



Laura Jaakkola & Eveliina Kola

ANNOSTILAVUUSHISTOGRAMMIT ETURAUHASSYÖVÄN SÄDEHOIDOSSA

Perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan vertailututkimus

ANNOSTILAVUUSHISTOGRAMMIT ETURAUHASSYÖVÄN SÄDEHOIDOSSA

Perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan vertailututkimus

Laura Jaakkola
Eveliina Kola
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Radiografian ja sädehoidon
koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Tekijät: Laura Jaakkola & Eveliina Kola

Opinnäytetyön nimi: Annostilavuushistogrammit eturauhassyövän sädehoidossa – Perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan vertailututkimus

Työn ohjaajat: Anneli Holmström & Aino-Liisa Jussila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 46 + 2 liitesivua

Eturauhassyöpä on Suomen yleisin syöpämuoto, ja sen sädehoitoa kehitetään koko ajan. Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikköön tuli vuonna 2010 uusi Varian Medical Systemsin sädehoitolaite, jolla voidaan antaa RapidArc-sädehoitoa. Tällä sädehoitotekniikalla voidaan antaa intensiteettimuokattua sädehoitoa samanaikaisesti hoitopään pyörähtäessä sädehoitokohteen ympäri. Varian Medical Systemsin mukaan tämä uusi tekniikka säästäisi enemmän sädehoidon kohdetta ympäröivää tervettä kudosta kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

Tutkimuksemme tarkoituksena oli vertailla eturauhassyövän sädehoidossa perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon sekä RapidArc-sädehoitotekniikan annostilavuusjakaumia tarkastelemalla eturauhasen läheisyydessä sijaitsevia riskielimiä sekä koko kehon saamaa säteilyannosta. Vertailimme näiden kahden eri sädehoitotekniikan myös monitoriyksiköiden lukumääriä. Tutkimuksemme tavoitteena on kriittisesti tarkastella ja kehittää sädehoidon annossuunnittelukäytäntöjä. Tutkimuksemme on ajankohtainen, sillä RapidArc-sädehoidot ovat koko ajan yleistymässä ja niitä käytetään paljon nimenomaan eturauhassyövän hoidossa. Esitimme tutkimuksessamme hypoteesin, jonka mukaan RapidArc-sädehoitotekniikka säästäisi enemmän riskielimiä eturauhassyövän sädehoidossa kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

Tutkimuksemme oli kvantitatiivinen, strategialtaan hypoteettis-deduktiivinen ja tieteenfilosofialtaan positivistinen. Tutkimusaineisto kerättiin Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikössä syksyllä 2012. Havaintoyksiköt käsiteltiin tilastollisin menetelmin.

Tutkimustuloksien perusteella RapidArc-sädehoitotekniikka ei säästä riskielimiä enempää kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. Myöskään monitoriyksikkövertailussa ei nousut esiin merkittäviä eroja näillä kahdella eri sädehoitomenetelmällä.

Jatkotutkimushaasteina esitämme saman tutkimuksen toistamisen eri syöville, esimerkiksi rintasyöville. Toinen jatkotutkimushaaste on perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan eturauhassyövän sädehoidon hoitokerran pituuden vertailu.

Asiasanat: Annosjakauma, annostilavuus, annostilavuushistogrammi, eturauhassyöpä, IMRT, intensiteettimoduloitu sädehoito, RapidArc, riskielin, sädehoito

ABSTRACT

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

Authors: Laura Jaakkola & Eveliina Kola

Title of Bachelor's Thesis: The Dose Volume Histograms in Radiation Therapy of Prostate Cancer – A Comparative Study between Intensity Modulated Radiation Therapy and RapidArc Radiation Therapy

Supervisors: Anneli Holmström & Aino-Liisa Jussila

Term and Year when the Thesis was Submitted: Spring 2013

Number of Pages: 46 + 2

Prostate cancer is the most common cancer in Finland. Oulu University Hospital's radiotherapy department purchased a new radiotherapy equipment RapidArc in 2010. Varian Medical Systems developed RapidArc to give the intensity modulated radiation therapy while the gantry is rotating around the object. Varian Medical Systems promised that this technology is going to save the organs at risk and the healthy tissue more as the pre-technology the intensity modulated radiotherapy. This led us to choose this topic to research.

The purpose of our study was to compare the dose distributions of the volume of the organs at risk and the dose distributions of the volume of the whole body. This was made by comparing the dose volume histograms between the intensity modulated radiation therapy and RapidArc. We also compared the number of monitor units between these two different radiotherapy techniques. The aim of our study is to examine critically and develop the dose planning in radiotherapy. Our study is topical while the RapidArc treatments are becoming increasingly common and are used much more specifically while treating the prostate cancer.

We presented a hypothesis in our thesis. According to the hypothesis we thought that RapidArc radiation therapy would save the organs at risk more than the intensity modulated radiotherapy.

Our study was quantitative. The research strategy of our thesis was hypothetical-deductive and our philosophy of science was positivist. The study material was collected in radiotherapy department of Oulu university hospital in autumn 2012. The data were analyzed by quantitative analysis.

The study results show that the RapidArc radiotherapy protected the organs at risk and the whole body as much as the intensity modulated radiotherapy. There were no differences in the number of monitor units either between the two different radiotherapy techniques.

As further research challenge we would recommend to study the time difference between these two different radiotherapy techniques. We would also recommend to repeat our study with some other cancer, such as breast cancer.

Keywords: Dose distribution, dose volume, dose volume histogram, IMRT, intensity modified radiation therapy, organs at risk, prostate cancer, RapidArc, radiation therapy, radiotherapy

SANASTO

Gray, Gy

Gray on absorboituneen säteilyannoksen suure, suoraan tai epäsuorasti ionisoivasta säteilystä alkioon siirtynyt energia alkion massayksikköä kohden.

1 Gy = 1 J/kg. (Valve 2010, 39.)

Hoitopää, gantry

Hoitopäällä tarkoitetaan lineaarikiihdyttimen hoitopään kannatinosa. Hoitopää voi pyöriä ± 180 astetta vaaka-akselinsa ympäri. (Valve 2011, sanasto.)

Intensiteettimuokattu sädehoito, IMRT, intensity modulated radiation therapy

Intensiteettimuokattu sädehoito perustuu käänteiseen annoslaskentaan. Hoidon suunnitteluvaiheessa kohdealueelle sekä sitä ympäröiville terveille kudoksille asetetaan annosrajat. Näiden parametrien avulla annoslaskentaohjelma laskee kullekin hoitokentälle annosintensiteetin optimaalisen geometrisen jakauman. Annosintensiteetti saadaan aikaan staattisilla tai dynaamisilla moniliuskarajaimilla. (Valve 2011, sanasto.)

Isodoosikäyrä, sama-annoskäyrä

Isodoosikäyrillä kuvataan säteilyannosjakautumaa tutkittavassa tasossa (Valve 2010, 47).

Moniliuskarajain, MLC

Moniliuskarajaimia käytetään hoitokentän kohteenmukaiseen muotoiluun ja säteilyn intensiteetin muokkaamiseen. Moniliuskarajaimet ovat lamellimaisia liuskoja (n. 2–5 mm leveitä), joita voidaan liikuttaa jopa dynaamisesti sädetyksen aikana, jolloin puhutaan intensiteettimuokatusta sädehoidosta. (Sipilä 2010, 125.)

Monitoriyksikkö, MU

Monitoriyksiköllä tarkoitetaan lineaarikiihdyttimen sisäisen annosmonitorikammion perusyksikköä. Monitoriyksiköiden avulla varmistetaan, että potilaan saama hoitoannos on annosuunnitelman mukainen. (Valve 2011, sanasto.)

Monitoriyksiköiden määrä ei kuitenkaan kerro suoraan potilaan saamaa absorboitunutta säteilyannosta, sillä monitoriyksikköjen ja kiihdyttimen tuottaman säteilyannoksen riippuvuus määritetään annoskalibroinnilla. Tämän kalibroinnin jälkeen muodostuu annostaulukko, jossa tiettyä monitoriyksikkömäärää vastaa tietty absorboitunut annos. (Valve 2010, 42.) Usein 100 monitoriyksikköä vastaa yhden grayn (Gy) annosta (Sipilä 2010, 124).

RapidArc, RA

RapidArc on Varian Medical Systemsin käyttämä nimi tekniikalle, jossa käytetään intensiteettimuokatus sädehoidon tavoin käänteistä optimointia. RapidArc käyttää 1–360 asteen kaarikenttää, jonka aikana intensiteettimuokattu sädehoito annetaan muuttelemalla hoitopään kierto- ja annosnopeutta sekä moniliuskarajaimien asentoja parhaan mahdollisen annosjakauman saamiseksi. RapidArc kehitettiin perinteisen IMRT-hoidon nopeuttamiseksi. Koska hoitoaika on lyhyempi, myös sädehoidon osuvuus paranee. Myös potilaan kannalta lyhyempi hoitoaika on miellyttävämpi. (Valve 2011, 12.)

Riskielin, kriittinen elin

Riskielin on anatominen rakenne, joka sijaitsee sädehoidon kohdealeen läheisyydessä, ja jolla on tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia. Eturauhasen syöpää tarkastellessa tärkeimmät riskielimet ovat peräsuoli ja virtsarakko. (Vanhanen 2008, 37–38.)

Simulointi

Sädehoidon simuloinnilla tarkoitetaan sijainnin paikallistamista sekä merkitsemistä. Simulointi voidaan suorittaa suunnittelukuvauksen yhteydessä, jolloin puhutaan virtuaalisimuloinnista, tai erillisellä sädehoidon simulaatiokerralla. Tämä kuvaus suoritetaan tietokonetomografia-, sädehoito- tai läpivalaisulaitteella. (Jussila, Kangas & Haltamo 2010, 100.)

Tietokonetomografia, TT

Tietokonetomografialla saadaan röntgensäteilyn avulla kuvattua potilaasta kolmiulotteisia leikekuvia. TT-kuvasta erottuu erilaisten kudosten aiheuttamat

säteilyn vaimennuserot paljon paremmin kuin tavanomaisessa röntgenkuvassa.
(Miettinen, Pukkila & Tapiovaara 2004, 46.)

VMAT, Volumetric Modulated Arc Therapy

VMAT on Elekta:n intensiteettiä muokattuun sädehoitoon pohjautuva kaarihoito, johon myös RapidArc-sädehoitotekniikka perustuu. Tekniikka esiteltiin jo vuonna 1995. (Valve 2011, 12.)

