolestaan on sähkömagneettista säteilyä. (STUK 2020a.)

Radioaktiivisen lähteen aktiivisuus ilmaisee aineessa tapahtuvien hajoamisten lukumäärän aikayksikössä. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq). Yksi becquerel tarkoittaa, että radioaktiivisessa aineessa tapahtuu yksi hajoaminen sekunnissa. Mitä enemmän ydinmuutoksia tapahtuu, sitä enemmän syntyy säteilyä. (STUK 2020a.) Radioaktiivisen aineen aktiivisuutta pystytään määrittämään annoskalibraattorissa (Smart 2014, 251). Radioaktiivisen aineen aktiivisuus vähenee eksponentiaalisesti hajoamislain mukaisesti. Jokaisella radionuklidilla on jokin fysikaalinen puoliintumisaika, jonka kuluessa puolet aineen alkuperäisestä aktiivisuudesta on vähentynyt. Isotooppilääketieteessä on kuitenkin huomioitava myös biologinen puoliintumisaika. Biologisen puoliintumisajan myötä puolet radioaktiivisesta lääkkeestä erittyy pois normaalin aineenvaihdunnan mukana. (Saarakkala 2017, 428–429.)

2.2 Gammasäteily

Gammasäteily on suurienergistä sähkömagneettista säteilyä (Dale & Wondergem 2014, 49; Lammentausta 2017, 418). Suurienergisyys vuoksi gammasäteilyltä on vaikea suojautua ja sen vaimentamiseen tarvitaan esimerkiksi betonia, terästä tai lyijyä (STUK 2020a).

Gammasäteilyn ja aineen vuorovaikutustapoja on kolme: gammasäteily voi menettää energiaa valosähköisessä ilmiössä, Comptonin ilmiössä ja parinmuodotuksessa osuessaan aineeseen (Krizsan 2016, 9; Lehto, Maalampi, Havukainen & Leskinen 2018, 93). Gammasäteilyn intensiteetti vähenee eksponentiaalisesti osuessaan väliaineeseen. Intensiteetin väheneminen on suoraan verrannollinen saapuvan säteilyn intensiteettiin ja väliaineen paksuuteen. (Podgorsak, Kesner & Soni 2014, 30–31; Krizsan 2016, 11; Lehto ym. 2018, 133.) Gammasäteily vaimenee kaavan (1) mukaisesti:

$$I = I_0 e^{-x\mu} \quad (1)$$

jossa I on väliaineen läpäisseen säteilyn intensiteetti, I_0 aineeseen osuvan gammasäteilyn intensiteetti, x väliainekerroksen paksuus ja μ matkavaimennuskertoin. e tarkoittaa alkeisvarausta, jonka arvo on $1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$. (Podgorsak ym. 2014, 3, 31.)

Gammasäteilyä hyödynnetään isotooppitutkimuksissa (Knuuti & Kajander 2017, 402). Kaikista hyödyllisimpiä gammasäteilijöitä isotooppitutkimuksissa ovat ne, joiden energia on 80–400 keV välillä (Ziessman, O'Malley & Thrall 2006, 27). Esimerkki isotooppilääketieteessä käytettävästä gammasäteilijästä on teknetium-99m-isotooppi, jonka energia on 140 keV (Korpela 2004, 223–224; Ziessman ym. 2006, 9).

2.3 Säteilyn terveysvaikutukset

Ionisoiva säteily kykenee muodostamaan väliaineessa ioneja (Lammentausta 2017, 416; Säteilylaki 859/2018). Tämän vuoksi ionisoivalle säteilylle altistuminen

aiheuttaa aina jonkinlaisen riskin geneettisen muutoksen muodostumiselle. Muutoksen todennäköisyys kasvaa säteilyannoksen kasvaessa. (Nieminen & Oikarinen 2017, 471–473.) Toistuvan säteilyaltistuksen vuoksi henkilökunnan säteily-suojelu on tärkeää (Bradley 2012, 447).

Säteilyn energiansiirtokyky on oleellisesti yhteydessä biologisten vaikutusten laajuuteen. Energiansiirtokyky voidaan jakaa tiheään ja harvaan ionisoivaksi. Tiheään ionisoivalla säteilyllä on suuri energiansiirtokyky, mutta harvaan ionisoivalla säteilyllä on pieni energiansiirtokyky. Tiheä aiheuttaa runsaasti ionisaatiota ja harva vähemmän. Esimerkkinä harvaan ionisoivasta säteilystä on gammasäteily. (Mustonen & Salo 2002, 29.)

Ionisoivan säteilyn aiheuttamat haittavaikutukset jaetaan deterministisiin ja stokastisiin haittavaikutuksiin. Deterministisillä haittavaikutuksilla tarkoitetaan suuria säteilyaltistuksista aiheutuvia suoria ja väistämättömiä vaikutuksia. Tällöin annoksen kasvaessa myös säteilyn aiheuttama haitta-aste kasvaa. Deterministisiä haittavaikutuksia ovat muun muassa säteilysairaus ja säteilyvamma. Stokastisilla haittavaikutuksilla ei ole kynnysarvoa, joten haitan syntyminen on mahdollista hyvin pienelläkin säteilyaltistuksella. Tällöin haitta-aste ei riipu saadusta säteilyannoksesta, mutta haitan todennäköisyys kasvaa annoksen kasvaessa. (Paile 2002, 44–45; Lundholm, Brzozowska & Wojcik 2016, 50.)

Ihmiseen kohdistuvan säteilyn aiheuttamaa terveydellistä haittaa kuvataan suurella säteilyannos, jonka yksikkö on sievert (Sv) (STUK 2020a). Säteilyannos voi aiheutua sekä ulkoisesta että sisäisestä säteilystä. Ulkoisella säteilyannoksella tarkoitetaan kehon ulkopuolelta ihmiseen kohdistuvaa säteilyä, joka aiheutuu pääasiassa luonnon taustasäteilystä. (Lehto ym. 2018, 135.) Taustasäteily koostuu maaperässä ja rakennusmateriaaleissa olevista radioaktiivisista aineista sekä kosmisesta säteilystä (Siiskonen 2020, 15). Sisäisellä säteilyllä tarkoitetaan kehossa olevien radioaktiivisten aineiden lähettämää säteilyä. Radioaktiiviset aineet kulkeutuvat ihmisen kehoon ruoan, juoman tai hengitysilman kautta. (Suomela, Rahola & Muikku 2003, 246; Siiskonen 2020, 24.)

Annosnopeuden avulla pystytään ilmaisemaan ihmisen saamaa säteilyannosta tietyssä ajassa. Mitä suurempi annosnopeus on, sitä suurempi on myös säteilyannos. Annosnopeuden yksikkö on sievertiä tunnissa (Sv/h), mutta yleisimmin käytetään milli- tai mikrosievertejä tunnissa (mSv/h tai $\mu\text{Sv/h}$). (Lehto ym. 2018, 137.) Suomessa luonnon taustasäteilyn annosnopeus vaihtelee 0,04–0,30 $\mu\text{Sv/h}$ välillä (STUK 2020b).

Ihmisen saamaa säteilyannosta voidaan kuvata suureilla absorboitunut annos, ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos. Absorboitunut annos ilmoittaa kohdeaineeseen siirtyneen energian määrää aineen massayksikköä kohden. Absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy). Absorboitunut annos, säteilyn laatu ja energia vaikuttavat ionisoivan säteilyn aiheuttamiin terveydellisiin haittavaikutuksiin. Näiden seikkojen aiheuttamaa terveydellistä haittaa kuvaa suure ekvivalenttiannos, jonka yksikkö on sievert (Sv). (Paile ym. 1996, 12–13; Mustonen ym. 2009, 38–39.) Efektiivinen annos kuvaa säteilyn ihmiselle aiheuttamaa kokonaishaittaa (Siiskonen 2020, 7). Suureessa huomioidaan eri elinten ja kudosten säteilyherkkyydet. Efektiivisen annoksen yksikkö on sievert (Sv). (Paile ym. 1996, 14; Nieminen & Oikarinen 2017, 474.)

Työstä saatavan ulkoisen säteilyannoksen määrittämisessä käytetään suuretta henkilöannosekvivalentti (Mustonen ym. 2009, 46, 49; STUK S/1/2018). Se tarkoittaa annosekvivalenttia tietyssä kehon kohdassa tietyllä syvyydellä pehmytkudoksessa. Annosekvivalentti määritellään kudokseen absorboituneen annoksen ja säteilylajista ja -energiasta riippuvan laatukertoimen tuloksi. (Mustonen ym. 2009, 46, 110, 112.) Kun arvioidaan kovan säteilyn vaikutusta syvällä kehossa oleviin elimiin, käytetään henkilöannosekvivalenttia syvyydellä 10 mm ($H_p(10)$). Tästä käytetään myös nimitystä syväannos. Säteilyn vaikutusta lähellä ihon pintaa oleviin elimiin puolestaan arvioidaan määrittämällä pinta-annos eli henkilöannosekvivalentti syvyydellä 0,07 mm ($H_p(0,07)$). (Marttila 2002, 85.) Efektiivisen annoksen määrittämisessä käytetään yleensä syväannosta. Ihon, käsien ja jalkojen annosta arvioidaan puolestaan pinta-annoksen avulla. (Mustonen ym. 2009, 46.)

3 ISOTOOPPITUTKIMUKSET

Isotooppiyksikössä käytetään radioaktiivisia aineita avolähteinä radioaktiivisen lääkkeen muodossa sairauksien tutkimiseen ja hoitamiseen (Korpela 2004, 220). Avolähteellä tarkoitetaan säteilylain (859/2018) mukaan radioaktiivista ainetta sisältävää säteilylähdettä, jonka rakenne tai ominaisuus ei estä radioaktiivisen aineen leviämistä ympäristöön. Radioaktiivinen lääke on aine, joka sisältää tunnetun kemiallisen yhdisteen, johon on liitetty radioaktiivinen isotooppi (Saarakkala 2017, 427). Radioaktiivinen lääke saatetaan potilaan elimistöön yleensä suonensisäisesti (Korpela 2004, 228). Radioaktiivisen lääkkeen käyttäytyminen kehossa tunnetaan ja sen jakautumista, kulkua ja hajoamista seurataan isotooppitutkimuksissa gammakameralla (Knuuti & Kajander 2017, 402).

3.1 Radioaktiivisen lääkkeen käyttökuntoon saattaminen ja annostelu

Kaikki isotooppidiagnostiikassa käytettävät radionuklidit ovat keinotekoisia (Korpela 2004, 223; Ziessman ym. 2006, 4). Radionuklideja pystytään tuottamaan generaattoreilla, joista tunnetuin on $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -generaattori, jolla pystytään valmistamaan teknetium-99m-isotooppia. Generaattorissa emonuklidi molybdeeni-99 hajoaa teknetium-99m:ksi, jonka puoliintumisaika on 6 h. (Gilmore & Tempesta 2019, 42.) Teknetium-99m on yleisimmin käytetty radionuklidi sen lähettämän energian (140 keV), puoliintumisajan ja saatavuuden vuoksi (Ziessman ym. 2006, 9).

Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamista ohjaa sekä lääkelaki (395/1987) että säteilylaki (859/2018). Radioaktiivisen lääkkeen käyttökuntoon saattaminen riippuu siitä, mitä halutaan tutkia tai hoitaa (Wimana 2019, 20). Radioaktiivisia lääkkeitä saa käyttökuntoon saattaa vain siihen koulutetut henkilöt. Käyttökuntoon saattamisen tulee tapahtua steriilisti esimerkiksi radiofarmasiakaapissa tarkkoja aseptisia työskentelytapoja noudattaen. Tärkeää on myös noudattaa valmistajan antamia ohjeita esimerkiksi eluaatin aktiivisuudesta ja radioaktiivisen lääkkeen kokonaistilavuudesta. Käsittelyn aikana jokainen radioaktiivista ainetta sisältävä pullo ja ruisku tulee olla lyijysuojattu ja suojan voi poistaa ainoastaan, kun ruiskua tai pulloa mitataan annoskalibraattorissa tai kun liuoksen

väriä tarkastellaan. Suojaamatonta ruiskua tai pulloa tulee aina käsitellä pitkien pihtien avulla. (O'Reilly 2008, 16–18.)

Yksinkertaisuudessaan käyttökuntoon saattaminen tapahtuu lisäämällä generaattorista saatu eluaatti lääkeaineampulliin (Ziessman ym. 2006, 10–11). Yhdistämisen jälkeen radioaktiivisen lääkkeen tulee inkuboitua tietyn ajan lääkeaineesta riippuen. Valmiit radioaktiiviset lääkkeet tulee säilyttää tarkoituksenmukaisesti esimerkiksi jääkaapissa. Tarvittavan inkubaatioajan jälkeen potilasannokset annostellaan lyijysuojattuun ruiskuun. (O'Reilly 2008, 18–19.) Jokaisen potilasannoksen aktiivisuus tulee määrittää annoskalibraattorilla ennen potilaaseen annostelemista (Ziessman 2006, 11).

Isotooppitutkimuksessa säteilyaltistuksen vertailutaso on potilaalle annettavan aktiivisuuden määrä. Säteilyturvakeskus on määrittänyt vertailutasot esimerkiksi luuston gammakuvaukselle sekä sydänlihasperfuusion kuvaukselle aikuispotilaille. Vertailutaso luuston gammakuvauksessa on 670 MBq ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa yhteensä 1200 MBq, kun rasitus- ja lepovaihe suoritetaan eri päivinä. (STUK S/4/2019, liite 2.)

3.2 Luuston gammakuvaus

Luuston gammakuvaus on yleinen isotooppitutkimus, jota käytetään monenlaisien luustomuutosten tutkimiseen. Indikaatioina voivat olla esimerkiksi luustometastasoinnin seuranta, luukasvaimet, luu- ja niveltulehdukset ja kulumat. (Korpela 2004, 237–238; Van den Wyngaert ym. 2016, 1725–1726.) Luuston gammakuvaus on erittäin herkkä diagnostinen tutkimus, jonka avulla voidaan havaita merkittäviä metabolisia muutoksia jopa muutamia viikkoja tai kuukausia aikaisemmin kuin ne olisivat havaittavissa muissa kuvantamistutkimuksissa (Van den Wyngaert ym. 2016, 1724).

Luuston gammakuvauksessa käytetään teknetium-99m-leimattua fosfonaattiyhdistettä, joka kertyy luustoon ja poistuu nopeasti pehmytkudoksista injektion jälkeen (Ziessman ym. 2006, 114; Van den Wyngaert ym. 2016, 1724). Yleisimmin

käytetyt fosfonaattiyhdisteet ovat HDP (hydroksimetyleenidifosfonaatti) ja MDP (metyyleenidifosfonaatti) (Weissleder ym. 2007, 943).

Luuston gammakuvaus suoritetaan tasokuvauksena, jossa potilaan koko keho kuvataan sekä etu- että takasuunnasta (Knuuti & Kajander 2017, 402). Ennen kuvausta potilaalle annetaan radioaktiivista lääkettä suonensisäisesti. Injisoinnin jälkeen potilaan tulee odottaa 2–4 h ennen kuin kuvaus suoritetaan. Juuri ennen kuvausta potilaan tulisi käydä virtsaamassa, jotta virtsarakkoon kerääntyneen aktiivisuuden määrä vähenisi. (Ziessman ym. 2006, 116–117, Weissleder ym. 2007, 944.)

3.3 Sydänlihasperfuusion gammakuvaus

Sydänlihasperfuusion gammakuvaus on eniten käytetty kuvantamismenetelmä sepelvaltimotautia sairastaville potilaille. Tutkimuksen avulla pystytään arvioimaan sydämen verenkierron riittävyyttä rasituksessa ja levossa. (Acampa, Zampella & Assante 2014, 6.) Tutkimuksessa käytettäviä lääkkeitä voivat olla esimerkiksi sestamibi tai tetrofosmiini, jotka ovat ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia (Ziessman ym. 2006, 452–453).

Tutkimus koostuu rasitus- ja lepovaiheista, jotka voidaan suorittaa joko yhden tai kahden päivän aikana (Ziessman ym. 2006, 456; STUK S/4/2019, liite 2). Rasitusvaiheessa potilaan verenkiertoon ruiskutetaan radioaktiivista lääkettä rasituksen aikana. Rasituskoe voidaan suorittaa fyysisesti juoksumatolla tai pyörällä tai lääkkeellisesti rasittamalla. (Medolago & Ghilardi 2014, 23.)

4 TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SÄTEILYSUOJELU ISOTOOPPIYKSIKÖSSÄ

Työperäisellä altistuksella tarkoitetaan säteilylain (859/2018) mukaan työntekijöiden altistumista säteilylle työssään. Röntgenhoitajat ovat säteilytyöntekijöitä eli heille voi työssään aiheutua väestön annosrajaa suurempi säteilyannos (Säteilylaki 859/2018). Väestön efektiivisen annoksen raja on 1 mSv (VNa ionisoivasta säteilystä 1034/2018).

4.1 Säteilyaltistusta ja -suojelua koskeva lainsäädäntö

Suomessa säteilyn käyttöä säätelee säteilylaki (859/2018). Laki perustuu Euroopan unionin neuvoston direktiiviin eli BSS-direktiiviin (2013/59/EURATOM), joka määrittää EU-alueelle ionisoivan säteilyn käytön turvallisuutta koskevat perusnormit. Säteilylain lisäksi ionisoivan säteilyn käyttöä Suomessa määrittelevät valtioneuvoston (1034/2018) ja sosiaali- ja terveysministeriön (1044/2018) asetukset ionisoivan säteilyn käytöstä sekä Säteilyturvakeskuksen antamat määräykset (STUK 2019a). Säteilyturvakeskus valvoo säteilyn käyttöä ja säteilylain, -asetusten ja säteilyä koskevien määräysten noudattamista (STM n.d.; STUK 2019b).

Säteilylain keskeisenä tavoitteena on suojella terveyttä säteilyn aiheuttamilta haitoilta. Säteilysuojeluun liittyy oleellisesti kolme yleistä periaatetta: oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaate. Oikeutusperiaatteen mukaan säteilytoiminnasta ja suojelutoimista aiheutuvan kokonaishyödyn tulee olla suurempi kuin aiheutuvan haitan. Optimointiperiaatteen mukaisesti työperäinen altistus ja väestön altistus ionisoivalle säteilylle on pidettävä niin vähäisenä kuin käytännöllisin toimin on mahdollista ja lääketieteellinen altistus rajoitettava välttämättömään tarkoitettun tutkimus- tai hoitotuloksen saavuttamiseksi tai toimenpiteen suorittamiseksi. Lisäksi yksilönsuojaperiaatteen mukaisesti säteilytoiminnassa työntekijän ja väestön yksilön säteilyannos ei saa olla määritettyä annosrajaa suurempi. (Säteilylaki 859/2018.) Säteilytyöntekijän efektiivinen annosraja on 20 mSv vuodessa (Vna ionisoivasta säteilystä 1034/2018). Työntekijän silmän mykiölle, iholle, käsille, käsivarsille, jalkaterille ja nilkoille määrätty ekvivalenttiannosrajat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ekvivalenttiansosten rajat säteilytyöntekijöille (VNa ionisoivasta säteilystä 1034/2018)

	Annosraja
Silmän mykiö	100 mSv viiden vuoden aikana 50 mSv vuodessa
Iho	500 mSv eniten altistuneella yhden cm ² :n ihoalueella keskimääräisenä annoksena
Kädet, käsivarret, jalkaterät, nilkat	500 mSv

Säteilytyöntekijät tulee luokitella luokkiin A ja B työstä aiheutuvan säteilyaltistuksen ja potentiaalisen altistuksen perusteella (Säteilylaki 859/2018). Luokkaan A kuuluvat ne säteilytyöntekijät, joilla työstä aiheutuva efektiivinen annos voi olla yli 6 mSv vuodessa, silmän mykiön ekvivalenttiansos yli 15 mSv vuodessa tai ihon, käsien, käsivarsien, jalkaterien tai nilkkojen ekvivalenttiansos yli 150 mSv vuodessa (VNa ionisoivasta säteilystä 1034/2018). Työntekijä voidaan luokitella tähän luokkaan vain, jos säteilyyn perehtynyt työterveyslääkäri on katsonut hänet siihen soveltuvaksi. Luokassa A työskenteleville on järjestettävä henkilökohtainen annostarkkailu kuukauden jaksoissa ja tuloksia on kirjattava ja seurattava säännöllisesti. (Säteilylaki 859/2018.)

Säteilylain (859/2018) mukaisesti myös työskentelyalueet tulee jakaa valvonta- ja tarkkailualueisiin niissä aiheutuvan säteilyaltistuksen ja potentiaalisen altistuksen mukaisesti. Jos työntekijälle voi aiheutua alueella vuoden aikana yli 1 mSv:n efektiivinen annos, yli 15 mSv:n ekvivalenttiansos silmän mykiölle tai yli 50 mSv:n ekvivalenttiansos iholle, käsiin, käsivarsiin, jalkateriin tai nilkkoihin, alue on määritettävä tarkkailualueeksi. Valvonta-alueiksi luetaan alueet, joilla on noudatettava erityisiä toimintatapoja ionisoivasta säteilystä aiheutuvan säteily- tai kontaminaattoriskin takia. (VNa ionisoivasta säteilystä 1034/2018.) Valvonta-alue on rajattava ja sinne pääsy tulee rajoittaa vain tarvittavat ohjeet saaneisiin henkilöihin. Valvonta-alueelle pääsyä ja siellä työskentelyä on myös valvottava. (Säteilylaki 859/2018.) Sekä tarkkailu- että valvonta-alueilla altistusolosuhteita on säteilylain (859/2018) mukaisesti tarkkailtava säännöllisesti.

