



Työperäinen säteilyaltistus PET-TT-tutkimuksissa

Sanna Lahti

Tiina Raita

OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2021

Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Röntgenhoitajan tutkinto-ohjelma

LAHTI, SANNA & RAITA, TIINA:
Työperäinen säteilyaltistus PET-TT-tutkimuksissa

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Syyskuu 2021

Tampereen yliopistollisen sairaalan isotooppiosaston muutto vuonna 2020 uusiin tiloihin toi tarpeen tutkia henkilökunnan säteilyaltistusta tarkemmin. Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä PET-TT-tutkimuksissa isotooppiosaston uusissa työtiloissa sekä tarkastella etäisyyden, väliaineen ja ajan vaikutusta säteilyannoksiin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida Tampereen yliopistollisen sairaalan isotooppilääketieteen osastolla mitattuja annosnopeuksia sekä kuvailla väliaineen ja etäisyyden merkitystä annosnopeuteen sekä ajan ja annosnopeuden vaikutusta henkilökunnan säteilyannoksiin PET-potilaiden lepo- ja kuvaushuoneessa.

Opinnäytetyö toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena ja yhteistyökumppanina toimii Pirkanmaan sairaanhoitopiiri, Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Työn tilaajana toimi kliinisen isotooppilääketieteen yksikkö. Tutkimusaineisto kerättiin annosnopeusmittauksina isotooppilääketieteen osaston PET-TT-tutkimusten kuvaus- ja lepoahuoneessa. Aineisto kerättiin PET-TT-tutkimusten lepo- ja kuvaushuoneessa seitsemästä mittauskohdasta. Mittauksia tehtiin 59 kertaa ja aineisto on annosnopeuksia, $\mu\text{Sv/h}$. Potilaiden saamat aktiivisuudet kirjattiin ja henkilökunnan työskentelynopeutta havainnoitiin.

Työn tulosten perusteella säteilysuojelun keskeiset periaatteet aika, suojat ja etäisyys ovat tärkeitä työkaluja säteilytyötä tekevän henkilökunnan säteilyannoksen pienentämisessä. Mitattujen annosnopeuksien perusteella sekä etäisyys että väliaine pienentävät tehokkaasti annosnopeutta. Henkilökunnan työskentelynopeus vaikuttaa heidän saamiinsa annoksiin.

Jatkotutkimusehdotuksena työn tekijät esittävät, että annosnopeusmittauksia tehdään myös isotooppiosaston muissa tiloissa, kuten käytävillä sekä gammatutkimusten injektiohuoneessa. Näin voitaisiin saada selville rakenteellisen säteilysuojelun yksityiskohtia.

ABSTRACT

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

LAHTI, SANNA & RAITA, TIINA:
Work Related Radiation Exposure in PET/CT Examinations

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 2 pages
September 2021

Since the nuclear medicine department of Tampere University Hospital has moved to new premises in 2020, it is important to determine the amount of radiation that radiographers receive while working in the department. The purpose of this study was to measure dose rates in PET/CT studies. The aim was to study how shielding and distance affect dose rates in the injection room and study room. Another goal was to find out how time and dose rates affect radiation doses received by radiographers.

The cooperation partner of this quantitative study was the nuclear medicine department of Tampere University Hospital. The data were gathered in the injection room and in the PET/CT study room. There were seven measuring points in the rooms and data were collected 59 times. The data were dose rates, $\mu\text{Sv/h}$. The amount of activity administered to patients (MBq) was registered and the work pace of the staff was observed.

Distance and shielding decrease radiation rates considerably. Dose rates near the doorway of the study room were approximately 8 times lower than those near the study table and dose rates behind a wall were significantly lower than those near a patient injected with radiopharmaceuticals. Working efficiently and paying attention to work pace lowers the radiographers' radiation dose.

Key words: work related radiation protection, PET/CT, 18F-FDG

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	18F-FDG PET-TT-TUTKIMUS JA SEN KULKU	7
3	TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS PET-TT-TUTKIMUKSISSA	10
	3.1 Säteilyannokset ja annosrajat	10
	3.2 Työperäinen säteilyaltistus kirjallisuudessa	10
	3.3 Työperäisen säteilyaltistuksen vähentäminen	13
4	TUTKIMUKSEN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	15
5	TUTKIMUKSEN MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT	16
6	MITTAUSPROTOKOLLAN VALMISTELU JA AINEISTON KERUU ...	19
	6.1 Mittausprotokollan suunnittelu ja mittausten valmistelu	19
	6.2 Opiskelijoiden perehdyttäminen mittausten suorittamiseen	24
7	AINEISTO JA SEN ANALYYSI	29
	7.1 Lepohuoneesta kerätty aineisto	29
	7.2 Kuvaushuoneesta kerätty aineisto	31
	7.3 Aineiston analyysi	33
8	TULOKSET LEPOHUONEESTA	34
	8.1 Annosnopeus lepo huoneen etu- ja takaosassa	34
	8.2 Väliaineen vaikutus annosnopeuteen	35
	8.3 Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen	37
	8.4 Röntgenhoitajan säteilyaltistus	39
9	TULOKSET KUVAUSHUONEESTA	42
	9.1 Vaihteluvälit ja keskiluvut mittaushetkeittäin	42
	9.2 Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen	43
	9.3 Asetteluajan vaikutus röntgenhoitajan saamaan säteilyannokseen	44
10	POHDINTA	46
	10.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	46
	10.2 Luotettavuus ja eettisyys	49
	10.3 Oma kokemus ja jatkotutkimusehdotukset	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	58
	Liite 1. Lepohuoneen tiedonkeruulomake	58
	Liite 2. Kuvaushuoneen tiedonkeruulomake	59

1 JOHDANTO

Isotooppilääketiede on lääketieteen ala, jossa radioaktiivisia lääkkeitä käytetään kehon tutkimiseen ja hoitoon. Positroniemissiotomografiatutkimus yhdistettynä tietokonetomografiaan, eli PET-TT, on viime vuosina kasvattanut osuuttaan isotooppitutkimuksista. Isotooppitutkimuksia tehtiin vuonna 2018 yhteensä 42411. Tästä tutkimusmäärästä PET-TT-tutkimuksia oli 13160. PET-TT-tutkimusten määrä on kasvanut 46,3 % vuodesta 2015. (Kaijaluoto 2020, 10.)

PET-tutkimusten lisääntyminen tuo tarvetta säteilyturvallisen työskentelyn kehittämiseksi. Etenkin säteilyannoksia tulisi seurata, jotta ne saataisiin pysymään mahdollisimman alhaisena niin työntekijöille kuin potilaillekin. Röntgenhoitajien säteilyturvallisuuden ja säteilyaltistuksen minimoinnin kannalta on tärkeää kehittää työskentelytapoja edelleen tehokkaammiksi ja turvallisemmiksi. (Alenezi & Soliman 2015; Lecchi, Malaspina & Del Sole 2016, 2279–2282.)

Opinnäytetyön yhteistyökumppanina toimii Pirkanmaan sairaanhoitopiiri, Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Työn tilaajana toimii klinisen isotooppilääketieteen yksikkö. Yksikkö on muuttanut uusiin tiloihin vuonna 2020. Muuton jälkeen PET-TT-tutkimuksia suoritetaan uusilla toimintatavoilla ja aiempaa enemmän.

Opinnäytetyön aihe on noussut tarpeesta selvittää työperäistä altistusta PET-TT-tutkimuksissa. Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä PET-TT-tutkimuksissa isotooppiosaston uusissa työtiloissa sekä tarkastella etäisyyden, väliaineen ja ajan vaikutusta säteilyannoksiin. Työn tavoitteena on tuottaa tietoa PET-tutkimusten kuvaus- ja lepohuoneen säteilyannosnopeuksista. Annosnopeuksia tarkastelemalla voi päätellä röntgenhoitajien PET-TT-tutkimuksissa saamia säteilyannoksia eri kohdissa lepo- ja kuvaushuonetta. Tämä auttaa selvittämään, missä järjestyksessä potilaat kannattaa sijoitella PET-tutkimusten lepohuoneen sängyille. PET-tutkimusten kuvaushuoneen annosnopeusmittausten avulla halutaan selvittää, kuinka paljon etäisyys vaikuttaa säteilyn vaimenemiseen. Opinnäytetyö toteutetaan kvantitatiivisena tutkimuksena.

Opinnäytetyön aineistona käytetään röntgenhoitajaopiskelijoiden ammattitaitoa edistävien harjoitteluiden aikana tehtyjä annosnopeusmittauksia. Mittauksia teki yhdeksän röntgenhoitajaopiskelijaa kolmella erillisellä harjoittelujaksolla. Aineisto on kerätty Tampereen yliopistollisen sairaalan isotooppiosastolla PET-TT-tutkimusten yhteydessä potilaiden lepo- ja kuvaushuoneissa ja kuvaushuoneissa. Annosnopeudet on mitattu sellaisten tutkimusten yhteydessä, joissa radioaktiivisena lääkkeenä on käytetty ¹⁸F-FDG:tä.

2 18F-FDG PET-TT-TUTKIMUS JA SEN KULKU

Ensimmäiset PET-laitteet tulivat käyttöön Yhdysvalloissa jo 1950-luvulla. Tuolloin niihin ei oltu vielä yhdistetty muita kuvantamismodaliteetteja, kuten tietokonetomografiaa tai magneettikuvausta. Aluksi PET-kuvantamisessa käytettiin usein hapen, typen tai gadoliniumin isotooppeja. 18F-FDG tuli käyttöön vasta myöhemmässä vaiheessa. (Brownell, 1999; Jones & Townsend 2017.)

PET-TT-tutkimus on tärkeä tutkimusmenetelmä, mutta se altistaa potilaiden lisäksi myös työntekijät ionisoivalle säteilylle. PET-TT-tutkimuksissa yleisimmin käytetty radioaktiivinen isotooppi on fluori-18. F-18-isotooppi hajoaa keskimäärin energialla 0,63 MeV. Sen puoliintumisaika on 109,8 minuuttia ja puoliintumispaksuus (HVL) on 4,11 millimetriä lyijyä. Säteilysuojelua suunniteltaessa on otettava isotoopin ominaisuudet huomioon. (Pant & Senthamizhchelvan 2006, 100; Kul-seng & Sandstrøm 2015, 2–3.)

PET-TT-tutkimuksen avulla saadaan laajasti tietoa elimistön toiminnasta, aineenvaihdunnasta ja biologiasta. Yli kaksi kolmasosaa tutkimuksista liittyy syövän diagnostiikkaan ja hoitoon. Muita yleisimpiä tutkimusindikaatioita ovat infektioiden ja tulehduksellisten tilojen selvittely. (Jones & Townsend 2017; Janatuinen & Kempainen 2020, 1062–1067.)

PET-TT-tutkimus vaatii onnistuakseen tarkat esivalmistelut. Potilaan veren glukoosipitoisuus selvitetään ennen tutkimusta. Euroopan isotooppilääketieteen yhdistyksen (EANM) julkaiseman PET-TT-tutkimuksia käsittelevän oppaan mukaan tutkimukseen tulevan potilaan veren glukoosipitoisuuden tulisi olla alle 7,8 mmol/l. Potilasta haastatteleamalla varmistetaan, että potilas on noudattanut tutkimukseen valmistautumisen ohjeistusta. Potilaan tulee olla ravinnotta vähintään neljä tuntia ennen tutkimukseen saapumista. Mahdollisen insuliinilääkityksen saa ottaa aamulla ennen tutkimusta. (Bozkurt 2011, 44–45.) PSHP:n potilasohje PET-TT-tutkimukseen tulevalle potilaalle noudattelee EANM:n ohjeistusta.

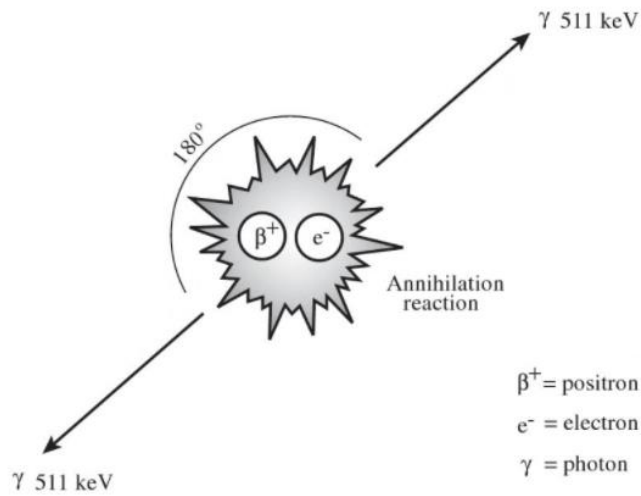
Oleellinen osa PET-TT-tutkimusta on lepo, jolla minimoidaan radioaktiivisen lääkkeen kertyminen lihaksiin. Puolen tunnin levon jälkeen potilaalle injisoidaan radioaktiivinen lääke joko annostelemalla manuaalisesti tai automaattiannostelijalla. Radioaktiivisena lääkkeenä käytetään ^{18}F -FDG (fluorodeoksiglukoosi) eli fluori-18-isotooppia, joka on yhdistetty sokerivalmisteseen. ^{18}F -FDG jää nopean sokeriaineenvaihdunnan omaavien solujen sisään. Radioaktiivisen lääkkeen annostelun jälkeen potilas jatkaa lepoa. Juuri ennen kuvausta potilas ohjeistetaan tyhjentämään virtsarakko. (Nguyen ym. 2008, 66; Janatuinen & Kempainen 2020, 1062–1067.)

PET-TT-kuvaus suoritetaan yleensä noin tunnin kuluttua radioaktiivisen lääkkeen annostelusta. Kuvauksen aikana potilas makaa kuvauspöydällä, joka liikkuu kuvausputken läpi. Potilaan tulee maata liikkumatta tutkimuksen ajan. Kuvattavalta alueelta poistetaan kaikki metalliset esineet, esimerkiksi korut, hammasproteesit ja hakaset. (Nguyen ym. 2008, 66; Tays 2020; Janatuinen & Kempainen 2020, 1062–1067.)

PET-TT-kuvaus tehdään yhdistelmälaiteella, jossa PET-kameraan on yhdistetty tietokonetomografialaite. PET-TT-kuvaus kestää tutkittavasta kohteesta ja laitteesta riippuen noin 15–60 minuuttia. (Nguyen ym. 2008, 66.) PET-TT-kuvaus aloitetaan suunnittelukuvalla, jonka avulla määritetään PET-kuvauksen alue. Alueelta kuvataan matala-annos-TT, jota käytetään löydösten paikallistamiseen ja attenuatio- eli vaimennuskorjaukseen. Tämän jälkeen alkaa varsinainen PET-kuvaus. PET-kuvauksen jälkeen voidaan kuvata diagnostinen TT käyttäen jodivarjoainetta. (Touy ym. 2016, 38; Janatuinen & Kempainen 2020, 1062–1067.)

Säteilyn havaitseminen PET-TT -kameralla perustuu vastakkaisilla suunnilla oleviin ilmaisimiin, jotka havaitsevat samanaikaiset ja energioiltaan samansuuruiset gammakvantit. Fluori-18 hajoaa positiivisena beetahajoamisena, jossa vapautuvat positronit törmäävät elektroneihin. Törmäyksessä tapahtuu annihilaatio ja vapautuva energia poistuu kahtena energialtaan samansuuruisina gammakvantteina, jotka etenevät vastakkaisiin suuntiin toisistaan (kuva 1). Nämä energialtaan 511 KeV suuruiset gammakvantit

voidaan havaita ilmaisimilla, jolloin säteilyn lähtöpiste voidaan paikantaa. (Zanzonico 2003, 87; Workman & Coleman 2006, 3–4; Omami 2014, 325–332.)



KUVA 1. Positroni-elektroni annihilaatio. (Workman & Coleman 2006, 4.)

Kuvauksen jälkeen potilas voi lähteä kotiin. Potilasta ohjeistetaan juomaan runsaasti nesteitä, jotta tutkimusta varten injisoitu ^{18}F -FDG poistuu kehosta. (Nguyen ym. 2008, 67.) Potilas ohjeistetaan kysymään tutkimuksen tuloksista hoitavalta lääkäriltä (Tays 2020).

3 TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS PET-TT-TUTKIMUKSISSA

Työperäisen säteilyaltistuksen vähentämisessä kannattaa muistaa säteilytoiminnan yleiset säteilysuojeluperiaatteet: aika, etäisyys ja suojat. Näin voidaan pitää henkilökunnan säteilyaltistus sallituissa rajoissa.