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	9
2 ANNOSSUUNNITTELU ETURAUHASSYÖVÄN INTENSITEETTIHUOKATUSSA SÄDEHOIDOSSA.....	11
2.1 Annossuunnittelu vaiheittain	12
2.2 Annostilavuushistogrammit ja niiden tulkinta	15
2.3 Säteihoidon aiheuttamat sivuvaikutukset.....	16
3 TUTKIMUSONGELMAT	19
4 TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	20
5 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN.....	21
5.1 Aineiston keruu.....	21
5.2 Aineiston analysointi.....	23
6 TULOKSET.....	24
6.1 Peräsuolen annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteetti- huokatulla sädehoidolla ja RapidArc-säteihoidotekniikalla.....	25
6.2 Virtsarakon annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteetti- huokatulla sädehoidolla ja RapidArc-säteihoidotekniikalla.....	27
6.3 Suoliston annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteetti- huokatulla sädehoidolla ja RapidArc-säteihoidotekniikalla	29
6.4 Koko kehon (body) annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteetti- huokatulla sädehoidolla ja RapidArc-säteihoidotekniikalla.....	31
6.5 Monitoriyksiköt perinteisellä intensiteetti- huokatulla sädehoidolla ja RapidArc- säteihoidotekniikalla	33
6.6 Tulosten yhteenveto	34
7 POHDINTA.....	36
7.1 Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset	36
7.2 Luotettavuus ja eettisyys	39
7.3 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet	40
LÄHTEET.....	42
LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Sädehoito ei vaikuta vain syöpäkudokseen, vaan soluvaurioita voi syntyä myös terveessä kudoksessa. Siksi on erityisen tärkeää, että sädehoito pystytään tarkasti kohdistamaan halutulle alueelle. Näin säästetään mahdollisimman paljon ympärillä olevaa tervettä kudosta ja minimoidaan riskielinten saama säteilyannos. (Eturauhassyövän ulkoinen sädehoito, hakupäivä 20.5.2011.) Riskielimet ovat anatomisia rakenteita, jotka sijaitsevat sädehoidon kohdealueen läheisyydessä, ja joilla on tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia. Näiden elinten sijaintiin tulee kiinnittää sädehoidon suunnittelussa erityistä huomiota, jotta välttyttäisiin komplikaatioilta. Eturauhasen syöpää tarkastellessa tärkeimmät riskielimet ovat peräsuoli ja virtsarakko. (Vanhanen 2008, 37–38.) Terveen kudoksen säästämiseksi eturauhassyövän hoitoon käytetään intensiteettimuokattua sädehoitoa (IMRT). RapidArc on uusi intensiteettimuokatun sädehoidon muoto, jolla voidaan mahdollisesti säästää vielä enemmän tervettä kudosta kuin perinteisellä IMRT-tekniikalla.

Uusien hoitomenetelmien kehittäminen on tärkeää, koska eturauhassyöpä on Suomen yleisin syöpämuoto. Vuonna 2009 uusia tapauksia todettiin 4591 (Suomen Syöpärekisteri 2011, hakupäivä 24.4.2011). Yli 70-vuotiailla suositellaan ensisijaiseksi hoitomuodoksi sädehoitoa, jota voidaan antaa ulkoisesti ja sisäisesti (Jyrkkiö 2004, 3139).

RapidArc on Varianin kehittämä versio intensiteettimuokatusta kaarihoidosta. Menetelmässä yhdistyy hoitopään kierto vaihtelevalla nopeudella, moniliuskarajainten dynaaminen liike sekä annosnopeuden vaihtelu hoidon aikana (RapidArc, hakupäivä 14.2.2012). RapidArc-tekniikassa hoitokoneen hoitopää voi pyörähtää 360 astetta hoitopöydän ja potilaan ympärillä, jolloin terveeseen kudokseen saadaan levitettyä laajalti pienet säteilyannokset. Tällä tekniikalla saatetaan kuitenkin kasvattaa sekundäärisyövän riskiä. (Valve 2011, 17.)

Tanskassa tehtiin vuonna 2009 tutkimus, jossa vertailtiin perinteistä intensiteettimuokattua sädehoidon tekniikkaa RapidArc-hoitomuotoon. Tutkimuksen mukaan RapidArc-hoidolla riskielimet saivat vähemmän säteilyannosta kuin perinteisellä IMRT-tekniikalla. Lisäksi uudella tekniikalla voitiin käyttää vähemmän monitoriyksiköitä. RapidArc-hoitokerta on myös ajallisesti lyhyempi, sillä yksi hoitopään pyörähdys kesti 70–90 sekuntia, kun taas IMRT-hoitokerta

kenttineen saattaa kestää 4–5 minuuttia. (Kjær-Kristoffersen, Ohlhues, Medin & Korreman 2009, 227–232.)

Tutkimuksemme tarkoituksena on vertailla perinteisen intensiteettimuokatus sekä RapidArc-sädehoitotekniikan annostilavuusjakaumia eturauhassyövän sädehoidossa tarkastelemalla eturauhasen läheisyydessä sijaitsevia riskielimiä sekä koko kehon saamaa säteilyannosta. Vertailemme myös näiden kahden eri sädehoitotekniikan monitoriyksiköiden lukumääriä. Tutkimustuloksistamme selviää, kumpi sädehoitotekniikka on säästävämpi eturauhasta ympäröivälle riskielimille ja koko keholle. Aikaisempien tutkimusten mukaan (Chao, Cheng, Tsai, Tsai & Wu 2011; Astner, Bayer, Busch, Jacob & Kneschaurek 2010; Valve 2011, 52) RapidArc:lla on voitu antaa hoitokohteeseen suurempi annos ja samalla riskielimien säteilyannokset on saatu laskettua verrattuna perinteiseen intensiteettimuokattuun sädehoitoon. Näiden tutkimustuloksien pohjalta esitämme hypoteesin, jonka mukaan RapidArc-sädehoitotekniikka säästäisi enemmän riskielimiä kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

Tutkimuksemme tavoitteena on kriittisesti tarkastella ja kehittää sädehoidon annossuunnittelukäytäntöjä. Tämän seurauksena voidaan mahdollisesti keskittää eturauhassyövän hoito vain toiselle hoitotekniikalle. Tutkimuksemme on ajankohtainen, sillä RapidArc-sädehoidot ovat koko ajan yleistymässä, ja niitä käytetään paljon nimenomaan eturauhassyövän hoidossa. RapidArc-hoitokone tuli Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikköön vuonna 2010, jonka jälkeen sillä on hoidettu runsaasti eturauhasen syöpää sairastavia potilaita. Tutkimustuloksiamme voidaan käyttää hyväksi Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön annossuunnittelun kehittämiseksi. Loppujen lopuksi myös potilas hyötyy, sillä hänelle voidaan taata paras mahdollinen hoitotulos mahdollisimman pienellä terve kudoksen saamalla säteilyannoksella eturauhasen syövän sädehoidossa.

2 ANNOSSUUNNITTELU ETURAUHASSYÖVÄN INTENSITEETTIMUOKATUS- SA SÄDEHOIDOSSA

Säteilyn biologinen vaikutus perustuu molekyylien ja atomien ionisoitumiseen. Sädehoito on ionisoivaa säteilyä, joka aiheuttaa vaurioita solun toiminnan kannalta tärkeissä makromolekyyleissä ja niistä koostuvissa rakenteissa. Fysikaaliset vaikutukset tapahtuvat heti, kun taas biologisten vaikutusten kehittyminen vie aikaa sekunneista vuosiin. Fysikaalisessa vaiheessa varautuneet hiukkaset reagoivat solun atomien kanssa. Käytetyn säteilyn energian ollessa riittävän suuri, tapahtuu lukuisten atomien ionisaatio. Yhden grayn säteilyannos fotoneilla voi tuottaa arviolta 10^5 ionisaatiota solua kohti. (Kouri, Ojala & Tenhunen 2007, 139–143.)

Ionisoiva säteily voi aiheuttaa tuhoa soluun vaurioittamalla solun DNA:ta tai sen osaa. DNA:n vaurioitumisesta voi seurata mm. perimän vioittuminen, solukuolema, solun muuttuminen syöpäsolun esiasteeksi tai hillitsemättömään solunjakautumiseen. Vaurioiden vakavuusaste riippuu solun korjausmekanismeista. DNA:n korjausentsyymit tunnistavat kemialliset rakennevirheet ja väärät emäsparijärjestykset ja pystyvät monin eri korjausmenetelmin vielä paikkaamaan pienet vauriot. Yksijuosteiset vauriot DNA:ssa ovat hyvin usein vielä korjattavissa, mutta kaksijuosteinen vaurio on hyvin vaikea korjata, ja se johtaakin usein solukuolemaan. (Mustonen & Salo 2002, 31–32.)

Sädehoito ei vaikuta vain syöpäkudokseen, vaan soluvaurioita voi syntyä myös terveessä kudoksessa. Siksi on erityisen tärkeää, että sädehoito pystytään tarkasti kohdistamaan halutulle alueelle. Näin säästetään mahdollisimman paljon ympärillä olevaa tervettä kudosta. Eturauhassyövän hoidossa käytetään tämän vuoksi intensiteettimuokattua sädehoitoa. (Eturauhassyövän ulkoinen sädehoito, hakupäivä 20.5.2011.)

Sädehoito on yleinen eturauhassyövän hoitomuoto. Yli 70-vuotiaille se on aina ensisijainen suositeltava hoitomuoto. Alle 70-vuotiailla potilailla ensisijaisena hoitona on aina harkittava leikkausta. Joillekin eturauhasensyöpää sairastaville potilaille voi riittää hoidoksi pelkkä hormonihoito. Myös pelkkä seuranta voi olla vaihtoehto niillä potilailla, joilla on hitaasti etenevä matalan riskin eturauhassyöpä. (Jyrkkiö 2004, 3139.) Nykyään Pohjoismaissa ja myös muualla Euroopassa suositaan säästävää hoitoa paikallisessa eturauhassyövässä ja varhaisessa

vaiheessa todetun syövän hoidossa. Potilailla, joilla eliniän ennuste on alle kymmenen vuotta, voidaan harkita pelkkää seuranta. Tämä edellyttää kuitenkin, että syöpä on paikallinen ja hitaasti etenevä. Myös potilaan omalla mielipiteellä on suuri merkitys pohdittaessa aloitetaanko hoidot vai jätetäänkö tauti toistaiseksi seurantaan. (Norlén, Schenkmanis & Bokförlag 2004, 53.)

2.1 Annossuunnittelu vaiheittain

Eturauhassyövän sädehoitoa saava potilas kuvataan tietokonetomografialaitteella, jotta eturauhasesta ja sitä ympäröivästä anatomiasta saadaan kolmiulotteinen kuva, johon sairaalafyysikko tai annossuunnittelijahoitaja laatii annossuunnitelman annossuunnitteluohjelmiston avulla. Lääkäri päättää potilaalle annettavan kerta-annoksen, hoidon fraktioinnin sekä kokonaisannoksen, kun kohdealue on määritetty. Tietokonetomografialeikkeisiin hän määrittää hoitokohteen, johon sädehoito halutaan antaa. Lääkäri määrittää myös sädeherkät elimet sekä näille annosmarginaalit, joita ei sovi ylittää. Eturauhasen syövässä pääriskielimet ovat peräsuoli ja virtsarakko. (Jussila ym. 2010, 91–92; Vanhanen 2008, 36.) Tyypillisesti syövän hoidossa kokonaisannos on useita kymmeniä grayta jaettuna kahden grayn fraktioiksi eli hoitokerroiksi. Potilas saa joka arkipäivä yhden fraktion suuruisen säteilyannoksen useiden viikkojen ajan. Viikonloppuisin hoitoja ei yleensä anneta. Esimerkiksi jos eturauhassyöpää hoidetaan 72 grayn (Gy) kokonaisannoksella ja 2 grayn fraktioinnilla, on kokonaishoitoaika yli 7 viikkoa. (Kärnä 2008, 18.) Hoitoa annetaan noin seitsemän viikon ajan 1,9 - 2,0 grayn päiväannoksina (Jyrkkiö 2004, 3140–3141).

Tietokonetomografialeikkeitä, anatomiaa sekä kohdetta tarkasteltaessa voidaan määrittää sädehoitokenttien lukumäärä, sijainti ja suunta sekä käytettävän säteilyn laatu ja energia. Kun sädehoitoaluetta tarkastellaan keilanäkymän avulla, voidaan asettaa myös moniliuskarajaimien tai muiden suojen muoto. Kun säteilykentät ja suojat on aseteltu leikekuviin, ohjelmistolle annetaan tieto käytettävästä säteilyannoksesta sekä hoidon fraktioinnista, ja kone määrittää laskennallisesti suunnitelman perusteella hoitoalueelle syntyvän annosjakauman. (Vanhanen 2008, 36.)