Isotooppiyksikössä valvonta-alueiksi tulisi nimetä muun muassa huoneet, joissa valmistellaan tai säilytetään radioaktiivisia lääkkeitä tai injisoidaan niitä potilaille. Myös kuvaushuoneet, joissa säilytetään radioaktiivisten aineiden annosteluun tarkoitettuja välineitä tai joissa on röntgensäteilyä tuottavia laitteita sekä odotushuoneet, jotka on tarkoitettu radioaktiivista lääkettä saaneille potilaille, tulisi nimetä valvonta-alueiksi. Tarkkailualueita voivat olla muut huoneet ja käytävät, joissa radioaktiivista lääkettä saaneet potilaat odottavat tai viettävät aikaa. (IAEA 2018, 141.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (1044/2018) mukaan säteilyn lääketieteelliseen käyttöön osallistuvalla tulee olla tehtävänsä edellyttämät tiedot, taidot ja osaaminen säteilyfysiikassa, säteilybiologiassa ja säteilysuojelussa. Lisäksi röntgenhoitajan ja isotooppiyksikössä työskentelevän bioanalyytikon tai sairaanhoitajan on saatava täydennyskoulutusta yhteensä 40 tuntia viiden vuoden aikana ja sen tulee käsitellä säteilyfysiikkaa ja -biologiaa, säteilysuojelua lääketieteellisessä altistuksessa ja työntekijän ja väestön säteilysuojelua (STMa ionisoivasta säteilystä 1044/2018, liite 5).

4.2 Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä

Isotooppiyksikössä työ aiheuttaa työperäistä säteilyaltistusta monille eri ammattiryhmiin kuuluville, kuten röntgenhoitajille, sairaanhoitajille, radiologeille, fyysikoille sekä isotooppilääketieteen erikoislääkäreille (IAEA 2018, 140). Isotooppiyksikön työntekijät kuuluvat säteilytyöntekijöinä luokkaan A eli heidän vuosittainen efektiivinen säteilyannoksensa voi olla yli 6 mSv. Verrattuna muihin yksiköihin, isotooppiyksikössä kertyvät säteilyannokset ovat yleensä melko suuria. Nassefin ja Kinsaran (2017) mukaan isotooppiyksikön työntekijöiden vuoden aikana saama keskimääräinen säteilyannos oli huomattavasti suurempi verrattuna sädehoidon ja diagnostisen radiologian työntekijöihin. Annoksen ero diagnostisessa radiologiassa työskenteleviin oli yli kaksinkertainen ja sädehoidon työntekijöihin yli viisinkertainen (Nassef & Kinsara 2017, 1265).

Kokopäiväisesti isotooppiyksikössä työskentelevän henkilön vuosittainen efektiivinen annos ei tulisi olla yli 5 mSv, kun käytetään optimoituja säteilysuojelumenetelmiä (Carlsson & Le Heron 2014, 90). Työntekijöiden keskimääräisiä vuotuisia säteilyannoksia on määritetty monissa tutkimuksissa. Nassefin ja Kinsaran (2017, 1265) tutkimuksessa isotooppiyksikön työntekijöiden vuotuiset efektiiviset säteilyannokset olivat keskimäärin 1,56 mSv. Piwowska–Bilska ym. (2011) tutkimuksessa röntgenhoitajan vuotuinen säteilyannos oli 19 vuotta kestäneen seurannan perusteella keskimäärin 0,6 mSv. Suurin mitattu annos oli 18,6 mSv. Isotooppiyksikössä työskentelevät sairaanhoitajat saivat keskimäärin 4,0 mSv:n säteilyannoksen vuodessa. (Piwowska–Bilska ym. 2011, 19.) Kuwaitilaisessa isotooppiyksikössä puolestaan määritettiin työntekijöiden keskimääräiset vuotuiset kokokehon annokset syväannoksina (Hp10). Annokset vaihtelivat työtehtävän mukaan välillä 1,3–3,2 mSv. (Alnaaimi ym. 2017, 234.)

Ulkoista säteilyaltistusta kertyy monista työvaiheista (Carlsson & Le Heron 2014, 90). Avolähteiden käsittely, radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattaminen ja annostelu potilasannoksiin voivat aiheuttaa merkittävän säteilyannoksen. Radioaktiivista lääkettä saanut potilas aiheuttaa työntekijälle säteilyannosta muun muassa injisoinnin ja kuvantamistilanteen yhteydessä. (Zito, Canzi & Voltini 2007, 21; Bradley 2012, 459; Carlsson & Le Heron 2014, 90.) Säteilyannosta voi lisätä myös työskentely ja oleskeleminen tilassa, jossa on säteilylähteitä, avolähteiden varastointi ja radioaktiivisten jätteiden käsittely (Zito ym. 2007, 21; Carlsson & Le Heron 2014, 90).

Säteilyaltistuksen suuruus ja sen aiheuttama vaara riippuvat siitä, mitä isotooppeja käsitellään ja millaisia ovat niiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Myös tutkimuksien ja hoitojen suorittamistapa vaikuttaa säteilyaltistukseen. Työntekijän saama säteilyannos on suoraan verrannollinen siihen, kuinka suuria aktiivisuuksia hän käsittelee tai kuinka suuria aktiivisuuksia potilaat saavat radioaktiivisena lääkkeenä. Merkittävää on myös se, kuinka kauan työntekijä viettää aikaa säteilevän kohteen luona ja millä etäisyydellä. (Zito ym. 2007, 21; Carlsson & Le Heron 2014, 90–91.)

Ziton ym. (2007) mukaan keskimääräinen annosnopeus yhden metrin etäisyydellä potilaasta, joka on saanut 740 MBq teknetium-99m-leimattua radioaktiivista

lääkettä on tyypillisesti noin 5 $\mu\text{Sv/h}$. Samalla etäisyydellä potilaasta, joka on saanut 7400 MBq jodi-131-isotooppia, annosnopeus voi olla jopa 200 $\mu\text{Sv/h}$. (Zito ym. 2007, 22.) Puolen metrin etäisyydellä potilaasta, joka on saanut 350 MBq fluori-18-isotooppia, annosnopeus voi puolestaan olla 300 $\mu\text{Sv/h}$ (Carlsson & Le Heron 2014, 90–91).

Niillä isotooppiyksikön työntekijöillä, jotka osallistuvat PET-tutkimuksiin, joissa käytetään fluori-18-isotooppia, annokset ovat yleensä suurempia kuin perinteisiin isotooppitutkimuksiin osallistuvilla (Dalianis ym. 2014, e31; Alkhorayef ym. 2020). Alkhorayef ym. (2020) mukaan ainoastaan PET/TT-tutkimuksia tekevän työntekijän keskimääräinen syväannos (Hp10) oli 4,7 mSv vuodessa. SPECT- ja SPECT/TT-tutkimuksia tekevillä annos oli vain 1,4 mSv vuodessa.

Sydänlihasperfuusion gammakuvauksen on todettu aiheuttavan työntekijöille suurempia säteilyannoksia verrattuna muihin tutkimuksiin (Alkhorayef ym. 2020). Fathyn, Khalilin, Elshemeyn ja Mohamedin (2019) mukaan annosnopeudet sydänlihasperfuusion gammakuvausta varten teknetium 99-m-leimattua radioaktiivista lääkettä saaneen potilaan lähellä olivat suurempia kuin muissa tutkimuksissa ja hoidoissa. Yhden potilaan rasiututkimuksesta aiheutui työntekijälle keskimäärin 20,4 $\mu\text{Sv:n}$ efektiivinen säteilyannos ja lepokuvauksesta 16,0 $\mu\text{Sv:n}$ annos. Luuston gammakuvauksesta työntekijälle aiheutui keskimäärin vain 6,1 $\mu\text{Sv:n}$ efektiivinen säteilyannos. (Fathy ym. 2019, 447–449.) Myös Bayram, Yilmaz, Demir ja Sonmez (2011) totesivat yksittäisen sydänlihasperfuusiotutkimuksen aiheuttavan työntekijälle suuremman annoksen kuin muut tutkimukset. Suuren tutkimusmäärän takia vuoden aikana pelkästään luuston gammakuvauksia suorittavalle työntekijälle aiheutui kuitenkin muihin tutkimuksiin verrattuna suurin vuotuinen säteilyannos. (Bayram ym. 2011, 57.)

Avolähteitä käsitellessään työntekijät altistuvat säteilylle epätasaisesti (Venelampi 2020, 24). Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattaminen, annostelu ja injisointi voivat aiheuttaa työntekijän käsille huomattavan annoksen, vaikka efektiivinen annos olisi pieni (Vanhavere ym. 2012, 133; Carlsson & Le Heron 2014, 90–91; Venelampi 2020, 24). Carlssonin ja Le Heronin (2014) mukaan työntekijän käsille aiheutuu keskimäärin 80 mSv:n ja suurimmillaan 330 mSv:n

vuotuinen ekvivalenttiansi, jos hän injisoi 400 MBq teknetium-99m-leimattua radioaktiivista lääkettä kahdeksalle potilaalle päivässä (Carlsson & Le Heron 2014, 90–91). Työntekijän, joka käsittelee radioaktiivisia lääkkeitä, on kiinnittävä erityistä huomioita käsien säteilysuojeluun (Leide-Svegborn 2011, 205).

Sormiannoksissa on suurta vaihtelua työtavoista ja säteilysuojelumenetelmistä johtuen. Alkhorayefin ym. (2020) tutkimuksessa SPECT- ja SPECT/TT-tutkimuksia suorittavien työntekijöiden keskimääräinen sormiansi vuoden aikana oli 36,1 mSv. Annosten vaihteluväli oli suuri: 0,1–298,0 mSv. Kubon ja Mauricion (2014, 445) tutkimuksessa radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisesta aiheutui sormille 290–950 mSv vuosiansi ja lääkkeiden käsittelystä injisoinnin yhteydessä 7,5–126 mSv vuosiansi. Alnaaimin ym. (2017, 234) tutkimuksessa kuumalaboratoriotyöntekijän keskimääräinen sormien saama pintaansi (Hp0,07) oli 120 mSv. Se oli paljon suurempi kuin niillä työntekijöillä, jotka osallistuivat potilaiden injisoitiin ja kuvaukseen. Saudi-Arabiassa vuonna 2017 tehdyssä tutkimuksessa röntgenhoitajien vuosittaiset pinta-annokset sormissa vaihtelivat välillä 12,88–31,7 mSv ja keskimääräinen ansi oli 19,9 mSv (Nassef & Kinsara 2017, 1262). Suomessa vuonna 2019 yhdenkään työntekijän käsien saama ansi ei ylittänyt ekvivalenttiansirajaa 500 mSv. Yhden röntgenhoitajan, joka käsitteli useita säteilylähteitä, käsiin kohdistunut ansi oli yli 100 mSv. (Venelampi 2020, 24–25.)

Työntekijän sormiannokseen vaikuttaa esimerkiksi tapa, jolla työntekijä pitää ruiskua tai pulloa käsissään ja kuinka paljon etäisyyttä sormien ja säteilylähteen välillä on sekä, millaista suoja ruiskussa tai pullossa käytetään. Merkitystä on myös sillä, mitä isotooppeja käsitellään, kuinka suuria ovat käsiteltävät aktiivisuudet ja kauanko aikaa käsittelyyn kuluu. (ICRP 2008a, 172–173; Leide-Svegborn 2011, 204; Sans-Merce ym. 2011, 1331; Kubo & Mauricio 2014, 445.) Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattaminen aiheuttaa enemmän ansi verrattuna lääkkeiden käsittelyyn potilaan injisoinnin yhteydessä (Sans-Merce ym. 2011, 1331; Kubo & Mauricio 2014, 445; Alnaaimi ym. 2017, 234–235). Tämä johtuu muun muassa siitä, että käyttökuntoon saattamisen aikana työntekijä yleensä käsittelee suurempia aktiivisuuksia pidemmän aikaa kuin injisoidessaan potilasta (Kubo & Mauricio 2014, 445).

4.3 Työntekijän säteilysuojelu isotooppiyksikössä

Säteilysuojelulla tarkoitetaan toimia, joiden tavoitteena on suojella ihmisiä, väestöä ja tulevia sukupolvia säteilyn haitallisilta vaikutuksilta (STUK 2013). Työntekijöiden säteilysuojelun päätavoitteena on varmistaa, että työstä aiheutuu mahdollisimman pieni säteilyannos. Tämä vaatii ymmärrystä käytettävistä säteilylähteistä ja siitä, kuinka niistä aiheutuvaan säteilyaltistukseen voidaan vaikuttaa. (Rep 2016, 99.) Työyksikön säteilysuojelutaso riippuu yksilöiden asenteista. Säteilyn käyttöön liittyviä määräyksiä ja ohjeita ei tulisi nähdä esteenä työn suorittamiselle. Säteilysuojelun tulisi olla luonnollinen osa päivittäisiä työtehtäviä. (Carlsson & Le Heron 2014, 81–82.)

Säteilytyöntekijöille määrätyt annosrajat voivat ylittyä, jos optimoituja säteilysuojelukäytänteitä ei noudateta (Carnicer ym. 2011, 1279, 1282; Leide-Svegborn 2011, 205–206; Vanhavere ym. 2012, 169; Carlsson & Le Heron 2014, 91). Vähäinenkin altistuminen ionisoivalle säteilylle aiheuttaa aina jonkinlaisen riskin geneettisen muutoksen syntymiselle. Muutoksen todennäköisyys kasvaa annoksen suurentuessa. (Nieminen & Oikarinen 2017, 471–473.) Koska isotooppiyksikön työntekijät altistuvat ionisoivalle säteilylle monissa työvaiheissa pitkän ajan kuluessa, heidän säteilysuojeluunsa on kiinnitettävä huomioita ja säteilyannos pyrittävä pitämään mahdollisimman alhaisena (Carnicer ym. 2011, 1277; Alnaami ym. 2017, 233).

Ulkoiselta säteilyltä suojautumiseen liittyy olennaisesti kolme keskeistä periaatetta: aika, etäisyys ja väliaine (Zito ym. 2007, 23; Bradley 2012, 459; Carlsson & Le Heron 2014, 93; Rep 2016, 99; IAEA 2018, 128). Ne muodostavat säteilysuojelun perustan isotooppiyksikössä yhdessä optimoitujen työtapojen ja työtilojen säteilyturvallisen suunnittelun ja rakentamisen ohella (Zito ym. 2007, 23). Ulkoiselta säteilyaltistukselta suojautumiseen liittyy myös ulkoisen kontaminaation välttäminen (Rep 2016, 99). Kontaminaatiolla tarkoitetaan ei-toivottua radioaktiivista ainetta jollakin pinnalla, kiinteässä aineessa, nesteessä tai kaasussa (STUK n.d.). Iho tai vaatteet voivat kontaminoitua, jos niihin tarttuu radioaktiivista ainetta esimerkiksi nesteinä tai aerosolina. Kontaminaatio voi myös levitä ympäristöön. (STM 2008, 14.)

Niille työntekijöille, jotka säännöllisesti käsittelevät työssään radioaktiivisia isotooppeja tai ovat tekemisissä radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden kanssa, tulee järjestää henkilökohtainen annosseuranta (Carlsson & Le Heron 2014, 94; IAEA 2018, 152; Säteilylaki 859/2018). Myös käsien annostarkkailu on ensiarvoisen tärkeää (Sanc-Merce ym. 2011, 1331; Kubo & Mauricio 2014, 445).

4.3.1 Aika

Työntekijän säteilyannos muodostuu säteilyn annosnopeuden ja säteilylähteen lähellä vietetyn ajan tulona. Näin ollen altistus aika on suoraan verrannollinen säteilyannoksen suuruuteen. Mitä kauemmin työntekijä altistuu säteilylle, sitä suuremman säteilyannoksen hän saa. (ICRP 2008b; Rep 2016, 99.)

Jotta altistumisaika voitaisiin pitää mahdollisimman lyhyenä, turhaa oleskelua radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden läheisyydessä tulee välttää ja työvaiheet, joihin sisältyy radioaktiivisten aineiden käsittelyä, tulee suorittaa ripeästi. (Carlsson & Le Heron 2014, 93; Rep 2016, 99.) Tutkimusten mukaan kokeneilla työntekijöillä käsien saamat annokset voivat olla pienempiä kuin uusilla työntekijöillä (ICRP 2008a, 172; Leide-Svegborn 2011, 202–204). Kokemus ei kuitenkaan takaa pieniä annoksia, vaan työvaiheiden huolellinen suunnittelu ja työntekijöiden kouluttaminen ovat avainasemassa työvaiheisiin kuluvan ajan pienentämisessä. Radioaktiivisten aineiden käsittelyä tulisi harjoitella ensin ilman radioaktiivista isotooppia. (Zito ym. 2007, 23; ICRP 2008a, 172–173, 181; Leide-Svegborn 2011, 204; Sans-Merce ym. 2011, 1331; Carlsson & Le Heron 2014, 93–94; Rep 2016, 99.) Nopea työtahti ei kuitenkaan saa johtaa työn laadun heikkenemiseen tai muiden säteilysuojelukeinojen käytön vähentämiseen (Carlsson & Le Heron 2014, 93).

4.3.2 Etäisyys

Etäisyyden kasvattaminen on yksinkertainen ja tehokas keino pienentää työntekijän säteilyannosta (Rep 2016, 100). Etäisyyden neliölain mukaan etäisyyden kaksinkertaistaminen pienentää säteilyn annosnopeuden neljäsosaan, kun kyseessä on pistemäinen säteilylähde (ICRP 2008b; Rep 2016, 99). Etäisyyden säteilylähteeseen tulisi olla mahdollisimman suuri, olipa kyseessä radioaktiivista lääkettä saanut potilas tai radioaktiivista ainetta sisältävä ruisku tai pullo (Zito ym. 2007, 23; O'Reilly 2008, 16–17; Carlsson & Le Heron 2014, 93; Rep 2016, 99–100; IAEA 2018, 143–144).

Useissa tutkimuksissa on tarkasteltu annosnopeutta eri etäisyyksillä potilaasta, joka on saanut teknetium-99-leimattua radioaktiivista lääkettä. Taulukossa 2 on esitetty Turkissa tehdyn tutkimuksen yhteydessä saatuja annosnopeuksia eri etäisyyksillä potilaasta luuston gammakuvauksessa ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa. Annosnopeus pieneni voimakkaasti etäisyyden kasvaessa. Etäisyyden kaksinkertaistuessa 0,25 metristä 0,50 metriin, annosnopeus väheni alle puoleen alkuperäisestä. Kahden metrin etäisyydellä annosnopeus oli pienentynyt yli 90 %. (Bayram ym. 2011, 56–57.)

TAULUKKO 2. Keskimääräiset annosnopeudet eri etäisyyksillä potilaasta luuston ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksissa (Bayram ym. 2011, 56, muokattu)

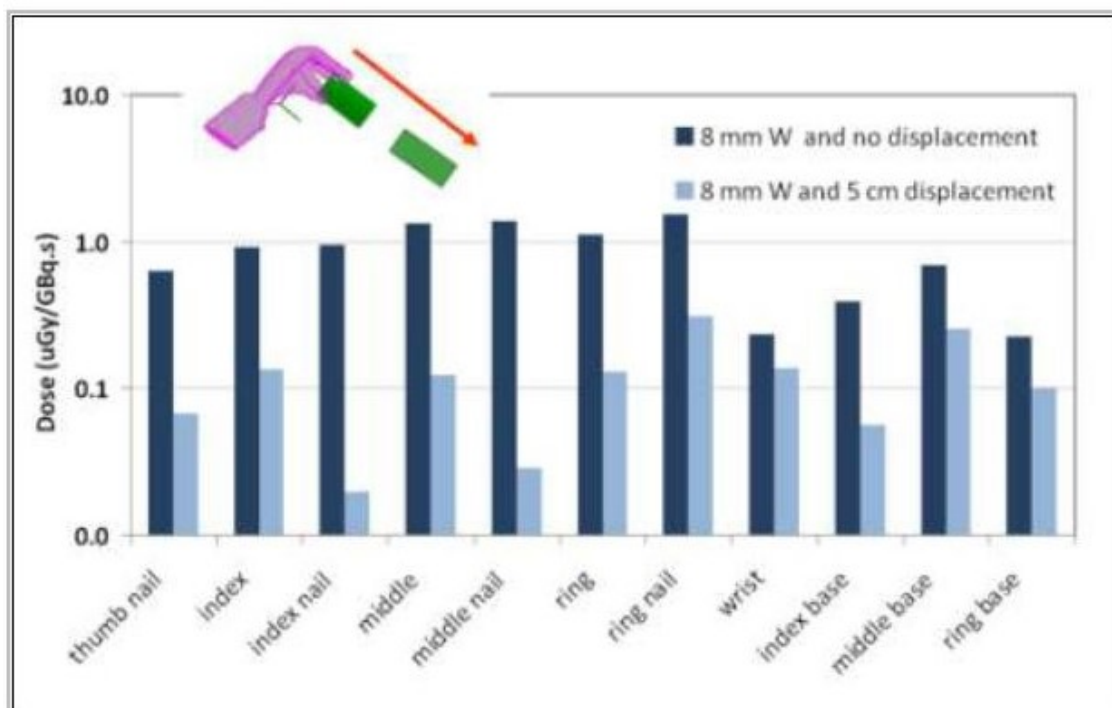
Etäisyys (m)	Annosnopeus (μSv/h)		
	Luuston gammakuvaus Tc-99m MDP 2–3 h injektioista 740 MBq	Sydänlihasperfuusion gammakuvaus: rasitus Tc-99m MIBI 15–120 min injektioista 555 MBq – 1,11 GBq	Sydänlihasperfuusion gammakuvaus: lepo Tc-99m MIBI, 45–60 min injektioista 555 MBq – 1,11 GBq
0,25	13,1 ± 7,1	16,5 ± 10,4	22,9 ± 13,5
0,50	5,6 ± 2,0	6,9 ± 2,6	14,2 ± 5,9
1	3,3 ± 1,2	2,7 ± 1,3	4,3 ± 1,8
2	1,3 ± 0,3	0,9 ± 0,3	1,9 ± 0,6

Sudbrockin ym. (2011b) mukaan annosnopeus kaksi tuntia sen jälkeen, kun potilas oli saanut teknetium-99m-leimattua HDP:tä 700 MBq, oli potilaan pinnalla

keskimäärin 56 $\mu\text{Sv/h}$, 0,50 metrin etäisyydellä 8,9 $\mu\text{Sv/h}$, yhden metrin etäisyydellä 3,6 $\mu\text{Sv/h}$ ja kahden metrin etäisyydellä 1,4 $\mu\text{Sv/h}$. Australiassa tehdyssä tutkimuksessa (Deb, Jamison, Mong & U, 2015) etäisyyden kasvattaminen teknetium-99m-isotooppia sisältävää säteilylähteeseen yhdestä metristä 1,5 metriin pienensi annosnopeutta 51 %. Vastaavasti etäisyyden kaksinkertaistaminen metristä kahteen metriin, aikaansai 73 % laskun annosnopeudessa. (Deb ym. 2015, 444.)