3.1 Säteilyannokset ja annosrajat

Säteilyannoksen yksikkö on Sievert (Sv) (STUK 2019). Annosnopeus ilmaistaan yksiköllä mikrosievertiä tunnissa ($\mu\text{Sv/h}$). Altistumisen arvioimiseen käytetyt suureet säteilysuojelussa ovat ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos. Ekvivalenttiannos kuvaa tietyn elimen tai kudoksen saamaa keskimääräistä säteilyannosta. Efektiivinen annos kuvastaa säteilyn aiheuttamaa terveydellistä kokonaishaittaa. Suureille asetettuja enimmäisarvoja kutsutaan annosrajoiksi. Säteilytyöntekijöille ja väestölle on säädetty omat erilliset annosrajat. Suurin sallittu efektiivinen annos säteilytyöntekijöille on 20 mSv vuodessa. Silmän mykiön ekvivalenttiannoksen raja on säteilytyöntekijöillä 50 mSv vuodessa ja 100 mSv viiden peräkkäisen vuoden aikana. Ihon ja raajojen annosraja 500 mSv vuodessa. Väestön edustajan efektiivinen annos saa olla vuodessa korkeintaan 1 mSv. (VNa 1034/2018.)

Säteilylaissa (859/2018) säteilytyöntekijät on luokiteltu A- tai B-luokkaan. Säteilytyöntekijöiden luokittelu perustuu arvioon työstä aiheutuvasta säteilyaltistuksesta ja potentiaalisesta altistuksesta. Työntekijän luokka voi olla A vain, jos työterveyslääkäri on arvioinut työntekijän soveltuvan työhön terveydentilansa puolesta. Luokittelu tulee tehdä ennen säteilytyön aloittamista ja tarkistaa säännöllisesti tarkkailemalla altistusolosuhteita ja työntekijän terveydentilaa. (Säteilylaki 859/2018.)

3.2 Työperäinen säteilyaltistus kirjallisuudessa

PET-TT-tutkimuksissa työskentelevän henkilökunnan kokokehon sädeannoksia on tutkittu kansainvälisissä tutkimuksissa. Lin, Fangin ja Lin (2020) tutkimuksessa kerättiin dataa kuudelta PET-TT-tutkimuksia tekevältä osastolta. Korkein kokokehon keskimääräinen sädeannos yhdellä osastoista oli 8 mSv vuodessa.

Neljällä osastolla keskimääräiset kokokehon sädeannokset vaihtelivat välillä 4–6 mSv vuodessa. Yhdellä osastoista kokokehon keskimääräinen sädeannos oli 2 mSv vuodessa, mikä oli muihin osastoihin verrattuna matala. (Li, Fang, & Li 2020.) Ahmedin, Zamzamin ja Yassinin (2019) tutkimuksessa yhdistettiin kolmen PET-TT-tutkimuksia tekevän osaston keskimääräiset kokokehon sädeannokset. Röntgenhoitajan kokokehon sädeannos oli keskimäärin 6,92 mSv vuodessa. (Ahmed, Zamzam & Yassin 2019, 287–291.) Emad El-dinin ym. (2017) tutkimuksessa henkilökunnan vuotuinen kokokehon annos vaihteli välillä 1,93–2,35 mSv riippuen heidän toimenkuvastaan. Korkeimman annoksen saivat ne henkilökunnan jäsenet, jotka toimivat radioaktiivisen lääkkeen annostelussa. Dataa kerättiin kolmelta PET-TT-tutkimuksia tekevältä osastolta. (Emad El-din ym. 2017.)

Kulseng ja Sandstrøm (2015) mittasivat annosnopeuksia 18F-FDG:tä saaneiden potilaiden läheltä. Tutkimus osoitti, että röntgenhoitajan sijoittumisella potilaan suhteen voi olla suuri merkitys hoitajan säteilyaltistukselle. Potilaan pään ja rinnan läheltä mitattiin suurimmat annosnopeudet ja jalkojen luota pienimmät, joten hoitajan olisi tutkijoiden mukaan hyödyllistä siirtyä potilaan sängyn jalkopäähän päin aina kun mahdollista. (Kulseng & Sandstrøm 2015, 10, 12.)

Peetin ym. (2012) tutkimuksessa seurattiin henkilökunnan kokokehon sädeannoksia neljän vuoden ajan ja tutkittiin, miten sädeannoksen suuruuteen vaikuttaa henkilökunnan opastaminen suojausten käyttöön ja etäisyyden hyödyntämiseen säteilyaltistuksen vähentämiseksi. Henkilökuntaa koulutettiin ja heidän kanssaan käytiin läpi työnkulkua. Heitä opastettiin konkreettisesti, missä heidän tulisi seisoa tietyssä tutkimuksen vaiheessa ja millaisia suojuuksia on mahdollista käyttää eri vaiheissa tutkimusta. Säteilyaltistusaikaa pienennettiin harjoittelemalla radioaktiivisten lääkkeiden käsittelyä ilman radioaktiivista komponenttia. Tutkimuksen alussa vuonna 2005 työntekijän keskimääräinen sädeannos potilasta kohden oli 9,5 μ Sv ja tutkimuksen lopussa vuonna 2008 vastaava lukema oli 4,8 μ Sv. (Peet ym. 2012, 643–645.)

Peetin tutkimuksessa työnkulusta tehtiin kaavio. Kaaviossa eroteltiin vaiheet, joissa oltiin tekemisissä säteilevän potilaan kanssa (kuva 2). Vaiheet, joissa sä-

teilevän potilaan kanssa ollaan tekemisissä, on merkitty punaisella värillä. Ne vaiheet, joissa ei ole säteilyaltistusta on merkitty sinisellä värillä. (Peet ym. 2012, 645.)

Tutkimuksen kaavio on muokattu vastaamaan Taysin isotooppiosaston PET-TT-tutkimuksen työnkulkua. Kanylointi on merkitty punaisella värillä kaavioon, koska lepuhuoneessa on useimmiten säteileviä potilaita kanyloinnin tapahtuessa. Potilaan lepo on merkitty sinisellä, koska potilaan levon aikana röntgenhoitajan ei tarvitse työskennellä potilaan kanssa. Työnkulukaaviosta on merkitty keltaisilla raameilla ne vaiheet tutkimuksesta, joiden työperäistä säteilyaltistusta tämän opinnäytetyön annosnopeusmittaukset koskevat.



KUVA 2. 18-F-FDG PET-TT-tutkimuksen työnkulukaavio, joka näyttää henkilöstön altistumisen vaiheet punaisella. (Muokattu Peet ym. 2012, 645.)

Suomessa isotooppiosaston säteilyaltistusta on käsitelty opinnäytetöissä. Pikkarainen ja Planting (2018) tekivät kirjallisuuskatsauksen työperäisen säteilyaltistuksen mittaamisesta isotooppiosastolla. Kirjallisuuskatsauksessa on koottu yhteen henkilödosimetreista tehtyjä tutkimuksia. (Pikkarainen & Planting, 2018.) Koistinahon (2013) opinnäytetyön tuotteena syntyi opas OYS:n isotooppiosastolle henkilökunnan säteilysuojelun optimoinnista (Koistinaho, 2013).

Tämä opinnäytetyö on jatkotutkimus Hakkaraisen ja Hirsimäen (2020) opinnäytetyöstä ”Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä, etäisyyden ja väliaineen vaikutus annosnopeuteen.” Hakkarainen ja Hirsimäki tutkivat työperäistä sätei-

lyaltistusta isotooppiosastolla sekä etäisyyden ja väliaineen vaikutusta annosnopeuteen. Tutkimus tehtiin teknetium 99m -tutkimuksissa. Tutkimuksen tulosten perusteella etäisyyden kasvaessa 0,25 metristä 0,50 metriin, annosnopeus puolittuu. Etäisyyden kasvaessa kahteen metriin sädeannos pieneni noin 90 %. (Hakkarainen & Hirsimäki, 2020.)

3.3 Työperäisen säteilyaltistuksen vähentäminen

Henkilökunnan säteilyaltistusta voi pienentää vähentämällä altistusaikaa, käyttämällä suojausta ja lisäämällä etäisyyttä säteilylähteeseen (Vrigneaud ym. 2010, 16–36; Peet ym. 2012, 643–645; Lecchi, Malaspina & Del Sole 2016, 2279). Bixler ym. (1999) luettelevat keinoja, joilla henkilökunnan säteilyaltistusta voidaan pienentää. Aika on yksi tärkeimmistä suojauskeinoista. Tutkimuksen huolellinen suunnittelu ja etukäteisvalmistelu auttavat lyhentämään aikaa, jonka röntgenhoitaja joutuu viettämään radioaktiivisen lääkkeen saaneen potilaan läheisyydessä. Etäisyyden ottaminen säteilylähteeseen mahdollisuuksien mukaan vähentää säteilyaltistusta neliölain mukaan. Ruiskunsuojia, tiililinoja ja lyijysuojia tulee käyttää tarvittaessa. Lopuksi Bixler ym. muistuttavat henkilökohtaisen annosseuranan tärkeydestä. (Bixler ym. 1999.)

Alenezin ja Solimanin (2015) mukaan potilaan huolellinen ohjeistaminen ennen radioaktiivisen lääkkeen annostelua on tärkeä keino vähentää työperäistä säteilyaltistusta. Kaikki tutkimukseen liittyvät ohjeistukset tulisi antaa ennen annostelua. Radioaktiivisen lääkkeen annostelun jälkeen potilaan lähellä tulee olla niin vähän kuin mahdollista. Työntekijän tulee muistaa etäisyyden ottaminen potilaaseen myös silloin, kun potilasta saatetaan lepohuoneesta kuvaushuoneeseen ja silloin, kun potilasta asetellaan kuvauspöydälle. Potilaan asetteluajan tulee olla mahdollisimman lyhyt. Myös henkilökunnan työnteon järjestelyillä on merkitystä säteilynsuojeluun. Säteilyaltistuksen vähentämisen kannalta on hyvä kouluttaa työntekijöitä eri tehtäviin isotooppiosastolla ja harjoittaa työnkiertoa. Tutkijat muistuttavat, että ¹⁸F-FDG:n annostelu tulisi olla kokeneen työntekijän tehtävä. (Alenezi & Soliman 2015, 271–272.)

Robertsin ym. (2005) tutkimuksessa selvitettiin suojauksen merkitystä PET-TT-tutkimuksia tekevän henkilökunnan säteilyaltistuksessa. Henkilökunnan

säteilyannoksia saatiin pienennettyä lähes puoleen käyttämällä asianmukaisia ruiskunsuojia radioaktiivisia lääkkeitä käsiteltäessä. (Roberts ym. 2005.)

Automaattiannostelijan käyttö on korvannut viime vuosina manuaalista annostelua. Automaattiannostelijan käyttö vähentää tutkimusten mukaan röntgenhoitajan säteilyaltistusta, parantaa annostelun tarkkuutta ja vähentää kontaminaatiota. (Lecchi ym. 2012, 1720–1729; Salesses ym. 2016, 16; Janatuinen & Kemppainen 2020, 1062–1067; Skovorodko 2020, 169–175.) Annosnopeudet, joille röntgenhoitaja altistuu radioaktiivista ^{18}F -FDG:tä annosteltaessa, voivat olla jopa $170 \mu\text{Sv/h}$. Tästä syystä säteilysuojeluun on syytä kiinnittää erityistä huomiota (Verma ym. 2016, 27–30). Joissakin tapauksissa säteilytyöntekijöiden käsistä mitatut vuosiannokset ovat ylittäneet suositellut annosrajat (Carnicer ym. 2011, 1277–1282; Sans-Merce ym. 2011, 1330–1333). Skovorodkon ym. (2020) tutkimuksessa selvitettiin PET-TT-tutkimuksia tekevien röntgenhoitajien saamia kokokehon säteilyannoksia kahta eri automaattiannostelijaa käytettäessä. Potilastutkimuskohtaiset annokset vaihtelivat välillä $1,67\text{--}2,32 \mu\text{Sv/tutkimus}$. (Skovorodko ym. 2020, 169–175.)

Automaattiannostelijan käyttö vähentää Lecchin ym. (2016) tutkimuksen mukaan PET-TT-tutkimuksia tekevän henkilökunnan säteilyaltistusta huomattavasti. Automaattiannostelijalla saadaan pienennettyä sekä kokokehon annosta että sormien ja silmien ekvivalenttiannosta. (Lecchi ym. 2016, 2279–2282.) Kulsengin ja Sandstrømin (2015) tutkimuksessa PET-TT-tutkimuksia tekevän röntgenhoitajan efektiivinen annos oli keskimäärin $4,91 \mu\text{Sv}$ päivässä, kun samanlaisessa tutkimuksessa vuodelta 2006 annos oli $36 \mu\text{Sv/päivä}$. Tutkijat arvelevat alhaisen annoksen johtuvan automaattiannostelijan käyttöönotosta. (Kulseng & Sandstrøm 2015, 10.)

4 TUTKIMUKSEN TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä PET-TT-tutkimuksissa isotooppiosaston uusissa työtiloissa sekä tarkastella etäisyyden, väliaineen ja ajan vaikutusta säteilyannoksiin. Opinnäytetyön tarkoituksena on analysoida Tampereen yliopistollisen sairaalan klinisen isotooppilääketieteen osastolla mitattuja annosnopeuksia sekä kuvailla väliaineen ja etäisyyden merkitystä annosnopeuteen sekä ajan ja annosnopeuden vaikutusta henkilökunnan säteilyannoksiin PET-potilaiden lepo- ja kuvaushuoneessa.

Tutkimuskysymykset opinnäytetyössä ovat:

1. Kuinka etäisyys vaikuttaa annosnopeuteen kuvaus- ja lepoahuoneessa?
2. Kuinka väliaine vaikuttaa annosnopeuteen lepoahuoneessa?
3. Kuinka aika vaikuttaa PET-TT-tutkimuksissa työskentelevän röntgenhoitajan saamaan säteilyannokseen kuvaus- ja lepoahuoneessa?

5 TUTKIMUKSEN MENETELMÄLLISET LÄHTÖKOHDAT

Tämän opinnäytetyön menetelmäksi valikoitui kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimusmenetelmä. Kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän avulla pyrittiin vastaamaan kysymyksiin, kuinka etäisyys ja väliaine vaikuttavat annosnopeuteen ja kuinka aika vaikuttaa röntgenhoitajan saamaan säteilyannokseen.

Määrällisessä tutkimuksessa tietoa jäsenellään ja käsitellään numeroiden avulla ja näin saadaan luotua kuvaa tutkittavien muuttujien välisistä suhteista (Vilka 2007, 25). Tieteellinen tutkimus on eettisesti hyväksyttävä ja luotettava, jos tutkimusta suoritettaessa on noudatettu hyvää tieteellistä käytäntöä. Hyvän tieteellisen käytännön noudattaminen takaa myös tulosten uskottavuuden. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6.)

Määrällisen tutkimuksen tutkimusprosessi alkaa aihealueen valinnalla ja taustatietojen keräämisellä. Aikaisempiin tutkimuksiin perehtyminen on tärkeä osa tutkimuksen suorittamista. Taustatiedot asettavat tutkimuksen kontekstiin. Edellisiin tutkimuksiin tutustumalla saadaan selville mitä aiheesta jo tiedetään ja miksi tutkimus on tärkeää. (Hulley ym. 2013, 3.)

Tämän opinnäytetyön taustatietoja kerättiin suorittamalla systemaattinen tiedonhaku PubMed ja Web of Science -tietokantoihin. PubMediin tehdyssä tiedonhaussa käytettiin hakutermejä "positron emission tomography", "radiation dose" ja "f18". Web of Science:ssa hakutermeinä olivat "radiation dose", "PET" ja "nuclear medicine". Poissulkukriteereinä rajattiin pois eläinlääketieteeseen, syövän diagnostiikkaan, potilaan saamaan säteilyannokseen ja kuvanlaatuun liittyvät artikkelit ja tutkimukset.

Opinnäytetyön lähteiksi haluttiin tutkimuksia, jotka ovat luotettavia vertaisarvioituja tutkimuksia. Lähteinä on käytetty niin kotimaisia kuin ulkomaisiakin tutkimuksia. PET-TT-tutkimusten työperäistä säteilyaltistusta koskevat uusimmat tutkimukset ovat tehty pääsääntöisesti ulkomailla, joten suuri osa opinnäytetyön lähteistä ovat kansainvälisistä julkaisuista.