Annossuunnittelu voidaan aloittaa hoidon kannalta tärkeiden alueiden määrittelyn jälkeen. Annossuunnittelulla tarkoitetaan kaikkia niitä laskelmallisia keinoja, joilla aikaansaadaan kohdealueeseen tietty säteilyannos tietyllä annosjakaumalla. Annossuunnittelija pyrkii suunnittelemaan käytettävien säteilykenttien lukumäärän, suunnat, energiat ja muodon siten, että

saatava annosjakauma vastaisi mahdollisimman hyvin määrättyä. Kun annossuunnitelma on valmis, voidaan hoito simuloida. Tällä varmistetaan, että käytetyt säteilykeilat osuvat haluttuun kohtaan. (Kärnä 2008, 16–18.)

Sädehoidon annossuunnittelulla pyritään varmistamaan hoidon paras mahdollinen lopputulos. Annossuunnittelu voidaan jakaa biologiseen ja fysikaaliseen suunnitteluun. Biologisella annossuunnittelulla tarkoitetaan fraktioiden, kohdealueen ja kriittisten elinten määrittäminen. Fysikaalinen annossuunnittelu tarkoittaa kaikkia niitä keinoja, joilla pyritään täyttämään biologisen annossuunnitelman ehdot. (Jussila ym. 2010, 88.)

Sädehoidossa kohdealueen tilavuus rajataan annossuunnittelua varten. Kliininen kohdealue (clinical target volume, CTV) on alue, joka on määrätty tuhottavaksi. Se sisältää makroskooppisen kasvaimen sekä mahdolliset mikroskooppiset levinneet alueet. Suunnittelualue (planning target volume, PTV) sisältää kliinisen kohdealueen, sekä kaikki kohdealueen ja säteilykeiloiden epätarkkuudet. Näitä ovat esimerkiksi asetelutarkkuus ja kudosten liike. (Jussila ym. 2010, 89–90) Suunnittelualueella varmistetaan, että kliininen kohdealue saa sille määrätyn säteilyannoksen (Vanhanen, 2008, 37).

Säteilykeila saadaan kohdennettua moniliuskarajaimilla kohdealueen muotoisiksi. Säteilykentästä pyritään rajaamaan sädeherkät elimet mahdollisuuksien mukaan joko säteilykeilan muotoa muuttamalla tai säteilyn tulosuuntaa. (Jussila ym. 2010, 93.) Hoitokentän annosintensiteetti on tasainen. Hoitoannos muodostuu hoitokenttien annosten summautumisesta (Kangasmäki & Kouri 2009, 951). Annosjakaumasta saadaan värikuva, jonka spektri mukaillee kohteen säteilyannosta. Isodoosikäyrien avulla voidaan tarkastella annosjakauman tasaisuutta hoitoalueella sekä kriittisten elinten alueella. (Vanhanen 2008, 36.)

Intensiteettimuokattu sädehoito tuo lisähaasteita sädehoidon annossuunnittelijoille sen kolmiulotteisuuden myötä. Kohdealue ja riskielimet määritetään tietokonetomografialeikkeistä kolmiulotteisina kappaleina. IMRT-hoitojen määrän kasvaessa myös annossuunnittelijoiden työmäärä lisääntyy, sillä kohteet piirretään leike leikkeeltä. (Boyer, Butler, DiPetrillo, Engler, Fraas, Grant, Ling, Low, Mackie, Mohan, Purdy, Roach, Roseman, Verhey, Wong, Cumberlin, Stone & Palta, 2001, 880–914.)

Jyrkkiö (2004, 3140) on ottanut kantaa artikkelissaan ulkoisen sädehoidon kokonaisannokseen. Hän on sitä mieltä, että hoidon kokonaisannosta tulisi suurentaa. Suomessa kuratiivisen hoidon annos on 70–72 Gy. Etenkin aggressiivisen eturauhassyövän omaavat potilaat hyötyvät isommasta kokonaisannoksesta. Nykyään käytetäänkin yleensä 76 grayn kokonaisannosta (Valve 2011, 1). Annosta nostettaessa sivuvaikutusten riski kuitenkin kasvaa. Riskien minimoimiseksi hoitomarginaali on mahdollisimman pieni. Pollackin ja Zagarsin tutkimuksen mukaan (1997, 1097–1105) noin 25 prosenttia eturauhassyövistä uusiutuu sädehoidosta huolimatta, jos hoidoksi annetaan tavanomaisesti jaksotettu 65–70 Gy:n kokonaisannos, mutta annoksen ollessa 80 Gy tai suurempi, syövän paikallisia uusiutumia ei odoteta enää ollenkaan. Annosten suurentamista rajoittavana tekijänä eturauhassyövässä on aivan eturauhasen takana sijaitseva peräsuolen limakalvo, jonka sädetys voi aiheuttaa sädeproktiitin (Joensuu, Kouri & Tenhunen 2001, 393–394).

Hoitoannosten suurenemisen myötä on kuitenkin herännyt epäily siitä, tapahtuuko terveessä kudoksessa muutoksia säteilyn vaikutuksesta. (Glastein & Goffman 2002, 115–117.) Koska IMRT-hoidossa käytetään enemmän monitoriyksikköjä sekä säteilysuuntia, altistuu samalla suurempi kudostilavuus pienelle säteily määrälle. IMRT-hoidon aikana lineaarikiihdytin tuottaa säteilyä 2–5 kertaa enemmän kuin tavallisessa sädehoidossa, ja tämä lisää vuotosäteilyn määrää. IMRT-tekniikkaan liittyy siis väistämättä pienten annosten leviäminen terve kudokseen sekä mahdollinen kasvanut sekundaarisyövän riski. (Kangasmäki & Kouri 2009, 951.)

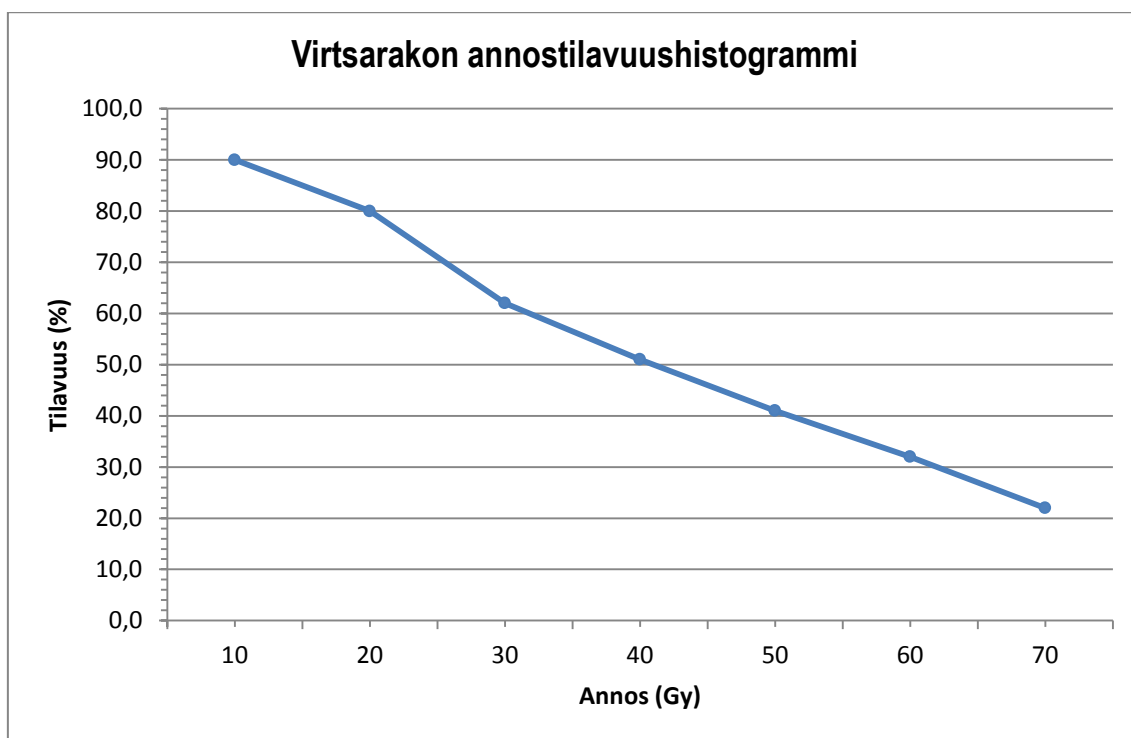
Ennen sädehoidon aloittamista potilaan iholle tatuoidaan asettelupisteet. Näiden pisteiden avulla hoito saadaan annettua aina samassa asennossa. Merkit iholle tehdään laservalojen avulla. (Jyrkkiö 2004, 3140–3141.) Hoitoasento tarkistetaan konekuvauksen avulla. (Jyrkkiö 2004, 3140.) Potilas on hoidon aikana yleensä selällään. Hoitoasennolla on suuri merkitys onnistuneen hoidon kannalta. Hoitoasento tulee miettiä jo suunnittelukuvauksen aikana huolella, sillä asennon tulee olla sellainen, että potilas jaksaa olla samassa asennossa ja liikkumatta jokaisella hoitokerralla. Kesken hoidon hoitoasennon muuttaminen on työlästä, koska koko hoidon suunnittelu aloitetaan alusta. Eturauhassyöpäpotilaiden jalkojen asennon varmistamiseksi käytetään jalkatukia. (Jussila ym. 2010, 85.) Epätarkkuutta voi aiheuttaa eturauhasen liike, suolen ja rakon täyteys sekä potilaan hoitoasennon virheet (Jyrkkiö 2004, 3140). Asettelussa pyritään 2,5 mm:n tarkkuuteen (Joensuu, Ojala, Tenhunen, Kouri & Teppo 2002).

Annosvasteella kuvataan biologisen kohteen vastetta säteilylle. Sekä terveen kudoksen, että kasvainten sädeaurion teoreettinen annosvastekäyrä on sigmoidaalinen eli sädeaurion todennäköisyys suurenee annoksen kasvaessa. Jaksotetussa sädehoidossa normaalikudoksen ja kasvainkudoksen annosvastekäyrät eroavat toisistaan. Kuratiivinen sädeannos voidaan antaa vain niin, että vakavien komplikaatioiden todennäköisyys on hyväksyttävissä. Kasvainten sädereaktiot vaihtelevat huomattavasti tervettä kudosta enemmän. Kasvaimen nopea häviäminen ei aina tarkoita hyvää paranemistodennäköisyyttä eikä hidas häviäminen huonoa. Hoitovasteeseen vaikuttavat monet tekijät, muun muassa kasvaimen tyyppi ja sädeherkkyys sekä jakautumiskyvyttömiä solujen elinikä. (Kouri ym. 2007, 148.) Syövän paranemismahdollisuudet ovat paremmat, jos kasvain pienenee nopeasti, mutta esimerkiksi hoidon kokonaisannosta ei tule pienentää nopean hoitovasteen vuoksi (Lahtinen & Holsti 1997, 176).

2.2 Annostilavuushistogrammit ja niiden tulkinta

Eri elinten saamia säteilyannoksia voidaan tarkastella annostilavuushistogrammien (DVH, dose volume histogram) avulla joko kumulatiivisesti tilavuusprosenttiluokkien tai differentiaalisesti esiintymistiheyden funktiona. Annostilavuushistogrammi on graafinen esitys potilaan saamasta säteilyannoksesta tiettyyn elimeen hoidon aikana. (Valve 2011, sanasto). Eri elimien annostilavuushistogrammien tarkastelua voidaan suorittaa suunnittelukuviin määritetyille elimille (Vanhanen 2008, 36). Nämä histogrammit helpottavat potilaan annossuunnitelmien vertailua. Niiden avulla voidaan nopeasti varmistaa, etteivät riskielimet ylitä ennalta määriteltyä rajaa. Vaihtoehtoiset annossuunnitelmat on helppo laittaa paremmuusjärjestykseen annostilavuushistogrammien avulla. Histogrammeja hyödyntämällä voidaan nopeasti tarkistaa kriittisten elinten saamat säteilyannokset, sekä mahdollisesti elimelle ylittyneet maksimiannos- ja tilavuusnopeusrajat. (Valve 2010, 48.)