Radioaktiivista ainetta sisältävät ruiskut ja pullot tulisi pitää mahdollisimman kaukana kehosta ja sijoittaa radioaktiiviset jätteet kauas työpisteistä ja työntekijöistä (Rep 2016, 100). Työntekijän käsien annosta voidaan pienentää välttämällä ruiskujen ja pullojen suoraa käsittelyä ja käyttämällä sen sijaan pitkiä pihtejä ja muita apuvälineitä (Zito ym. 2007, 23–24; O'Reilly 2008, 17; Leide-Svegborn 2011, 204; Carlsson & Le Heron 2014, 93; IAEA 2018, 130, 143–144; Rep 2016, 100). Säteilylähteiden käsittelyllä ilman apuvälineitä on havaittu olevan suora yhteys suuriin annoksiin työntekijän käsissä. Vastaavasti automaattisia annostelijoita käytävillä käsien saamat annokset ovat olleet hyvin pieniä. (Rimpler 2011, 1284; Sans-Merce 2011, 1331; Vanhavere ym. 2012, 145.) Etäisyyden kasvattaminen on siis erittäin vaikuttava keino pienentää käsien saamaa annosta (Sans-Merce ym. 2011, 1332; Vanhavere ym. 2012, 170).

Etäisyyden huomioiminen on tärkeää, vaikka käytettäisiin asianmukaista suojasta. Vanhavere ym. (2012) mukaan käden eri osien annokset olivat keskimäärin 10-kertaa suurempia, kun fluori-18-isotooppia sisältävää pulloa pidettiin kädessä, verrattuna siihen, että etäisyys pullon ja käden välillä oli 5 cm. Pullossa oli kummassakin tilanteessa suojana 8 mm volframia. (Vanhavere ym. 2012, 158.) Käden eri osien saamat annokset on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Sormiannokset suojan kanssa kahdella eri etäisyydellä fluori-18 sisältävästä pullosta (Vanhavere ym. 2012, 158)

4.3.3 Väliaine

Ajan ja etäisyyden ohella väliaine eli asianmukaisten säteilysuojainten käyttö on yksi tärkeimmistä säteilysuojelumenetelmistä, erityisesti käsiteltäessä radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja ja pulloja (Sans-Merce ym. 2011, 1332–1333; Rep 2016, 100). Säteilysuojainten tehokkuus ja se, millaista suojaa kannattaa käyttää, riippuvat muun muassa käytettävästä isotoopista, sen säteilylajista, aktiivisuudesta ja työtehtävästä (Zito ym. 2007, 24; Rep 2016, 100). Yleisiä säteilysuojien materiaaleja ovat muun muassa lyijy, lyijylasi ja volframi (IAEA 2018, 144). Erilaisia suojia ovat esimerkiksi ruiskujen ja injektio-pullojen suojat ja kuljetuslaatikot, siirrettävät lyijylasiseinät sekä puettavat säteilysuojaimet (ICRP 2008b; Carlsson & Le Heron 2014, 92–93).

Arvioitaessa sitä, tulisiko radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden kanssa käyttää säteilysuojaimia, on otettava huomioon suojan käytöstä aiheutuva hyöty verrattuna sen käytöstä aiheutuvaan haittaan (Carlsson & Le Heron 2014, 92). IAEA:n (2018, 144) mukaan niillä gammasäteilyn energiatasoilla, joita isotooppi-

tutkimuksissa tyypillisesti käytetään, puettavan lyijyliivin säteilyä vaimentava vaikutus on vähäinen. Liikuteltavat säteilysuojaseinät vähentävät annosta yleensä tehokkaammin ja niiden käyttöä suositellaan silloin, kun etäisyys potilaaseen on pieni (Carlsson & Le Heron 2014, 94; IAEA 2018, 144). Bayramin ym. (2011) mukaan 2 mm lyijysuojaseinän käyttäminen vähentää merkittävästi työntekijöiden saamaa annosta. Yhdestä tutkimuksesta työntekijälle aiheutuva säteilyannos oli noin 2,35 kertaa suurempi ilman suojaa kuin sen kanssa, jos kyseessä oli teknetium-99m-leimatulla radioaktiivisella lääkkeellä tehty luuston gammakuvaus tai sydänlihasperfuusion gammakuvaus. (Bayram ym. 2011, 58–59.)

Joissakin sairaaloissa myös puettavia säteilysuojia käytetään niissä tilanteissa, joissa potilaan injisointitilanne pitkittyy tai käytetään suuria aktiivisuuksia (Carlsson & Le Heron 2014, 92). Kirjallisuuden mukaan suoja, joka sisältää 0,25 mm lyijyä, pienentää säteilyannosta 59 %, kun käytössä on teknetium-99m-isotooppi. Vahvempaa (0,50 mm) suojaa käytettäessä, annos pienenee noin 75 %, mutta suoja painaa noin 8,5 kg. Jodi-131 ja fluori-18-isotooppien kanssa puettavasta suojaliivistä ei ole merkittävää suojaa. (Rep 2016, 101.)

Samanlaisia havaintoja ovat tehneet Deb ym. (2015), jotka tutkivat suojien merkitystä annosnopeuteen eri etäisyyksillä potilaasta. Mittauksia tehtiin eri isotoopeilla ja eri lyijyekvivalenttimääriä sisältävillä suojilla. Tutkimuksen mukaan metrin etäisyydellä 1702 MBq teknetium-99m-isotooppia sisältävästä säteilylähteestä suojan lyijyekvivalenttimäärän kasvattaminen 0,25 mm:stä 1,25 mm:iin vähensi säteilyn annosnopeutta 60 %. Vastaavasti suojan lyijyekvivalentin kaksinkertaistaminen 0,25 mm:stä 0,50 mm:iin laski annosnopeutta 25 %. Deb ym. (2015, 446) tulivat siihen tulokseen, että tutkitut suojat olivat soveltuvia käytettäväksi, kun annostellaan ja injisoidaan teknetium-99m-isotooppia.

Suojien käyttäminen ruiskuissa ja injektiopulloissa on tutkimusten mukaan erittäin merkittävä, jopa tärkein, keino vähentää työntekijöiden sormiannoksia (ICRP 2008a, 174; O'Reilly 2008, 17; Leide-Svegborn 2011, 204; Sans-Merce ym. 2011, 1331; Vanhavere ym. 2012, 152). Kaikkein suurimmat annokset käsille aiheutuvat niistä tilanteista, joissa radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja käsitellään ilman suojia (Sans-Merce ym. 2011, 1331). Carlssonin ja Le Heronin (2014, 90) mukaan sellaisen työntekijän, joka injisoi 400 MBq teknetium-99m-leimattua

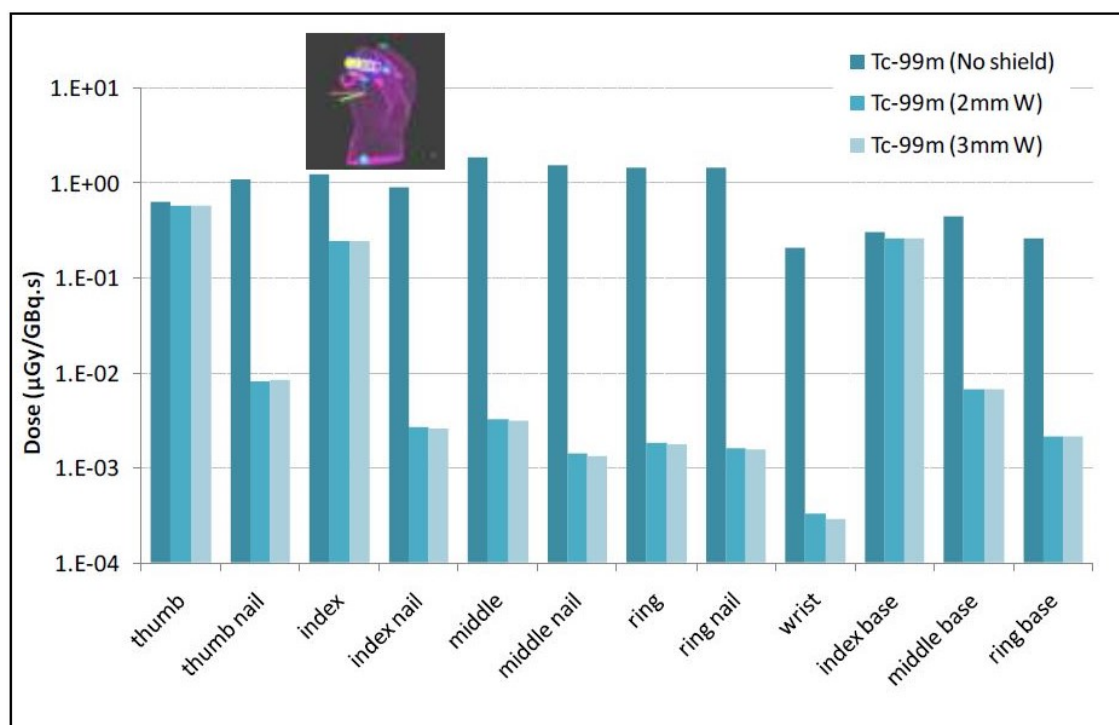
radioaktiivista lääkettä kahdeksalle potilaalle päivässä käyttämättä ruiskunsuojaa, sormien ekvivalenttiansa voi olla suurimmillaan jopa 2500 mSv vuodessa. Tuo annos on yli 7 kertaa suurempi kuin suurin annos käytettäessä suojaa. (Carlsson & Le Heron 2014, 90.)

Ruiskujen suojat voivat olla painavia ja tehdä ruiskujen käsittelemisestä hankalampaa, mutta mikään muu keino ei suojaa käsiä yhtä tehokkaasti (ICRP 2008a, 174; O'Reilly 2008, 17). Siksi radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja ja pulloja ei tulisi käsitellä ilman asianmukaisia suojia (Zito ym. 2007, 24; O'Reilly 2008, 17; Carlsson & Le Heron 2014, 90, 94; IAEA 2018, 93; Rep 2016, 100–101). Euroopassa tehdyn tutkimuksen mukaan suojan käytössä on kuitenkin puutteita. Tutkittua 124 työntekijän joukosta, johon sisältyi työntekijöitä seitsemästä Euroopan maasta, 89 % käytti suojattuja pulloja käsitellessään teknetium-99m-leimattuja radioaktiivisia lääkkeitä. Ruiskunsuojaa käytti 73 %. Fluori-18-sisältäviä pulloja kaikki työntekijän käsittelivät vain suojan kanssa, mutta valmisteluvaiheessa vain 57 % työntekijöistä käytti ruiskuissa asianmukaista suojausta. (Vanhavere ym. 2012, 133, 152–153.)

Ruiskuissa käytettävän suojan materiaali ja vahvuus tulee valita isotoopin säteilylajin ja säteilyn energian perusteella (Zito ym. 2007, 24; Rep 2016, 100). Esimerkiksi teknetium-99m-isotooppi on puhdas gammasäteilijä ja sen lähettämän säteilyn energia on 140 keV (Vanhavere ym. 2012, 134). Käsiteltäessä teknetium-99m-isotooppia sisältäviä ruiskuja, pienin hyväksyttävä suojan paksuus on 2 mm volframia. Pullojen suojissa vastaava vähimmäisvaatimus on 3 mm lyijyä. (Sans-Merce ym. 2011, 1332.)

ICRP:n (2008b) mukaan 2 mm volframia sisältävän suojan käyttö ruiskussa, jossa on 400 MBq teknetium-99m-isotooppia, pienentää säteilyn annosnopeuden jopa 1 %:iin alkuperäisestä. Myös Vanhaveren ym. (2012) mukaan 2 mm volframisuojan käyttö teknetium-99m-isotooppia sisältävän radioaktiivisen lääkkeen injisoinnissa pienentää sormien saaman säteilyannoksen alle sadasosaan alkuperäisestä. Kuviossa 2 on verrattu suojaamattoman ja eri vahvuisilla ruiskunsuojilla varustettujen ruiskujen aiheuttamia annoksia. Käsiteltäessä ruiskua ilman suojaa annos on useimmissa mittauskohdissa huomattavasti suurempi verrattuna suojattuihin ruiskuihin. Esimerkiksi neljännessä sormessa annos suojan

kanssa on vain noin 0,1 % annoksesta ilman suojaa (kuvio 2). Suojan vahvuuden lisääminen 2 mm:stä 3 mm volframia ei lisännyt merkittävästi annoksen pienentymistä. (Vanhavere ym. 2012, 153.)



KUVIO 2. Sormiannokset ilman suojaa sekä 2 mm ja 3 mm volframisuojien kanssa käsiteltäessä teknetium-99m-isotooppia sisältäviä ruiskuja (Vanhavere ym. 2012, 153–154)

Ruiskujen ja pullojen käsittelyyn suojien kanssa voi kulua enemmän aikaa kuin ilman suojaa, mikä voidaan nähdä perusteena suojan käyttämättä jättämiselle (O'Reilly 2008, 16). Sans-Mercen ym. (2011, 1333) mukaan nopeasti työskenteleminen ei kuitenkaan riitä suojaukseksi, vaan asianmukaisten suojien käyttäminen ja etäisyyden kasvattaminen sormien ja säteilylähteen välillä ovat paljon tehokkaampia keinoja vähentää säteilyannosta. Lisäksi koulutus ja työkokemus ovat avainasemassa siinä, että työntekijät pystyvät toimimaan ripeästi myös käyttäessään suojia (O'Reilly 2008, 16). Suojien käyttäminen ei kuitenkaan takaa pieniä annoksia (Sans-Merce ym. 2011, 1332). Kuviosta 2 havaitaan, että suojankin kanssa annokset peukaloon ja etusormen tyveen jäivät lähes samalle tasolle kuin ilman suojaa. (Vanhavere ym. 2012, 153–154.) Suojaa on käytettävä oikealla tavalla ja ruiskun asentoon kädessä on kiinnitettävä huomioita (Sans-Merce ym. 2011, 1332; Vanhavere ym 2012, 153–154).

Työntekijöiden suojauksessa tulisi käyttää myös lyijyglasista tai vastaavasta materiaalista valmistettuja suojaavia seiniä ja levyjä. Niiden käyttö on erityisen tärkeää, jos radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisen yhteydessä joudutaan käsittelemään suojaamattomia säteilylähteitä tai käsittelyaika pitkittyy. (Zito ym. 2007, 24; Carlsson & Le Heron 2014, 93–94.) Vaikka työntekijän sormet altistuvat, lyijyglasiseinän avulla voidaan merkittävästi pienentää kehon saamaa annosta (Kubo & Mauricio 2014, 444).

5 TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opinnäytetyön **tavoitteena** on lisätä tietoa säteilyturvallisen työskentelyn merkityksestä isotooppiyksikössä. **Tarkoituksena** on kuvailla väliaineen ja etäisyyden merkitystä annosnopeuteen ja säteilytyöntekijän vuotuisten annosrajojen täyttymiseen.

Tavoitteeseen ja tarkoitukseen liittyy oleellisesti tutkimuskysymykset, joita opinnäytetyössä on kolme. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka paljon etäisyys vaikuttaa annosnopeuteen, kun käsitellään teknetium-99m-leimattua radioaktiivista lääkettä tai kun tehdään tutkimusta radioaktiivista lääkettä saaneelle potilaalle?
2. Kuinka paljon väliaine vaikuttaa annosnopeuteen, kun käsitellään teknetium-99m-leimattua radioaktiivista lääkettä?
3. Kuinka paljon etäisyys ja väliaine vaikuttavat säteilytyöntekijän vuotuisen efektiivisen annosrajan ja käsien ekvivalenttiannosrajan täyttymiseen?

6 MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT

6.1 Kvantitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimusmenetelmässä tutkittavaa asiaa tarkastellaan numeerisen tiedon perusteella. Kvantitatiivinen tutkimus pyrkii vastaamaan tutkimuskysymyksiin mikä, missä, paljonko ja kuinka usein. Tutkimuksen tarkoituksena voi olla kuvailla, kartoittaa, vertailla tai ennustaa asioita, ominaisuuksia tai ilmiöitä. Kuvailevan tutkimuksen piirteitä sisältyy yleensä lähes jokaiseen tutkimukseen. Usein kvantitatiivisessa tutkimuksessa pyritään myös selvittämään asioiden välisiä syy–seuraussuhteita ja riippuvuuksia. (Vilkkä 2007, 13–14, 19; Heikkilä 2014, 13–15; Vilkkä 2015, 66.) Määrällinen tutkimus voidaan toteuttaa survey-tutkimuksena kyselyn tai haastattelujen avulla, havainnointitutkimuksena tai kokeellisena tutkimuksena (Heikkilä 2014, 19).

Mittausaineisto voidaan saada joko suoraan numeroina tai laadullinen aineisto voidaan ryhmitellä numeeriseen muotoon (Vilkkä 2015, 14). Tulokset esitetään numeroina ja apuna voidaan käyttää taulukoita ja kuviota. Saatuja tuloksia pyritään tilastollisin keinoin yleistämään koskemaan suurempaa joukkoa kuin tutkimuksen otos on käsittänyt. Tämän vuoksi tutkittavan otoksen tulee määrällisessä tutkimuksessa olla suuri ja edustaa mahdollisimman hyvin tutkimuksen perusjoukkoa. (Vilkkä 2007, 14–17; Heikkilä 2014, 15, 31.)

Tämä opinnäytetyö oli määrällinen, koska se pyrki vastaamaan siihen, kuinka paljon etäisyys ja väliaine vaikuttavat annosnopeuksiin ja säteilytyöntekijän vuotuisten annosrajojen täyttymiseen. Tutkimusaineisto koostui kahdesta erillisestä aineistosta ja sisälsi numeerista tietoa annosnopeuksista.

6.2 Aineiston keruu

Jotta kvantitatiivinen tutkimus olisi luotettava ja pätevä, tulosten on oltava tarkkoja ja tutkimuksen tulee mitata tarkasteltavaa asiaa. Tämän vuoksi aineiston keruu tulee suunnitella huolellisesti. (Heikkilä 2014, 27–28; Vilkkä 2015, 193–194.)

Onnistunut tiedonkeruulomake on avainasemassa tutkimuksen luotettavuuden kannalta (Vilkkä 2007, 78). Opinnäytetyössä mittaukset suunniteltiin huolellisesti etukäteen ja mittausvaiheita varten laadittiin etukäteen teorian pohjalta kirjalliset mittausprotokollat estämään virheiden syntyminen mittausvaiheessa. Aineiston keräämistä varten suunniteltiin tiedonkeruulomakkeet varmistamaan yhtenäiset kirjaukset jokaiselta mittauskerralta. Protokollien ja tiedonkeruulomakkeiden suunnittelussa hyödynnettiin sairaalafyysikoiden ja röntgenhoitajien asiantunte-
musta. Valmiit mittausprotokollat ja tiedonkeruulomakkeet löytyvät liitteistä 1–4.

Kummankin mittausaineiston annosnopeudet mitattiin Rados RDS-110 -säteilymittarilla. RDS-110 on monikäyttöinen mittari, jolla voidaan mitata gamma-, röntgen- ja beetasäteilyä. Sen toiminta perustuu Geiger-putkeen, mikroprosessoritekniikkaan ja edistykselliseen laskentamenetelmään ja se kykenee havaitsemaan luotettavasti pienetkin vaihtelut säteilymäärässä. (Rados 1995–2002, 2.) RDS-110-säteilymittari oli Säteilyturvakeskuksen kalibroima (Korkola 2019; Tun-
ninen 2019).

Kuvantamistilanteisiin liittyvien mittausten tarkoituksena oli tutkia annosnopeuk-
sia eri etäisyyksillä teknetium-99m-isotoopilla leimattua radioaktiivista lääkettä saaneesta potilaasta. Kuvantamistilanteisiin liittyvä aineisto kerättiin ammattitai-
toa edistävän harjoittelun aikana syys–lokakuussa 2019 Tampereen yliopistolli-
sessa sairaalassa (TAYS) ja Satasairaalassa. Mittaukset liittyivät sairaaloiden
henkilökunnan oman työn kehittämiseen. Molempien sairaaloiden kanssa tehtiin
kirjallinen sopimus siitä, että valmista aineistoa saa hyödyntää opinnäytetyössä.
Ruiskumittaukset tehtiin Tampereen yliopistollisessa sairaalassa tammikuussa
2020. Niiden tarkoituksena oli tutkia etäisyyden ja ruiskunsuojan vaikutusta an-
nosnopeuteen. Mitattavana aineena oli teknetium-99m-eluaatti. Teknetium-99m
on isotooppitutkimuksissa eniten käytetty isotooppi (Saarakkala 2017, 429),
jonka vuoksi se valittiin tarkasteltavaksi isotoopiksi.