Tutkimuskysymys määrittää tutkimuksen tavoitteen. Hulley ym. (2013) Kliinisen tutkimuksen suunnittelun oppaassa sanotaan, että hyvän tutkimuskysymyksen tulisi täyttää ”FINER”-kriteerit. ”FINER”-kriteeri on lyhennys sanoista feasible, interesting, novel, ethical ja relevant. Hyvän tutkimuskysymyksen tulisi siis olla toteutettavissa, mielenkiintoinen, uusi, eettinen ja relevantti. (Hulley ym. 2013, 2–3.) Tutkimussuunnitelmassa tutkimuskysymys saatetaan kirjalliseen muotoon. Tutkimussuunnitelmassa tuodaan ilmi tutkimuksen tavoite, tutkimusmenetelmä, budjetti ja aikataulu, tietojen hankintatapa sekä aineiston käsittelytapa. (Heikkilä 2014, 23.)

Tässä opinnäytetyössä analysoidaan isotooppilääketieteen osaston lepo- ja kuvaushuoneessa mitattuja annosnopeuksia. Mitattujen annosnopeuksien avulla vertaillaan väliaineen ja etäisyyden vaikutusta annosnopeuteen sekä ajan ja annosnopeuden vaikutusta henkilökunnan säteilyannoksiin. Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä on kolme, joista jokainen täyttää ”FINER”-kriteerit.

Tieteellisen tutkimuksen vaatimuksena on aineisto. Tiedonkeruutapaan vaikuttaa mikä tutkimusmenetelmä on valittu. Tutkimuksen tiedonkeruun tulee olla suunnitelmallista, johdonmukaista ja tietoisesti valikoitunutta. (Hakala 2018, 11; Vilka 2018, 132.) Lisäksi sen tulee olla eettisesti kestävä ja sen tulee noudattaa tieteellisen tutkimuksen kriteereitä (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6). Tiedonkeruuta varten tulee laatia tiedonkeruulomake. Tutkimussuunnitelma on edellytys onnistuneelle tiedonkeruulomakkeelle ja lomakkeen on mitattava sitä, mitä tutkimussuunnitelmassa on suunniteltu mitattavan. Tiedonkeruulomakkeen käyttö tulee tarkistaa ja varmistaa ennen varsinaista tiedonkeruuta. (Vilka 2007, 63.)

Opinnäytetyön tiedonkeruu suunniteltiin tutkimuskysymysten ja tutkimussuunnitelman tavoitteiden pohjalta. Tiedonkeruuta suunniteltaessa oli tärkeää, että mitaukset olisivat mahdollisimman vakioidut ja mittausten avulla saataisiin vastaukset tutkimuskysymyksiin. Tiedonkeruun toimivuus haluttiin testata ennen varsinaisten mittausten alkamista. Mittausten suorittaminen suunniteltiin niin, ettei mitauksia suoritettaessa häirittäisi potilastyötä. Lisäksi mittausten suorittajien säteilyaltistus haluttiin pitää mahdollisimman pienenä.

Tietojen keräämisen jälkeen aineisto käsitellään ja analysoidaan. Aineisto tulee käsitellä niin, että tutkimuskysymyksiin saadaan vastaukset. Määrällisen tutkimuksen tulos on objektiivinen silloin, kun se on tutkijasta riippumaton. Tulokset raportoidaan ja niistä voidaan tehdä johtopäätöksiä. (Heikkilä 2014, 23, 138.)

Määrällisen tutkimuksen tutkimusraportin tulee olla keskusteleva, objektiivinen ja argumentoiva. Se tulee kirjoittaa asiatyylillä ja yleiskieltä käyttäen. Sisällön tulee olla perusteltua ja perustelujen tulee nojautua lähteisiin. Tärkeä osa tutkimuksen uskottavuutta on, millä tavalla tutkimustulokset esitellään. Tulosten esittämisen lisäksi tulee käsitellä myös tutkimuksen ja sen tulosten luotettavuutta. (Vilkkä 2007, 159, 163.)

Määrällisen tutkimuksen tulokset esitellään tutkijan päättämällä tavalla. Tulokset voidaan esittää taulukoina, tunnuslukuina, kuvioina ja tekstinä. Jokaisella esitystavalla on oma tarkoituksena. Taulukko mahdollistaa suuremman tietomäärän esittämisen yksityiskohtaisesti. Kuvio mahdollistaa tiedon nopean luettavuuden ja yleiskuvan näkemisen jakaumasta. Tunnuslukujen avulla voidaan tarkastella tulosten keskiarvoja ja vaihteluvälejä. (Vilkkä 2007, 135.) Tämän tutkimuksen tulokset on esitelty taulukoina ja graafisina kuvaajina. Lepo- ja kuvaushuoneen pohjapiirustukseen merkittiin mittauspisteiden annosnopeuden keskiarvot. Työn tuloksena esitetään myös arvio siitä, miten paljon työskentelypaikka ja työskentelyaika vaikuttavat hoitajan saamaan säteilyannokseen.

6 MITTAUSPROTOKOLLAN VALMISTELU JA AINEISTON KERUU

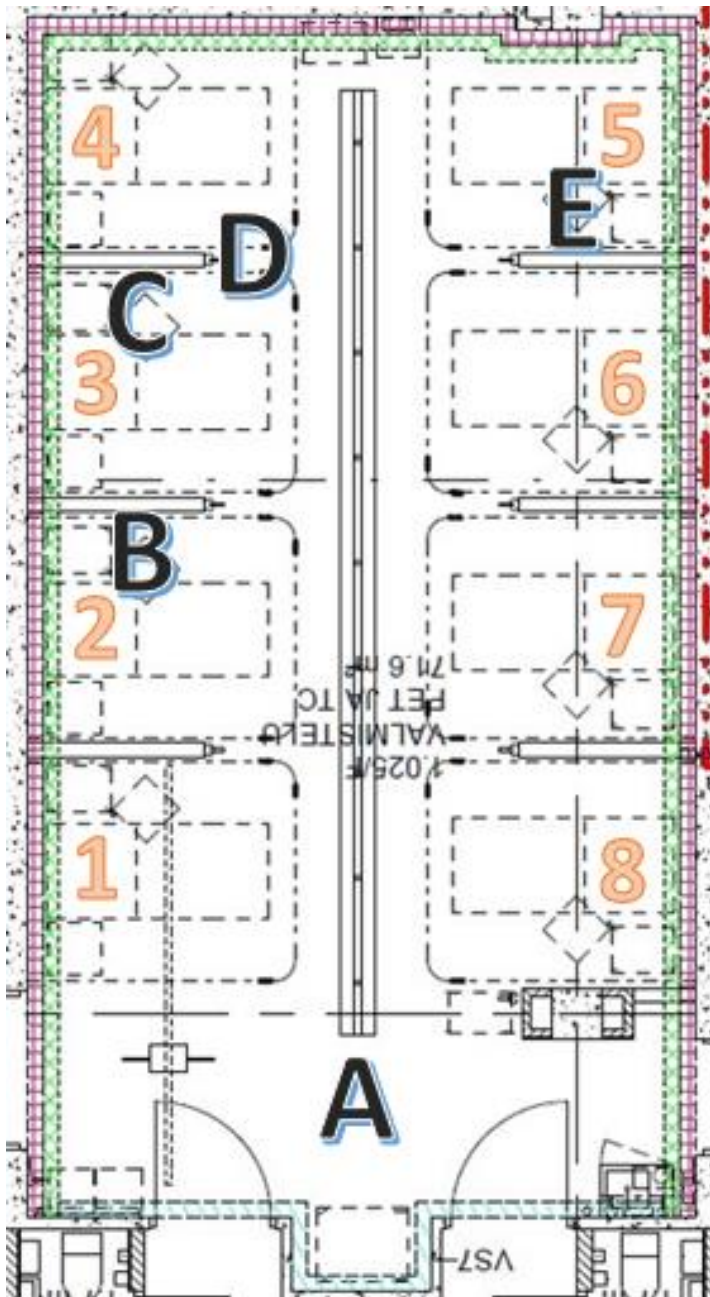
Opinnäytetyön aineisto koostuu Tampereen yliopistollisen sairaalan PET-TT-tutkimusten yhteydessä mitatuista annosnopeuksista. Opinnäytetyöntekijät saivat käyttöönsä aineiston, jonka röntgenhoitajaopiskelijat olivat keränneet ammattitaitoa edistävien harjoittelujen aikana. Aineistonkeruuseen osallistui yhteensä yhdeksän opiskelijaa kolmella harjoittelujaksolla.

6.1 Mittausprotokollan suunnittelu ja mittausten valmistelu

Mittausprotokollan suunnittelu, laatiminen ja testaus ovat tärkeä osa tutkimusta. Suunnittelussa tulee miettiä, mitä tietoa tarvitaan ja millä tavalla tietoa kerätään. (Vilkkä 2007, 169–170.) Mittausprotokollan testauksessa tulee huomioida eri tekijöitä. Testimittauksia tulee uusia ja mittaustulosten tulee uusintamittauksissa olla lähellä toisiaan. Mittaustuloksiin ei saa vaikuttaa mittaajan tai mittausajan kohdan vaihtuminen. Testimittausten avulla selvitetään, voidaanko mittausprotokollaa kutsua toistettavaksi ja vakaaksi. (Pyzdek & Keller 2018, 289.)

Opinnäytetyöntekijät suunnittelivat ja testasivat mittausprotokollaa osana ammattitaitoa edistävää harjoittelua. Käytössä oli huoneiden pohjapiirustukset, joita käytettiin apuna mittauspisteiden merkitsemisessä ja tiedonkeruulomakkeen suunnittelussa. Tiedonkeruulomakkeet tehtiin lepo- ja kuvaushuoneen pohjapiirustusten pohjalta, mikä helpotti mittausten suorittajia hahmottamaan, missä kohtaa huonetta mittauspisteet sijaitsivat. Tiedonkeruulomakkeisiin tehtiin lyhyet kirjalliset ohjeet mittausten suorittamisesta (liitteet 1 ja 2).

Lepuhuoneen mittauspisteet suunniteltiin niin, että pystyttäisiin arvioimaan väliseinän ja etäisyyden vaikutusta annosnopeuteen. Huoneessa oli viisi mittauspistettä (kuva 3). Lepuhuoneen tiedonkeruulomakkeesta tehtiin helposti tulkittava ja täytettävä, jotta vähennettäisiin virheiden mahdollisuutta (kuva 4).



KUVA 3. Pohjapiirros lepohuoneesta sekä siihen merkityt mittauspisteet A-E ja sängyt 1–8.

Jokaisen mittauspisteen avulla haluttiin vastauksia tutkimuskysymyksiin. Mittauspiste A sijaitsi huoneen sisäänkäynnin lähellä. Tällä mittausteella haluttiin tietoa siitä, miten potilaiden sijoittaminen huoneen takaosaan vaikuttaa annosnopeuteen huoneen etuosassa. Mittauspisteen A läheisyydessä työntekijä vastaanottaa potilaita lepohuoneeseen tai käyttää tietokonetta. Mittauspisteillä B ja C haluttiin selvittää, miten väliseinä vaikuttaa annosnopeuteen, kun sen takana on radioaktiivisen lääkkeen saanut potilas. Mittauspiste D sijaitsi väliseinän vieressä (ei väliainetta). Sen avulla voitiin vertailla väliseinän vaikutusta (mittauspiste C)

annosnopeuteen. Mittauspiste E sijaitsi vastakkaisella puolella huonetta sängyn 5 vieressä, noin 3,5 metrin etäisyydellä sängyn 4 säteilevästä potilaasta. Annosnopeutta mittauspisteessä E haluttiin vertailla annosnopeuteen mittauspisteessä C.

Lepohuoneen sänkyjen väliset seinät ovat Kahi-runkoponttia. Kyseistä materiaalia käytetään sisätiloissa seinämateriaalina. Harkkoa käytettäessä seinän paksuus on 13 cm. Runkoponttiharkon tiheysluokka on 1,6–2,0, kun esimerkiksi betonin tiheysluokka on 2–2,5. (Weber 2020.) Väliseinien materiaalina ei ole käytetty lyijyä.

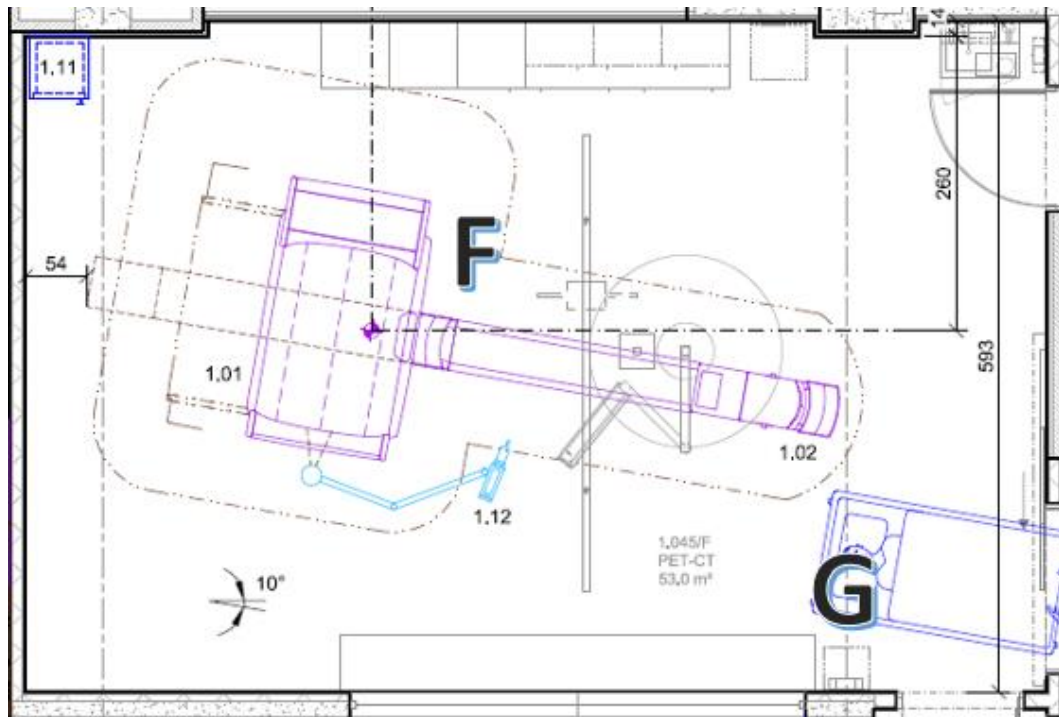
The diagram shows a room layout with the following elements:

- Sänky 4**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Sänky 5**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Sänky 3**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Tuoli 6**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Sänky 2**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Tuoli 7**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Sänky 1**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Sänky 8**: Aine ja Aktiivisuus, Pisto aika
- Päivämäärä Kellonaika**: (Bottom left)
- Measurement points**: Red boxes with radiation symbols located between the beds and in the center of the room.

KUVA 4. Lepohuoneen tiedonkeruulomake.

Kuvaushuoneen mittauksilla haluttiin tietoa etäisyyden vaikutuksesta annosnopeuteen sekä ajan vaikutuksesta hoitajan saamaan säteilyannokseen. Kuvaus-

huoneessa oli kaksi mittauspistettä, mittauspisteet F ja G. Mittauspisteiden sijoittelu huoneeseen näkyy kuvassa 5. Kuvaushuoneen tiedonkeruulomakkeesta tehtiin helposti tulkittava ja täytettävä (kuva 6).



KUVA 5. Pohjapiirros kuvaushuoneesta ja siihen merkityt mittauspisteet F ja G.

The form is a simple layout with several input fields and labels. At the top right, there is a red-bordered box and a radiation warning symbol. Below it, a larger box contains the labels 'Aktiivisuus' and 'Pistoaika'. At the bottom left, a box is labeled 'Päivämäärä Kellonaika'. At the bottom right, there is another red-bordered box and a radiation warning symbol.

KUVA 6. Kuvaushuoneen tiedonkeruulomake.

Potilasta asetellessaan ja pöytää sääteessään hoitaja työskentelee potilaan vieressä. PET-TT-kuvauslaitteessa ei ole kaukosäädintä, joten hoitaja käyttää kuvauspöydän liikutteluun kuvauslaitteen kyljessä olevia näppäimiä. Toinen kuvaushuoneen mittauspisteistä (F) sijaitsee kuvauslaitteen vieressä, missä hoitaja seisoo käyttäessään kuvauslaitteen näppäimiä (kuva 7). Mittauspisteen etäisyys kuvauslaitteesta oli 32 senttimetriä ja kuvauspöydästä 100 senttimetriä.



KUVA 7. Mittauspiste F kuvauslaitteen vieressä.