Jotta hoitoalue saa tasaisen hoitoannosta vastaavan säteilyannoksen, kohdealueen annostilavuushistogrammin arvo tulee olla sata prosenttia, jonka jälkeen arvon tulee pudota jyrkästi arvoon nolla prosenttia. Annosta ei ole mahdollista saada näin tasaiseksi johtuen potilaan ääriarvoista, kudosten epähomogeenisuudesta, sädehoitolaitteen rakenne sekä säteilyn fysikaaliset ominaisuudet. Tämä huomataan histogrammin pyöristymisenä hoitoannosta pienemmillä ja suuremmilla annoksilla. Ideaalitapauksessa riskielin ei saisi yhtään säteilyannosta, mutta käytännössä tämä ei ole mahdollista. Riskielimien annostilavuushistogrammi on muodoltaan laskeva käyrä. (Valve 2010, 48–49.)



KUVIO 1. Esimerkki virtsarakon annostilavuushistogrammista perinteisen intensiteettimuokatus sädehoidon annossuunnitelmasta. Esimerkki on poimittu tutkimusaineistostamme.

Tavallisesti riskielimen annostilavuushistogrammilta otetaan muutamia pisteitä, joille on määritetty suurin sallittu tilavuusarvo, jota ei saa ylittää. Kuviossa 1 on esimerkki eturauhasen syöpää sairastavan potilaan virtsarakon annostilavuushistogrammista. Vaaka-akselilla on säteilyannos (gray, Gy) ja pystyakselilla virtsarakon kokonaistilavuus prosentteina. Kuvioista käy ilmi, että esimerkiksi kahdeksankymmentä prosenttia (80 %) virtsarakon kokonaistilavuudesta saa annoksen, joka on suurempi tai yhtä suuri kuin kaksikymmentä grayta (20 Gy). (ks. Valve 2010, 49–50.)

2.3 Sädehoidon aiheuttamat sivuvaikutukset

Vaikka riskielimet saadaan suojattua parhaan mukaan sädehoitoa suunniteltaessa, hoidon seurauksena saattaa ilmetä varhaisia sivuvaikutuksia. Tällaisia ovat tihentynyt virtsaamis- ja ulostustarve, yövirtsaaminen, virtsapakko sekä kirvely ja kivuliaisuus virtsaamisen yhteydessä sekä peräsuolen ärsytys ja ripuli. Varhaiset sivuvaikutukset häviävät yleensä parin kuukauden jälkeen hoidon loputtua, sillä vaurioiden myötä solujen uusiutuminen lisääntyy. (Korpela 2007, hakupäivä 20.1.2012.)

Säteilyn myöhäisvaikutukset terve kudoksessa ovat tärkein sädehoidon kokonaisannosta rajoittava tekijä. Sädehoidon haittojen ilmaantumiseen ja vaikeusasteeseen vaikuttavat monet seikat: hoitokohteen ja terveen kudoksen laatu ja laajuus, hoidon kerta- ja kokonaisannos, sekä hoitotekniikka. Myös potilaan voinnilla, muilla sairauksilla ja iällä on merkitystä haittojen syntyisessä. (Lahtinen & Holsti 1997, 144–148.) Hallin tutkimuksen (2006, 1–7) mukaan intensiteettimuokattu sädehoito voi jopa kaksinkertaistaa sekundäärisyövän ilmenemisen tarkasteltaessa pitkää ajanjaksoa. Lapsipotilaiden osalta riskiin täytyy suhtautua erittäin vakavasti.

Eturauhasen anatomisen sijainnin vuoksi sädehoidon haitat ilmenevät virtsaneritys- ja sukuelinten, sekä suoliston oireina ja toiminnallisina häiriöinä. Suoliston alueella haittoja voi esiintyä erityisesti peräsuolen alueella. (Korpela 2007, hakupäivä 20.1.2012) Joillekin potilaille myöhäishaitat voivat jäädä pysyviksi haitoiksi. Viiden vuoden jälkeen virtsankulkuongelmia esiintyy haittaavasti kahdellakymmenellä prosentilla potilaista. Ongelmana voi olla hidastunut virtsankulku, virtsapakko ja yövirtsaaminen. Virtsanpidätyskyvyttömyys on harvinainen haitta sädehoidon seurauksena. (Potosky, Davis, Hoffman, Stanford, Stephenson, Penson & Harlan 2004, 1358–1367.) Peräsuolen myöhäiset haitat ilmenevät suolen toiminnan muutoksena aiempaan verrattuna, ulostamispakkona ja eriasteisena veren tihkuvuotona peräsuolesta (Pollack ym. 2002, 1097–1105).

Sädehoidon myöhäisvaikutuksia voi ilmetä kuukausien, jopa vuosien kuluttua hoidoista. Hoidetulle alueelle muodostuu tavallista enemmän sidekudosta. Tämä voi tuntua kovana alueena ja aiheuttaa toiminnan rajoituksia ja jopa ahtauttaa elimiä. Sädehoito voi myös aiheuttaa uuden syövän. Nykyisin uuden syövän saamisen riski on kuitenkin vähäinen johtuen tarkoista sädehoitotekniikoista. 1–3 % potilaista saa säteilyn aiheuttaman syövän seuraavan 20–30 vuoden aikana. (Sädehoito, hakupäivä 20.5.2011.)

Yleensä sädehoidon aiheuttamat kasvaimet ilmaantuvat vasta yli kymmenen vuoden jälkeen hoidoista. Lasten ja nuorten sädehoitoa arvioidaan aina erityisen tarkasti, koska kymmenien vuosien kuluttua ilmenevillä myöhäishaitoilla on enemmän aikaa kehittyä. Intensiteettimuokatussa sädehoidossa pienillä annoksella sädetetyn kudoksen tilavuus voi kasvaa merkittävästi johtuen monista eri sädetys suunnista. (Tenhunen 2010, 73.)

Myöhäiset sivuvaikutukset ilmenevät hitaasti jakautuvissa tai jakautumattomissa kudoksissa, esimerkiksi keuhkoissa, hermokudoksessa ja munuaisissa. Kokonaishoitoajalla ei myöhäisreaktioiden kannalta ole suurta merkitystä, koska solujen repopulaatio käynnistyy vasta useiden kuukausien päästä hoidoista. Tämän takia kokonaishoitoajan pitittäminen ei suojaa potilasta myöhäisiltä haitoilta. Sen sijaan myöhäisten sivuvaikutusten kannalta tärkeässä asemassa on kerta-annoksen suuruus. Mitä suurempi kerta-annos on, sitä suurempi myöhäisten vaurioiden riski on. (Kouri ym. 2007, 150.)

3 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksemme tarkoituksena on vertailla perinteisen intensiteettimuokattun sekä RapidArc-sädehoitotekniikan annostilavuusjakaumia eturauhassyövän sädehoidossa tarkastelemalla eturauhasen läheisyydessä sijaitsevia riskielimiä sekä koko kehon saamaa säteilyannosta. Vertailemme myös näiden kahden eri sädehoitotekniikan monitoriyksiköiden lukumääriä. Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella kriittisesti ja kehittää sädehoidon annossuunnittelukäytäntöjä. Aikaisempien tutkimusten mukaan (Chao ym. 2011; Astner ym. 2010; Valve 2011, 52) esitämme hypoteesin, jonka mukaan RapidArc-sädehoitotekniikka säästää enemmän tervettä kudosta kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

Tutkimusongelmat:

1. Miten perinteisen intensiteettimuokattun sädehoitotekniikan ja RapidArc-sädehoitotekniikan peräsuolen annosjakaumat eroavat eturauhassyövän sädehoidossa?
2. Miten perinteisen intensiteettimuokattun sädehoitotekniikan ja RapidArc-sädehoitotekniikan virtsarakon annosjakaumat eroavat eturauhassyövän sädehoidossa?
3. Miten perinteisen intensiteettimuokattun sädehoitotekniikan ja RapidArc-sädehoitotekniikan suoliston annosjakaumat eroavat eturauhassyövän sädehoidossa?
4. Miten perinteisen intensiteettimuokattun sädehoitotekniikan ja RapidArc-sädehoitotekniikan koko kehon (body) annosjakaumat eroavat eturauhassyövän sädehoidossa?
5. Miten perinteisen intensiteettimuokattun sädehoitotekniikan ja RapidArc-sädehoitotekniikan monitoriyksikköjen lukumäärä eroaa eturauhassyövän sädehoidossa?

4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tämä annostilavuushistogrammeja vertailevan tutkimus on tieteenfilosofialtaan positivistinen. Kvantitatiiviseen tutkimukseen perustuva positivistinen tieteen luonne ilmenee tiedon perustelujen, luotettavuuden ja yksiselitteisyyden korostamisena. Koska saamme tutkimustulokset numeerisessa muodossa, ne voidaan tulkita yksiselitteisesti ja luotettavasti. (ks. Kananen 2008, 10.)

Kvantitatiivisen tutkimuksen pääperiaate on, että tutkimusjoukosta kootaan tutkimustulos, josta voidaan sitten vetää yleistävät johtopäätökset. Mittauksista eli havaintoyksiköistä saatu tulos käsitellään tilastollisin menetelmin. Havaintoyksikköjä tulee olla riittävä määrä, jotta saadaan luotettavat tulokset ja yleistys voidaan tehdä perusjoukkoon. Keräämme tutkimusaineistoa riittävästi luotettavan tuloksen saamiseksi ja näin saamme aikaan yleistettävää tietoa IMRT- ja RapidArc-hoitomuotojen välisistä eroista. Tarkoituksenamme on vertailla säteilyannosinformaatiota annossuunnitelmista. Tutkimuksessamme pyrimme saamaan vastauksen kysymykseen, onko eturauhassyövän hoitojen osuvuus parantunut RapidArc-sädehoitojen avulla. (ks. Kananen, 2008, 10–13.)

Tutkimusmetodologiamme on strategialtaan deduktiivinen, koska se perustuu jo olemassa olevaan teorian tietoon. Hypoteettis-deduktiivisessa tutkimuksessa korostetaan yleispäteviä syyn ja seurauksen lakeja. Aikaisemman tiedon pohjalta voimme esittää hypoteesin, jonka mukaan RapidArc-sädehoitotekniikka on parantanut eturauhassyövän laskennallista tulosta. (ks. Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2004, 130.)

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tutkittavan ilmiön tekijät muutetaan muuttujiksi. Olemme valinneet muuttujiksi sädehoitokohteen ympärillä eri sädeherkät elimet, jotka ovat peräsuoli, virtsarakko ja suolisto, sekä niin sanotun bodyn sekä monitoriyksiköt, sillä tiedämme, että näiden saamat säteilyannokset vaikuttavat potilaan hoitovasteeseen ja sädehoidon aiheuttamiin sivu- ja myöhäisvaikutuksiin. (ks. Kananen 2011, 13.) Kvantitatiivisessa tutkimuksessa on tärkeää esittää muuttujat taulukoituna ja aineiston muokkaaminen tilastollisesti käsiteltävään muotoon. Numeerinen aineistomme taulukoidaan tiedonkeruulomakkeeseen (liite 1 & 2) muuttujien mukaan. (ks. Hirsjärvi ym. 2004, 131.)