6.2.1 Kuvantamistilanteisiin liittyvät mittaukset

Kuvantamistilanteisiin liittyvissä mittauksissa tarkasteltavina tutkimuksina olivat
luuston gammakuvaus ja sydänlihasperfuusion gammakuvaus. Tutkimukset ovat

yleisiä ja käytettävät aktiivisuudet ovat muihin tutkimuksiin nähden melko suuria (STUK 2014, 3, 20; STUK S/4/2019, liite 2). Kummallekin tutkimukselle on olemassa Säteilyturvakeskuksen määrittämät vertailutasot (STUK S/4/2019, liite 2). Mittaukset tehtiin osana ammattitaitoa edistävän harjoittelun tehtävää ja niiden suorittamiseen osallistui opinnäytetyöntekijöiden lisäksi kaksi muuta saman ryhmän opiskelijaa. Alun perin molemmista tutkimuksista oli tarkoitus kerätä mittausaineistoa sekä Tampereen yliopistollisessa sairaalassa että Satasairaalassa. Satasairaalassa päädyttiin keräämään mittausaineistoa vain luuston gammakuvauksesta sydänlihasperfuusion gammakuvaustutkimusten vähäisyyden vuoksi.

Annosnopeutta mitattiin eri etäisyyksillä teknetium-99m-leimattua radioaktiivista lääkettä saaneesta potilaasta. Luuston gammakuvauksessa käytetty radioaktiivinen lääke oli teknetium-99m-leimattu natriumoksidronaatti (TechnoScan HDP). Sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa käytettiin pääasiassa teknetium-99m-leimattua tetrofosmiinia (Myoview). Yhdellä potilaalla lääkeaine oli sestamibi (Cardiolite). Opinnäytetyöhön valikoituivat ne tutkimukset, joiden aikana mittauksen suorittaminen oli aikataulullisesti mahdollista. Potilaista johtuvat syyt eivät vaikuttaneet tutkimusten valikoitumiseen mittausaineistoksi.

Mittausetäisyydet olivat 2 m, 1 m, 0,50 m ja 0,25 m. Vastaavanlaisia etäisyyksiä on käytetty tutkimuksissa selvittäessä annosnopeuksia säteilevän kohteen tai radioaktiivista lääkettä saaneen potilaan lähellä (Bayram ym. 2011, 55–59; Gültekin & Şahmaran 2012, 94–97; Deb ym. 2015, 443–447; Moran ym. 2016, 175–185). Ennen mittauksen aloittamista mittausolosuhteet luotiin mahdollisimman samanlaisiksi kaikissa mittauspaikoissa. Lisäksi mittauksen suorittamista harjoitettiin tarkasti ja toteutuksessa noudatettiin kirjallisia ohjeita. Näin varmistauduttiin siitä, että mittaukset tehdään samalla tavoin riippumatta mittauspaikasta ja mitaajasta.

Etäisyydet mitattiin tutkimuspöydän liikkuvan osan reunasta (kuva 1) ja merkittiin teipillä lattiaan (kuvat 2a ja 2b). Teipeillä tehdyt mittausviivat olivat pitkät, jotta mittaaminen onnistuisi eri kohdissa kuvauspöytään nähden.



KUVA 1. Etäisyysviivojen mittaamisen aloituskohta



KUVA 2A. Etäisyysviivat
kuvaushuoneessa 1



KUVA 2B. Etäisyysviivat
kuvaushuoneessa 2

Säteilymittari ripustettiin tippatelineeseen ja kiinnitettiin teipillä telineen varteen, jotta mittari olisi mahdollisimman vakaa ja liikkumaton. Säteilymittarin levein sivu oli kohti potilasta, koska kokemuksen mukaan mittari havaitsee tällöin säteilyn mahdollisimman tarkasti (Korkola 2019). Mittarin kiinnitystapa on esitetty kuvassa

3. Telineen ja säteilymittarin korkeudet säädettiin niin, että säteilymittari oli potilaan olkapään korkeudella, kun tämä makasi tutkimuspöydällä, joka oli nostettu tutkimuskorkeuteen. Oikea tippatelineen korkeus merkittiin teipillä sen varten, jotta korkeus olisi helposti toistettavissa, vaikka sitä säädettäisiin mittauksen välillä (kuva 4). Korkeussuunnassa mittari oli jokaisella mittauuskerralla potilaan kehon keskikohdassa, olkapään korkeudella.



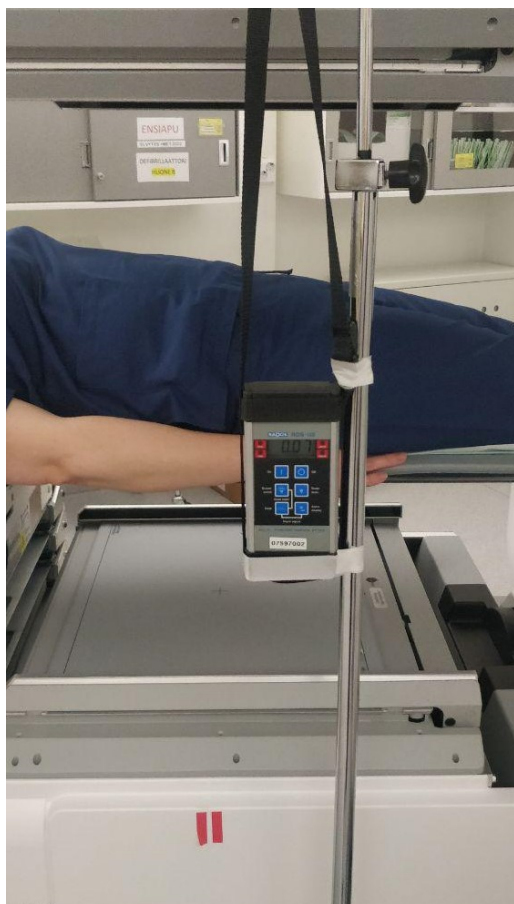
KUVA 3. Mittarin kiinnitys



KUVA 4. Merkinnät tippatelineessä

Luuston gammakuvausssä suurin osa injisoidusta radioaktiivisuudesta kiinnittyy odotusaikana potilaan luustoon ja loput sitoutumattomasta aktiivisuudesta erittyy virtsan kautta pois elimistöstä (Van den Wyngaert ym. 2016, 1728). Näin ollen potilas säteilee koko luuston alueelta sekä virtsarakon kohdalta. Tutkimusten mukaan isotooppitutkimusten yhteydessä potilaan virtsarakkoon kertyvä aktiivisuus on merkittävä tekijä työntekijöiden säteilyaltistuksen kannalta (Gültekin & Şahmaran 2012, 94–97). Mittaukset päädyttiin näistä syistä suorittamaan poti-

laan pituussuunnassa lantion kohdalta (kuva 5). Sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa mittaukset suoritettiin pituussuunnassa sydämen kohdalta (kuva 6), koska radioaktiivinen lääke kulkeutuu verenkierron mukana sydänlihakseen (Gano & Paulo 2019, 82–83).



KUVA 5. Mittarin kohta luuston gammakuvauksessa



KUVA 6. Mittarin kohta sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa

Huoneen taustasäteily mitattiin ennen potilaan kutsumista kuvaushuoneeseen. Annosnopeusmittaukset tehtiin pääsääntöisesti ennen potilaan kuvauksen aloittamista, kun potilas oli aseteltu tutkimuspöydälle ja pöytä nostettu tutkimuskorkeuteen. Mittaamisen aikana tippatelineen jalan keskusta asetettiin teippimerkin kohdalle niin, että mittarin levein sivu oli kohti potilasta (kuvat 7a ja 7b).



KUVA 7A. Tippetelineen ja mittarin asettelu mittaustilanteessa



KUVA 7B. Tippetelineen asettelu mittausetäisyydellä

Mittaaminen aloitettiin kauimmaisesta mittausetäisyydestä (2 m), jotta säteilymitarin lukema ehti tasoittua etäisyyksien välillä (Korkola 2019). Lukeman tasaantumisen jälkeen kirjattiin korkein ja matalin annosnopeus noin 15 sekunnin ajalta ja laskettiin niiden perusteella keskiarvo. Mittaukset suoritettiin samalla tavalla jokaisella etäisyydellä.

Annosnopeudet eri etäisyyksillä kirjattiin tiedonkeruulomakkeille yksikössä $\mu\text{Sv/h}$. Lisäksi kirjattiin taustasäteilyn annosnopeus, potilaalle annetun radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuus antohetkellä, injisointiaika ja mittausaika. Kirjattavat tiedot olivat samat luuston gammakuvauksessa ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa ja niihin päädyttiin sekä teorian että yhteistyökumppanin ehdotusten pohjalta.

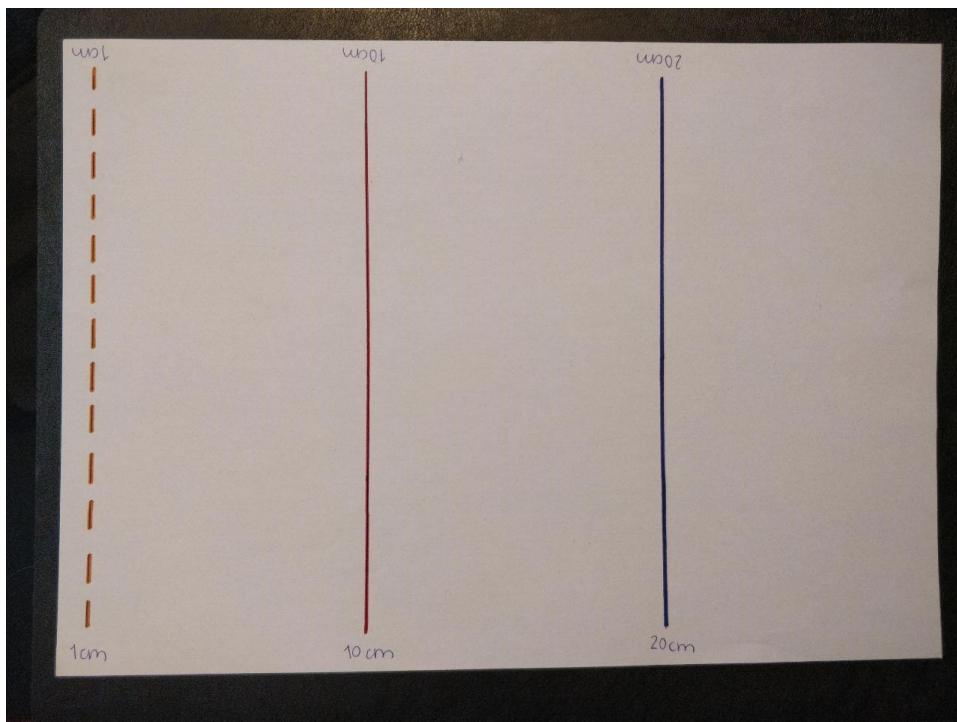
Kuvantamistilanteisiin liittyvien mittausten yhteydessä annosnopeutta mitattiin myös säteilysuojatakin kanssa metrin etäisyydellä potilaasta. Mittausasetelman tarkoituksena oli havainnollistaa annosnopeutta, jonka säteilysuojainta käyttävä työntekijä saisi metrin etäisyydellä radioaktiivista lääkettä saaneesta potilaasta. Mittausten tässä osiossa saatiin kuitenkin vain suuntaa-antavia tuloksia, joten tämä vaihe jätettiin opinnäytetyössä raportoimatta.

6.2.2 Ruiskumittaukset

Ruiskumittaukset suoritettiin Tampereen yliopistollisessa sairaalassa kuumalaboratorion radiofarmasiakaapissa yhden iltapäivän aikana yksikön työpäivän päätteeksi. Mittaukset suoritettiin iltapäivällä, jolloin radiofarmasiakaappi voitiin puhdistaa mittausten jälkeen seuraavaa päivää varten. Röntgenhoitaja suoritti mittaukset etukäteen laaditun ruiskumittausprotokollan mukaisesti (liite 3) ja opinnäytetyön tekijät kirjasivat lukemat tiedonkeruulomakkeelle (liite 4).

Ruiskumittausten tarkoituksena oli tutkia annosnopeutta eri etäisyyksillä ruiskunsuojan kanssa ja ilman siten, että ruiskussa olevaa aktiivisuutta vähennettiin asteittain. Mitattavana aineena käytettiin teknetium-99m-eluaattia ja ruiskun kooksi valittiin 3 ml, koska sitä käytetään radioaktiivisten lääkkeiden annostelussa. Tarkastelun kohteeksi valittiin eluaatti, koska se on radioaktiivisen lääkkeen säteilevä osa, eikä mittauksia varten haluttu tuhlaa lääkeainetta.

Mittausetäisyydet olivat 20 cm, 10 cm ja 1 cm. Etäisyydet oli mitattu ja piirretty etukäteen A4-kokoiselle paperiarkille (kuva 8). Mittaustilanteessa säteilymittarin paikka oli paperiarkin reunassa (kuva 9). Etäisyydellä 1 cm ruisku asetettiin mahdollisimman lähellä säteilymittaria, kuitenkin siten, ettei ruisku kontaminoi mittaria. Mittauksissa käytettävä ruiskunsuoja oli Biodex Pro-Tec III ja kokoluokka 3 cc (3 ml). Suojan paksuus oli 2 mm volframia. (Biodex n.d.)



KUVA 8. Ruiskumittausten etäisyydet paperiarkilla



KUVA 9. Säteilymittarin paikka radiofarmasiakaapissa

Etäisyyden 1 cm tarkoituksena oli havainnollistaa annosnopeutta, kun röntgenhoitaja pitelee ruiskua kädessään. 20 cm:n etäisyys puolestaan kuvasi tilannetta, jossa röntgenhoitaja pyrkii radiofarmasiakaapin sisällä kasvattamaan etäisyyttä säteilevään ruiskuun esimerkiksi käyttämällä pitkiä pihtejä tai laskemalla ruiskun käsistään pöydälle.

Ennen mittauksia radiofarmasiakaappi tyhjennettiin ja puhdistettiin. Tämän avulla varmistuttiin siitä, että ennen mittauksen aloittamista kaapissa ei ollut ylimääräistä aktiivisuutta, joka olisi vääristänyt tuloksia. Tämän jälkeen radiofarmasiakaapista mitattiin taustasäteily.

Mittauksen aloitusaktiivisuus ruiskussa oli n. 800 MBq. Aktiivisuutta vähennettiin n. 100 MBq välein, kunnes ruiskussa oleva aktiivisuus oli alle 300 MBq. Näiden aktiivisuustasojen tarkoituksena oli havainnollistaa suurinta ja pienintä potilaan saamaa aktiivisuutta luuston gammakuvauksessa tai sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa. Lisäksi valittu aloitusaktiivisuus on suurempi kuin Säteilyturvakeskuksen antama vertailutasoarvo luuston gammakuvauksessa (STUK S/4/2019, liite 2).

Aktiivisuus mitattiin alussa ja jokaisen vähennyksen jälkeen annoskalibraattorilla ja lukema kirjattiin tiedonkeruulomakkeelle. Jokaisen aktiivisuuden vähennyksen jälkeen mittauksia suorittava röntgenhoitaja vaihtoi ruiskuun neulan, jottei neulaan jäävä aktiivisuus häiritsisi mittausarvoja. Jokaisella aktiivisuustasolla ruiskun annosnopeus mitattiin ensin ilman ruiskunsuojaa kaikilla kolmella etäisyydellä alkaen kauimmaisesta etäisyydestä (20 cm). Tähän päädyttiin, jotta mittarin lukema tasoittuisi nopeammin (Korkola 2019). Mittauksen ajaksi ruisku asetettiin paperiarkkiin merkitylle etäisyysviivalle siten, että ruiskun pitkittäinen sivu oli kohti mittaria. Ruiskun keskikohta asetettiin mittarin suhteen keskelle. (Kuva 10a.) Mittaukset toistettiin samalla tavoin ruiskunsuojan kanssa. Tällöin ruiskunsuojassa oleva ikkuna oli poispäin mittarista. (Kuva 10b) Mittarin lukeman tasaantumista odotettiin ja sen jälkeen kirjattiin ylös suurin mittarin näyttämä annosnopeus yksikössä $\mu\text{Sv/h}$.



KUVA 10A. Ruiskun asettelu mittausviivalle



KUVA 10B. Ruiskun asettelu mittausviivalle suojan kanssa

Mittaukset suoritettiin siten, että niistä aiheutui mahdollisimman vähän ylimääräistä säteilyaltistusta. Erityisesti etäisyyttä käytettiin mittausten aikana säteily-suojelukeinona (ks. Rep 2016, 100). Etäisyyttä mittaajan ja ruiskun välillä kasvatettiin asettamalla säteilymittari ja paperiarkki radiofarmasiakaapin perälle. Mittari oli pitkittäin kiinni radiofarmasiakaapin takaseinässä, mittarin etuseinä kohti ruiskua (kuva 9). Mittauksia suorittava röntgenhoitaja käsitteli ruiskua pitkillä pihdeillä, kun ruiskussa ei ollut ruiskunsuojaa, jotta etäisyys sormien ja ruiskun välillä olisi mahdollisimman suuri (ks. O'Reilly 2008, 17; Carlsson & Le Heron 2014, 93; Rep 2016, 100). Lisäksi mittausten aikana röntgenhoitaja ja kirjaajat ottivat etäisyyttä ruiskuun.

6.3 Aineisto ja sen analyysi

Tutkimuksessa käytettiin kahta aineistoa. Taulukoissa 3, 4 ja 5 on esitettyä kuvantamistilanteisiin liittyvä mittausaineisto. Aineisto sisältää luuston gammakuvaukseen ja sydänlihasperfuusion gammakuvaukseen liittyvät annosnopeudet ($\mu\text{Sv/h}$) neljällä eri etäisyydellä potilaasta. Luuston gammakuvauksesta aineisto

on esitetty erikseen kahdesta eri sairaalasta (taulukot 3 ja 4). Kaikkiaan mittausaineisto sisälsi annosnopeuksia 24 luuston gammakuvaustutkimuksesta: 14 tutkimuksesta TAYS:sta ja 10 tutkimuksesta Satasairaalasta. Sydänlihasperfuusion gammakuvauksesta mittausaineistoa oli 12 tutkimuksesta TAYS:sta.

TAULUKKO 3. Luuston gammakuvaukseen liittyvä mittausaineisto Tampereen yliopistollisesta sairaalasta

Tutkimus	Annosnopeus (μSv/h)			
	2 m	1 m	0,50 m	0,25 m
1	0,66	1,89	5,79	10,95
2	0,71	2,00	5,08	11,60
3	0,96	2,93	7,94	18,15
4	1,07	3,06	8,32	18,40
5	1,20	3,37	8,57	20,95
6	0,53	1,77	5,92	10,36
7	0,61	1,66	5,70	10,85
8	0,72	1,50	3,98	8,26
9	1,04	2,40	6,40	14,00
10	0,95	2,07	4,43	9,54
11	0,83	2,39	4,61	11,05
12	1,30	2,58	6,23	12,50
13	0,98	1,92	3,53	7,84
14	1,04	2,42	5,50	12,15
Keskiarvo	0,90	2,28	5,86	12,61

TAULUKKO 4. Luuston gammakuvaukseen liittyvä mittausaineisto Satasairaalasta

Tutkimus	Annosnopeus μSv/h)			
	2 m	1 m	0,50 m	0,25 m
1	1,23	2,63	6,18	16,35
2	1,12	2,44	5,68	12,06
3	1,29	3,48	6,91	16,60
4	0,94	2,49	6,45	10,85
5	0,82	1,86	4,18	7,77
6	1,10	2,57	5,47	12,05
7	0,92	2,26	6,09	10,57
8	1,06	3,13	6,31	12,50
9	1,14	2,91	6,97	15,10
10	1,25	3,79	8,38	17,81
Keskiarvo	1,09	2,76	6,26	13,17

TAULUKKO 5. Sydänlihasperfuusion gammakuvaukseen liittyvä mittausaineisto

Tutkimus	Annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)			
	2 m	1 m	0,50 m	0,25 m
1	1,19	3,57	6,97	21,40
2	1,26	3,27	9,91	18,45
3	1,45	3,45	10,67	23,05
4	1,39	3,39	8,95	18,70
5	1,41	3,50	9,81	21,85
6	1,29	2,65	8,31	17,85
7	1,30	3,78	8,52	18,68
8	1,06	3,07	6,80	14,80
9	1,54	2,95	6,46	13,80
10	1,34	2,86	5,41	8,42
11	1,31	3,65	9,12	19,05
12	1,55	3,51	9,05	18,10
Keskiarvo	1,34	3,30	8,33	17,85

Ruiskumittausaineisto koostui annosnopeuksista eri etäisyyksillä teknetium-99m-eluaattia sisältävästä ruiskusta suojan kanssa ja ilman. Annosnopeuksia tarkasteltiin viidellä eri aktiivisuustasolla ja raportoitavat mittausetäisyydet olivat 20 cm ja 1 cm. Ruiskumittausaineisto on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Ruiskumittausaineisto

Aktiivisuus (MBq)	Annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)			
	20 cm ilman suojaa	20 cm suojan kanssa	1 cm ilman suojaa	1 cm suojan kanssa
805,1	366,00	3,15	1310,00	12,00
600,4	271,00	2,82	878,00	10,00
502,6	241,00	2,57	702,00	7,22
402,6	188,00	1,96	498,00	5,11
311,8	138,00	2,07	357,00	4,21

Määrällisessä tutkimuksessa käsitellään kysymyksiä, jotka liittyvät lukumääriin ja prosenttiosuuksiin ja tuloksia voidaan kuvata kuvioiden ja taulukoiden avulla (Heikkilä 2014, 15). Aineiston analyysi voidaan tehdä kuvailevana tilastanalyysinä tai käyttää tilastollista päättelyä. Kuvailevassa tilastanalyysissä tulosten pohjalta ei tehdä yleistyksiä koskemaan suurempaa joukkoa. Sen tarkoituksena on kuvailla ja jäsentää yksittäisen määrällisen muuttujan jakaumaa tai useamman muuttujan vaihtelua. (KvantiMOTV 2004.) Jakauman kuvaamisessa voidaan

käyttää esimerkiksi graafista tarkastelua sekä keski- ja hajontalukuja (Kvanti-MOTV 2003a).