Röntgenhoitaja käy jokaisessa tutkimuksessa kertomassa potilaalle kuvaushuoneen ovella, kun PET-TT-tutkimuksen tietokonetomografiakuvaus alkaa. Hoitaja on yhden tutkimuksen aikana huoneen puolella vain lyhyen ajan, mutta säderasitus kertaantuu useampien tutkimusten myötä. Oven luona sijaitsevan mittauspisteen avulla (mittauspiste G) saadaan tietoa, millainen sädeannos hoitajalle keskimäärin kertyy potilaan ohjeistamisesta ovensuussa seisten.

Tärkeä osa mittausten valmistelua oli mittauspisteiden selkeä merkitseminen lepohuoneen ja kuvaushuoneen lattiaan. Opinnäytetyöntekijät merkitsivät mittauspisteet huoneiden lattiaan teipillä, johon kirjoitettiin ”MITTAUKSET” (kuva 8). Mittauspisteiden kohdat mitattiin useasta kohdasta huonetta, jotta ne olisivat olleet merkittävissä uudelleen, mikäli teipit olisivat lähteneet lattiasta irti.



KUVA 8. Mittauspisteen merkitseminen. Kaikki mittauspisteet merkittiin samalla tavalla.

6.2 Opiskelijoiden perehdyttäminen mittausten suorittamiseen

Mittausprotokollan toistettavuus on tärkeää mittausten luotettavuuden varmistamiseksi (Pyzdek & Keller 2018, 289). Opinnäytetyön aineistonkeruun luotettavuutta lisättiin tekemällä selkeät, mutta tarkat ohjeet. Tiedonkeruuta tehneet opiskelijat perehdytettiin säteilymittausten suorittamiseen, jotta jokainen heistä pystyi suorittamaan mittauksia itsenäisesti. Mittauksista kuvattiin ohjevideot, joissa käytiin läpi lepo- ja kuvaushuoneiden mittauspisteet, mittausten oikeaoppinen suorittaminen ja säteilymittarin käyttö. Ohjevideon lisäksi tehtiin yksinkertaiset kuvalliset ohjeet. Myös tiedonkeruulomakkeissa oli lyhyet ohjeet mittausten suorittamiseen.

Kirjallisten ohjeiden ensimmäisellä sivulla (kuva 9) ohjeistettiin säteilymittarin käyttö. Mittauksissa käytettiin säteilymittaria RADOS RDN-110. Mittarilla voidaan

mitata gamma-, röntgen- ja beetasäteilyä. Pienin mittarin mittaama annosnopeus on 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ ja suurin 99,99 mSv/h. (Rados 2002, 2, 4.)

Säteilymittari merkittiin teipillä, jossa luki "SÄTEILYMITTAUKSET". Säteilymittaria säilytettiin pöydällä lepohuoneen ulkopuolella. Säteilymittari ohjeistettiin kytkeämään päälle ON-napista. Napin painamisen jälkeen ohjeistettiin odottamaan hetki, kunnes mittarin näytölle ilmestyy annosnopeuslukema.



KUVA 9. Säteilymittarin käytön ohjeistus.

Ohjeen mukaan säteilyannosmittari ripustettiin tippatelineeseen mittauksia varten (kuva 10). Mittauksissa käytetty tippateline oli merkitty teipillä ("MITTAUKSET"). Mittauskorkeus oli vakioitu. Tippatelineen yläosan korkeuden tuli olla 40 senttimetriä. Sopiva korkeus oli merkitty yläosaan teipillä. Säteilymittarin hihnan säädettävän osuuden kiristyksen tuli olla 20 senttimetriä.



KUVA 10. Mittarin asettelun ohjeistus.

Mittausten vakioinnin ja tulosten luotettavuuden kannalta oli tärkeää, että tippateline aseteltiin joka mittauskerralla samalla tavalla mittauspisteeseen, joten myös tämä kuvattiin kirjallisissa ohjeissa (kuva 11). Lattiassa olevat mittauspisteet olivat merkitty teipillä ja niissä luki "SÄTEILYMITTAUKSET".



KUVA 11. Tippatelineen asettelun ohjeistus.

Säteilyannosmittarilla tehtyjen mittausten lisäksi havainnoitiin ja tiedonkeruulomakkeelle kirjattiin kuvaushuoneessa potilaan asetteluun ja lepo huoneessa potilaan kanylointiin kuluva aika. Kanylointiin ja asetteluun kuluva aika hyödynnettiin isotooppiosastolla työskentelevän hoitajan säteilyannoksen laskemiseen.

7 AINEISTO JA SEN ANALYYSI

Opinnäytetyön aineisto koostuu seitsemästä mittauspisteestä kerätyistä annosnopeusmittauksista. Mittauksia tehtiin PET-TT-tutkimusten kuvaus- ja lepohuoneessa. Annosnopeusmittaukset tehtiin käyttäen säteilymittaria RADOS RDN-110. Mittausten aikana taustasäteily oli 0,12 $\mu\text{Sv/h}$. Aineistonkeruulomakkeet tallennettiin Excel-ohjelmaan. Lopulliseen aineistoon valikoitiin keskenään vertailukelpoiset tulokset.

7.1 Lepohuoneesta kerätty aineisto

Lepohuoneesta kerättiin aineistoa viideltä mittauspisteeltä (kuva 3). Annosnopeusmittausten lisäksi kirjattiin potilaiden saamat radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuudet ja antoajankohdat, potilaiden sijainti lepohuoneessa sekä mittausten tarkka ajankohta. Potilaiden saaman radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuuden keskiarvo oli 236 MBq ja vaihteluväli 177–327 MBq.

Mittauspisteestä B mitatut annosnopeudet jätettiin pois aineistosta. Sen mittaus tulokset eivät olleet vertailukelpoisia muiden mittaustulosten kanssa. Mittauspisteestä B annosnopeusmittausten aikana myös muissa sängyissä oli potilaita, eikä vain väliseinän takana.

Mittauspiste A sijaitsi lepohuoneen sisäänkäynnin vieressä. Mittauspisteestä A läheisyydessä röntgenhoitaja ottaa potilaan vastaan lepohuoneeseen ja opastaa tämän omalle sängylleen. Lisäksi röntgenhoitaja käyttää tässä osassa huonetta liikuteltavaa tietokonetta. Mittauspisteeltä A on noin 9,2 metrin etäisyys sängylle 4. Mittauspiste E sijaitsi lepohuoneen takaosassa, jossa röntgenhoitaja käy kanyloimassa potilaan ja antamassa hänelle radioaktiivisen lääkeaineen automaattiannostelijalla. Mittauspisteeltä E on noin 3,5 metrin etäisyys sängylle 4.

Potilaiden sijoittaminen sänkyihin aloitetaan yleisesti huoneen takaosassa sijaitseville sängyille 3 ja 4. Mittauspisteitä A ja E vertailemalla haluttiin tietää, kuinka paljon annosnopeus eroaa huoneen takaosassa ja sisäänkäynnin lähellä. Lisäksi

mittauspisteen A aineistosta haluttiin selvittää, kuinka paljon potilaiden lisääntyminen huoneessa nostaa annosnopeutta huoneen sisäänkäynnillä. Aineistoon valittiin 7 vertailukelpoista mittauskertaa mittauspisteiltä A ja E (taulukko 1). Vertailussa olisi voinut käyttää myös mittauspistettä D mittauspisteen E sijaan. Mittauspiste D sijaitsee kuitenkin lähellä sängyn 4 säteilevää potilasta, minkä vuoksi päädyttiin käyttämään mittauspistettä E.

TAULUKKO 1. Mittauspisteen A ja mittauspisteen E annosnopeudet.

Mittauskerran numero	Potilaan/potilaiden sijoittuminen huoneessa	Aktiivisuus (MBq)	Pistoaika	Mittausaika	Mittauspiste A, annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)	Mittauspiste E, annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Sänky 4	285	8:30	8:34	0,24	1,22
2	Sängyt 3 ja 4	Sänky 3 358, Sänky 4 285	Sänky 3 8:50, Sänky 4 8:30	8:55	0,58	2,4
3	Sängyt 3 ja 4	Sänky 3 333, Sänky 4 233	Sänky 3 9:04, Sänky 4 8:44	9:12	0,36	2,14
4	Sänky 4	257	8:40	8:45	0,55	1,1
5	Sängyt 3 ja 4	Sänky 3 268 Sänky 4 257	Sänky 3 9:03 Sänky 4 8:40	9:14	0,79	2,45
6	Sänky 4	210	9:20	9:41	0,49	1,13
7	Sänky 4	337	8:33	8:37	0,37	1,96

Väliaineen ja etäisyyden merkitystä säteilyn vaimenemiseen tutkittiin suorittamalla annosnopeusmittauksia väliseinän takana, sen vieressä ja 3,5 metrin etäisyydeltä. Annosnopeuksia mitattiin mittauspisteellä C, mittauspisteellä D ja mittauspisteellä E, kun sängyllä 4 oli säteilevä potilas (taulukko 2). Mittauspiste C oli säteilevästä potilaasta väliseinän takana, mittauspiste D väliseinän vieressä ja

mittauspiste E vastapäisen sängyn vieressä. Aineistosta valittiin annosnopeusmittaukset, joiden aikana muilla sängyillä ei ollut potilaita, joille olisi annosteltu radioaktiivista lääkettä. Mittauspisteiltä C ja D sekä mittauspisteiltä C ja E valittiin vertailuun seitsemän annosnopeusmittausta.

TAULUKKO 2. Annosnopeudet $\mu\text{Sv/h}$ mittauspisteessä C, mittauspisteessä D ja mittauspisteessä E, kun sängyllä 4 oli säteilevä potilas.

Mittauskerran numero	Aktiivisuus sängyllä 4 (MBq)	Pisto aika	Mittausaika	Mittauspiste C (väliaine), annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)	Mittauspiste D (ei väliainetta), annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)	Mittauspiste E (etäisyys), annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)
1	290	8:33	8:40	4,4	8,06	1,07
2	285	8:30	8:34	4,98	8,05	1,22
3	233	8:44	8:54	4,07	6,31	1,14
4	257	8:40	8:45	3,9	7,18	1,1
5	210	9:20	9:41	3,67	5,72	1,13
6	262	12:14	12:28	3,65	-	1,23
7	311	8:31	8:42	3,87	8,79	-
8	222	8:26	8:30	3,6	5,86	1,14

7.2 Kuvaushuoneesta kerätty aineisto

Kuvaushuoneen aineisto sisältää annosnopeudet kahdesta eri mittauspisteestä (kuva 5), joista molemmista mitattiin 33 kertaa eli aineisto sisältää 66 mittausta. Annosnopeuden lisäksi kirjattiin potilaiden saaman radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuus ja antoajankohta sekä mittauksen tarkka ajankohta. Radioaktiivisen lääkkeen annostelusta kuvaukseen kului aikaa keskimäärin 59 minuuttia (vaihteluväli 47–80 minuuttia).

Kuvaushuoneen mittauspisteet sijaitsivat kuvaussängyn vieressä (mittauspiste F), jossa hoitaja on asettelemassa potilasta ja käyttämässä kuvauslaitteen säätimiä sekä ovella (mittauspiste G), jossa hoitaja käy puhumassa potilaalle kuvauksen aikana. Taulukossa 3 on lueteltu kaikki kuvaushuoneesta saatu mittausaineisto: potilaan saaman radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuus, lääkkeen pistoaika, kuvausaika, joka on samalla annosnopeuden mittausaika, sekä mitatut annosnopeudet kuvaushuoneen mittauspisteiltä F ja G.

TAULUKKO 3. Kaikkien mittauskertojen annosnopeudet mittauspisteiltä F ja G $\mu\text{Sv/h}$.

Mittauskerran numero	Aktiivisuus (MBq)	Pisto aika	Kuvausaika	Mittauspiste F, annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)	Mittauspiste G, annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$)
1	184	8:25	9:19	8,12	1,23
2	267	8:53	9:48	8,33	1,33
3	177	9:24	10:12	7,82	1,01
4	300	10:48	11:37	14,2	0,84
5	219	11:02	11:58	8,65	0,81
6	233	11:29	12:36	8,58	1,46
7	227	11:51	12:52	8,66	0,85
8	194	8:28	9:23	8,56	1,08
9	254	8:55	9:50	8,60	1,32
10	216	11:11	12:23	8,82	0,96
11	181	11:51	13:02	7,82	1,10
12	287	8:38	9:33	11,30	1,41
13	327	9:47	10:43	12,40	2,09
14	185	11:03	12:00	9,60	1,01
15	219	9:01	9:50	8,05	1,34
16	210	9:27	10:20	8,84	0,89
17	221	9:55	10:42	10,60	1,65
18	281	11:27	12:20	10,60	1,55
19	265	11:24	12:22	10,20	1,12
20	264	11:50	12:53	10,30	0,95
21	288	9:33	10:40	10,30	1,07
22	239	10:50	12:10	8,37	0,88
23	199	11:16	12:32	8,14	0,81
24	207	9:10	10:02	9,10	0,73
25	220	9:33	10:30	9,34	1,50
26	295	11:34	12:32	10,30	1,83
27	249	11:58	12:58	10,60	1,53
28	202	9:39	10:41	9,04	1,63
29	255	10:55	11:59	9,51	1,04
30	263	11:30	12:32	9,80	1,10
31	245	11:30	12:27	14,00	1,45
32	162	11:58	12:56	7,50	1,18
33	249	12:31	13:28	10,20	0,54

7.3 Aineiston analyysi

Tiedonkeruun jälkeen tiedot tallennettiin ja niitä käsiteltiin niin, että tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Aineistosta laskettiin annosnopeuden keskiarvoja ja vaihteluvälejä. Keskiarvolla tarkoitetaan arvoa, joka saadaan jakamalla mitattujen arvojen summa niiden lukumäärällä. Vaihteluvälejä käyttämällä voidaan tarkastella, millä välillä annosnopeudet vaihtelevat. Mitä pienempi vaihteluväli on, sitä lähempänä mitatut annosnopeudet ovat toisiaan. (Heikkilä 2014, 83, 85, 138.)

Lepohuoneen annosnopeusmittauksista haluttiin selvittää etäisyyden ja väliaineen vaikutusta annosnopeuteen mittaamalla radioaktiivista lääkettä saaneesta potilaasta katsottuna väliseinän takaa (mittauspiste C), väliseinän vierestä (mittauspiste D) sekä käytävän toiselta puolelta 3,5 metrin etäisyydeltä (mittauspiste E). Lisäksi verrattiin annosnopeuden muutosta huoneen takaosasta (mittauspiste E) huoneen etuosaan (mittauspiste A). Annosnopeuden keskiarvot esitettiin huoneen pohjapiirustuksessa. Annosnopeuden nousu ja lasku laskettiin prosentuaalisesti.

Lepohuoneessa röntgenhoitajan saamaa kokokehon sädeannosta vertailtiin suhteessa kahteen eri kanylointipaikkaan kolmen ja viiden minuutin kanylointiajalla tilanteessa, jossa sängyllä 4 oli radioaktiivista lääkettä saanut potilas. Vertailuun valittiin kanylointipaikat sängyn 3 vieressä (mittauspiste C) ja sängyn 5 vieressä (mittauspiste E) (kuva 3). Keskimääräisen kokokehon sädeannoksen laskemiseen käytettiin annosnopeuden keskiarvoa kummaltakin mittauspisteeltä. Kokokehon sädeannosta vertailtiin prosentuaalisesti.

Kuvaushuoneen mittauspisteillä tutkittiin etäisyyden merkitystä annosnopeuteen. Huoneen kahdesta mittauspisteestä saatuja annosnopeusmittausarvoja vertailtiin keskenään. Lisäksi tutkittiin potilaan asetteluun kuluvan ajan vaikutusta röntgenhoitajan saamaan kokokehon annokseen. Tähän käytettiin kuvauspöydän viereiseltä mittauspisteeltä F saatuja annosnopeusarvoja. Potilaiden saamat radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuudet mittaushetkellä laskettiin lääkkeen antohetken aktiivisuudesta käyttäen hyödyksi fluori-18:n tiedossa olevaa fysikaalista puoliintumisaikaa. Biologista puoliintumisaikaa ei huomioitu.