5 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

Kirjallisuuskatsauksen suorittamisen jälkeen kirjoitimme tutkimussuunnitelman ja haimme tutkimusluvan Oulun yliopistolliselta sairaalalta. Tutkimusongelmamme ja tiedonkeruulomakkeemme muokkautuivat pikkuhiljaa lopulliseen muotoonsa sädehoidon yksikön fyysikoiden avustuksella. Yksikön fyysikoilta saimme hyvän perehdytyksen annossuunnitteluohjelman käyttöön, jotta saimme kerättyä juuri tarvitsemamme tiedot tutkimukseemme.

5.1 Aineiston keruu

Keräsimme tutkimusaineiston Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikössä hoidettujen eturauhassyöpää sairastavien potilaiden sädehoidon annossuunnitelmista. Tarkennettakoon vielä, että aineisto ei ole potilaiden toteutuneista hoidoista, vaan alkuperäisestä sädehoidon annossuunnitelmasta. Tämä tarkoittaa sitä, että annossuunnitelmiin on saattanut tulla muutoksia sädehoidon kuluessa esimerkiksi potilaan voinnin muuttumisen tai hoidon keskeyttämisen vuoksi. Jokaisen potilaan annossuunnitelma koostui 1–3 sädehoitojaksosta, joiden summista poimimme tarvittavat arvot tiedonkeruulomakkeeseen (liite 1 & 2). Lopullinen säteilyannoksen optimointi eri elimille tehdään aina tämän summan mukaan, eikä yksittäisten jaksojen, ja tästä syystä keräsimme aineiston juurikin suunnittelusummista. (Heikkilä, 4.1.2013, henkilökohtainen tiedonanto.) Aineistomme koostui kahdeksastakymmenestä annossuunnittelusummasta (N=80), joista neljäkymmentä oli perinteisellä IMRT-tekniikalla hoidettuja (n=40) ja toiset neljäkymmentä RapidArc-sädehoitotekniikalla hoidettuja (n=40). Suolistolle oli eturauhasensädehoidon annossuunnitelmissa määritetty tilavuus vain 45 annossuunnitelmassa (N=45), joista 24 oli määritetty perinteiselle intensiteettimuokatulle sädehoidolle (n=24) ja 21 RapidArc-sädehoitotekniikalle (n=21). Nämä luvut johtuvat siitä, ettei suunnittelija ollut aina määrittänyt suolistolle tilavuutta.

Annossuunnitteluohjelmasta haimme yksitellen potilaiden annossuunnitelmatiedot sosiaaliturvatunnuksen avulla. Jotta potilaita ei voida tunnistaa, numeroimme heidät. Potilastietoja sisältäviä asiakirjoja emme vieneet sairaalan ulkopuolelle. Tällä tavoin kunnioitamme potilaiden yksityisyyttä. (ks. Vilka 2007, 95.) Numeroinnin ansiosta voimme myöhemmin tarkistaa esimerkiksi poikkeavat tutkimustulokset.

Keräsimme annossuunnittelutiedoista sädehoidossa käytössä olleet monitoriyksiköt fraktioittain, peräsuolen, virtsarakon, suoliston ja koko kehon (body) saamat säteilyannokset kymmenen grayn (Gy) välein 70 graystä 10 grayhin (liite 1). Tämä ei ihan pidä paikkaansa, vaan 10 Gy tarkoittaa nolasta kymmeneen grayhin, 20 Gy tarkoittaa 10–20 Gy, 30 Gy on 20–30 Gy ja niin edelleen. Nämä annostilavuudet kerättiin peräsuolelta, virtsarakolta ja suolistolta sekä koko kehosta, bodysta. Valitsimme tarkastelun kohteeksi peräsuolen, virtsarakon sekä suoliston, koska ne sijaitsevat lähellä eturauhasta, ja ovat sijaintinsa vuoksi ns. riskielimiä. Alun perin otimme ylös suunnittelualueiden (PTV) tilavuudet, jotta voisimme myöhemmin määrittää terve kudoksen saaman säteilyannoksen. Tutkimuksen edetessä selvisi, ettemme kuitenkaan voi määrittää PTV-arvoja avulla käyttäen tervettä kudosta luotettavasti, ja jätimme tämän aineiston käyttämättä. Sen sijaan tarkastelimme koko kehon saamaa säteilyannosta. Koko keholla tarkoitamme annossuunnitteluohjelman antamaa body-aluetta. Tätä body-aluetta ei määritetä annossuunnitteluohjelmalla, vaan ohjelma itse määrää täksi alueeksi koko kuvausalueen. (Heikkilä 4.1.2013, henkilökohtainen tiedonanto.) Keräsimme annossuunnitelmista edellä mainittujen muuttujien lisäksi vielä monitoriyksikköjen lukumäärät hoitajaksoittain sekä jaksojen summana (liite 2).

Tutkimuksemme kokonaisotannon muodostivat Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön eturauhasen syöpään sädehoitoa saavat potilaat, joiden hoito on aloitettu uuden Varian Medical Systemsin RapidArc-hoitokoneen käyttöönoton jälkeen. Saimme osastolla käyttöömmekaksi potilaslistaa. Toinen lista koostui RapidArc-sädehoitotekniikalla hoidetuista eturauhassyöpää sairastavista potilaista ja toinen perinteisellä IMRT-tekniikalla hoidetuista.

Teimme Microsoft Excel 2010 -ohjelmalla tiedonkeruulomakkeemme. Tiedonkeruulomakkeet (liite 1 & 2) muokkautuivat myöhemmin fyysikko Vesa-Pekka Heikkilältä saamiemme ohjeiden mukaan. Ensimmäiselle pystyriville merkitsimme potilaat nousevassa numerojärjestyksessä. Ensimmäiselle vaakariville sijoitimme muuttujat, joita olivat monitoriyksiköt jaksoittain (liite 2), virtsarakon, peräsuolen, suoliston ja bodyn kokonaistilavuudet sekä arvot seitsemästä pisteestä (70 Gy, 60 Gy, 50 Gy, 40 Gy, 30 Gy, 20 Gy ja 10 Gy) annostilavuushistogrammeista (liite 1).

Kävimme yksitellen läpi jokaisen potilaan annossuunnitelman (N=80) ja otimme ylös tarvittavat arvot. Toinen meistä keräsi arvot annossuunnitteluhistogrammeista ja toinen kirjasi arvot Excel-
taulukkoon.

5.2 Aineiston analysointi

Päädyimme käyttämään aineiston analysoinnissa Microsoft Excel 2010 -ohjelmaa. Tarkoituksenamme oli analysoida aineisto SPSS-ohjelmalla, mutta aikataulullisista ja teknillisistä syistä päädyimme Microsoft Excel 2010 käyttämiseen. SPSS-ohjelman opettelu olisi vienyt liikaa aikaa. Lisäksi Excel-ohjelmalla piirtämämme kuvaajat miellyttivät silmiämme enemmän, kuin vastaavat kuvaajat SPSS-ohjelmalla.

Esitimme tutkimustuloksemme taulukoituna tuloksina, joista selviää perinteisen intensiteetimuokattun sädehoidon sekä RapidArc-sädehoitotekniikan antamat keskiarvot, minimi- ja maksimi-arvot sekä vaihteluvälit tarkastelemillemme kohteille tilavuusyksiköinä (cm³). Nämä taulukoitiin kohteittain kymmenen grayn välein (70 Gy, 60 Gy, 50 Gy, 40 Gy, 30 Gy, 20 Gy ja 10 Gy). Hajontalukujen laskeminen oli tärkeää, koska tutkimuksessamme oli monia muuttujia. Keskiarvoista piirsimme kuvaajat tilavuusprosentilla (%). Vaaka-akselille sijoitimme säteilyannoksen (Gy) ja pystyakselille tilavuusprosentin. Kuvaajat esitimme tilavuusprosenttien avulla, jotta perinteistä intensiteetimuokattua sädehoitoa sekä RapidArc-sädehoitotekniikkaa voitiin vertailla keskenään. Tilavuusyksiköitä ei voitu suoraan verrata keskenään, koska säteilyannoksiin vaikuttaa monet eri tekijät. Näitä voivat olla muun muassa potilaan koko sekä annossuunnittelijan kädenjälki. Jos annossuunnittelussa peräsuoli on rajattu pienelle alueelle, sen saama säteilyannos voi olla prosentuaalisesti erittäin suuri, vaikka tilavuudellisesti se olisikin pieni. Jos taas sama peräsuoli olisi rajattu pitemmältä matkalta, on sen saama prosentuaalinen säteilyannos huomattavasti pienempi. Piirtämiimme kuvaajiin sijoitimme vielä viiden prosentin virhemarginaalit havainnollistamaan arvojen hajontaa. (ks. Vilka 2007, 123.)

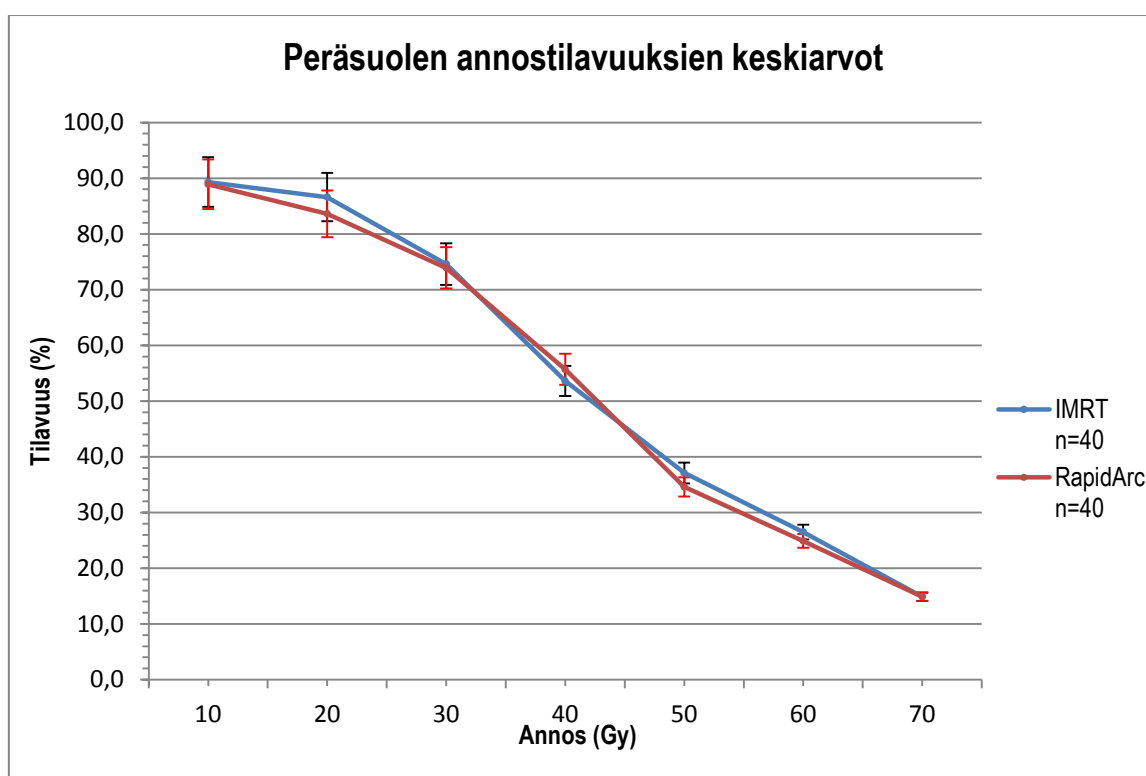
Kirjoitimme tulokset kirjallisesti auki, eli litteroimme tuloksemme. Vertailimme perinteistä intensiteetimuokattua sädehoitoa sekä RapidArc-sädehoitotekniikka keskenään kuvaajien ja taulukoiden avulla. Kuvaajista katsoimme kohdekohtaisesti kahden sädehoitotekniikan välisiä eroja. Kuvaajien perusteella teimme päätelmiä, kumpi eri sädehoitotekniikoista oli säästävämpi kussakin tarkasteltavassa kohteessa. Havainnollistamaan erojen suuruutta etsimme kuvaajasta pisteen, jossa ero näiden kahden eri sädehoitotekniikan välillä oli suurimmillaan. Konkretisoimaan tätä suuruuseroa, laskimme edellä mainitussa pisteessä olevan prosenttiyksikköjen eron näillä kahdella eri sädehoitotekniikalla. (ks. Hirsjärvi ym. 2004, 210.)