Opinnäytetyön aineiston analyysi oli kuvaileva tilastoanalyysi. Aineistoa käsiteltiin käyttämällä Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Aineistoa analysoitiin laskennallisesti prosentiosuuksien avulla ja sitä kuvattiin käyttämällä keskilukuja, kuten keskiarvoa. Tulokset esitettiin taulukoina ja graafisina kuvina ja niitä kuvailtiin sanallisesti. Kuvailevaan analyysiin päädyttiin, koska opinnäytetyön laajuuden ja aikataulun vuoksi aineiston koko jouduttiin pitämään melko pienenä. Jos oli käytetty määrällisen tutkimusmenetelmän tilastollisen päättelyn menetelmiä, otoksen olisi luotettavuuden varmistamiseksi täytynyt olla paljon suurempi (Vilkkä 2007, 17; Heikkilä 2014, 15, 57).

Kuvantamistilanteisiin liittyvän mittausaineiston analyysissä selvitettiin, kuinka monta prosenttia annosnopeus pieneni, kun etäisyys potilaaseen kasvoi. Annosnopeuksia ja niiden prosentuaalisia muutoksia kuvattiin taulukoiden ja graafisten kuvioiden avulla. Muita kuvantamistilanteiden yhteydessä kerättyjä tietoja hyödynnettiin tuloksissa taustatietoina. Näitä olivat muun muassa taustasäteilyn annosnopeus ja potilaalle annettu aktiivisuus. Koska taustasäteilyn vaihtelu mittauskertojen välillä oli pientä, eri etäisyyksillä mitattuja annosnopeuksia ei suhteutettu taustasäteilyyn. Taustasäteilyssä ei havaittu suuria poikkeamia, mikä todistaa, ettei mittauksissa saatuihin annosnopeuksiin vaikuttaneet potilaan lisäksi muut säteilylähteet.

Ruiskumittaustulosten analyysissä selvitettiin, kuinka monta prosenttia annosnopeus muuttui sen mukaan, käytettiinkö ruiskunsuojaa vai ei. Etäisyyden vaikutuksen kuvaamiseksi keskimääräisiä annosnopeuksia vertailtiin 1 ja 20 cm:n etäisyydellä ruiskusta.

Kuvantamistilanteessa mitattuja annosnopeuksia käytettiin myös sen havainnollistamisessa, kauanko aikaa kuluu eri etäisyyksillä säteilevästä potilaasta, kunnes säteilytyöntekijän vuotuinen efektiivinen annosraja 20 mSv tulee täyteen. Lisäksi keskimääräisiä annosnopeuksia verrattiin luonnon taustasäteilyyn ja lento-

matkoihin liittyviin annosnopeuksiin. Ruiskumittausten yhteydessä havainnollistettiin, kauanko säteilytyöntekijän vuotuisen käsien ekvivalenttiannosrajan 500 mSv täyttymiseen kuluu, suojan kanssa ja ilman suojaa kahdella eri etäisyydellä.

7 TULOKSET

7.1 Kuvantamistilanteisiin liittyvät mittaukset

Taulukossa 7 on esitetty kuvantamistilanteisiin liittyvien mittausten taustatietoja. Luuston gammakuvauksessa TAYS:ssa radioaktiivinen lääke annostellaan potilaan painon mukaan. Potilaan saama aktiivisuus oli keskimäärin 756 MBq. Aikaa lääkkeen injisoinnista mittausten suorittamiseen kului noin kolme tuntia. Satasairaalaissa radioaktiivista lääkettä annettiin vakioannos 700 MBq, riippumatta potilaan koosta. Aikaa injisoinnista mittauksiin kului noin kaksi ja puoli tuntia. Taustasäteilyn vaihteluväli oli pieni, 0,08–0,16 $\mu\text{Sv/h}$. (Taulukko 7.)

Sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa potilas sai radioaktiivista lääkettä vakioannoksen 500 MBq riippumatta potilaan koosta ja siitä, oliko kyseessä rasitus- vai lepovaiheen kuvaus. Aikaa injisoinnista mittauksiin kului keskimäärin noin 50 minuuttia. Taustasäteily vaihteli välillä 0,09–0,15 $\mu\text{Sv/h}$. (Taulukko 7.)

TAULUKKO 7. Aktiivisuus, taustasäteily ja aika injisoinnista mittaukseen kuvantamistilanteisiin liittyneissä mittauksissa

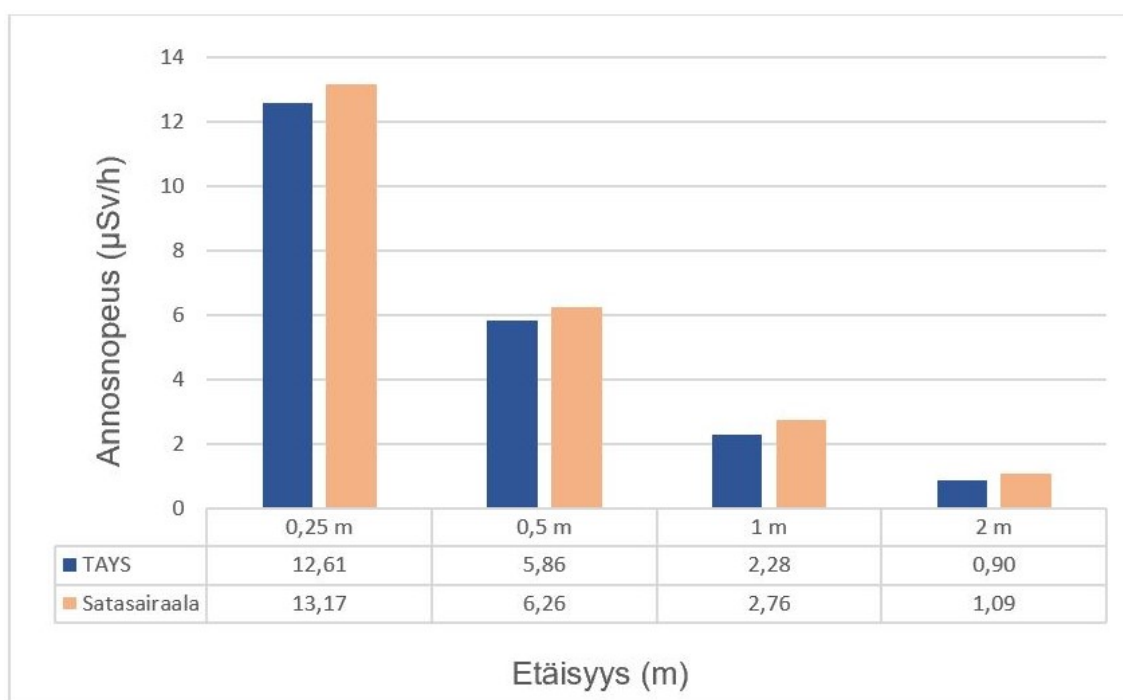
	Luuston gammakuvaus		Sydänlihasperfuusion gammakuvaus
	TAYS	Satasairaala	
Kirjattu aktiivisuus (MBq)	756 (600–850)	700 (vakio)	500 (vakio)
Taustasäteily ($\mu\text{Sv/h}$)	0,11 (0,09–0,16)	0,10 (0,08–0,13)	0,11 (0,09–0,15)
Aika injisoinnista mittaukseen (min)	183 (165–198)	151 (150–160)	51 (32–73)

Taulukkoon 8 on koottu kuvantamistilanteisiin liittyvien mittausten lukumäärät (n). Keskimääräiset annosnopeudet ja annosnopeuksien vaihteluvälit on esitetty neljällä mittaustäisyydellä.

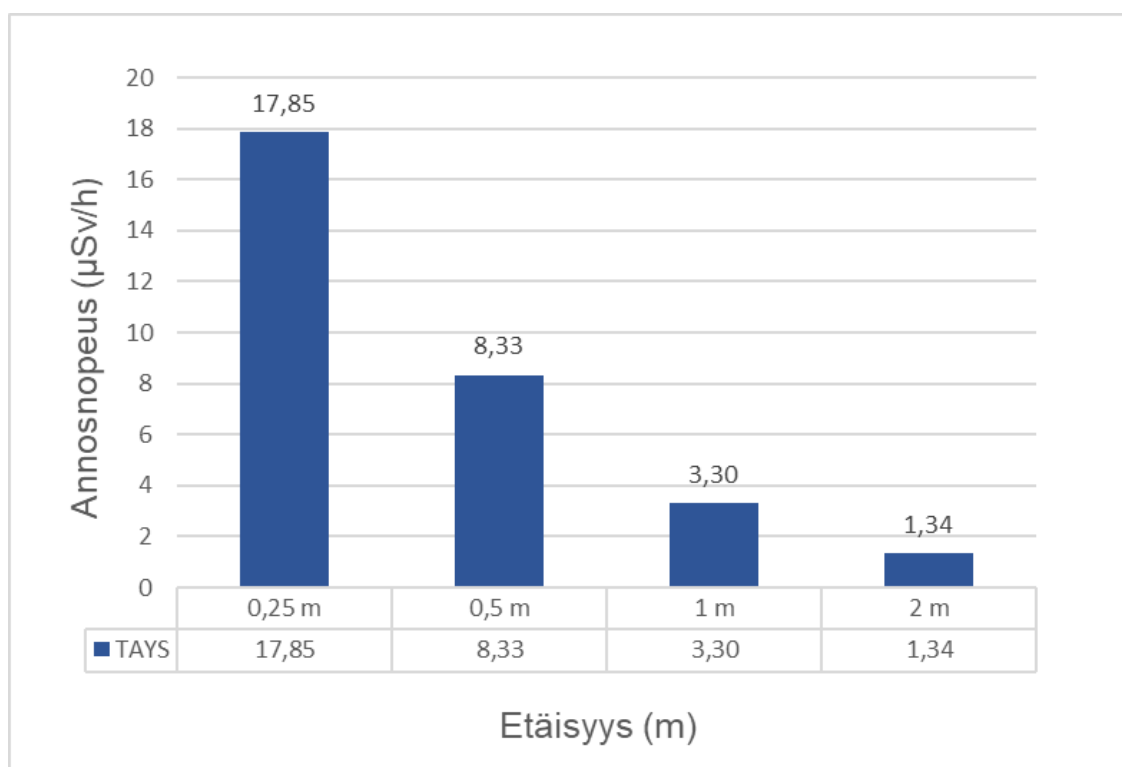
TAULUKKO 8. Keskimääräiset annosnopeudet eri etäisyyksillä potilaasta

	n	2 m ($\mu\text{Sv/h}$)	1 m ($\mu\text{Sv/h}$)	0,50 m ($\mu\text{Sv/h}$)	0,25 m ($\mu\text{Sv/h}$)
Luuston gammakuvaus (TAYS)	14	0,90 (0,53–1,30)	2,28 (1,50–3,37)	5,86 (3,53–8,57)	12,61 (7,84–18,40)
Luuston gammakuvaus (Satasairaala)	10	1,09 (0,84–1,29)	2,76 (1,86–3,79)	6,26 (4,18–8,38)	14,17 (10,57–17,81)
Sydänlihas- perfuusion gammakuvaus	12	1,34 (1,06–1,55)	3,30 (2,65–3,78)	8,33 (5,41–10,67)	17,92 (8,42–23,05)

Kuviossa 3 ja liitteessä 5 olevassa taulukossa ja on kuvattu etäisyyden vaikutusta annosnopeuteen luuston gammakuvauksessa. Kuviossa 4 ja liitteessä 6 olevassa taulukossa on esitetty etäisyyden vaikutus sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa. Etäisyyden kasvaessa 0,25 metristä 0,50 metriin, annosnopeus pieneni keskimäärin noin 50 % molemmissa tutkimuksissa. Kun etäisyys kasvoi 1 metriin, annosnopeus pieneni keskimäärin noin 80 %. Suurimman ja pienimmän etäisyyden välillä ero annosnopeuksissa oli yli 90 %. Etäisyyden kasvaessa 1 metristä 2 metriin, annosnopeudet pienenivät keskimäärin noin 60 % (kuviot 3 ja 4, liitteet 5 ja 6.)



KUVIO 3. Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen luuston gammakuvauksessa kahdessa eri sairaalassa



KUVIO 4. Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa

Annosnopeus on suoraan verrannollinen työntekijän saamaan annokseen (Rep 2016, 99). Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty, kuinka monta tuntia kuluu, että säteilytyöntekijälle määritelty vuotuinen efektiivinen annosraja (20 mSv) täyttyy eri etäisyyksillä. Luuston gammakuvauksessa 0,25 metrin etäisyydellä potilaasta annosraja tulee täyteen noin 2 kuukaudessa. Sen sijaan 2 metrin etäisyydellä aikaa kuluu yli 2 vuotta. (Taulukko 9.) Sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa 0,25 metrin etäisyydellä annosrajan täyttymiseen kuluu noin 1,5 kuukautta ja 2 metrin etäisyydellä yli 1,5 vuotta (taulukko 10).

TAULUKKO 9. Etäisyyden vaikutus säteilytyöntekijän vuotuisen efektiivisen annosrajan (20 mSv) täyttymiseen luuston gammakuvauksessa

Etäisyys potilaasta (m)	Aika (h), joka kuluu, kunnes efektiivinen vuotuinen annosraja 20 mSv (20 000 µSv) täyttyy	
	TAYS	Satasairaala
0,25	1 586 (66 vrk)	1 519 (63 vrk)
0,50	3 415 (142 vrk)	3 194 (133 vrk)
1	8 761 (365 vrk)	7 257 (302 vrk)
2	22 222 (926 vrk)	18 399 (767 vrk)

TAULUKKO 10. Etäisyyden vaikutus säteilytyöntekijän vuotuisen efektiivisen annosrajan (20 mSv) täyttymiseen sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa

Etäisyys potilaasta (m)	Aika (h), joka kuluu, kunnes efektiivinen vuotuinen annosraja 20 mSv (20 000 µSv) täyttyy
0,25	1 121 (47 vrk)
0,50	2 400 (100 vrk)
1	6 053 (252 vrk)
2	14 916 (622 vrk)

7.2 Ruiskumittaukset

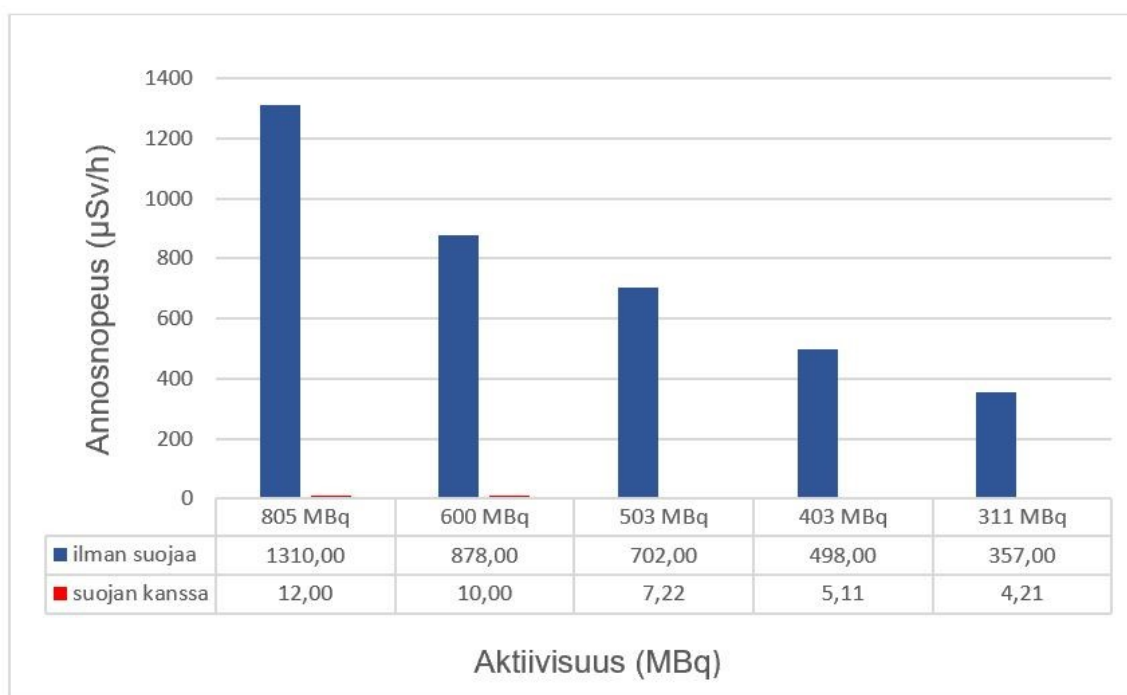
Taulukossa 11 ruiskunsuojan vaikutus annosnopeuteen on esitetty erikseen 1 cm ja 20 cm etäisyyksillä ruiskusta ja etäisyyden vaikutus suojan kanssa ja ilman. Kun käytettiin ruiskunsuojaa, annosnopeus oli keskimäärin molemmilla etäisyyk-

sillä noin 1 % annosnopeudesta, joka mitattiin ilman suojaa. Annosnopeus pieneni suojaa käytettäessä pääsääntöisesti yhtä paljon kaikilla aktiivisuustasoilla. (Taulukko 11.)

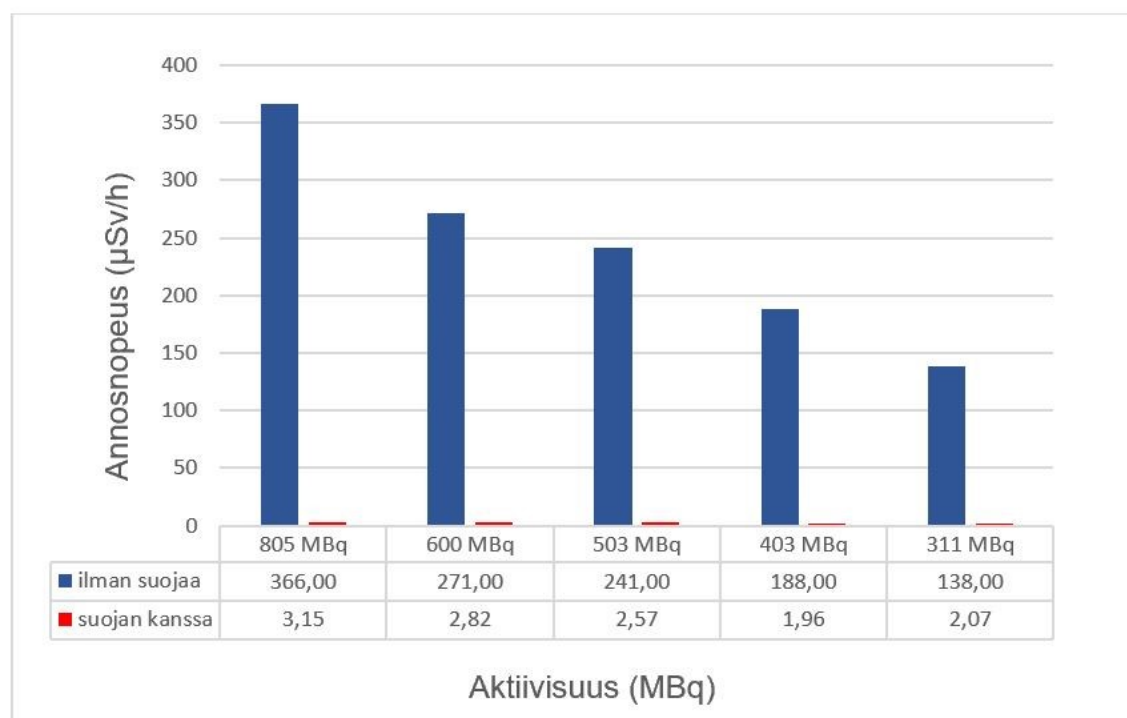
TAULUKKO 11. Väliaineen ja etäisyyden vaikutus annosnopeuteen eri aktiivisuustasoilla ilman suojaa ja sen kanssa kahdella eri etäisyydellä

Aktiivisuus (MBq)	Annosnopeus suojan kanssa suhteessa annosnopeuteen ilman suojaa (%)	Annosnopeuden pientyminen (%) etäisyyden kasvaessa 1 cm:stä 20 cm:iin
805,1	0,92 % (1 cm) 0,86 % (20 cm)	72,06 % (ilman suojaa) 73,75 % (suojan kanssa)
600,4	1,14 % (1 cm) 1,04 % (20 cm)	69,13 % (ilman suojaa) 71,80 % (suojan kanssa)
502,6	1,03 % (1 cm) 1,07 % (20 cm)	65,67 % (ilman suojaa) 64,40 % (suojan kanssa)
402,6	1,03 % (1 cm) 1,04 % (20 cm)	62,25 % (ilman suojaa) 61,64 % (suojan kanssa)
311,8	1,18 % (1 cm) 1,50 % (20 cm)	61,34 % (ilman suojaa) 50,83 % (suojan kanssa)
Keskiarvo	1 cm etäisyydellä 1,06 % 20 cm etäisyydellä 1,10 %	ilman suojaa 66,09 % suojan kanssa 64,49 %

Suojan vaikutusta annosnopeuteen 1 cm etäisyydellä ruiskusta on tarkasteltu kuviossa 5 ja 20 cm etäisyydellä ruiskusta kuviossa 6. Ilman suojaa annosnopeudet ovat moninkertaisesti isommat kuin suojan kanssa molemmilla etäisyyksillä ja kaikilla aktiivisuuksilla. Suurin annosnopeus (1 310,00 $\mu\text{Sv/h}$) mitattiin 1 cm:n etäisyydellä ilman suojaa olevasta ruiskusta, jonka aktiivisuus oli 805,1 MBq. Suojan kanssa annosnopeus samalla aktiivisuudella oli 12,00 $\mu\text{Sv/h}$. (Kuvio 5.) Pienin annosnopeus (2,07 $\mu\text{Sv/h}$) mitattiin 20 cm etäisyydeltä ruiskusta suojan kanssa aktiivisuuden ollessa 311 MBq. Ilman suojaa vastaava annosnopeus oli 138 $\mu\text{Sv/h}$. (Kuvio 6.)