8 TULOKSET LEPOHUONEESTA

8.1 Annosnopeus lepohuoneen etu- ja takaosassa

Taulukossa 4 on esitetty mittauspisteiden A ja E annosnopeuden vaihteluvälejä ja keskiarvoja jaoteltuna potilaiden sänkyihin sijoittumisen mukaan. Vertailukelpoisia annosnopeusmittauksia oli seitsemän. Mittauspisteen A annosnopeuden keskiarvo oli 0,41 $\mu\text{Sv/h}$ silloin, kun sängyllä 4 oli potilas ja 0,58 $\mu\text{Sv/h}$ silloin, kun sängyillä 3 ja 4 oli potilaat. Mittauspisteen E annosnopeuden keskiarvo oli 1,35 $\mu\text{Sv/h}$ silloin, kun sängyllä 4 oli potilas ja 2,33 $\mu\text{Sv/h}$ silloin, kun sängyillä 3 ja 4 oli potilaat. Mittauspisteiden A ja E annosnopeuden keskiarvot on esitetty pohjapiirustuksissa (kuva 12). Kun kaikki mittausaineisto otetaan huomioon, annosnopeuden keskiarvo mittauspisteellä A oli 0,49 $\mu\text{Sv/h}$ ja mittauspisteellä E 1,77 $\mu\text{Sv/h}$.

TAULUKKO 4. Mittauspisteiden A ja E vaihteluvälit ja keskiarvot.

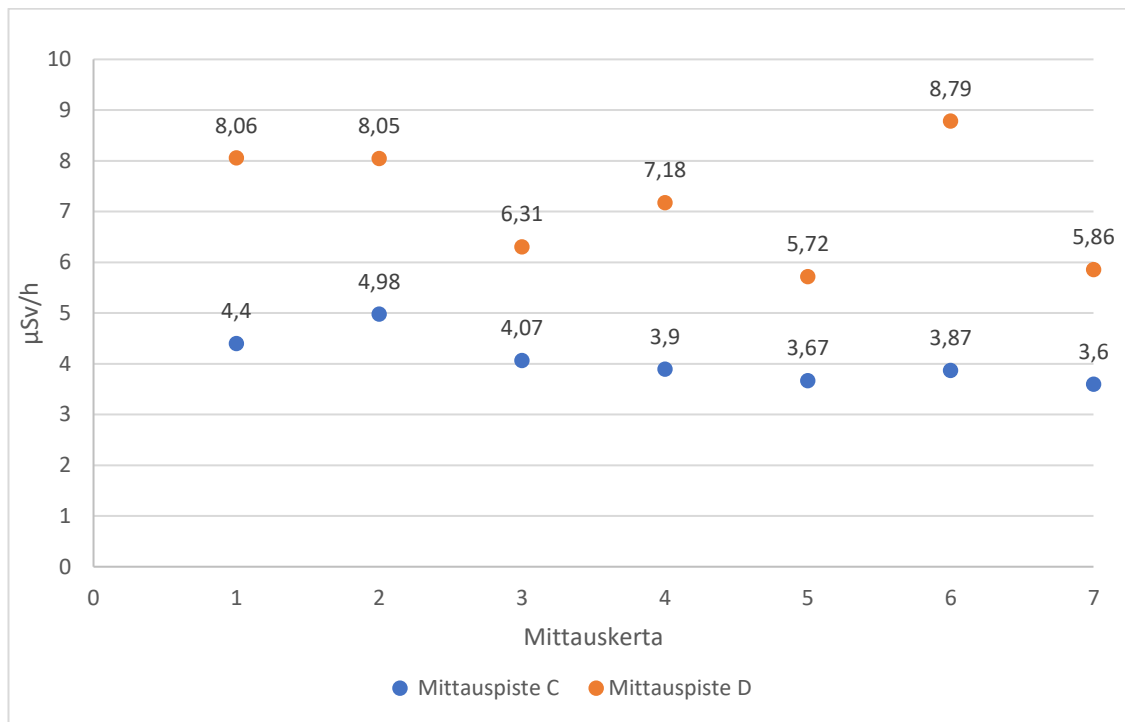
Mittauspiste	Potilaan/potilaiden sijoittuminen huoneessa	Vaihteluväli $\mu\text{Sv/h}$	Keskiarvo $\mu\text{Sv/h}$
A	Sänky 4	0,24–0,55	0,41
E	Sänky 4	1,1–1,96	1,35
A	Sängyt 3 ja 4	0,36–0,79	0,58
E	Sängyt 3 ja 4	2,14–2,45	2,33



KUVA 12. Keskimääräiset annosnopeudet mittauspisteillä A ja E. Säteilevä potilas on vasemmassa pohjapiirustuksessa vain sängyllä 4 ja oikeassa pohjapiirustuksessa sängyllä 3 ja 4.

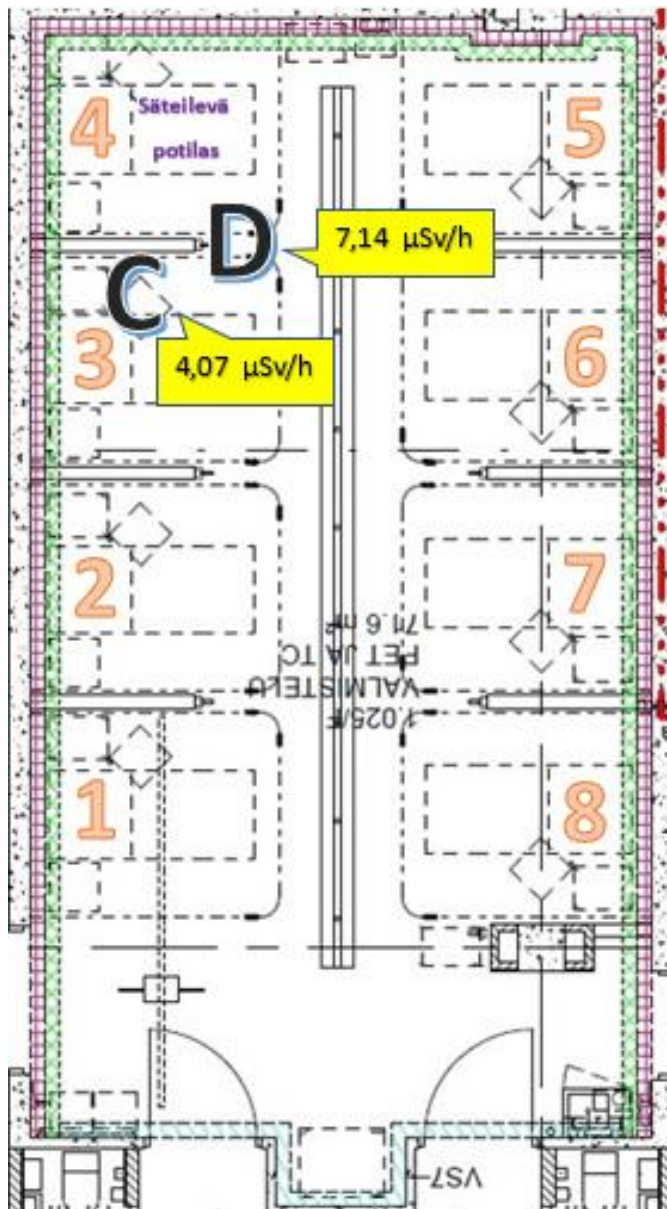
8.2 Väliaineen vaikutus annosnopeuteen

Väliseinän (väliaine) vaikutusta annosnopeuteen tarkasteltiin vertailemalla annosnopeutta mittauspisteillä C ja D (kuvio 1). Mittauksia suoritettaessa sängyllä 4 oli säteilevä potilas, josta katsoen mittauspiste C sijaitsi väliseinän takana (väliaine) ja mittauspiste D väliseinän vieressä (ei väliainetta).



KUVIO 1. Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$ väliseinän takana mittauspisteessä C ja väliseinän vieressä mittauspisteessä D, kun sängyllä 4 on säteilevä potilas.

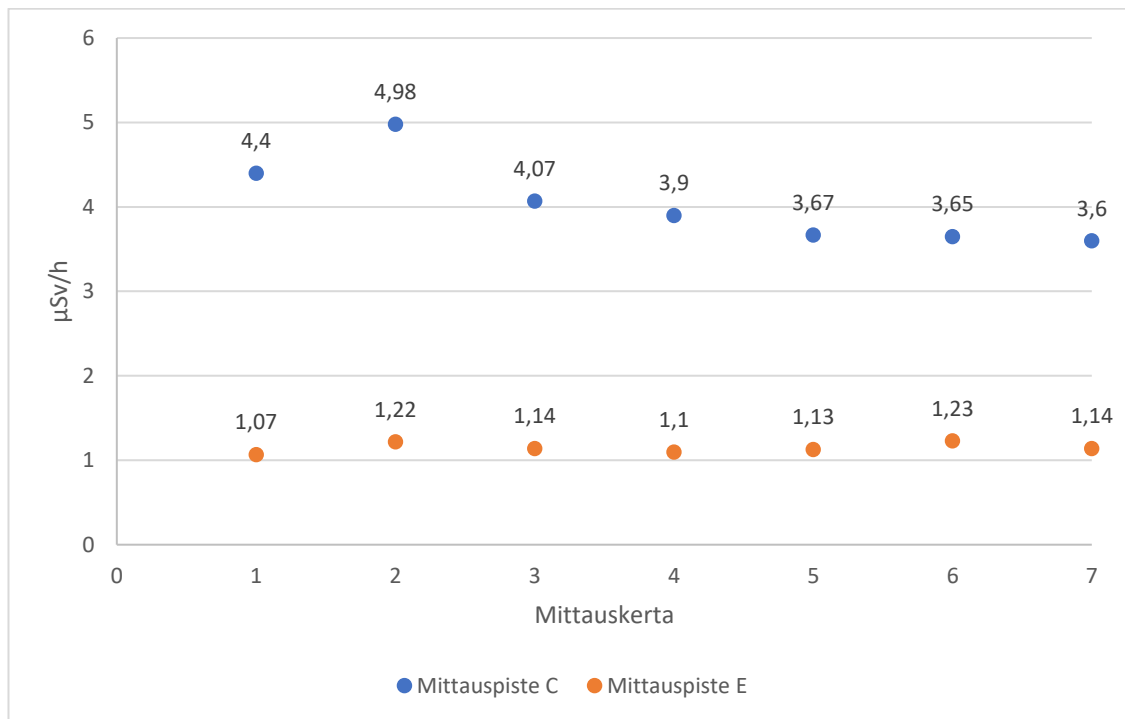
Keskenään vertailukelpoisia annosnopeusmittauksia oli seitsemän. Väliseinän takana annosnopeus oli keskimäärin $4,07 \mu\text{Sv/h}$ ja väliseinän vieressä $7,14 \mu\text{Sv/h}$. Mittauspisteiden C ja D annosnopeuden keskiarvot ovat esitettynä pohjapiirustuksessa (kuva 13).



KUVA 13. Annosnopeuden keskiarvot mittauspisteillä C ja D.

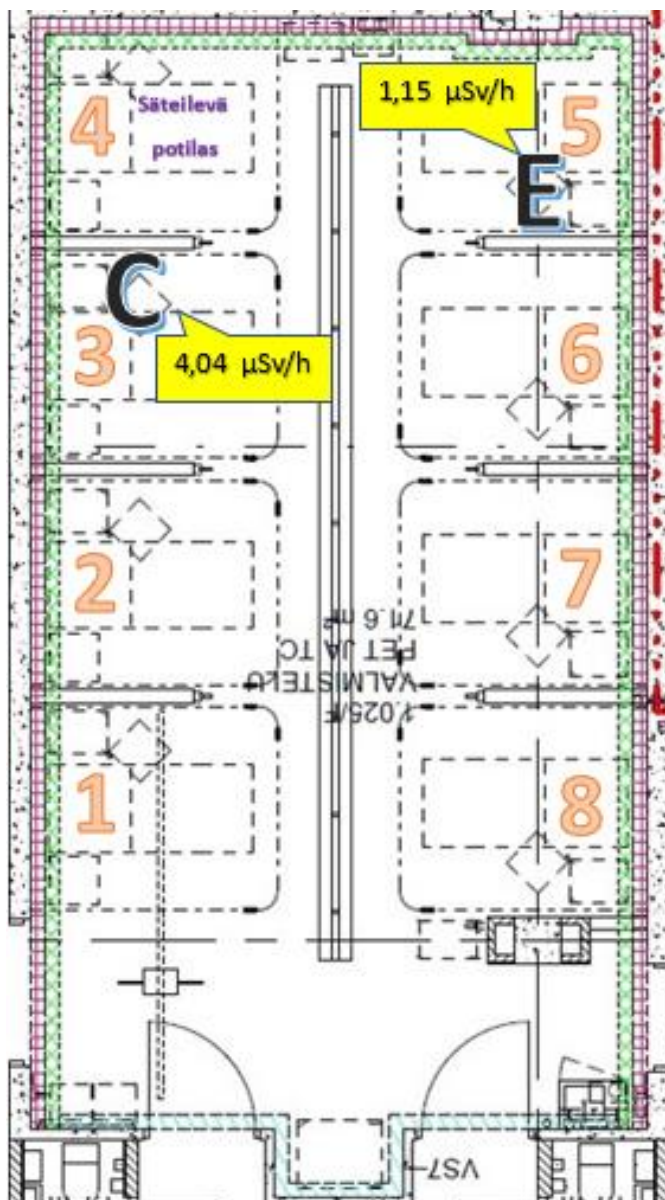
8.3 Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen

Etäisyyden ja väliseinän vaikutusta annosnopeuteen tarkasteltiin vertailemalla annosnopeutta mittauspisteillä C ja E (kuvio 2). Mittauksia suoritettaessa sängyllä 4 oli säteilevä potilas, josta katsoen mittauspiste C sijaitsi väliseinän takana (väliaine) ja mittauspiste E vastapäisen sängyn vieressä (etäisyys).



KUVIO 2. Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$ väliseinän takana mittauspisteessä C ja mittauspisteessä E (etäisyys, ei väliainetta), kun sängyllä 4 on säteilevä potilas.

Keskenään vertailukelpoisia annosnopeusmittauksia mittauspisteiltä C ja E oli seitsemän. Väliseinän takana annosnopeus oli keskimäärin $4,04 \mu\text{Sv/h}$ ja vastapäisen sängyn vieressä $1,15 \mu\text{Sv/h}$. Mittauspisteiden C ja E annosnopeuden keskiarvot on esitetty pohjapiirustuksessa (kuva 14).

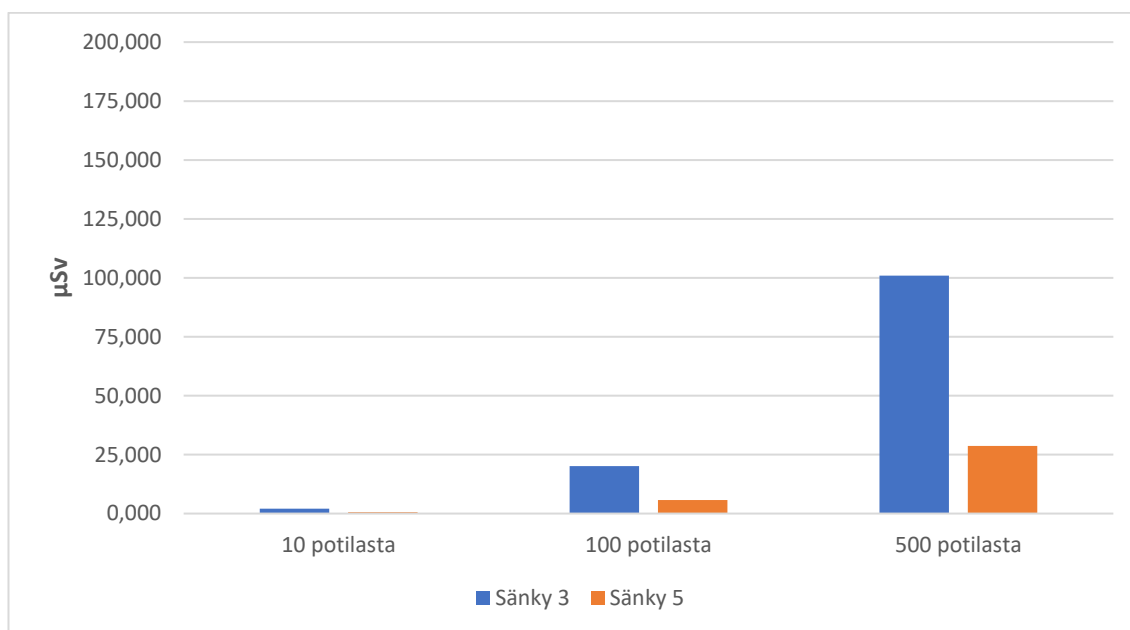


KUVA 14. Annosnopeuden keskiarvot mittauspisteellä C ja mittauspisteellä E.