6 TULOKSET

Kuvailemme tutkimustuloksia tutkimusongelmittain. Esitämme riskielimistä, koko kehosta (body) ja monitoriyksiköistä taulukot, joista hajontaluvut selviävät. Lisäksi olemme piirtäneet annostilavuuksien keskiarvoista kuviot, joista on helppo havaita perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan väliset erot. Kuvaajat riskielimille ja koko keholle (body) on piirretty prosentuaalisista annostilavuuksien keskiarvoista, jotta näitä kahta eri sädehoitotekniikkaa pystytään vertaamaan toisiinsa. Keskiarvoja tilavuusyksikkömuodossa ei voida vertailla, koska tällöin esimerkiksi yksilölliset kokoerot eivät tule otetuksi huomioon, kun taas kokonaistilavuuksien avulla lasketuissa prosenttiosuuksissa nämä erot häviävät. Taulukoissa esitetyt hajontaluvut ovat sen sijaan alkuperäisessä muodossa eli tilavuusyksiköinä (cm^3) esitettynä. Tämä on syytä ottaa huomioon kuvaajia ja taulukoita tarkasteltaessa, sillä tilavuusyksiköitä (cm^3) ja tilavuusprosentteja (%) ei voi suoraan verrata toisiinsa. Monitoriyksiköistä olemme piirtäneet pylvasdiagrammin, josta selviää näiden kahden eri tekniikan erot jaksoittain sekä jaksojen summana. Monitoriyksiköiden kuvio ja taulukko on muodostettu suoraan monitoriyksikkölukumääristä.

6.1 Peräsuolen annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla

Peräsuolen annostilavuusjakaumien keskiarvoissa ei tullut esille selviä eroja perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa. Tutkimuksemme perusteella voidaan sanoa, ettei RapidArc-sädehoitotekniikka ole säteilyannokseltaan säästävämpi peräsuolelle kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito eturauhassyövän sädehoidossa.



KUVIO 2. Perinteisen IMRT- sekä RapidArc-sädehoitotekniikan peräsuolen annostilavuuksien keskiarvojen vertailu eturauhassyövän sädehoidossa (N=80).

Kuviossa 2 on esitetty eturauhassyövän sädehoidoissa peräsuoleen kohdistuneiden säteilyannosjakaumien keskiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla. Kuvio osoittaa, että peräsuolen saamissa säteilyannoksissa näillä kahdella eri sädehoitotekniikalla ei ole huomattavissa suurta eroa. Pienillä säteilyannoksilla (10–20 Gy) RapidArc-teknikka on jonkin verran perinteistä IMRT-sädehoitotekniikkaa säästävämpi. Sama ilmiö on nähtävissä myös suurilla säteilyannoksilla 50–70 Gy. Selvimmin säteilyannospoikkeumat tulevat esille säteilyannosten molemmissa ääripäissä. 30 Gy–40 Gy-

välillä perinteinen IMRT-tekniikka on lähes yhtä säästävä kuin RapidArc-hoitotekniikka. Kaiken kaikkiaan erot näillä kahdella sädehoitotekniikalla ovat erittäin pieniä. Kuviosta 2 voi myös havainnoida, että viiden prosentin virhemarginaali pienenee säteilyannoksen kasvaessa.

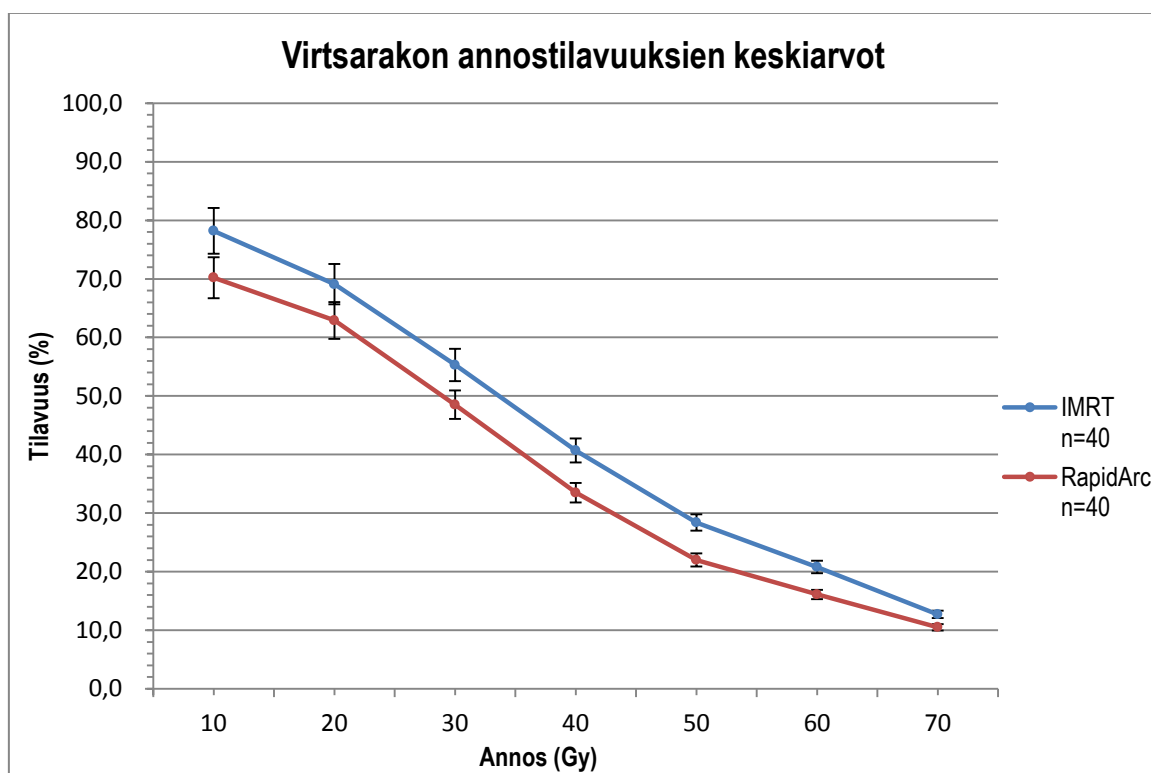
Taulukossa 1 on esitetty peräsuolen annostilavuuksien keskiarvot, keskihajonnat, vaihteluvälit sekä minimi- ja maksimiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa seitsemässä eri pisteessä. Taulukosta voi havaita, että molemmilla sädehoitotekniikoilla keskihajonta kasvaa mentäessä suurilta säteilyannoksilta pienille säteilyannoksille. Taulukoista voi myös huomata eroja RapidArc-sädehoitotekniikalla ja perinteisellä IMRT-tekniikalla. Esimerkiksi keskiarvoja tarkasteltaessa huomataan niiden olevan suurempia IMRT-sädehoitotekniikalla jokaisessa seitsemässä mittapisteessä kuin RapidArc-sädehoitotekniikalla. Tämä ero ei ollut havaittavissa kuvaajassa, jossa keskiarvot oli esitetty prosentiosuuksina (kuvio 2). Kuvio 2 antaa kuitenkin todellisemman arvion RapidArc-tekniikan ja IMRT-hoitotekniikan eroista.

TAULUKKO 1. Peräsuolen annostilavuusjakaumien keskiarvo, keskihajonta, vaihteluväli, minimi ja maksimi seitsemässä eri pisteessä perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa.

Peräsuoli N=80							
RapidArc n=40	70 Gy	60 Gy	50 Gy	40 Gy	30 Gy	20 Gy	10 Gy
Keskiarvo (cm ³)	8,6	15,0	21,4	36,0	48,1	54,0	57,2
Keskihajonta (cm ³)	3,1	4,9	7,9	17,4	22,6	23,4	23,4
Vaihteluväli (cm ³)	15,0	26,9	39,5	79,4	100,6	100,6	101,3
Minimi (cm ³)	0,0	0,0	0,0	12,6	17,3	18,7	20,2
Maksimi (cm ³)	15,0	26,9	39,5	92,0	117,9	119,3	121,5
IMRT n=40							
Keskiarvo (cm ³)	10,3	18,2	25,7	37,7	52,9	61,2	63,5
Keskihajonta (cm ³)	4,0	5,6	7,7	13,2	18,5	20,1	21,1
Vaihteluväli (cm ³)	16,9	23,2	32,2	60,7	69,1	84,9	106,7
Minimi (cm ³)	4,0	8,5	12,1	16,8	24,2	28,7	10,0
Maksimi (cm ³)	20,9	31,7	44,3	77,5	93,3	113,6	116,7

6.2 Virtsarakon annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla

Virtsarakon annosjakaumissa tuli esiin selvä ero RapidArc-hoitotekniikalla ja perinteisellä IMRT-sädehoidolla eturauhassyövän sädehoidossa. RapidArc-sädehoitotekniikka oli kaikissa mittauspisteissä (10–70 Gy) virtsarakkoa säteilyannokseltaan säästävämpi kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.



KUVIO 3. Perinteisen IMRT- sekä RapidArc-sädehoitotekniikan virtsarakon annostilavuuksien keskiarvojen vertailu eturauhassyövän sädehoidossa (N=80).

Kuviossa 3 on esitetty eturauhassyöpää hoidettaessa virtsarakkoon kohdistuneiden säteilyannostilavuuksien keskiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoitotekniikalla ja RapidArc-tekniikalla. Kuvaaja osoittaa, että RapidArc-sädehoitotekniikka oli kaikilla säteilyannoksilla virtsarakkoa hieman säästävämpi kuin perinteinen IMRT-tekniikka. Ero hieman kasvaa pieniä säteilyannoksia kohti. Ero on suurimmillaan 10 grayn pisteessä, jolloin ero on 8,0 prosenttiyksikköä. Kuviossa 3 voi myös huomata, että viiden prosentin virhemarginaali on suurempi pienillä säteilyannoksilla. Virhemarginaali pienenee säteilyannoksen kasvaessa.