KUVIO 5. Ruiskunsuojan vaikutus annosnopeuteen etäisyydellä 1 cm

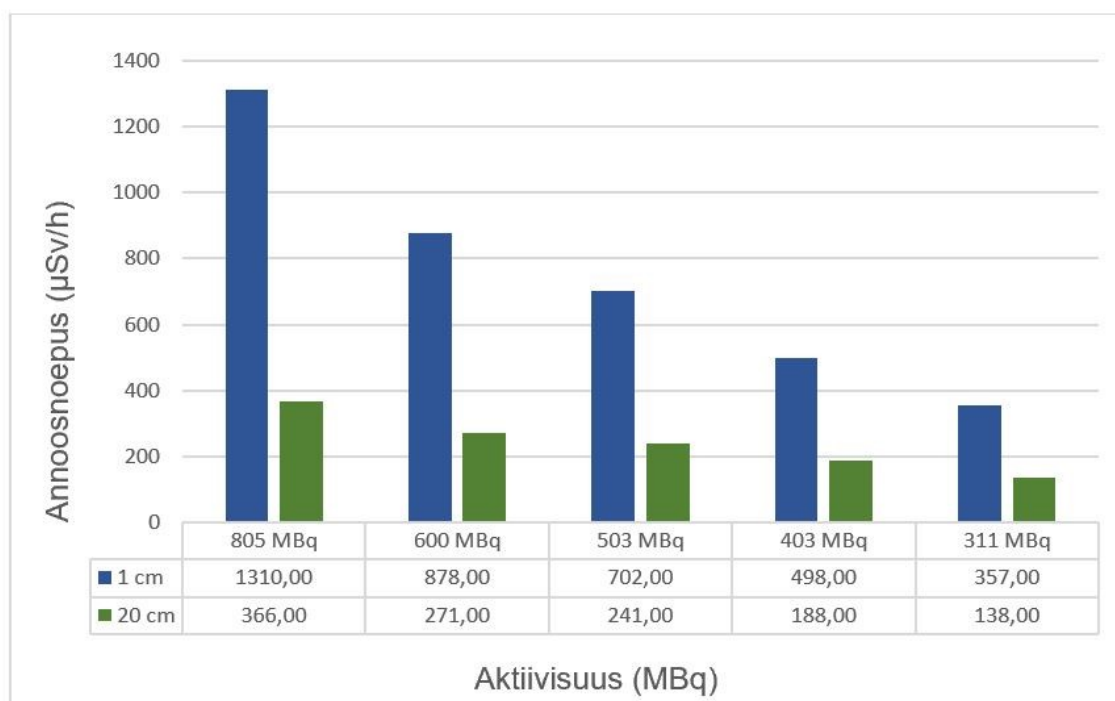


KUVIO 6. Ruiskunsuojan vaikutus annosnopeuteen etäisyydellä 20 cm

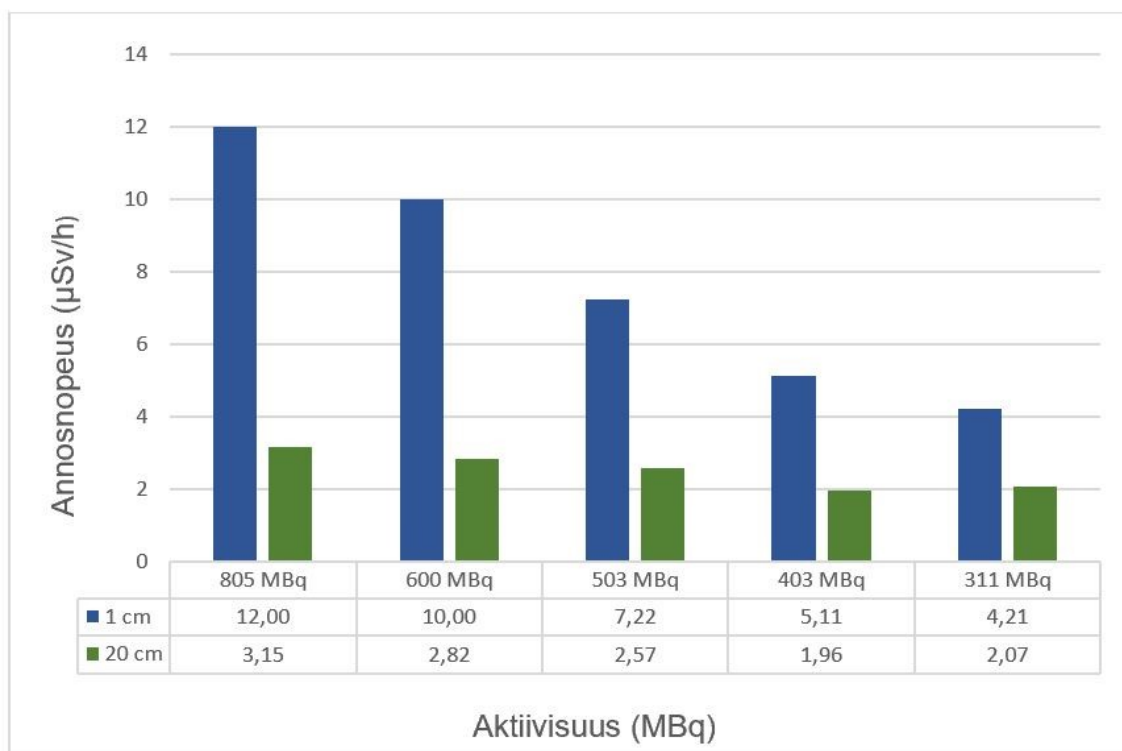
Annosnopeus oli keskimäärin noin 66 % (ilman suojaa) tai 64 % (suojan kanssa) pienempi etäisyydellä 20 cm kuin 1 cm. Etäisyyden kasvattaminen pienensi annosnopeutta suunnilleen saman verran riippumatta siitä, käytettiinkö ruiskunsuojaa vai ei. Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen oli suurempi, kun aktiivisuus oli suurempi. Aktiivisuuden ollessa 805,1 MBq annosnopeus pieneni etäisyyden

kasvaessa noin 72 % (ilman suojaa) tai 74 % (suojan kanssa). Aktiivisuustasolla 311,8 MBq vastaava pienentyminen oli noin 61 % ilman suojaa ja noin 51 % suo-
jan kanssa. (Taulukko 11.)

Kuviossa 7 on esitetty etäisyyden vaikutus annosnopeuteen ilman ruiskunsuojaa ja kuviossa 8 ruiskunsuojan kanssa. Annosnopeus pienentyi alle kolmasosaan alkuperäisestä, kun etäisyyttä ilman suojaa olevaan ruiskuun lisättiin 20 cm:iin aktiivisuuden ollessa 805 MBq (kuvio 7). Käytettäessä ruiskunsuojaa, annosnopeutta voidaan etäisyyden avulla pienentää samalla aktiivisuustasolla lähes yhtä paljon (kuvio 8).



KUVIO 7. Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen ilman ruiskunsuojaa



KUVIO 8. Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen ruiskunsuojan kanssa

Taulukosta 12 havaitaan, että 1 cm:n etäisyydellä ruiskusta, jossa on aktiivisuutta 805,1 MBq ja jonka kanssa ei käytetä suojaa, käsien annosraja tulee täyteen vähän yli kahdessa viikossa. Etäisyydellä 20 cm aikaa kuluu alle kaksi kuukautta. Jos ruiskussa käytetään suojaa, vastaava aika 1 cm:n etäisyydellä on lähes viisi vuotta. Jos ruiskun aktiivisuus on 311,8 MBq:iin, aikaa annosrajan täyttymiseen kuluu yli 13 vuotta. (Taulukko 12.)

TAULUKKO 12. Ruiskunsuojan ja etäisyyden vaikutus säteilytyöntekijän vuotuisen käsien ekvivalenttiannoksen (500 mSv) täyttymiseen eri aktiivisuustasoilla

Aktiivisuus (MBq)	Aika (h), joka kuluu, kunnes käsien ekvivalenttiannosraja 500 mSv (500 000 µSv) täyttyy			
	20 cm		1 cm	
	ilman suojaa	suojan kanssa	ilman suojaa	suojan kanssa
805,1	1 366 (57 vrk)	158 730 (6 614 vrk)	382 (16 vrk)	41 667 (1 736 vrk)
600,4	1 845 (77 vrk)	177 305 (7 388 vrk)	569 (24 vrk)	50 000 (2 083 vrk)
502,6	2 075 (86 vrk)	194 553 (8 106 vrk)	712 (30 vrk)	69 252 (2 886 vrk)
402,6	2 660 (111 vrk)	255 102 (10 629 vrk)	1 004 (42 vrk)	97 847 (4 077 vrk)
311,8	3 623 (151 vrk)	241 546 (10 064 vrk)	1 401 (58 vrk)	118 765 (4 949 vrk)

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tietoa säteilyturvallisen työskentelyn merkityksessä isotooppiyksikössä. Tarkoituksena oli kuvailla, kuinka paljon etäisyys ja väliaine vaikuttavat annosnopeuteen ja säteilytyöntekijän vuotuisten annosrajojen täyttymiseen, kun käsitellään teknetium-99m-leimattua radioaktiivista ainetta tai ollaan tekemisissä radioaktiivista lääkettä saaneen potilaan kanssa.

8.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Etäisyyden merkitys kuvantamistilanteissa

Kun röntgenhoitaja kasvattaa etäisyyttä radioaktiivista lääkettä saaneeseen potilaaseen, hänen saamansa säteilyannos pienenee merkittävästi. Jos etäisyys potilaasta kasvaa 0,25 metristä kahteen metriin, annosnopeus pienenee yli 90 prosenttia. Etäisyydellä on merkittävä vaikutus siihen, kuinka nopeasti säteilytyöntekijän vuotuinen efektiivinen annosraja tulee täyteen. Luuston gammakuvauksessa 20 mSv:n annosrajan täyttymisaika pitenee kahdesta kuukaudesta yli kahteen vuoteen ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa 1,5 kuukaudesta yli 1,5 vuoteen etäisyyden kasvaessa kahteen metriin. Myös Sudbrockin ym. (2011a, 1306) mukaan isotooppiyksikön työntekijöiden säteilyannos pystytään pitämään hyvin alhaisella tasolla, jos etäisyys potilaisiin on vähintään kaksi metriä.

Jo pienetkin muutokset etäisyydessä vaikuttavat annosnopeuteen. Jos röntgenhoitaja pystyy potilaan asettelun aikana kasvattamaan etäisyyttä potilaaseen 0,25 metristä 0,50 metriin, annosnopeus laskee puoleen alkuperäisestä. Vastaa- vasti jos hoitaja ohjeistaa potilasta yhden metrin sijaan kahden metrin etäisyydeltä, annosnopeus on noin 60 % pienempi. Etäisyyttä tulisi kasvattaa aina, kun se on mahdollista.

Sudbrockin ym. (2011b) tutkimuksessa annosnopeus pieneni lähestulkoon samassa suhteessa kuin opinnäytetyössä, kun etäisyys potilaaseen, joka oli saanut 700 MBq teknetium-99m leimattua HDP:tä, kasvoi. Bayramin ym. (2011, 56) mitaamat keskimääräiset annosnopeudet eri etäisyyksillä potilaasta luuston ja sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa olivat samaa tasoa opinnäytetyössä

saatujen tulosten kanssa ja annosnopeus pieneni etäisyyksien välillä yhtä voimakkaasti.

Debin ym. (2015, 444) tutkimuksessa etäisyyden vaikutus oli suurempi kuin tässä opinnäytetyössä: etäisyyden kaksinkertaistaminen metristä kahteen metriin pienensi annosnopeutta 73 %. Eron arvioitiin johtuvan muun muassa säteilevän lähteen muodosta. Etäisyyden neliölain mukaan annosnopeus pienenee etäisyyden kaksinkertaistuessa neljäsosaan alkuperäisestä, kun kyseessä on pistemäinen säteilylähde (Rep 2016, 99). Deb ym. käyttivät tutkimuksessa säteilylähteenä vedellä täytettyä fantomia (2011, 443), joka on pistemäisempi säteilylähde kuin säteilevä potilas. Siegel, Marcus ja Sparks (2002, 1243) ovat todenneet, että vaikka etäisyyden neliölakia käytetään yleisesti annosnopeuden arvioinnissa säteilevän potilaan lähellä, sen käyttö voi johtaa vääristyneisiin arvioihin annoksesta, jos radioaktiivisuus potilaassa on jakautunut koko kehon alueelle.

Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen oli samanlainen riippumatta siitä, oliko kyseessä luuston gammakuvaus vai sydänlihasperfuusion gammakuvaus. Tarkasteltaessa etäisyyden vaikutusta säteilytyöntekijän vuotuisen efektiivisen annosrajan täyttymiseen sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa annosraja täyttyi lyhyemmässä ajassa kuin luuston gammakuvauksessa. Tulos on sopusoinnussa kirjallisuuden kanssa, sillä sydänlihasperfuusion gammakuvauksen on havaittu aiheuttavan työntekijöille muihin isotooppitutkimuksiin nähden suurempia annoksia (Bayram ym. 2011, 57; Fathy ym. 2019, 447–449).

STUK:n (2020b) mukaan luonnon taustasäteily Suomessa vaihtelee välillä 0,04–0,30 $\mu\text{Sv/h}$. Esimerkiksi TAYS:ssa luuston gammakuvauksessa kahden metrin etäisyydellä potilaasta annosnopeudet olivat noin 3–23-kertaisia ja 0,25 metrin etäisyydellä noin 42–320-kertaisia verrattuna taustasäteilyyn. Sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa annosnopeudet olivat 4–34-kertaisia kahden metrin etäisyydellä ja 60–450-kertaisia 0,25 metrin etäisyydellä. Lennettäessä 10 kilometrin korkeudessa annosnopeus, joka kohdistuu lentohenkilökuntaan, on noin 5 $\mu\text{Sv/h}$ (STUK 2020b), joka on suurin piirtein samaa luokkaa kuin annosnopeus luuston gammakuvauksessa 0,50 metrin etäisyydellä potilaasta.

Väliaineen merkitys radioaktiivisten aineiden käsittelyssä

Käsiteltäessä radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja ja pulloja, suojan käyttöä pidetään tärkeimpänä keinona vähentää työntekijän käsien saamaa annosta (O'Reilly 2008, 17; Leide-Svegborn 2011, 204; Sans-Merce ym. 2011, 1331; Vanhavere ym. 2012, 152). Suojan merkitys on selvästi havaittavissa opinnäytetyön tuloksista, jotka olivat samankaltaisia verrattuna muun muassa ICRP:n (2008b) ja Vanhaveren ym. (2012) julkaisemiin tuloksiin. Annosnopeus ruiskunsuojan kanssa oli minimaalinen (1 %) verrattuna annosnopeuteen ilman suojaa. On selvää, ettei ruiskuja tulisi käsitellä ilman suojia, vaikka käsittelyyn kuluisi vähemmän aikaa kuin suojan kanssa (Zito ym. 2007, 24; O'Reilly 2008, 17; Carlsson & Le Heron 2014, 90, 94; IAEA 2018, 93; Rep 2016, 100–101).

Suojan merkitys korostui, kun tarkasteltiin sen vaikutusta käsien ekvivalenttiansosrajan (500 mSv) täyttymiseen. Jos röntgenhoitaja käsittelee ruiskua ilman suojaa, joka sisältää 805 MBq teknetium-99m-isotooppia, hän saa käsiinsä 500 mSv:n annoksen vähän yli kahdessa viikossa. Jos ruiskussa on suoja, aikaa kuluu melkein viisi vuotta. Tarkasteltaessa annosrajan täyttymiseen kuluva aikaa aikayksikkönä käytettiin vuorokautta. Todellisuudessa röntgenhoitaja käsittelee ruiskuja vain joitakin tunteja päivästä, mutta erot annosrajojen täyttymiseen kuluissa ajoissa auttavat kuitenkin havainnollistamaan käytännössä ruiskunsuojan merkityksen suuruutta.

Työntekijän sormiannokset ovat sitä suurempia, mitä suurempia aktiivisuusmääriä hän käsittelee (ICRP 2008a, 167; Leide-Svegborn 2012, 198, 204). Opinnäytetyön mittauksissa suurin ruiskun aktiivisuus oli 805 MBq. Isotooppiyksikössä röntgenhoitaja voi todellisuudessa käsitellä vielä paljon suurempia aktiivisuusmääriä ruiskuissa ja pulloissa. Tällöin suojan merkitys on vielä suurempi. Jos teknetium-99m-isotooppia sisältävää ruiskua tai pulloa käsiteltäessä käytetään asianmukaista suojaa, sormiannokset pystytään pitämään alhaisina, vaikka aktiivisuudet olisivat suuria (Leide-Svegborn 2012, 204–205).

Sormien saamaan annokseen vaikuttaa suojan lisäksi myös se, kuinka työntekijä pitää ruiskua kädessään. Opinnäytetyössä annosnopeutta ruiskunsuojan kanssa mitattiin vain yhdestä suunnasta: ruiskun pitkittäinen sivu oli aina kohti mittaria. Tulosten perusteella voidaan siis todeta, paljonko annosnopeus pienenee käden

niissä osissa, jotka ovat suojan pitkittäistä sivua vasten. Todellisuudessa ruiskun suoja ei kuitenkaan peitä ruiskua joka suunnasta vaan esimerkiksi männän alueella annosnopeus voi suojankin kanssa olla suuri ja mäntää käsittelevä sormi saada suuremman annoksen (ICRP 2008a, 174; Vanhavere ym. 2012, 153). Tämän vuoksi keskimääräinen annosnopeuden pienentyminen koko käden alueella ei välttämättä ole yhtä suuri kuin tässä opinnäytetyössä. ICRP:n (2008a, 174) mukaan sormien saama annos niissä työvaiheissa, jossa suojaa käytetään, on noin 10–25 % pienempi kuin ilman suojaa tehtävissä vaiheissa.

Etäisyyden merkitys radioaktiivisten aineiden käsittelyssä

Suojan käytön lisäksi etäisyyden merkitystä säteilysuojelukeinona ei tule unohtaa, kun käsitellään radioaktiivista ainetta sisältäviä ruiskuja. Vaikka ruiskussa on asianmukainen suoja, röntgenhoitajalla on mahdollisuus pienentää sormien saamaa annosta vielä keskimäärin noin 60 % kasvattamalla etäisyyttä 20 cm. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi laskemalla ruisku kädestä pöydälle aina kun mahdollista, mutta erityisesti silloin, kun ruiskussa oleva aktiivisuusmäärä on suuri.

Joissakin tilanteissa ruiskua on käsiteltävä ilman suojaa, esimerkiksi silloin, kun ruiskun aktiivisuutta mitataan annoskalibraattorilla (O'Reilly 2008, 17). Tällöin etäisyyden merkitys säteilysuojelukeinona korostuu entisestään. Opinnäytetyön perusteella annosnopeus 20 cm etäisyydellä ruiskusta oli keskimäärin noin kolmasosa verrattuna annosnopeuteen, jos ruisku on työntekijän kädessä. Tällöin myös käsien annosraja täyttyi keskimäärin yli kolme kertaa hitaammin. Röntgenhoitaja ei siis tulisi koskaan ottaa suojaamatonta ruiskua käteensä vaan käyttää sen käsittelyssä apuna esimerkiksi pitkiä pihtejä (O'Reilly 2008, 17; Carlsson & Le Heron 2014, 93; IAEA 2018, 130, 143–144; Rep 2016, 100). Mitä suurempi aktiivisuus ruiskussa on, sitä tärkeämpää on etäisyyden kasvattaminen.

Johtopäätökset

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että röntgenhoitaja pystyy omalla toiminnallaan vaikuttamaan huomattavasti saamaansa säteilyannokseen. Etäisyyden merkitys tulee pitää mielessä, kun ollaan tekemisissä radioaktiivista lääkettä saaneen potilaan kanssa ja pyrkiä ottamaan askeleita taaksepäin aina, kun se on työn toteuttamisen kannalta mahdollista. Jo pienellä etäisyyden muutoksella röntgenhoitaja pystyy pienentämään annostaan merkittävästi. Erityisesti

sydänlihasperfuusion gammakuvauksessa etäisyys tulisi pitää mahdollisimman suurena ja noudattaa huolellisesti säteilyturvallisia toimintatapoja.

Suojien käyttö ruiskuissa radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisen ja potilaan injisoinnin yhteydessä on ensiarvoisen tärkeää. Ruisku tulisi myös laskea pois kädestä aina kun mahdollista. Suojaamattomia ruiskuja ei tulisi koskaan käsitellä paljain käsin vaan käyttää apuna mahdollisimman pitkiä pihtejä.

8.2 Opinnäytetyön luotettavuus

Määrällisen tutkimuksen kokonaisluotettavuutta tulee arvioida reliabiliteetin ja validiteetin avulla koko tutkimusprosessin ajan. Reliaabelius tarkoittaa tulosten tarkkuutta, jolloin mittaukset eivät anna sattumanvaraisia tuloksia, vaan ovat samat tutkijasta riippumatta. (Vilkkä 2007, 152; Vilkkä 2015, 193–194.) Validi eli pätevä tutkimus mittaa sitä, mitä tutkimuksessa on tarkoituskin mitata ja vastaa määriteltyihin tutkimuskysymyksiin. Pätevässä tutkimuksessa ei esiinny systemaattisia virheitä, mutta satunnaisia virheitä voi kuitenkin sattua. Siksi on tärkeää, että tutkija kertoo virheistä rehellisesti ja arvioi niiden vaikutusta tuloksiin, vaikka satunnaisten virheiden vaikutus tutkimuksen tavoitteiden kannalta ei olisikaan suuri (Vilkkä 2015, 193–194).