8.4 Röntgenhoitajan säteilyaltistus

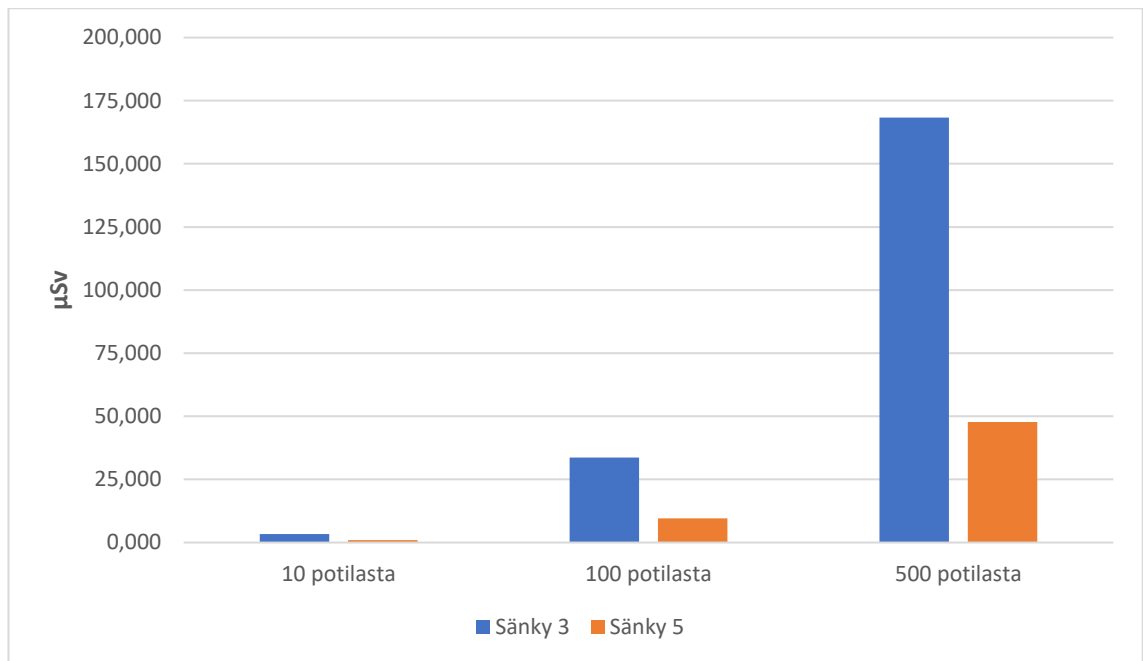
Kun hoitaja kanyloi sängyssä 3 tai sängyssä 5 lepäävää potilasta ja kun sängyllä 4 lepää jo radioaktiivista lääkettä saanut potilas, hän altistuu säteilylle, vaikka itse kanylointi ei aiheuta säteilyrasitusta. Mitä pidempään kanylointi kestää, sitä suurempi on annos. Keskimääräinen kokokehon säteilyannos röntgenhoitajalle tämän kanyloidessa sängyllä 3 tai sängyllä 5 lepäävän potilaan kolmessa minuutissa tilanteessa, jossa sängyllä 4 on radioaktiivista lääkettä saanut potilas, on esitetty kuviossa 3. Röntgenhoitajan kanyloidessa potilaan kolmessa minuutissa hänen kokokehon säteilyannoksensa yhden potilaan jälkeen on $0,20 \mu\text{Sv}$ (potilas sängyllä 3) tai $0,06 \mu\text{Sv}$ (potilas sängyllä 5). Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä

3 lepäävän potilaan, on hänen kokokehon keskimääräinen säteilyannoksensa kymmenen potilaan jälkeen 2,02 μSv , 100 potilaan jälkeen 20,19 μSv ja 500 potilaan jälkeen 100,96 μSv . Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä 5 lepäävän potilaan kolmessa minuutissa, on hänen kokokehon keskimääräinen säteilyannoksensa kymmenen potilaan jälkeen 0,58 μSv , 100 potilaan jälkeen 5,74 μSv ja 500 potilaan jälkeen 28,68 μSv .



KUVIO 3. Keskimääräinen kokokehon säteilyannos röntgenhoitajalle, joka kanyloi potilaan kolmessa minuutissa, silloin kun sängyllä 4 on radioaktiivisen lääkkeen saanut potilas. Kanyloitavat potilaat ovat joko sängyllä 3 tai sängyllä 5.

Keskimääräinen kokokehon säteilyannos röntgenhoitajalle tämän kanyloidessa sängyllä 3 tai sängyllä 5 lepäävän potilaan viidessä minuutissa tilanteessa, jossa sängyllä 4 on radioaktiivista lääkettä saanut potilas, on esitetty kuviossa 4. Kun röntgenhoitaja kanyloi potilaan viidessä minuutissa, on hänen kokokehon säteilyannoksensa yhden potilaan jälkeen 0,34 μSv (potilas sängyllä 3) tai 0,10 μSv (potilas sängyllä 5). Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä 3 lepäävän potilaan, on hänen kokokehon keskimääräinen säteilyannoksensa kymmenen potilaan jälkeen 3,37 μSv , 100 potilaan jälkeen 33,66 μSv ja 500 potilaan jälkeen 168,28 μSv . Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä 5 lepäävän potilaan, on hänen kokokehon keskimääräinen säteilyannoksensa kymmenen potilaan jälkeen 0,96 μSv , 100 potilaan jälkeen 9,56 μSv ja 500 potilaan jälkeen 47,80 μSv .



KUVIO 4. Keskimääräinen kokokehon säteilyannos röntgenhoitajalle, joka kanyloi potilaan viidessä minuutissa, silloin kun sängyllä 4 on radioaktiivisen lääkkeen saanut potilas. Kanyloitavat potilaat ovat joko sängyllä 3 tai sängyllä 5.

Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä 5 lepäävän potilaan (sängyllä 4 säteilevä potilas), on hänen keskimääräinen kokokehon säteilyannoksensa 71,60 % pienempi kuin sängyllä 3 lepäävää potilasta kanyloitaessa. Kun röntgenhoitaja kanyloi potilaan kolmessa minuutissa, on hänen keskimääräinen kokokehon sädeannoksensa 40 % pienempi, kuin kanyloitaessa viidessä minuutissa.

9 TULOKSET KUVAUSHUONEESTA

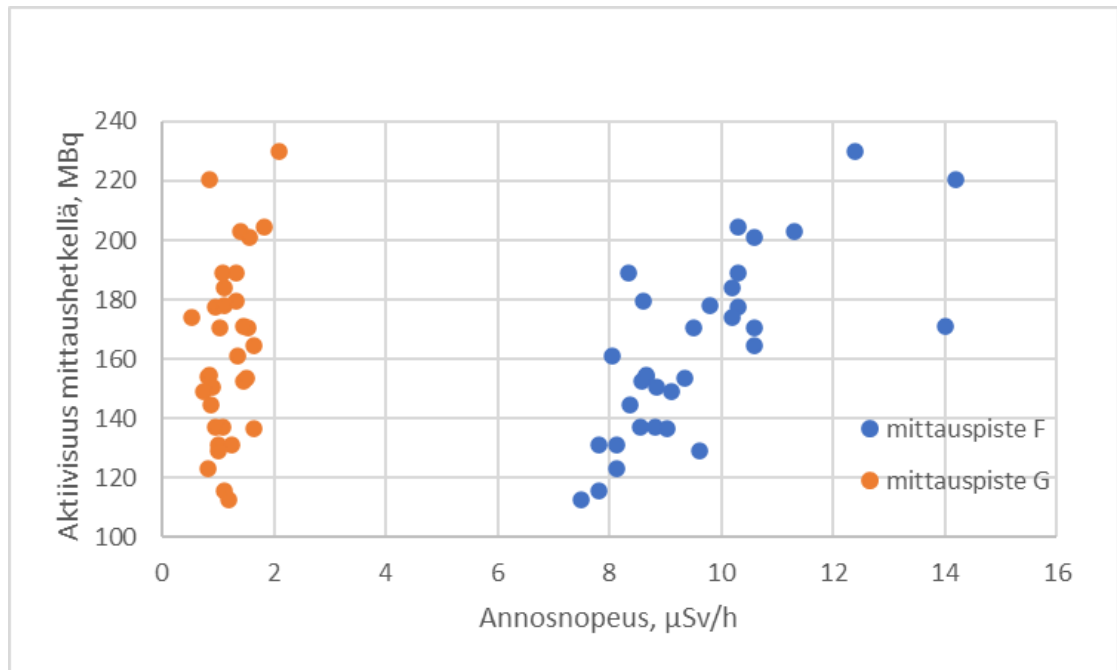
9.1 Vaihteluvälit ja keskiluvut mittauskohteittain

Kuvaushuoneessa aineistoa kerättiin kahdesta mittauspisteestä (kuva 5). Kuvauspöydän vieressä (mittauspiste F) annosnopeuden keskiarvo oli 9,58 $\mu\text{Sv/h}$. Vaihteluväli kuvauspöydän vieressä mitatuissa annosnopeuksissa oli 7,50–14,2 $\mu\text{Sv/h}$. Kuvaushuoneen ovella (mittauspiste G) annosnopeuden keskiarvo oli 1,19 $\mu\text{Sv/h}$. Vaihteluväli ovella mitatuissa annosnopeuksissa oli 0,54–2,09 $\mu\text{Sv/h}$. Luvut esitetään taulukossa 5.

Mitatut annosnopeudet korreloivat potilaiden saamien radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuuksien kanssa. Kuviossa 5 esitetään kuvaushuoneen mittauspisteillä F ja G mitatut annosnopeudet suhteessa potilaiden saamiin radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuuksiin. Mittaushetken aktiivisuus on laskettu potilaalle annetun radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuudesta fysikaalisen puoliintumisen avulla. Biologista puoliintumisaikaa ei ole otettu laskuissa huomioon.

TAULUKKO 5. Kuvaushuoneen mittauspisteiden annosnopeuden vaihteluvälit ja keskiarvot.

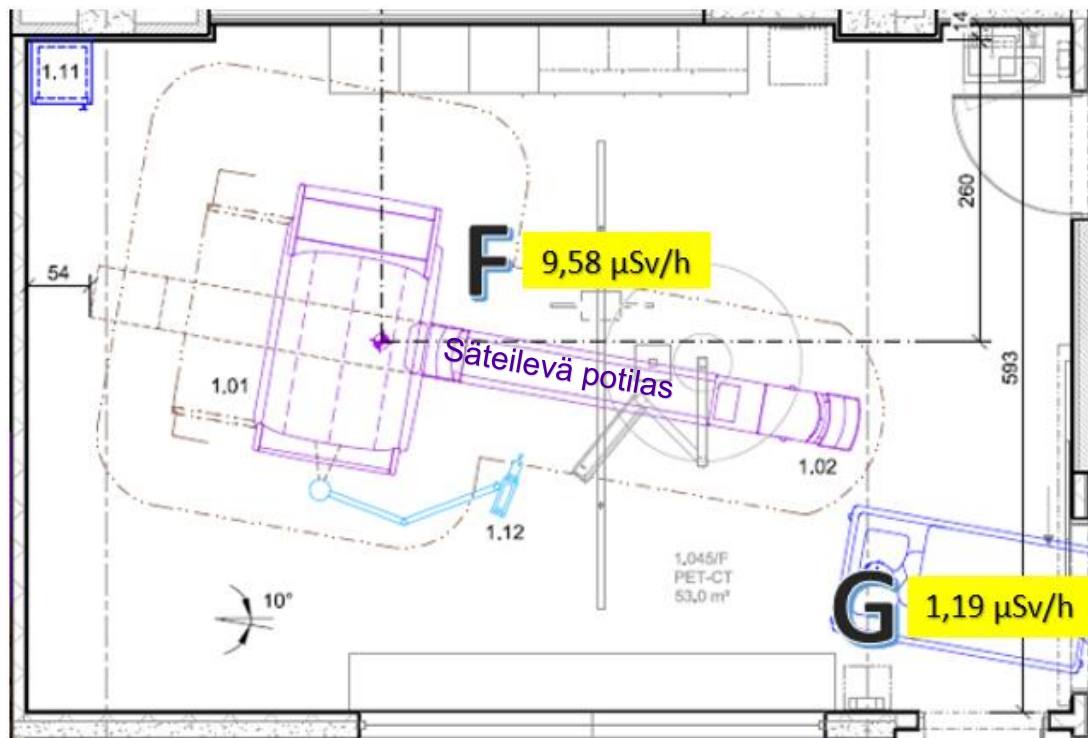
Mittauspiste	Vaihteluväli $\mu\text{Sv/h}$	Keskiarvo $\mu\text{Sv/h}$
F	7,50–14,2	9,58
G	0,54–2,09	1,19



KUVIO 5. Mittauspisteillä F ja G mitattu annosnopeus ($\mu\text{Sv/h}$) suhteessa potilaan saamaan radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuuteen (MBq).

9.2 Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen

Kuvauspöydän vieressä (mittauspiste F) annosnopeuden keskiarvo oli $9,58 \mu\text{Sv/h}$ ja kuvaushuoneen ovella (mittauspiste G) $1,19 \mu\text{Sv/h}$. Tämä tarkoittaa, että pöydän vieressä annosnopeus on noin 8-kertainen oven viereen verrattuna (kuva 15). Ovelta mitattu annosnopeuden keskiarvo oli vain 12,4 % kuvauspöydän vierestä mitatusta annosnopeuden keskiarvosta. Kuviossa 5 on esitetty kuvaushuoneen molempien mittauspisteiden annosnopeus suhteessa potilaan saaman radioaktiivisen lääkkeen aktiivisuuteen.



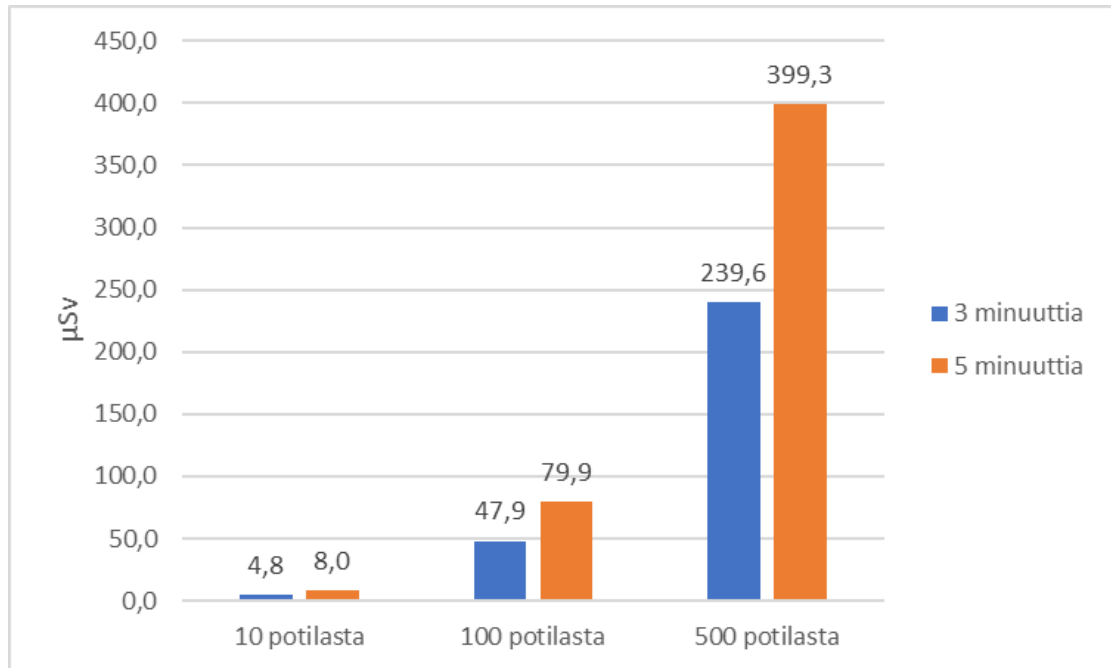
KUVA 15. Keskimääräiset annosnopeudet kuvaushuoneessa.

9.3 Asetteluajan vaikutus röntgenhoitajan saamaan säteilyannokseen

Potilaan asetteluun kuluva aika havainnoitiin mittausten suorittamisen yhteydessä. Varjoaineen kanssa tehdyissä tutkimuksissa asetteluun kului aikaa 3–5 minuuttia. Ilman varjoainetta tehdyissä tutkimuksissa asetteluajaa ei mitattu tarkasti, mutta havaittiin, että aikaa kului vähemmän kuin varjoainetutkimuksissa. Mittauspisteessä F annosnopeuden keskiarvo oli $9,58 \mu\text{Sv/h}$ eli noin $0,159 \mu\text{Sv/min}$. Varjoainetta antaessaan hoitaja työskentelee kuvauspöydän vieressä. Kolmen minuutin asetteluajalla hoitajan saama säteilyannos kuvauspöydän vieressä on noin $0,48 \mu\text{Sv/potilas}$. Mikäli asetteluun kuluu viisi minuuttia, on hoitajan saama säteilyannos kuvauspöydän vieressä noin $0,80 \mu\text{Sv/potilas}$.