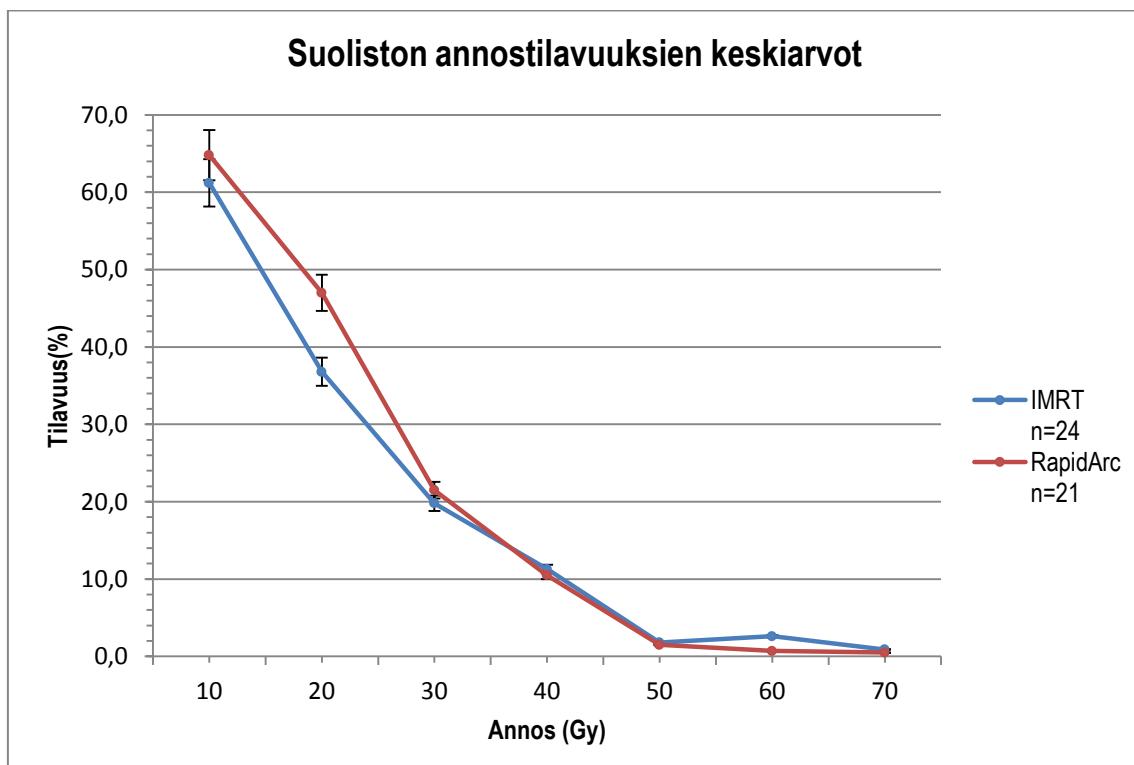
Taulukossa 2 on esitetty virtsarakon annostilavuuksien keskiarvot, keskihajonnat, vaihteluvälit, minimi- ja maksimiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa seitsemässä eri pisteessä. Taulukosta voi havaita, että molemmilla sädehoitotekniikoilla keskihajonta kasvaa mentäessä suurimmilta säteilyannoksilta pienemmille säteilyannoksille. Taulukosta voi myös havaita, että RapidArc-sädehoitotekniikan kolmessa suurimmassa mittapisteessä (50–70 Gy) minimiarvo on nolla eli joku aineistomme potilaista ei ole saanut 50–70 Grayn annosta lainkaan virtsarakkoonsa. Taulukosta 2 voidaan havaita myös, että RapidArc-sädehoitotekniikka on keskiarvojen perusteella kaikissa mittapisteissä annostilavuuksiltaan pienempi kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. Sama ilmiö voitiin havaita myös kuviosta 3.

TAULUKKO 2. Virtsarakon annostilavuusjakaumien keskiarvo, keskihajonta, vaihteluväli, minimi ja maksimi seitsemässä eri pisteessä perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa.

Virtsarakko N=80							
RapidArc n=40	70 Gy	60 Gy	50 Gy	40 Gy	30 Gy	20 Gy	10 Gy
Keskiarvo (cm ³)	28,9	44,6	61,7	93,4	141,7	189,4	212,4
Keskihajonta (cm ³)	15,0	20,6	28,6	46,9	94,8	141,5	137,3
Vaihteluväli (cm ³)	71,9	87,5	116,8	174,4	364,0	540,9	517,4
Minimi (cm ³)	0,0	0,0	0,0	27,9	38,3	50,7	74,2
Maksimi (cm ³)	71,9	87,5	116,8	202,3	402,3	591,6	591,6
IMRT n=40							
Keskiarvo (cm ³)	30,6	49,4	67,4	98,3	134,6	170,1	194,1
Keskihajonta (cm ³)	13,6	18,7	25,8	46,2	68,1	85,9	91,8
Vaihteluväli (cm ³)	52,5	77,6	109,2	201,3	280,0	383,6	424,6
Minimi (cm ³)	12,5	20,8	30,3	39,1	46,5	56,5	67,7
Maksimi (cm ³)	65,0	98,4	139,5	240,4	326,5	440,1	492,3

6.3 Suoliston annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla

Suoliston annostilavuuksien keskiarvoissa ei ole merkittäviä eroja IMRT- ja RapidArc-sädehoitotekniikoilla eturauhassyövän sädehoidossa. Suoliston keskiarvoja tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon aineiston pienempi koko, sillä suolistoa ei ollut piirretty kaikkiin tutkimuksessa käyttämiimme annossuunnitelmiin. Kuvioissa 2 ja 3 oli asetettu maksimitilavuus arvoon sata prosenttia. Päädyimme suoliston tarkastelussa asettamaan maksimitilavuuden arvoon 70 %, koska suolisto sai keskiarvoltaan paljon pienempiä arvoja kuin muut tutkimamme kohteet. Tällä tavoin suoliston keskiarvojen erot tulevat paremmin esille ja perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon ja RapidArc-sädehoitotekniikan välinen tarkastelu on helpompaa.



KUVIO 4. Suoliston annostilavuuksien keskiarvojen vertailu perinteisen IMRT- sekä RapidArc-sädehoitotekniikan välillä eturauhassyövän sädehoidossa (N=45).

Kuviossa 4 on esitetty eturauhassyöpää hoidettaessa suolistoon kohdistuvien säteilyannosjakaumien keskiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoitotekniikalla ja RapidArc-teknikalla. Kuvio 4 osoittaa, että perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito on suolistoa säästävämpi pienillä säteilyannoksilla (10–20 Gy) kuin RapidArc-sädehoitotekniikka.

Säteilyannoksilla 30–50 Gy perinteinen IMRT- ja RapidArc-tekniikat ovat yhtä säästäviä. Suurilla säteilyannoksilla (50–70 Gy) RapidArc-tekniikka on suolistoa säästävämpi kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. Suurin ero näiden kahden tekniikan välille syntyy 20 grayn kohdalla, jolloin intensiteettimuokattu sädehoito on 10,2 prosenttiyksikköä pienempi kuin RapidArc-sädehoitotekniikalla.

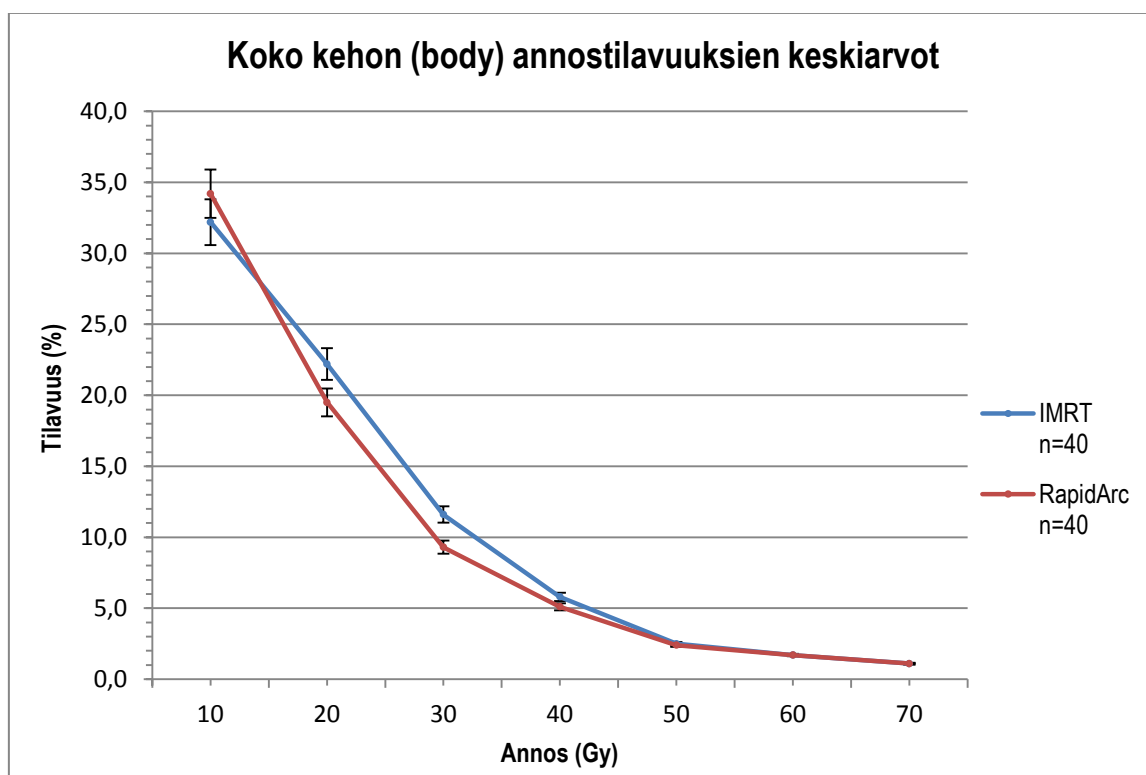
Taulukossa 3 on esitetty suoliston annostilavuuksien keskiarvot, keskihajonnat, vaihteluvälit, minimi- ja maksimiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa seitsemässä eri pisteessä. Taulukosta voi havaita, että suoliston saamat arvot ovat huomattavan pieniä. Esimerkiksi minimiarvot ovat kummallakin sädehoitotekniikalla lähes kaikissa mittapisteissä nolla. Keskiarvoja tarkasteltaessa huomataan perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon annostilavuuksien olevan pienempiä kuudessa eri mittapisteessä kuin RapidArc-tekniikalla. Kuvio 4 antaa kuitenkin todellisemman arvion RapidArc-tekniikan ja IMRT-hoitotekniikan eroista.

TAULUKKO 3. Suoliston annostilavuusjakaumien keskiarvo, keskihajonta, vaihteluväli, minimi ja maksimi seitsemässä eri pisteessä perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa.

Suolisto N=45							
	70 Gy	60 Gy	50 Gy	40 Gy	30 Gy	20 Gy	10 Gy
RapidArc n=21							
Keskiarvo (cm ³)	0,2	0,9	2,7	53,3	115,0	265,8	370,0
Keskihajonta (cm ³)	0,8	3,3	7,5	63,9	116,9	221,1	282,1
Vaihteluväli (cm ³)	3,7	15,2	34,2	207,9	449,5	717,0	913,9
Minimi (cm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Maksimi (cm ³)	3,7	15,2	34,2	207,9	449,5	717,0	914,2
IMRT n=24							
Keskiarvo (cm ³)	0,1	0,6	1,2	54,0	106,5	218,3	350,7
Keskihajonta (cm ³)	0,5	1,7	2,8	51,1	99,2	195,9	287,4
Vaihteluväli (cm ³)	2,3	7,6	10,9	200,3	391,8	769,4	1104,4
Minimi (cm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,9
Maksimi (cm ³)	2,3	7,6	10,9	200,3	391,8	769,5	1108,3

6.4 Koko kehon (body) annostilavuusjakaumat perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla

Koko kehon (body) annosjakaumissa erot RapidArc-tekniikalla ja perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoitotekniikalla olivat vähäisiä eturauhassyövän sädehoidossa. Kuviota 5 tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että maksimiarvo kuvaajassa on 40 %. Tällä tavoin erot näillä kahdella eri sädehoitotekniikalla tulevat selvemmin esille.



KUVIO 5. Perinteisen IMRT- sekä RapidArc-sädehoitotekniikan bodyn annostilavuuksien keskiarvojen vertailu eturauhassyövän sädehoidossa (N=80).

Kuviossa 5 on esitetty eturauhassyövän sädehoidoissa koko kehoon kohdistuneiden säteilyannosjakaumien keskiarvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sekä RapidArc-tekniikalla. Kuvio osoittaa, että pienimmällä annoksella (10 Gy) perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito on koko kehoa säästävämpi kuin RapidArc-sädehoitotekniikka. Annoksilla 20–40 Gy RapidArc-sädehoitotekniikka on koko kehoa hieman säästävämpi kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. Suurilla säteilyannoksilla (50–70 Gy) ei huomata eroa ollenkaan. Näiden kahden tekniikan erot ovat kuitenkin erittäin pieniä; suurimmillaan ero on 20 grayn pisteessä, jolloin se on 2,7 prosenttiyksikköä.