Opinnäytetyössä kiinnitettiin huomiota luotettavuuteen koko tutkimusprosessin ajan, aina suunnittelusta tulosten raportointiin. Validius huomioitiin jo mittausprotokollia suunniteltaessa, jolloin perehdyttiin tarkasti teoriaan ja siihen, miten samankaltaisissa tutkimuksissa on päädytty suorittamaan mittaukset ja raportoitmaan niistä (ks. Vilkkä 2015, 193). Protokollia testattiin ennen varsinaisia mittauksia. Testauksen avulla pystyttiin puuttumaan virhemahdollisuuksiin ja sen myötä muokkaamaan protokollia paremmaksi (ks. Vilkkä 2007, 78). Apuna käytettiin myös sairaalafyysikoita ja röntgenhoitajia. Asiantuntijoilta saatiin paljon hyviä käytännön vinkkejä, jotka lisäsivät tutkimuksen kokonaisluotettavuutta. (ks. Vilkkä 2007, 152.) Esimerkiksi pienet erot etäisyyksissä potilaan ja säteilymittarin välillä eri mittauskerroilla olisivat voineet aiheuttaa vaihtelua annosnopeuksiin mittauskertojen kesken (ks. Fathy ym. 2019, 450). Tätä riskiä vähennettiin merkittävästi kiinnittämällä säteilymittari vakaasti tippatelineeseen, joka pystytettiin

asettamaan tarkasti mittausviivalle, sen sijaan että mittaria olisi pidetty kädessä mittausten aikana.

Kuvantamistilanteisiin liittyviä mittauksia suoritti useampi henkilö, mikä lisäsi virhemahdollisuuden riskiä. Virheiden minimoiseksi kehiteltiin keinoja, joilla voitiin varmistaa, ettei mittaustilanteisiin liittyvät häiriötekijät estäneet aineiston keräämistä luotettavasti. TAYS:ssa esimerkiksi säteilymittarin lukemaa päädyttiin videoimaan, jotta suurin ja pienin arvo olisi helppo saada kirjattua ylös. Tulosten samankaltaisuus eri mittaajien ja mittauspaikkojen välillä viittaa siihen, ettei suuria eroavaisuuksia syntynyt ja suunnittelu oli onnistunut. Tämä parantaa etenkin työn reliabiliteettia ja luotettavuutta. (ks. Vilka 2015, 194.)

Annosnopeuden nouseminen tavallista taustasäteilyn annosnopeutta suuremmaksi on osoitus ulkopuolisen säteilylähteen olemassaolosta (Ahasan 2004, 77). Kuvantamistilanteisiin liittyvissä mittauksissa taustasäteily mitattiin ennen jokaista potilasta, jotta voitiin varmistua siitä, että mitattu annosnopeus tulee vain radioaktiivista lääkettä saaneesta potilaasta. Taustasäteilyn mittaamisen avulla mahdolliset poikkeamat taustasäteilyssä olisi huomattu etukäteen. Tällaisia poikkeamia ei kuitenkaan esiintynyt.

Kuvantamistilanteisiin liittyvien mittausten yhteydessä annosnopeutta mitattiin myös säteilysuojatakin kanssa metrin etäisyydeltä potilaasta. Hankalan mittaustekniikan vuoksi ei kuitenkaan voitu varmistua siitä, että mittaukset olisi suoritettu samalla tavalla jokaisella kerralla. Mittausten tästä osiosta saatiin vain suuntaa antavia tuloksia, jotka päätettiin opinnäytetyössä jättää raportoimatta.

Radioaktiivisia lääkkeitä käsiteltäessä kontaminaatoriskiä voidaan pienentää varmistamalla, että työskentelytilat ovat puhtaat, työ tehdään hyvän laboratorio-käytännön mukaan ja työskennellessä käytetään asianmukaista suojavaatetusta. Työskentelytiloissa ei tulisi olla ylimääräisiä, työn kannalta tarpeettomia tavaroita. (Carlsson & Le Heron 2014, 92–93.) Ennen ruiskumittausten aloittamista radiofarmasiakaappi tyhjennettiin ja puhdistettiin, jotta mahdollinen ylimääräinen aktiivisuus ei vaikuttanut mittaustuloksiin. Taustasäteily mitattiin ennen annosnopeusmittauskierrosten aloittamista. Mittaustilanteissa ruiskuja käsitteli kokenut röntgenhoitaja, joka huolehti siitä, ettei radioaktiivinen eluaatti aiheuta pintojen

kontaminaatioita radiofarmasiakaapissa. Mittauskierrosten välissä ruiskussa oleva neula vaihdettiin, jottei neulaan jäisi ylimääräistä aktiivisuutta mikropisaroiden muodossa.

Ruiskumittaukset tehtiin 1, 10 ja 20 cm etäisyyksiltä. Koska 1 cm ja 20 cm etäisyydet kuvastavat paremmin tilanteita, joissa ruiskua pidetään kädessä tai se lasketaan pöydälle, 10 cm:n etäisyydellä mitatut annosnopeudet päätettiin jättää raportoimatta. Mittauksista saadut tulokset osoittautuivat johdonmukaisiksi eli aktiivisuuden pienentyessä annosnopeudet pienentyivät. Tästä voidaan päätellä, että virhemahdollisuuksiin osattiin varautua eikä mittauksen aikana tapahtunut kontaminaatiota.

Säteilymittarin käyttöä opeteltiin ennen varsinaisten mittauksen suorittamista. Yleisesti säteilymittareista tiedettiin, että niiden lukema voi heitellä erityisesti lähellä säteilylähdettä ja mittarin lukeman tasoittumiseen voi kulua aikaa (Fathy ym. 2019, 450; Korkola 2019). Lisäksi kiinnitettiin huomiota siihen, että mittarin asento oli mahdollisimman optimaalinen sen toiminnan kannalta.

Kvantamistutkimuksiin liittyvissä mittauksissa annosnopeudet päätettiin kirjata keskiarvoina. Keskiarvoa käytettiin myös aineiston analyysivaiheessa määrittäessä keskimääräisiä annosnopeuksia eri etäisyydellä potilaasta ja annosnopeuksien muutoksia etäisyyksien välillä. Keskiarvon käytössä on huomioitava, että yksittäinen poikkeavan pieni tai suuri arvo voi vaikuttaa keskiarvoon merkittävästi, erityisesti jos aineiston koko on pieni (KvantiMOTV 2003b). Jotta tulosten luotavuudesta voitiin varmistua, keskimääräiset annosnopeudet ja annosnopeuksien muutokset määritettiin myös mediaaneina, joihin poikkeavat suuret tai pienet arvot eivät vaikuta (ks. KvantiMOTV 2003b). Keskiarvot ja mediaanit olivat keskenään samansuuruisia, joten pienestä aineiston koosta huolimatta keskiarvon käyttäminen ei aiheuttanut tuloksiin virhettä. Lisäksi se, että mittauskertojen välillä saadut tulokset olivat keskenään samansuuruisia ja vertailukelpoisia, lisäsi tutkimuksen reliabiliteettia (ks. Vilkkä 2015, 194).

Kerätty aineisto vietiin käsin Exceliin tulosten analyysia varten. Huolimattomuusvirheet minimoitiin tarkastamalla lukemat useaan otteeseen. Määrällisessä tutkimuksessa tulokset voivat olla sattumanvaraisia, jos otoskoko on pieni (Heikkilä

2014, 28). Tulosten analyysin luotettavuus varmistettiin käyttämällä analyysimenetelmää, joka oli sopiva aineiston kokoon nähden. Varsinaisia tilastollisen päätelyn menetelmiä ei käytetty, koska ne olisivat vaatineet suuremman aineiston luotettavien tulosten saamiseksi (ks. Vilkkä 2007, 17; Heikkilä 2014, 15, 28, 57). Kokonaisuudessaan opinnäytetyössä saatiin teorian perusteella luotettavat vastaukset tutkimuskysymyksiin eikä systemaattisia virheitä ilmennyt, mistä voidaan päätellä opinnäytetyön olevan luotettava ja onnistunut (ks. Vilkkä 2007, 152; Vilkkä 2015, 193–194).

8.3 Opinnäytetyön eettisyys

Jokaisen tutkijan velvollisuus on noudattaa tutkimusetiikkaa (Vilkkä 2007, 92). Määrällisessä tutkimuksessa tutkimusetiikka tulee huomioida etenkin aineiston hankinnassa ja käytössä. Hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti tutkijan tehtävänä on minimoida tutkimuksesta aiheutuvat haitat, kerätä ja analysoida aineisto luottamuksellisesti sekä käyttää eettisesti kestäviä tiedonhankinta- ja arviointimenetelmiä. (Vilkkä 2007, 90–91; Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6–7.)

Tässä opinnäytetyössä aineistoa kerättiin ja käsiteltiin luottamuksellisesti hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Kuvantamistilanteisiin liittyvät mittaukset suoritettiin ammattitaitoa edistävän harjoittelun aikana ja molempien sairaalojen kanssa laadittiin kirjallinen sopimus siitä, että kerättyä aineistoa saa hyödyntää opinnäytetyössä. Missään vaiheessa tutkimusta ei kerätty potilaiden henkilötietoja, eikä näin ollen syntynyt henkilörekisteriä. Yksittäisen potilaan tunnistaminen aineistosta on mahdotonta. Tutkimusaineisto hävitetään asianmukaisesti opinnäytetyön valmistuttua.

Säteilyturvallisuuden näkökulmasta eettisyys huomioitiin koko tutkimusprosessin ajan. Potilaille ei kertynyt säteilyannosta mittausten vuoksi. Huolellisen suunnittelun ja asiantuntijoiden käytön avulla mittaukset pystyttiin suorittamaan niin, että myös mittausten suorittajille aiheutui mahdollisimman vähän säteilyaltistusta. Käytännössä varmistuttiin siitä, että jokainen mittauksen suorittaja tiesi, mitä teki ja ymmärsi säteilyturvallisuuden tärkeyden. Säteilyaltistuksen minimoimiseksi

mittauksien suorittajat ottivat esimerkiksi etäisyyttä säteilevään potilaaseen. Haittojen minimointi huomioitiin myös ruiskumittauksissa. Ruiskumittausten suorittamisessa päädyttiin käyttämään isotooppiyksikön röntgenhoitajaa. Tämän avulla varmistuttiin siitä, että radioaktiivisten aineiden käsittely oli turvallista ja oikeaoppista, jolloin ylimääräinen säteilyaltistus jäi mahdollisimman vähäiseksi myös ruiskumittauksia suorittaessa. Tutkimuksen aiheuttamat haitat minimoitiin hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti (ks. Vilka 2007, 91).

8.4 Oppimiskokemus ja jatkotutkimusehdotukset

Opinnäytetyöprosessi opetti paljon sekä yleisesti tutkimuksen suorittamisesta että säteilysuojelumenetelmien merkityksellisyydestä isotooppiyksikössä. Tutkimuksen suunnitteleminen, toteuttaminen, raportointi ja arviointi opettivat prosessinomaista työskentelyä ja huolellisen suunnittelun merkitystä. Määrällisessä tutkimuksessa tutkimuskysymysten ja tutkimuksen päämäärän tulee olla huolella mietittyjä, jotta tulokset ovat päteviä ja luotettavia. Tutkimuksen tulee myös perustua luotettavaan tutkimustietoon, joten prosessin aikana opittiin arvioimaan kriittisesti lähteitä. Luotettavan taustatiedon hankkiminen opinnäytetyön aiheesta edellytti kansainvälisten lähteiden käyttöä, mikä lisäsi taustatyön haastavuutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana opinnäytetyön tekijät syvensivät tietojaan säteily-suojelun tärkeydestä. Teorian pohjalta oli selvää, että isotooppiyksikössä aika, etäisyys ja väliaine muodostavat säteilysuojelun perustan. Opinnäytetyön tulokset antoivat konkreettista tietoa siitä, kuinka suuri merkitys etäisyyden kasvattamisella ja asianmukaisten suojien käytöllä on käytännössä. Tuloksilla toivotaan olevan myönteinen ja motivoiva vaikutus työntekijöiden suhtautumiseen säteily-suojelukeinoihin.

Kehittämisehdotuksena ehdotetaan etäisyyden ja väliaineen merkityksen tarkastelua muiden isotooppiyksikössä käytettävien isotooppien, kuten fluori-18, osalta. Lisäksi ehdotetaan väliaineen eli suojien vaikutuksen tutkimista, kun ollaan tekemisessä radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden kanssa. Kirjallisuudessa on erilaisia näkökulmia suojan vaikutuksista, joten niiden vaikutus annosnopeuteen olisi mielenkiintoinen ja tärkeä aihe.

LÄHTEET

Acampa, W., Zampella, E. & Assante, R. 2014. State of the Art in Myocardial Imaging. Teoksessa Ryder, H.m Testanera, G., Veloso Jerónimo, V. & Vidovič, B. (toim.) Myocardial Perfusion Imaging. A Technologist's Guide. EANM, 6–15.

Ahasan, M.M. 2004. Assessment of radiation dose in nuclear medicine hot lab. Iranian Journal of Radiation Research 2 (2), 75–78.

Alkhorayef, M., Mayhoub, Fareed. H., Salah, Hassan., Sulieman, A., Al-Mohammed, H. I., Almuwannis, M., Kappas, C. & Bradley, D. A. 2020. Assessment of occupational exposure and radiation risks in nuclear medicine departments. Radiation Physics and Chemistry 170.

Alnaaimi, M., Alkhorayef, M., Omar, M., Abughaith, N., Alduaij, M., Salahudin, T., Alkandri, F., Sulieman, A. & Bradley, D.A. 2017. Occupational radiation exposure in nuclear medicine department in Kuwait. Radiation Physics and Chemistry 140, 233–236.

Bayram, T., Yilmaz, A. H., Demir, M. & Sonmez, B. 2011. Radiation Dose to Technologists per Nuclear Medicine Examination and Estimation of Annual Dose. Journal of Nuclear Medicine Technology 39 (1), 55–59.

Biodex. n.d. Pro-tec III syringe shield. Operation manual. Luettu 2.2.2020. https://www.biodex.com/sites/default/files/007723man_14081.pdf

Bradley, L.A. 2012. Radiation Safety for Radiologic Technologists. Radiologic Technology 83 (5), 447–467.

Carlsson, S.T. & Le Heron, J.C. 2014. Radiation protection. Teoksessa Bailey, D.L., Humm, J.L., Todd-Pokropek, A. & Van Aswegen, A. Nuclear Medicine Physics. A Handbook for Teachers and Students. IAEA, 73–116.

Carnicer, A., Sans-Merce, M., Baechler, S., Barth, I., Donadille, L., Ferrari, P., Fulop, M., Ginjaume, M., Gualdrini, G., Krim, S., Mariotti, M., Ortega, X., Rimpler, A., Ruiz, N. & Vanhavere, F. 2011. Hand exposure in diagnostic nuclear medicine with F^{18} - and Tc^{99m} -labelled radiopharmaceuticals. Result of the ORAMED project. Radiation Measurements 46, 1277–1282.

Dale R.K & Wondergem, J. 2014. Basic radiobiology. Bailey, D.L., Humm, J.L., Todd-Pokropek, A. & Van Aswegen, A. Nuclear Medicine Physics. A Handbook for Teachers and Students. IAEA, 49–72.

Dalianis, K., Malamitsi, J., Gogos, K., Efthimiadou, R., Andreou, J. & Prassapoulos, V. 2014. Medical workers operating in nuclear medicine vs PET/CT: radiation exposure comparison. Physica Medica, Vol 30, Suppl 1, 2014, e31.

Deb, P., Jamison, R. Mong, L. & U, P. 2015. An evaluation of the shielding effectiveness of lead aprons used in clinics for protection against ionising radiation from novel radioisotopes. Radiation Protection Dosimetry 165 (1–4), 443–447.

Fathy, M., Khalil, M. M., Elshemey, W. M. & Mohamed, H. S. 2019. Occupational radiation dose to nuclear medicine staff due to Tc99m, F18-FDG PET and therapeutic I-131 based examinations. *Radiation Protection Dosimetry* 186 (4), 443–451.

Ferrari, P., Sanc-Merce, M., Canicer, A., Donadille, L., Fulop, M., Ginjaume, M., Gualdrini, G., Mariotti, F. & Ruiz, N. 2011. Main results of the Monte Carlo studies carried out for nuclear medicine practices within the ORAMED project. *Radiation Measurements* 46 (11), 1287–1290.

Gano, L. & Paulo, A. 2019. Conventional Nuclear Medicine Radiopharmaceuticals. Teoksessa Attard, M., Camoni, L., Rac, S. & Mada, M. (toim.) *Radiopharmacy: An Update. A Technologist Guide*. EANM, 70–92.

Gilmore, D. & Tempesta, D. 2019. Generators used in Nuclear Medicine. Teoksessa Attard, M., Camoni, L., Rac, S. & Mada, M. (toim.) *Radiopharmacy: An Update. A Technologist Guide*. EANM, 42–49.

Gültekin, S.S. & Şahmaran, T. 2012. Importance of Bladder Radioactivity for Radiation Safety in Nuclear Medicine. *Molecular Imaging and Radionuclide Therapy* 22 (3), 94–97.

Heikkilä; T. 2014. Tilastollinen tutkimus. 9. painos. Porvoo: Edita Publishing oy.

ICRP. 2008a. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals -Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 38 (1–2).

ICRP. 2008b. How to protect your hands in nuclear medicine work. ICRP Publication 106 Annex E. Luettu 4.10.2020. <http://www.icrp.org/docs/ICRP%20106%20How%20to%20protect%20your%20hands%20in%20nuclear%20medicine%20work.pptx>

IAEA. 2018. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards Series No. SSG-46.

Kemppainen, J. & Tuokkola, T. 2018. Yleistä kasvainten isotooppitutkimuksista. Teoksessa Sovijärvi, A., Hartiala, J., Knuuti, J., Laitinen, T. & Malmberg, P. (toim.). *Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen perusteet*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 290–297.

Knuuti, J. & Kajander, S. 2017. Isotooppitutkimukset, molekyyli- ja fuusiokuvantaminen. Teoksessa Blanco Sequieros, R., Koskinen, S., Aronen, H., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.) *Kliininen radiologia*. 1. Painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 400–405.

Korkola, P. Sairaalfysiikka. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto. Syyskuu 2019. TAYS. Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen yksikkö.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa Pukkila O. (toim.) *Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja*. Osa 3. Helsinki: STUK, 220–238.

Kubo, A.L.S.L. & Mauricio, C.L.P. 2014. TLD occupation dose distribution study in nuclear medicine. *Radiation Measurements* 71, 442–446.

Krizsan, A. K. 2016. Interaction of Radiation with Matter. Teoksessa Rep, S., Santos, A. & Testanera, G. (toim.) *Radiation Protection and Dose Optimisation. A Technologist's Guide*. EANM, 6–14.

KvantiMOTV -menetelmäopetuksen tietovaranto. 2003a. Menetelmien tyyppejä ja soveltuvan menetelmän valinta. Tampere: Yhteiskuntatieteiden tietoarkisto. Päivitetty 2.9.2003. Luettu 23.3.2020. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/menetelma/menetelmatyypit.html>

KvantiMOTV -menetelmäopetuksen tietovaranto. 2003b. Keskiluvut. Tampere: Yhteiskuntatieteiden tietoarkisto. Päivitetty 31.8.2003. Luettu 27.9.2020. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/keskiluvut/keskiluvut.html#aritmeettinen>

KvantiMOTV -menetelmäopetuksen tietovaranto. 2004. Tilastollinen päättely. Tampere: Yhteiskuntatieteiden tietoarkisto. Päivitetty 4.7.2004. Luettu 23.3.2020. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/paattely/paattely.html>

Lammentausta, E. 2017. Ionisoivan säteilyn fysiikka. Teoksessa Blanco Sequeros, R., Koskinen, S., Aronen, H., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim). Kliininen radiologia. 1. Painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 416–421.

Lehto, H., Maalampi, J., Havukainen, R. & Leskinen, J. 2018. Aine ja säteily. 9. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Leide-Svegborn, S. 2011. External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from ¹⁸F, ^{99m}Tc, and ¹³¹I with special reference to fingers, eyes and thyroid. Radiation Protection Dosimetry. 2012; 149 (2), 196–206.

Lundholm, L., Brzozowska, B. & Wojcik, A. 2016. Radiobiology Principles. Teoksessa Rep, S., Santos, A. & Testenara, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimisation. A Technologist's Guide. EANM, 46–55.

Lääkelaki 10.4.1987/395.

Marttila, O.J. 2002. Suureet ja yksiköt. Teoksessa Ikäheimonen, T. K. (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Säteily ja ydinturvallisuus -kirjasarja. Osa 1. Helsinki: STUK, 66–91.

Medolago, G. & Ghilardi, A. 2014. Patient Preparation and Stress Protocols. Teoksessa Ryder, H., Testanera, G., Veloso Jerónimo, V. & Vidovič, B. (toim). Myocardial Perfusion Imaging. A Technologist's Guide. EANM, 6–15.

Moran, V., Prieto, E., Garcia-Garcia, B., Barbes, B., Ribelles, M.J., Richter, J.A. & Martí-Climert, J.M. 2016. Radiation dose produced by patients during radiopharmaceutical incorporation in nuclear medicine diagnostic procedures. Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (english edition) 35 (3), 175–185.

Mustonen, R. & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja. Osa 4. Helsinki: STUK, 27–40.

Mustonen, R., Sjöblom, K-L., Bly, R., Havukainen, R., Ikäheimonen, T.K., Kosunen, A., Markkanen M. & Paile, W. 2009. Säteilysuojelun perussuosituks 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. STUK-A235. Helsinki: STUK.

Nassef, M.H. & Kinsara, A.A. 2017. Occupational Radiation Dose for Medical Workers at a University Hospital. Journal of Taibah University for Science 11, 1259–1266.

Neuvoston direktiivi 2013/59/Euratom. Euroopan unionin virallinen lehti 17.1.2014. Luettu 5.10.2020. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:FI:PDF>

Nieminen, M. & Oikarinen, H. 2017. Säteilysuojelu ja optimointi. Teoksessa Blanco Sequieros, R., Koskinen, S., Aronen, H., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.) Kliininen radiologia. 1. Painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim., 471–477.

O'Reilly, G. 2008. The Radiopharmacy. Teoksessa Dennen, S. & Decristoforo, C. (toim.) The Radiopharmacy. A. Technologist's Guide. EANM, 16–21.