Tutkimuskohtaisista annoksista voidaan laskea röntgenhoitajan altistusta pidemmältä ajalta. Mikäli hoitaja asettelee tutkimukseen kymmenen varjoainetta saavaa potilasta kolme minuuttia kerrallaan, on hänen kokokehon annoksensa $4,8 \mu\text{Sv}$. 100 potilaan asettelusta koituu $47,9 \mu\text{Sv}$:n säteilyannos ja 500 potilaan asettelusta $239,6 \mu\text{Sv}$:n säteilyannos. Jos hoitaja käyttää yhden potilaan asetteluun viisi minuuttia ja potilaita on kymmenen, on hänen kokokehon annoksensa $8 \mu\text{Sv}$.

100 potilaan jälkeen annosta on kertynyt 79,9 μSv ja 500 potilaan jälkeen 399,3 μSv (kuvio 6).



KUVIO 6. Asetteluajan vaikutus säteilyannokseen (μSv) kuvaushuoneessa mitauspisteellä F.

10 POHDINTA

PET-TT-tutkimusten henkilökunnan säteilyaltistusta voidaan pienentää vähentämällä altistusaikaa, käyttämällä suojausta ja lisäämällä etäisyyttä säteilylähteeseen (Vrigneaud ym. 2010, 16–36; Lecchi, Peet ym. 2012, Malaspina & Del Sole 2016, 2279). Opinnäytetyön annosnopeusmittausten tuloksista on pääteltävissä; että säteilysuojelun periaatteet aika, suojaus ja etäisyys ovat tärkeimmät keinot vähentää säteilyaltistusta PET-TT-tutkimusten yhteydessä.

10.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymykset olivat:

1. Kuinka etäisyys vaikuttaa annosnopeuteen kuvaus- ja lepohuoneessa?
2. Kuinka väliaine vaikuttaa annosnopeuteen lepohuoneessa?
3. Kuinka aika vaikuttaa PET-TT-tutkimuksissa työskentelevän röntgenhoitajan saamaan säteilyannokseen kuvaus- ja lepohuoneessa?

Etäisyyden vaikutus annosnopeuteen

Etäisyyden vaikutus näkyy mittauspisteellä C (väliaine) ja mittauspisteellä E (etäisyys) tehdyissä annosnopeusmittauksissa. Mittaukset tehtiin silloin, kun sängyllä 4 oli säteilevä potilas. Etäisyydellä on mittautulosten mukaan tässä tapauksessa suurempi vaikutus säteilyn vaimenemiseen kuin seinämateriaalilla (väliaineella). Mittauspisteellä E mitattu annosnopeus on keskimäärin 71,60 % pienempi kuin mittauspisteellä C mitattu annosnopeus.

Lepohuoneen ensimmäinen potilas sijoitetaan yleensä sängylle 4. Tulosten mukaan seuraava potilas on työntekijän säteilyaltistuksen kannalta järkevintä sijoittaa sängylle 5. Röntgenhoitajan keskimääräinen kokokehon säteilyannos on 71,60 % pienempi kanyloitaessa sängyllä 5 lepäävä potilas verrattuna tilanteeseen, jossa kanyloidaan sängyllä 3 lepäävä potilas. Työntekijän kanyloidessa sängyllä 5 lepäävän potilaan viidessä minuutissa, on hänen keskimääräinen kokokehon säteilyannoksensa 0,10 μSv . Kun röntgenhoitaja kanyloi viidessä minuutissa sängyllä 3 lepäävän potilaan, on kokokehon säteilyannos yhden potilaan jälkeen 0,34 μSv .

Mittauspisteiden A ja E annosnopeutta vertailtiin keskenään (taulukko 4) ja potilaiden sijoittelun vaikutusta annosnopeuteen tarkasteltiin. Annosnopeuden keskiarvo on huomattavasti pienempi huoneen sisäänkäynnillä kuin takaosassa. Annosnopeus molemmilla mittauspisteillä kasvaa, kun potilaita on sängyn 4 lisäksi sängyllä 3. Annosnopeuden keskiarvo on lähes puolet suurempi silloin, kun myös sängyllä 3 on potilas sängyn 4 lisäksi. Mittauspiste E sijaitsee sängyn 5 vieressä, joten tästä voi päätellä röntgenhoitajan säteilyaltistuksen kasvavan lähes puolella tämän kanyloidessa potilaan sängyllä 5.

Etäisyyden vaikutus säteilyannoksen pienenemiseen näkyy myös kuvaushuoneesta saaduissa tutkimustuloksissa. Kuvauspöydän vierestä mitattu annosnopeus oli noin kahdeksankertainen verrattuna kuvaushuoneen ovelta mitattuun annosnopeuteen.

Väliaineen vaikutus annosnopeuteen

Väliaineen vaikutus on pääteltävissä väliseinän vieressä ja sen takana tehdyistä annosnopeusmittauksista. Annosnopeusmittaukset mittauspisteellä C (väliseinän takana) ja mittauspisteellä D (väliseinän vieressä) tehtiin tilanteessa, jossa sängyllä 4 oli säteilevä potilas. Väliseinä ei ole lyijyä, mutta annosnopeusmittausten mukaan seinä vaimentaa säteilyä merkittävästi. Annosnopeuden keskiarvo oli 43 % pienempi väliseinän takana verrattuna väliseinän vierestä mitatun annosnopeuden keskiarvoon.

Ajan vaikutus röntgenhoitajan säteilyannokseen

Lepuhuoneen kanylointiaikoja ja kuvaushuoneen asetteluajoja vertailemalla voidaan päätellä altistusajalla olevan merkittävä vaikutus henkilökunnan säteilyaltistukseen. Potilaiden määrän lisääntyessä myös altistusaika kertaantuu. Henkilökunnan koulutuksella on tärkeä rooli säteilyaltistuksen pienentämisessä (Peet ym. 2012).

Röntgenhoitajan työskentelynopeudella on merkitystä, kun röntgenhoitaja kanyloi lepuhuoneessa. Röntgenhoitajan kanyloidessa potilaan kolmessa minuutissa, on hänen keskimääräinen kokokehon sädeannoksensa 40 % pienempi,

kuin kanyloitaessa viidessä minuutissa. Pienemmän altistusajan merkitys korostuu potilasmäärän kasvaessa. Kun röntgenhoitaja kanyloi sängyllä 3 lepääviä potilaita, on hänen kokokehon sädeannos 500 potilaan jälkeen kolmen minuutin kanyloinnilla 100,96 μSv ja viiden minuutin kanyloinnilla 168,28 μSv .

Säteilytyöntekijän vuotuisen efektiivisen säteilyannoksen tulee jäädä alle 20 millisieverttiin (VNa 2018/1034). Tämän tutkimuksen tulosten mukaan röntgenhoitajalle kertyisi laskennallisesti noin 0,4 mSv 500 potilaan asettelusta kuvaushuoneessa, mikäli hän käyttäisi jokaiseen potilaaseen aikaa noin viisi minuuttia. Säteilyturvakeskuksen vuosijulkaisun mukaan (Kaijaluoto, 2020, 10) noin kolmasosa vuonna 2018 tehdyistä isotooppitutkimuksista oli PET-TT-tutkimuksia. TAYS:ssa tehtiin 6675 isotooppitutkimusta vuonna 2019 (Tays 2021). Mikäli oletetaan sairaalan lukujen noudattelevan suunnilleen samaa logiikkaa kuin valtakunnallisten lukujen, oli PET-TT-tutkimuksia noin 2200. Mikäli yksi röntgenhoitaja asettelisi potilaan jokaiseen näistä tutkimuksista viiden minuutin asetteluajalla, saisi hän noin 1,76 mSv kokokehon annoksen. Tämä jää vielä kovin kauas vuotuisesta annosrajasta.

Vertailu kansainvälisiin tutkimuksiin

Pant ja Senthamizhchelvan (2006) mittasivat annosnopeuksia eri etäisyyksiltä potilaasta 18F-FDG:n injisoinnin jälkeen sekä PET-TT-tutkimuksen jälkeen. Heti injisoinnin jälkeen mitattiin odotetusti suuria lukemia potilaan läheltä, jopa yli 800 $\mu\text{Sv/h}$. Metrin päässä potilaasta annosnopeus oli noin 40 $\mu\text{Sv/h}$. Kuvauksen jälkeen mitattiin metrin päästä potilaan rintakehästä keskimäärin 18,5 $\mu\text{Sv/h}$ annosnopeuksia. (Pant & Senthamizhchelvan 2006.) Tässä tutkimuksessa annosnopeuksia mitattiin potilaiden injisoinninjälkeisen levon aikana lepoahuoneessa sekä PET-TT-tutkimuksen alussa kuvaushuoneessa. Suurimmat annosnopeudet lepoahuoneessa saatiin mittauspisteeltä D, jossa keskiarvo oli 7,14 μSv . Mittauspiste D sijaitsi noin metrin päässä radioaktiivisen lääkkeen saaneesta potilaasta. Kuvahuoneen mittauspiste F sijaitsi metrin päässä kuvauspöydästä, jolla potilas lepää kuvauksen ajan. Pisteiden annosnopeuden keskiarvo oli 9,1 $\mu\text{Sv/h}$ eli noin puolet Pantin ja Senthamizhchelvanin mittaamista lukemista ennen kuvausta. Verrattuna Pantin ja Senthamizhchelvanin mittauksiin ovat tämän tutkimuksen annosnopeuslukemat sekä lepo- että kuvaushuoneessa paljon pienempiä.

Kulseng ja Sandstrøm (2015) mittasivat annosnopeuksia ^{18}F -FDG:tä saaneiden potilaiden läheltä radioaktiivisen lääkkeen injisoinnin jälkeen, tunnin päästä ja PET-TT-kuvauksen jälkeen. Metrin päässä potilaan rintakehästä annosnopeudet olivat $35 \mu\text{Sv/h}$ injisoinnin jälkeen, $27 \mu\text{Sv/h}$ tunnin päästä ja $19 \mu\text{Sv/h}$ kuvauksen jälkeen. Verrattaessa tämän tutkimuksen tuloksia Kulsengin ja Sandstrømin lukemiin huomataan, että tämän tutkimuksen annosnopeudet ovat huomattavasti pienempiä. (Kulseng & Sandstrøm 2015, 5–6.)

Alenez ja Soliman kehottavat käyttämään työnkiertoa isotooppiostasolla (Alenezi & Soliman 2015). Työnkierron avulla sama työntekijä ei ole aina kanyloimassa, annostelemassa tai asettelemassa, jolloin myös työperäinen säteilyaltistus vaihtelee. Yksittäisten annosnopeusmittausten perusteella on mahdotonta arvioida, mistä työvaiheista kertyy työntekijän vuotuinen säteilyannos, koska työntekijän työpiste ei ole joka päivä sama ja työnkierto ei välttämättä noudattele tiettyä kaavaa.

10.2 Luotettavuus ja eettisyys

Aiheen valinta on osa tutkimuksen eettisyyttä. On syytä pohtia, miksi aihe valitaan ja kuka määrää, mitä tutkitaan. Aihetta valittaessa kannattaa pohtia myös sen yhteiskunnallista merkittävyyttä. (Hirsjärvi ym. 2014, 24–25.) Tähän työhön idea on saatu työn tilaajalta. Työn kirjoittajat pitivät ideaa kiinnostavana ja toteuttamiskelpoisena, joten se valikoitui työn aiheeksi. Aihe on tärkeä, sillä röntgenhoitajien työperäisestä säteilyaltistuksesta saatu tieto voi saada aikaan uusia säteilyturvallisempia työskentelytapoja.

Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa tehtiin kirjallisuuskatsaus, jolla pyrittiin löytämään sopiva viitekehys opinnäytetyölle ja asettamaan tutkimus kansainväliseen kontekstiin. Opinnäytetyöntekijät kävivät työn tilaajan kanssa isotooppiostasolla paikan päällä tutustumassa tiloihin ja suunnittelivat yhdessä osaston henkilökunnan kanssa mittauspisteiden paikat. Omakohtaisen kokemuksen avulla pyrittiin lisäämään tutkimuksen luotettavuutta ja pienentämään virheiden mahdollisuutta.

Annosnopeusmittausten tulosten tulee olla samankaltaisia riippumatta mittajasta tai mittausajankohdasta (Pyzdek & Keller 2018, 289). Tutkimuksen luotettavuutta lisättiin mittausprotokollan vakioinnilla, testaamisella ja opiskelijoiden perehdytyksellä mittauksiin. Perehdytyksestä tehtiin video ja kirjalliset ohjeet, jotka opiskelijat saivat käyttöönsä ennen harjoittelujakson alkua. Lisäksi jokaisessa mittauslomakkeessa oli lyhyt kirjallinen ohjeistus mittausten suorittamisesta (liite 1 ja liite 2). Mittauslomakkeet laitettiin omiin kansioihin lepohuoneen ja kuvaushuoneen läheisyyteen, josta ne olivat helposti käytettävissä mittauksia varten.

Lepohuoneen aineistossa on annosnopeusmittauksia viideltä mittauspisteeltä. Huoneessa olevien radioaktiivista lääkettä saaneiden potilaiden määrä vaihteli mittauskertojen välillä yhdestä kolmeen, mikä vaikeutti tulosten vertailua keskenään. Aineistosta oli kuitenkin käytettävissä keskenään vertailukelpoisia tuloksia. Osa aineistosta jätettiin analysoinnin ulkopuolelle, koska tutkimukseen haluttiin valikoida annosnopeuksia, jotka ovat keskenään vertailukelpoisia mittausolosuhteiltaan (Pyzdek & Keller 2018, 289). Mittauspisteitä C ja D vertailtaessa sekä mittauspisteitä C ja E vertailtaessa haluttiin valita annosnopeusmittaukset, joissa vain sängyllä 4 oli potilas. Mittauspisteen B mitatut annosnopeudet jätettiin pois aineistosta. Sen mittaustulokset eivät olleet vertailukelpoisia muiden mittaustulosten kanssa, koska potilaiden määrä ja sänkyihin sijoittelu vaihteli mittaustilanteissa.

Kuvaushuoneesta kerätty aineisto on kahdelta mittauspisteeltä. Se on lepohuoneen aineistoa paremmin vertailukelpoista, koska kuvaushuoneen mittausasetelmassa oli vähemmän muuttujia. Huoneessa on kerrallaan vain yksi radioaktiivista lääkettä saanut potilas, mikä antaa mahdollisuuden vertailla mittaustulosten kaikkia mitattuja lukemia.

Aineiston ollessa pieni, ääriarvojen vaikutus keskiarvoon voi korostua (Heikkilä 2014, 83). Lepohuoneen aineistosta valikoitiin pois kaksi annosnopeutta, jotka olivat huomattavan suuria verrattuna muihin annosnopeuksiin. Näiden kahden annosnopeuden suuruus ei selittynyt potilaan saamalla suurella aktiivisuudella. Aineistossa oli lisäksi yksi huomiota herättävä annosnopeus lepohuoneen mittauspisteeltä D, josta mitattiin verrattain suuri annosnopeus, 8,79 $\mu\text{Sv/h}$ (taulukko 2). Annosnopeus ei kuitenkaan eronnut merkittävästi muista väliseinän vieressä

mitatuista annosnopeuksista. Tiedonkeruulomakkeissa mittaajille annettiin ohjeistukseksi odottaa noin 30 sekuntia ennen lukeman kirjaamista, jotta säteilymittarin lukema ehtisi tasaantua. Ei ole varmuutta noudattivatko mittaajat ohjeistusta mittauksissa, joiden suuri annosnopeus ei selittänyt potilaan saamalla aktiivisuudella.

Määrällisen tutkimuksen luotettavuutta tulee tarkastella kriittisesti. Tutkimuksen reliabiliteetti kertoo, kuinka hyvin saadut mittaustulokset ovat toistettavissa. Tutkimusta pidetään reliabelina, jos kaksi tutkijaa saa samansuuntaisia tuloksia. (Hirsjärvi ym. 2014, 231.) Tässä opinnäytetyössä mittaustulosten kerääjinä oli useita henkilöitä. Yksittäisestä mittaustuloksesta ei voida jälkeinpäin päätellään kerännyttä opiskelijaa. Täten tutkimuksen reliabiliteettia ei voida siltä osin arvioida. Aineistossa ei kuitenkaan ole useita poikkeamia, jotka antaisivat aihetta epäillä suuria eroja eri mittauksia suorittaneiden välillä. Lepohuoneessa yhdeltä mittauskerralta kerättyjen tietojen suuri määrä lisäsi kirjausvirheiden riskiä. Selkeitä kirjausvirheitä ei kuitenkaan löydetty lepo huoneen aineistosta. Kuvaushuoneen aineistoa voidaan pitää luotettavana, koska kerralla kerättyjä tietoja oli varsin vähän, jolloin virheen mahdollisuus jää pienemmäksi.

Validiteetin pohdinta on tärkeä osa tutkimuksen luotettavuuden tarkastelua. Validius tarkoittaa tutkimuksen kykyä mitata haluttua asiaa. (Hirsjärvi ym. 2014, 231–232.) Tämän opinnäytetyön aineisto kerättiin annosnopeusmittauksina. Aineiston avulla pystyttiin vastaamaan työn tutkimuskysymyksiin, joten tutkimusta voidaan pitää validina.

Tutkimuksessa keskeinen eettinen tekijä on potilaiden anonymiteetti. Hyvän tieteellisen käytännön mukaan on tärkeää, että tutkimuksessa osallisena olleet ihmiset säilyvät tuntemattomina. (Vilkkä 2007, 164.) Mitatuista annosnopeuksista ei ole pääteltävissä potilaiden henkilöllisyyttä, eikä mittauksia tehtäessä potilailta kerätty mitään henkilökohtaisia tietoja. Mittaukset tehtiin potilaiden lepoa tai tutkimuksia häiritsemättä. Mittausten suorittajien säteilyaltistus säilyi pienenä, sillä mittauskertoja oli yhdellä mittaajalla vain muutama. Mittausten suorittaminen ei lisännyt myöskään potilaiden saamaa säteilyaltistusta.

Tutkimuksen teksti tulee kirjoittaa tieteenalaa ja toisia tutkijoita kunnioittaen (Vilkkä 2007, 166). Tämän tutkimuksen tutkimustuloksia on vertailtu aiheesta aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Teoreettisessa viitekehyksessä eri tutkijoiden teksteihin on viitattu asianmukaisesti.

Opinnäytetyössä käytetyt lähteet ovat pääosin kymmenen vuoden sisällä julkaistuja vertaisarvioituja artikkeleita ja teoksia. Työhön on pyritty löytämään laajasti lähteitä eri puolilta maapalloa, jotta kulttuurinen värittyminen jäisi mahdollisimman pieneen osaan.

10.3 Oma kokemus ja jatkotutkimusehdotukset

Opinnäytetyö on kokonaisuudessaan ollut pitkä prosessi, joka alkoi keväällä 2020 kirjallisuuskatsauksen teolla. Työelämäpalaveri pidettiin saman vuoden kesäkuussa ja ensimmäinen suunnitelmaseminaari syyskuussa. Tämän jälkeen alkoi mittauksen suunnittelu ja valmistelu. Lokakuussa alkoi opinnäytetyön toisen tekijän harjoittelujakso, jolloin mittausprotokolla valmisteltiin ja testattiin. Valmis aineisto saatiin opinnäytetyöntekijöiden käyttöön tammikuussa 2021. Aineiston analysointi ja raportin kirjoitus kulkivat käsi kädessä kevään ja kesän ajan. Valmis työ saatiin palautettua aikataulussa syyskuussa 2021.

Opinnäytetyö lisäsi tekijöidensä tietämystä säteilystä ja säteilysuojelusta. Säteilysuojelun perusperiaatteet aika, suojaus ja etäisyys konkretisoituivat annosnopeuksia tarkasteltaessa. Mittausprotokollan laatimiseen ja testaamiseen käytettiin paljon aikaa, jotta siitä saataisiin yksiselitteinen, selkeä ja looginen. Mittausohjeet laadittiin samojen periaatteiden mukaan. Mittauksen valmisteluun kuuluva aika yllätti opinnäytetyöntekijät, vaikka siihen olikin varauduttu. Työ opetti tekijöilleen kärsivällisyyttä, aikataulutusta ja prosessityöskentelytaitoja. Teoriatiedon etsiminen pääosin englanninkielisistä lähteistä vei paljon aikaa ja kehitti kielitaitoa.

Annosnopeusmittauksia teki isotooppiostasolla suoritettua ammattitaitoa edistävän harjoittelun yhteydessä yhdeksän röntgenhoitajaopiskelijaa. Kiitos Ella Karulahti, Katariina Lehto, Henna Liesharju, Miia Niemenmaa, Sinna Sinkkonen, Joonas Vuorio ja Robert Åhman.

Annosnopeusmittauksia harjoittelutehtävinään suorittaneet opiskelijat kertoivat mittausten olleen hyvä oppimiskokemus työperäisestä säteilyaltistuksesta isotooppiosastolla. Voisikin ehdottaa, että jatkossa opiskelijat suorittaisivat harjoittelutehtävänä isotooppiyksiköllä annosnopeusmittauksia. Jatkotutkimuskohteena voisivat olla myös annosnopeusmittaukset muissa isotooppiosaston tiloissa, kuten käytävissä sekä gammatutkimusten injektiohuoneessa. Näin saataisiin lisää tietoa rakenteellisen säteilysuojelun toteutumisesta osastolla.

LÄHTEET

Ahmed, IES., Zamzam, AMM. & Yassin, HM. 2019. Statistical analysis of the occupational radiation doses in three different positron emission tomography–computed tomography centers in Egypt. *World Journal of Nuclear Medicine* 18(3), 287–292.

Alenezi, A. & Soliman K. 2015. Trends in Radiation Protection of Positron Emission Tomography/computed Tomography Imaging. *Annals of the ICRP* 44. 259–279.

Bixler, A., Springer, G. & Lovas, R. 1999. Practical aspects of radiation safety for using fluorine-18. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 27(1), 14–16.

Bozkurt, M. 2011. Chapter 2: Clinical applications of PET/CT in oncology. 2.2 Head and neck cancer. Teoksessa van den Broek, W. & Testanera G. (toim.) *Principles and Practice of PET-CT. A Technologist's Guide. Part 2. EANM.* 44–50.

Brownell, G. 1999. A history of positron imaging. Luettu 10.7.2021. <http://www.umich.edu/~ners580/ners-bioe481/lectures/pdfs/Brownell1999historyPET.pdf>

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 F18-and Tc99m-labelled radiopharmaceuticals. Result of the ORAMED project. *Radiation Measurements* 46, 1277–1282.

Emad El-din, M. M., Mahmoud, R. M. M., Abaza, A., Eid, I., Ez El-din, M. R., & Rizk, R. A. 2017. Occupational radiation exposure in PET/CT units. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications* 50(3), 58–65.

Hakala J., Vilkkä H., Valli R. (toim.) 2018. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 2. Keuruu: Otavan Kirjapaino.

Hakkarainen, S. & Hirsimäki, K. 2020. Työperäinen säteilyaltistus isotooppiyksikössä: etäisyyden ja väliaineen vaikutus annosnopeuteen. Röntgenhoitajan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

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

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

Hulley S.B., Cummings S.R., Browner W.S., Grady D, Newman T.B. 2013. *Designing clinical research: an epidemiologic approach.* 4th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams Wilkins. Appendix 6D.

Janatuinen T. & Kemppainen J. 2020. PET-kuvantamisen menetelmät yleistajuisesti. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 136(9), 1062–1067.

Jones T. & Townsend D. 2017. History and Future Technical Innovation in Positron Emission Tomography. *Journal of medical imaging* (Bellingham, Wash.) 4.1: 011013–011013.

Kaijaluoto S. & Liukkonen J. 2020. Isotooppitutkimukset ja -hoidot Suomessa 2018. STUK-B 252. Säteilyturvakeskus. Luettu 6.10.2020. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139991/STUK-B-252.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Koistinaho, N. 2013. Henkilökunnan säteilyaltistuksen optimointi 18F-FDG-tutkimuksissa: opas Oulun yliopistollisen keskussairaalan isotooppiosaston ja keskusröntgenin henkilökunnalle. Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kulseng C. & Sandstrøm J. 2015. Effective doses to staff and dose rates emitted from patients undergoing positron emission tomography utilizing 18F-Fluorodeoxyglucose. *Radiography Open* 2015 Vol. 2 ISSN: 2387–3345.

Lecchi, M., Lucignani, G., Maioli, C., Ignelzi, G. & Del Sole, A. 2012. Validation of a new protocol for 18F-FDG infusion using an automatic combined dispenser and injector system. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 39 (11), 1720–1729.

Lecchi, M., Malaspina, S. & Del Sole, A. 2016. Effective and equivalent dose minimization for personnel in PET procedures: how far are we from the goal? *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 43, 2279–2282.

Li, F., Fang, L. & Li, J. 2020. Exposure Doses to Technologists Working in 7 PET/CT Departments. *Dose-response*. 18(3).

Nguyen, N. C., Akduman, I. & Osman, M. M. 2008. F-18 FDG-PET and PET/CT Imaging of Cancer Patients. *Journal of Radiology Nursing* 2008; 27: 61–69.

Omami, T. 2014 Basic principles and applications of 18F-FDG-PET/CT in oral and maxillofacial imaging: A pictorial essay. *Imaging science in dentistry*. 44 (4), 325–332.

Pant G.S., Senthamizhchelvan S. 2006. Radiation Exposure to Staff in a PET/CT Facility. *Indian Journal of Nuclear Medicine*. 21(4): 100–103.

Peet D.J., Morton R., Hussein M., Alsafi K. & Spyrou N. 2012. Radiation Protection in Fixed PET/CT Facilities — design and Operation. *British Journal of Radiology* 85.1013: 643–646.

Pikkarainen, M. & Planting, A. 2018. Työperäisen säteilyaltistuksen mittaaminen isotooppiosastolla. Röntgenhoitajan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Pyzdek, T. & Keller, P. 2018. *The Six Sigma Handbook*. 5. uudistettu painos. New York: McGraw-Hill Education.

Rados. 2002. RDS-110. Multi-purpose survey meter. User's manual. Luettu 17.6.2021. http://rhbz.pw/albums/userpics/10083/Rados_RDS110_Manual.pdf

Roberts, F. O., Gunawardana, D. H., Pathmaraj, K., Wallace, A., U, P. L., Mi, T., Berlangieri, S. U., O'Keefe, G. J., Rowe, C. C. & Scott, A. M. 2005. Radiation dose to PET technologists and strategies to lower occupational exposure. *Journal on Nuclear Technology* 33, 44–47.

Salesses, F., Perez, P., Maillard, A., Blanchard, J., Mallard, S. & Bordenave, L. 2016. Effect of dosimeter's position on occupational radiation extremity dose measurement for nuclear medicine workers during ¹⁸F-FDG preparation for PET/CT. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics*. 3 (1), 16.

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 (11), 1330–1333.

Skovorodko, K., Bareike, M., Gudelis, A. & Gričienė, B. 2020. Occupational exposure in a PET/CT facility using two different automatic infusion systems. *Physica Medica* 77, 169–175.

STUK. 2019. Sanasto. Päivitetty 2.12.2019. Luettu 23.5.2021. <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/sanasto>.

Säteilylaki 9.11.2018/859.

Tays. 2021. Pirkanmaan sairaanhoitopiiri, erikoissairaanhoito. Potilashoidon tunnusluvut. Päivitetty 31.5.2021. Luettu 5.7.2021. https://www.tays.fi/fi-fi/sairaanhoitopiiri/Potilashoidon_tunnusluvut

Tays Kuvantamiskeskus. Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. 2020 Potilasohje AA5DR. Aivojen aineenvaihdunnan PET-TT. Päivitetty 23.10.2020. Luettu 30.5.2021. [https://www.tays.fi/fi-FI/Ohjeet/Potilasohjeet/Kliininen_isotooppilääketiede/Aivojen_aineenvaihdunnan_PETTT\(97277\)](https://www.tays.fi/fi-FI/Ohjeet/Potilasohjeet/Kliininen_isotooppilääketiede/Aivojen_aineenvaihdunnan_PETTT(97277))

Tays Kuvantamiskeskus. Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. 2020. Potilasohje JN4JR. Koko kehon aineenvaihdunnan laaja PET-TT (¹⁸F-FDG). Päivitetty 19.8.2020. Luettu 30.5.2021. [https://www.tays.fi/fi-FI/Ohjeet/Potilasohjeet/Kliininen_isotooppilääketiede/Koko_kehon_aineenvaihdunnan_laaja_PETTT_\(97750\)](https://www.tays.fi/fi-FI/Ohjeet/Potilasohjeet/Kliininen_isotooppilääketiede/Koko_kehon_aineenvaihdunnan_laaja_PETTT_(97750))

Tout, D., Dickson J., and Bradley A. 2016. Basic Principles of PET-CT Imaging. PET/CT in Gynecological Cancers. Cham: Springer International Publishing, 33–44.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitleminen Suomessa. Helsinki: TENK.

VNa. 2018. Valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä. 22.11.2018/1034.

Verma, S., Kheruka, S., Maurya, A., Kumar, N., Gambhir, S. & Kumari, S. 2016. Benefits of adopting good radiation practices in reducing the whole body radiation dose to the nuclear medicine personnel during 18 F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography imaging. *Indian Journal of Nuclear Medicine*. 31(1), 27–30.

Vilkka, Hanna. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Vrigneaud, J-M., Prévot, S., Meadows, A. & Hogg, P. 2010. Chapter 2: Practical radiation protection in PET-CT. Teoksessa Hogg, P. & Testanera, G. (toim.) Principles and Practice of PET/CT. A Technologist's Guide. EANM. 16–36.

Weber. 2020. Kahi Runkopontti. Luettu 15.8.2021. <https://www.fi.weber/kahi-tiilet-ja-harkot/kahi-harkot/kahi-runkopontti-300x130x198>

Workman, R.B. & Coleman R.E. 2006. PET/CT Essentials for Clinical Practice. 1st ed. New York: Springer.

Zanzonico, P. 2003. Positron Emission Tomography: A Review of Basic Principles, Scanner Design and Performance, and Current Systems, 87–111.

LIITTEET


Liite 1. Lepuhuoneen tiedonkeruulomake

<p>Sänky 4</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>	<p>Sänky 5</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>
<p>Sänky 3</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>	<p>Tuoli 6</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>
<p>Sänky 2</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>	<p>Tuoli 7</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>
<p>Sänky 1</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>	<p>Sänky 8</p> <p>Aine ja Aktiivisuus</p> <p>Pisto aika</p>
<p>Päivämäärä Kellonaika</p>	

LEPOHUONEEN MITTAUKSET

Kuljeta tippateline ja siinä roikkuva säteilymittari lattiaan merkityille mittauspisteille.

Huoneessa mittauspisteet ovat merkitty lattiaan V:n muotoisesti, osoittamaan miten tippatelineen jalat asettuvat mittauspisteeseen. Säteilymittarin tulee roikkuu suorassa tippatelineen edessä. Odota noin 30 sekuntia siirryttyäsi seuraavalla mittauspisteelle, jotta mittarin lukema vastaa uuden mittauspisteen lukemaa.

Ota ylös säteilymittarin lukema. Merkitse laatikkoon säteilymittarin lukema. Esimerkiksi: 

Merkitse jokaiseen sänkyyn/tuoliin aktiivisuus ja pistoaika. Jos sänky tai tuoli on tyhjä, merkitse 0. (Tiedot joko annostelijan listasta tai RIS)

Muista merkitä päivämäärä ja tarkka kellonaika.

Jokaisella mittauskerralla ei tarvitse mitata jokaisella mittauspisteellä. Ota aina uusi lomake jokaista mittauskertaa varten.

Liite 2. Kuvaushuoneen tiedonkeruulomake

Aktiivisuus
 Pistoaika

Päivämäärä Kellonaika

Kuvaushuoneen mittaukset

Kuljeta tippateline ja siinä roikkuva säteilymittari lattiaan merkityille mittauspisteille.

Huoneessa mittauspisteet ovat merkitty lattiaan V:n muotoisesti, osoittamaan miten tippatelineen jalat asettuvat mittauspisteeseen. Säteilymittarin tulee olla suorassa tippatelineen edessä.

Ota ylös säteilymittarin lukema. Merkitse laatikkoon säteilymittarin lukema. Esimerkiksi:

Merkitse potilaan aktiivisuus ja pistoaika.

Muista merkitä päivämäärä ja tarkka kellonaika.