Paile, W., Mustonen, R., Salomaa, S. & Voutilainen, A. 1996. Säteily & Terveys. Helsinki: Edita.

Paile, W. 2002. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily ja ydinturvallisuus -kirjasarja. Osa 4. Helsinki: STUK, 43–46.

Piwowska-Bilska, H., Birkenfeld, B., Gwardys, A., Supinska, A., Listewnik, M.H., Elbl, B. & Cichon-Bankowska, K. 2011. Occupational exposure at the Department of Nuclear Medicine as a work environment. A 19-yr follow up. Polish Journal of Radiology 76 (2), 18–21.

Podgorsak, E.B., Kesner, A.L. & Soni, P.S. 2014. Basic physics for nuclear medicine. Teoksessa Bailey, D., Humm, J., Todd-Pokropek, A. & Answegen, A. Nuclear Medicine Physics. A Handbook for Teachers and Students. IAEA, 1–48.

Rados. 1995–2002. RDS-110. Multi-purpose survey meter. User's manual. Luettu 2.2.2020. http://rhbz.pw/albums/userpics/10083/Rados_RDS110_Manual.pdf

Rep, S. 2016. Occupational Radiation Protection. Teoksessa Rep, S., Santos, A. & Testanera, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimisation. A Technologist's Guide. EANM, 99–106.

Rimpler, A., Barth, I., Ferrari, P., Baechler, S., Carnicer, A., Donadille, L., Fulop, M., Ginjaume, M., Mariotti, M., Sans-Merce, M., Gualdrini, G., Krim, S., Ortega, X., Ruiz, N. & Vanhavere, F. 2011. Extremity exposure in nuclear therapy with Y^{90} -labelled substances. Results of the ORAMED project. Radiation Measurements 46 (11), 1283–1286.

Saarakkala, S. 2017. Isotooppikuvaus. Teoksessa Blanco Sequieros, R., Koskinen, S., Aronen, H., Lundbom, N., Vanninen, R. & Tervonen, O. (toim.) Kliininen radiologia. 1.painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 427–433.

Sans-Merce, M., Ruiz, N., Barth, I., Carnicer, A., Donadille, L., Ferrari, P., Fulop, M., Ginjaume, M., Gualdrini, G., Krim, S., Mariotti, F., Ortega, X., Rimpler, A., Vanhavere, F. & Baechler, S. 2011. Recommendations to reduce hand exposure for standard nuclear medicine procedures. Radiation Measurements 46, 1330–1333.

Siegel, J.A., Marcus, C.S. & Sparks, R.S. 2002. Calculating the Absorbed Dose from Radioactive Patients. The Line-Source Versus Point-Source Model. The Journal of Nuclear Medicine 43 (9), 1241–1244.

Siiskonen, T. 2020. Suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos vuonna 2018. STUK- A263. Helsinki: STUK.

Smart, R.C. 2014. Physics in the radiopharmacy. Teoksessa Bailey, D.L., Humm, J.L., Todd-Pokropek, A. & Van Aswegen, A. Nuclear Medicine Physics. A Handbook for Teachers and Students. IAEA, 251–286.

STMa ionisoivan säteilyn käytöstä 22.11.2018/1044.

STM. n.d. Säteilysuojelu. Luettu 25.8.2020. <https://stm.fi/sateilysuojelu>

STM. 2008. Säteilyonnettomuudet. Säteilylle altistuneiden tutkimus ja hoito. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2008: 14.

STUK. n.d. Määritelmät. Stuklex. Luettu 24.9.2020. <https://www.stuklex.fi/fi/maaritelmät>

STUK. 2013. Säteilytoiminnan turvallisuus. ST 1.1. Julkaistu 23.5.2013. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

STUK. 2014. Isotooppitutkimukset ja hoidot Suomessa 2012. STUK-B 169. Helsinki: STUK.

STUK S/1/2018. Säteilyturvakeskuksen määräys työperäisen altistuksen selvittämisestä, arvioinnista ja seurannasta. <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-s-1-2018>

STUK S/4/2019. Säteilyturvakeskuksen määräys oikeutusarvioinnista ja säteily-suojelun optimoinnista lääketieteellisessä altistuksessa. <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-s-4-2019>

STUK. 2019a. STUKin määräykset. Päivitetty 3.7.2019. Luettu 30.5.2020. <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-maaraykset>

STUK. 2019b. STUK valvoo säteily- ja ydinturvallisuutta Suomessa. Päivitetty 2.9.2019. Luettu 30.5.2020. <https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/stuk-valvoo-sateily-ja-ydinturvallisuutta-suomessa>

STUK. 2020a. Ionisoiva säteily. Päivitetty 3.6.2020. Luettu 12.9.2020. <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily>

STUK. 2020b. Esimerkkejä säteilyannoksista. Päivitetty 25.8.2020. Luettu 15.9.2020. <https://www.stuk.fi/aiheet/sateilyvaara/esimerkkeja-sateilyannoksista>

Sudbrock, F., Uhrhan, K., Rimpler, A. & Schicha, H. 2011a. Dose and dose rate measurements for radiation exposure scenarios in nuclear medicine. Radiation Measurements 46, 1303–1306.

Sudbrock, F., Uhrhan, K., Rimpler, A. & Schicha, H. 2011b. Dose and dose rate measurements for radiation exposure scenarios in nuclear medicine. Luettu 13.9.2020.

<https://www.oramed-fp7.eu/-/media/Files/ORAMED/Presentations/43FSUD-BROCK.pdf?la=en&hash=31B817C6B9F8AF91AF66031D833E87894510C724>

Suomela, M., Rahola, T. & Muikku, M. 2003. Sisäinen säteily. Teoksessa Pöllänen, R. (toim). Säteily ympäristössä. Säteily ja ydinturvallisuus- kirjasarja. Osa 2. Helsinki: STUK, 245–298.

Säteilylaki 9.11.2018/859.

Tunninen, V. Ylifyysikko. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto. Syyskuu 2019. Satasairaala. Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen yksikkö.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Helsinki: TENK.

VNa ionisoivasta säteilystä 22.11.2018/1034.

Van den Wyngaert, T., Strobel, K., Kampen, W.U., Kuwert, T., van der Bruggen, W., Mohan H.K., Gnanasegaran, G., Delgado-Bolton, R., Weber W.A., Beheshti, M., Langsteger, W., Giammarile, F., Mottaghy, F.M. & Paycha, F. 2016. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 43, 1723–1738.

Vanhavere, F., Carinou, E., Gualdrini G., Clairand, I., Sans-Merce, M., Ginjaume, M., Nikodemova, D., Jankowski, J., Bordy, J–M, Rimpler, A., Wach, S., Martin, P., Struelens, L., Krim, S., Koukorava, C., Ferrari, P., Mariotti, F., Fantuzzi, E., Donadille, L., Itié, C., Ruiz, N., Carnicer, A., Fulop, M., Domienik, J., Brodecki, M., Daures, J., Barth, I. & Bilski P. 2012. ORAMED: Optimization of radiation protection of medical staff. EURADOS Report 2012–02.

Venelampi, E. 2020. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2019. STUK-B 247. Helsinki: STUK.

Vilkka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Vilkka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4. painos. Jyväskylä: PS–kustannus.

Weissleder, R., Wittenberg, J., Harisinghani, M.G. & Chen, J.W. 2007. *Primer of diagnostic imaging*. 4. Edition. United States: Elsevier.

Wimana, Z. 2019. Theoretical Basics of Radiopharmacy. Teoksessa Attard, M. (toim.) *Radiopharmacy: An Update. A Technologist's Guide*. EANM, 18–29.

Ziessman, H.A, O'Malley, J.P. & Thrall, J.H. 2006. *Nuclear Medicine: the Requisites in Radiology*. 3. Edition. United States.

Zito, F., Canzi, C. & Voltini, F. 2007. Best Practice in Radiation Protection. Teoksessa Huggett, S. (toim.) *Best Practice in Nuclear Medicine. Part 2. Technologist's Guide*. EANM, 21–29.

LIITTEET

Liite 1. Mittausprotokolla luuston gammakuvaukseen

MITTAUSPROTOKOLLA

Luuston gammakuvaus

Johdanto

Mittausten tarkoituksena on mitata annosnopeutta eri etäisyyksillä potilaasta kuvaustilanteessa. Annosnopeuksia mitataan potilailta, jotka ovat saaneet radioaktiivista lääkeainetta luuston gamma-kuvausta varten. Mittauksista kerätään potilaalle annetun radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuus, injisointiaika, mittausaika, taustasäteily sekä annosnopeudet etäisyyksiltä 2 m, 1 m, 50 cm ja 25 cm. Lisäksi kirjataan annosnopeus 1 metrin etäisyydeltä lyijykumisuojan kanssa. Mittausaineisto kirjataan tiedonkeruulomakkeelle (kuva 1). Tiedonkeruulomake on laite- ja mittaajakohtainen.

Mittaukset tulee suorittaa joka kerta samalla tavalla käyttäen samaa säteilymittaria. Mittaukset suoritetaan, kun potilas on aseteltu tutkimuspöydälle. Kaikki mittaukset otetaan potilaan olkapään korkeudelta, pituussuunnassa lantion kohdalta.

Esivalmistelut

Kuvaushuoneen lattiaan asetetaan teipillä merkit mittanauhan kanssa 25 cm:n, 50 cm:n, metrin ja kahden metrin etäisyydelle tutkimuspöydästä. Merkit asetetaan kaikkiin kuvaushuoneisiin, joissa mittausaineistoa tullaan keräämään.

Säteilymittari asetetaan roikkumaan tippatelineeseen ja se kiinnitetään teipillä tippatelineen varteen. Säteilymittarin takaseinän tulee olla kohti kuvauspöytää. Tippatelineen varteen merkitään teipillä oikea korkeus suhteessa potilaan olkapään korkeuteen.

Mittausvaiheet:

1. Varmista, että säteilymittarin ääni on kytketty pois.
2. Mittaa taustasäteily kuvaushuoneessa 2 metrin etäisyydeltä mittari kohti tutkimuspöytää. Mittaus suoritetaan juuri ennen potilaan kutsumista tutkimushuoneeseen.
3. Aseta tippateline 2 m:n päähän tutkimuspöydästä, tippatelineen jalassa oleva merkki lattian teippimerkin kohdalle. Mittarin tulee olla potilaan olkapään korkeudella ja pituussuunnassa lantion kohdalla. Odota lukeman tasaantumista ja seuraa sen jälkeen mittarin lukemaa n. 15 sekuntia. Kirjaa tiedonkeruulomakkeeseen suurin ja pienin lukema. Laske myöhemmin näiden keskiarvo ja kirjaa sekin lomakkeelle.
4. Siirrä teline 1 m etäisyydelle tutkimuspöydästä ja toista mittaus samalla tavalla.
5. Aseta lyijykumitakki henkarissa roikkumaan tippatelineeseen. Pue takki tippatelineen ympärille siten, että säteilymittari jää takin sisään mittarin takaseinä kohti takin etuosaa. Takin tulee olla edestä suljettu kaksin kerroin. Mittaa annosnopeus kuten edellä ja kirjaa tiedonkeruulomakkeelle.
6. Mittaa annosnopeus 50 cm etäisyydellä tutkimuspöydästä samoin kuin edellä.
7. Mittaa annosnopeus 25 cm etäisyydellä tutkimuspöydästä samoin kuin edellä.

Potilas	Kirjattu aktiivisuus (MBq)	Injisointi-aika	Mittaus-aika	Tausta-säteily ($\mu\text{Sv/h}$)	2 m ($\mu\text{Sv/h}$)	1 m ($\mu\text{Sv/h}$)	Lyijykumisuojan kanssa, 1 m ($\mu\text{Sv/h}$)	50 cm ($\mu\text{Sv/h}$)	25 cm ($\mu\text{Sv/h}$)	Huomioita
1										
2										

Kuva 1. Tiedonkeruulomake

Liite 2. Mittausprotokolla sydänlihasperfuusion gammakuvaukseen

MITTAUSPROTOKOLLA

Sydänlihasperfuusion gammakuvaus

Johdanto

Mittausten tarkoituksena on mitata annosnopeutta eri etäisyyksillä potilaasta kuvaustilanteessa. Annosnopeuksia mitataan potilailta, jotka ovat saaneet radioaktiivista lääkeainetta sydänlihasperfuusion gammakuvausta varten. Mittauksista kerätään potilaalle annetun radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuus, injisointiaika, mittausaika, taustasäteily sekä annosnopeudet etäisyyksiltä 2 m, 1 m, 50 cm ja 25 cm. Lisäksi kirjataan annosnopeus 1 metrin etäisyydeltä lyijykumisuojan kanssa. Mittausaineisto kirjataan tiedonkeruulomakkeelle (kuva 1). Tiedonkeruulomake on laite- ja mittaajakohtainen.

Mittaukset tulee suorittaa joka kerta samalla tavalla käyttäen samaa säteilymittaria. Mittaukset suoritetaan ennen kuvauksen aloittamista, kun potilas on aseteltu tutkimuspöydälle. Kaikki mittaukset otetaan potilaan pituussuunnassa sydämen kohdalta, olkapään korkeudelta.

Esivalmistelut

Kuvaushuoneen lattiaan asetetaan teipillä merkit mittanauhan kanssa 25 cm:n, 50 cm:n, yhden ja kahden metrin etäisyydelle tutkimuspöydän reunasta. Merkit asetetaan kaikkiin kuvaushuoneisiin, joissa mittausaineistoa tullaan keräämään.

Säteilymittari asetetaan roikkumaan tippatelineeseen ja se kiinnitetään teipillä tippatelineen varteeseen. Säteilymittarin takaseinän tulee olla kohti kuvauspöytää. Tippatelineen varteeseen merkitään teipillä oikea korkeus suhteessa potilaan olkapään korkeuteen.

Mittausvaiheet:

1. Merkitse tiedonkeruulomakkeeseen, onko kyseessä lepo- vai rasituskuvaus (R/L).
2. Varmista, että säteilymittarin ääni on kytketty pois.
3. Mittaa taustasäteily kuvaushuoneessa 2 metrin etäisyydeltä mittari kohti tutkimuspöytää. Mittaus suoritetaan juuri ennen potilaan kutsumista tutkimushuoneeseen.
4. Aseta tippateline 2 m:n päähän tutkimuspöydästä, tippatelineen jalassa oleva merkki lattian teippimerkin kohdalle. Mittarin tulee olla potilaan olkapään korkeudella ja pituussuunnassa sydämen kohdalla. Odota lukeman tasaantumista ja seuraa sen jälkeen mittarin lukemaa n. 15 sekuntia. Kirjaa tiedonkeruulomakkeeseen suurin ja pienin lukema. Laske myöhemmin näiden keskiarvo ja kirjaa sekin lomakkeelle.
5. Siirrä teline 1 m etäisyydelle tutkimuspöydästä ja toista mittaus samalla tavalla.
6. Aseta lyijykumitakki henkarissa roikkumaan tippatelineeseen. Pue takki tippatelineen ympärille siten, että säteilymittari jää takin sisään mittarin takaseinä kohti takin etuosaa. Takin tulee olla edestä suljettu kaksin kerroin. Mittaa annosnopeus kuten edellä ja kirjaa tiedonkeruulomakkeelle.
7. Mittaa annosnopeus 50 cm etäisyydellä tutkimuspöydästä samoin kuin edellä.
8. Mittaa annosnopeus 25 cm etäisyydellä tutkimuspöydästä samoin kuin edellä.

Potilas	Kirjattu aktiivisuus (MBq)	Injisointiaika	Mittausaika	R/L	Taustasäteily ($\mu\text{Sv/h}$)	2 m ($\mu\text{Sv/h}$)	1 m ($\mu\text{Sv/h}$)	Lyijykumisuojan kanssa, 1 m ($\mu\text{Sv/h}$)	50 cm ($\mu\text{Sv/h}$)	25 cm ($\mu\text{Sv/h}$)	Huomioita
1											
2											

Kuva 1. Tiedonkeruulomake

Liite 3. Ruiskumittausprotokolla

RUISKUMITTAUSPROTOKOLLA

Johdanto

Ruiskumittauksen tarkoituksena on tutkia etäisyyden ja ruiskunsuojan vaikutusta annosnopeuteen. Mittaukset suoritetaan vetokaapissa yhtenä päivänä osaston työpäivän päätteeksi. Mitattavana aineena käytetään Tc-99m -eluaattia. Mittauksen aloitusaktiivisuudeksi on valittu 800 MBq. Tarkoituksena on vähentää asteittain ruiskussa olevaa aktiivisuutta ja mitata annosnopeutta kolmelta etäisyydeltä suojan kanssa ja ilman. Mittaukset suoritetaan säteilymittarilla ja etäisyydet ovat 0-1cm, 10 cm ja 20 cm mittarista.

Mitatessa odotetaan säteilymittarin lukeman tasaantumista, minkä jälkeen kirjataan suurin mittarin näyttämä lukema. Mittaukset suorittaa röntgenhoitaja ja opinnäytetyön tekijät kirjaavat lukemat ylös. Tiedonkeruulomakkeelle kirjataan annosnopeudet valituilta etäisyyksiltä (suojaan kanssa ja ilman) sekä annoskalibraattorin näyttämät aktiivisuudet.

Esivalmistelut

Mittauksissa tarvittavat välineet ovat: eluaatti, ruisku, ruiskunsuoja, säteilymittari, paperiarkkipohja, annoskalibraattori ja tiedonkeruulomake.

Etäisyyksien vakioimiseksi käytetään paperiarkkia (A4), johon on mitattu valitut etäisyydet (0-1cm, 10 cm ja 20 cm) säteilymittarista. Säteilymittarin paikka on paperiarkin reunassa.

Mittausvaiheet

1. Aseta tarvittavat välineet vetokaappiin. Säteilymittari tulee asettaa paperiarkkipohjan reunalle.
2. Mittaa taustasäteily vetokaapissa ja kirjaa se tiedonkeruulomakkeelle. (Huom. Varmista, ettei vetokaappiin ole jäänyt mitään ylimääräistä, joka voisi vaikuttaa taustasäteilyyn.)
3. Vedä eluaattia ruiskuun n. 800 MBq.
4. Mittaa aktiivisuus annoskalibraattorissa ja kirjaa tiedonkeruulomakkeelle.
5. Aseta ruisku 20 cm etäisyyden kohdalle säteilymittarista. Odota säteilymittarin lukeman tasaantumista. Kirjaa sen jälkeen tiedonkeruulomakkeelle suurin mittarin näyttämä lukema.
6. Aseta ruisku 10 cm etäisyyden kohdalle säteilymittarista ja suorita mittaus uudelleen samalla tavalla.
7. Aseta ruisku 0-1cm etäisyyden kohdalle säteilymittarista ja suorita mittaus uudelleen samalla tavalla.
8. Aseta ruiskun päälle ruiskunsuoja ja mittaa annosnopeus ensin 20 cm sitten 10 cm ja lopuksi 0-1cm kohdalta.
9. Vähennä eluaattista aktiivisuutta n.100 MBq ja suorita mittaukset uudelleen samalla tavalla (kohdat 4-9).
10. Suorita mittauksia niin kauan, että ruiskun aktiivisuus on alle 300 MBq.

Liite 4. Ruiskumittausten tiedonkeruulomake

TIEDONKERUULOMAKE**Ruiskumittaukset**

Mittari: _____

Mittaaja: _____

Mittaus- kierros	annos- kalibraattorin näyttämä aktiivisuus (MBq)	annosnopeus etäisyydellä 20 cm ($\mu\text{Sv/h}$)		annosnopeus etäisyydellä 10 cm ($\mu\text{Sv/h}$)		annosnopeus etäisyydellä 0-1 cm ($\mu\text{Sv/h}$)	
		ilman suojaa	suojan kanssa	ilman suojaa	suojan kanssa	ilman suojaa	suojan kanssa
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Liite 5. Prosenttitaulukko etäisyyden vaikutuksesta annosnopeuden pienentymiseen luuston gammakuvauksessa kahdessa eri sairaalassa

Etäisyys potilaasta	Annosnopeuden pienentyminen verrattuna annos- nopeuteen etäisyydellä 0,25 m (%)	Annosnopeuden pienentyminen verrattuna annos- nopeuteen etäisyydellä 0,50 m (%)	Annosnopeuden pienentyminen verrattuna annos- nopeuteen etäisyydellä 1 m (%)
0,25 m			
TAYS	-	-	-
Satasairaala	-	-	-
0,50 m			
TAYS	53,0 % (42,9 % – 59,1 %)	-	-
Satasairaala	51,4 % (40,6 % – 62,2 %)	-	-
1 m			
TAYS	81,5 % (75,5 % – 84,7 %)	60,2 % (45,6 % – 70,9 %)	-
Satasairaala	78,8 % (75,0 % – 83,9 %)	56,0 % (49,6 % – 62,9 %)	-
2 m			
TAYS	92,5 % (87,5 % – 94,9 %)	83,9 % (72,2 % – 91,0 %)	60,2 % (49,0 % – 70,1 %)
Satasairaala	91,5 % (89,4 % – 93,0 %)	82,4 % (79,9 % – 85,4 %)	59,9 % (53,2 % – 67,0 %)

Liite 6. Prosenttitaulukko etäisyyden vaikutuksesta annosnopeuden pientymiseen sydänlihaslihasperfuusion gammakuvauksissa TAYS:ssa

Etäisyys potilaasta	Annosnopeuden pientyminen verrattuna annosnopeuteen etäisyydellä 0,25 m (%)	Annosnopeuden pientyminen verrattuna annosnopeuteen etäisyydellä 0,50 m (%)	Annosnopeuden pientyminen verrattuna annosnopeuteen etäisyydellä 1 m (%)
0,25 m	-	-	-
0,50 m	52,3 % (35,7 % – 67,4 %)	-	-
1 m	80,6 % (66,0 % – 85,2 %)	59,3 % (47,1 % – 68,1 %)	-
2 m	92,0 % (84,1 % – 94,9 %)	83,4 % (75,2 % – 87,3 %)	59,0 % (47,8 % – 66,7 %)