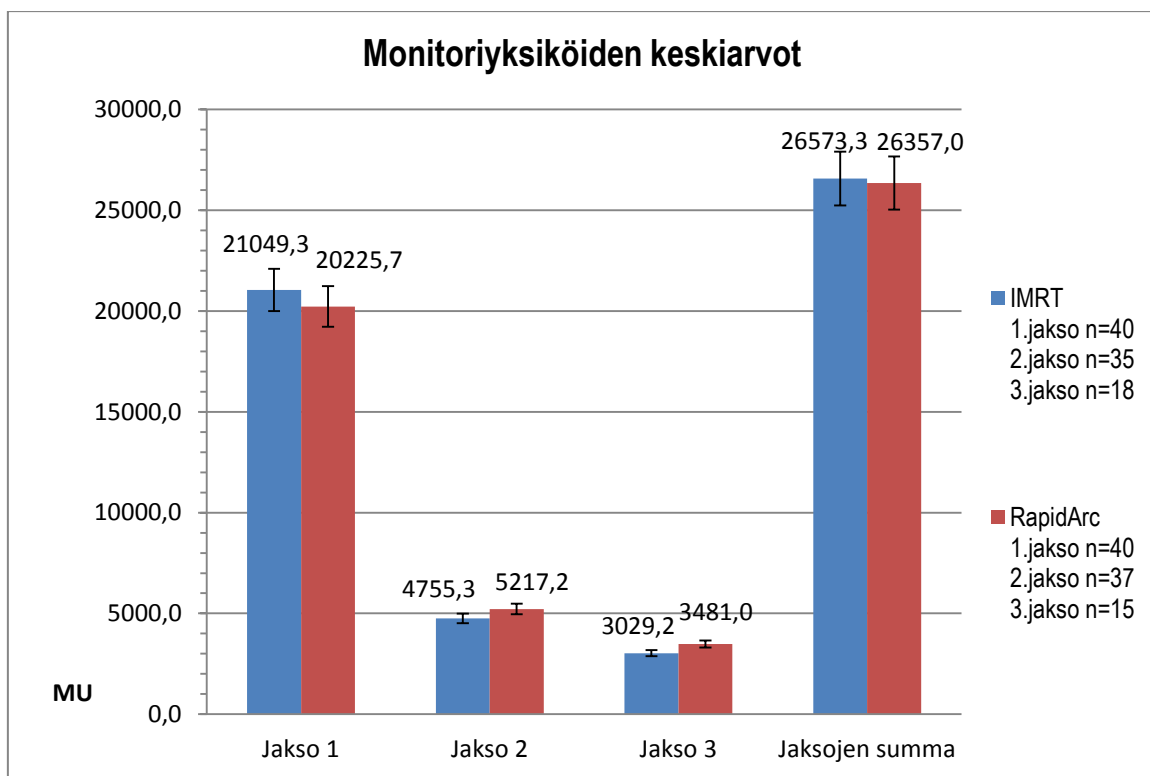
Taulukossa 4 on esitetty koko kehon annostilavuuksien keskiarvot, keskihajonnat, vaihteluvälit, minimi- ja maksimi arvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa seitsemässä eri pisteessä. Keskiarvoja tarkasteltaessa huomataan perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon olevan säästävämpi pienimmällä (10 Gy) ja suurimmalla (70 Gy) säteilyannoksella kuin RapidArc-sädehoitotekniikka. Arvoilla 20–60 Gy RapidArc on koko kehoa säästävämpi kuin IMRT-sädehoitotekniikka keskiarvovertailussa. Kuvio 5 antaa kuitenkin todellisemman arvion RapidArc-tekniikan ja IMRT-hoitotekniikan eroista.

TAULUKKO 4. Koko kehon (body) annostilavuusjakaumien keskiarvo, keskihajonta, vaihteluväli, minimi ja maksimi seitsemässä eri pisteessä perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa.

Koko keho (body) N=80							
RapidArc n=40	70 Gy	60 Gy	50 Gy	40 Gy	30 Gy	20 Gy	10 Gy
Keskiarvo (cm ³)	215,6	314,3	456,7	965,8	1753,7	3694,8	6557,6
Keskihajonta (cm ³)	92,1	125,7	199,6	507,0	891,1	1796,9	2967,2
Vaihteluväli (cm ³)	570,4	801,4	1205,0	1689,8	2956,0	5703,3	9434,5
Minimi (cm ³)	0,0	0,0	0,0	299,8	545,5	1370,5	2852,7
Maksimi (cm ³)	570,4	801,4	1205,0	1989,6	3501,5	7073,8	12287,2
IMRT n=40							
Keskiarvo (cm ³)	209,0	324,4	481,0	1138,7	2264,4	4350,9	6326,6
Keskihajonta (cm ³)	235,4	331,4	625,5	1935,7	3508,9	6128,2	9100,1
Vaihteluväli (cm ³)	134,7	215,1	291,1	434,3	798,2	1810,8	2508,0
Minimi (cm ³)	370,1	546,5	916,6	2370,0	4307,1	7939,0	11608,1
Maksimi (cm ³)	209,0	324,4	481,0	1138,7	2264,4	4350,9	6326,6

6.5 Monitoriyksiköt perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla

Vertailtaessa kaikkien sädehoitojaksojen monitoriyksiköiden lukumäärää eturauhassyövän sädehoidossa huomataan keskiarvon olevan perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla hieman suurempi kuin RapidArc-sädehoitotekniikalla. Ero ei kuitenkaan ole merkittävän suuri, ja on otettava huomioon, että kaikilla tutkimusaineistossa olleilla potilailla ei ollut toista tai kolmatta jaksoa, jolloin näissä jaksoissa aineisto on suppeampi. Hoitojaksojen lukumäärä voi vaihdella yhdestä kolmeen hoidon kriteerien mukaan.



KUVIO 6. perinteisen IMRT- sekä RapidArc-sädehoitotekniikan monitoriyksiköiden lukumäärien vertailu jaksoittain sekä jaksojen summana eturauhassyövän sädehoidossa (N=80).

Kuviossa 6 on esitetty eturauhassyövän sädehoidossa käytettävien monitoriyksiköiden keskiarvojen lukumäärät jaksoittain sekä jaksojen summana perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla. Tarkasteltaessa ensimmäistä jaksoa havaitaan perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon monitoriysikköjen lukumäärän olevan suurempi kuin RapidArc-sädehoitotekniikalla. Ensimmäisten jaksojen keskiarvojen erotus on 823,6 monitoriysikköä. Toisessa ja kolmannessa jaksossa RapidArc-sädehoitotekniikalla on käytetty

enemmän monitoriyksikköjä kuin perinteisellä IMRT-tekniikalla. Jaksolla kaksi RapidArc-tekniikalla oli käytetty 461,9 monitoriyksikköä enemmän kuin perinteisellä IMRT-tekniikalla keskiarvoja tarkasteltaessa. Kolmannella jaksolla vastaava luku oli 451,8. Jaksojen summien keskiarvoja tarkasteltaessa RapidArc-hoitotekniikalla oli monitoriyksiköitä 216,3 vähemmän kuin IMRT:ssä. Kaikkia jaksojen keskiarvoja tarkasteltaessa RapidArc-hoitotekniikalla oli monitoriyksiköitä 0,8 % vähemmän kuin IMRT-tekniikalla. Samat havainnot voi nähdä taulukosta 5. Taulukossa 5 on esitetty monitoriyksiköiden keskiarvot, keskihajonnat, vaihteluvälit, minimi- ja maksimi-arvot perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla sekä RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa seitsemässä eri pisteessä.

TAULUKKO 5. Monitoriyksiköiden keskiarvo, keskihajonta, vaihteluväli, minimi ja maksimi jaksoittain ja jaksojen summasta perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla eturauhassyövän sädehoidossa.

Monitoriyksiköt N=80				
RapidArc n=40	1.jakso n=40	2.jakso n=37	3.jakso n=15	SUMMA
Keskiarvo (MU)	20225,7	5217,2	3481,0	26357,0
Keskihajonta (MU)	6079,8	2520,0	368,4	3963,2
Vaihteluväli (MU)	18925,0	14281,0	1355,0	20439,0
Minimi (MU)	10808,0	2043,0	2870,0	13294,0
Maksimi (MU)	29733,0	16324,0	4225,0	33733,0
IMRT n=40	1. jakso n=40	2. jakso n=35	3.jakso n=18	SUMMA
Keskiarvo (MU)	21049,3	4755,3	3029,2	26573,3
Keskihajonta (MU)	4436,9	2153,2	793,9	7285,5
Vaihteluväli (MU)	21060,0	10525,0	3685,0	37725,0
Minimi (MU)	9432,0	1515,0	1325,0	9432,0
Maksimi (MU)	30492,0	12040,0	5010,0	47157,0

6.6 Tulosten yhteenveto

Kaiken kaikkiaan RapidArc-sädehoitotekniikan ja perinteisen intensiteettimuokatun sädehoidon erot olivat erittäin pieniä. Suurin ero näiden kahden tekniikan välille tuli esille virtsarakon annosjakaumissa, jolloin RapidArc oli säästävämpi kuin perinteinen IMRT-tekniikka (kuvio 3). Muiden tutkimiemme kohteiden annosjakaumien erot eivät olleet selviä, eikä tutkimuksemme perusteella voida sanoa yhtenevää linjaa. Emme voi esimerkiksi sanoa, että toinen

sädehoitotekniikoista säästäisi enemmän riskielimiä pienillä tai suurilla säteilyannoksilla kuin toinen, vaan annosjakaumien käyttäytyminen vaihtelee kohteittain. Tarkasteltaessa pieniä säteilyannoksia (0–10 Gy) eri elimien välille voida vetää yhtenevää linjaa. Koko keholla (kuvio 5) ja suolistolla (kuvio 4) perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito säästi enemmän kudosta pienillä säteilyannoksilla, kun taas virtsarakkoa (kuvio 3) säästi enemmän RapidArc-sädehoitotekniikka. Peräsuolella (kuvio 2) eroja ei voi kuvaajastamme havaita pienillä annoksilla. Suurilla säteilyannoksilla (60–70 Gy) RapidArc säästi hieman enemmän virtsarakkoa (kuvio 3) ja suolistoa (kuvio 4). Muilla kohteilla ei havaittu eroja kahdella eri tekniikalla suurilla säteilyannoksilla.

Eturauhassyöpää sairastavaa potilasta hoidettaessa herää kysymys riskielimien saamista säteilyannoksista. Tutkimustulostemme perusteella virtsarakko saa tarkastelemistamme riskielimistä eniten säteilyannosta. Toiseksi eniten säteilyannosta sai peräsuoli. Huomattavasti vähiten säteilyannosta saa suolisto. Riskielimet voitiin sijoittaa tähän järjestykseen tarkastelemalla niiden absoluuttisten tilavuuksien keskiarvoja (taulukot 1, 2 & 3).

Aikaisempien tutkimusten mukaan (Chao ym. 2011; Astner ym. 2010; Valve 2011, 52) esitimme hypoteesin. Oletimme, että RapidArc-sädehoitotekniikka säästäisi enemmän riskielimiä kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito eturauhassyövän sädehoidossa. Tutkimustuloksiimme mukaan kumoamme hypoteesimme. Tutkimuksemme perusteella RapidArc-sädehoitotekniikka ei säästä riskielimiä enempää kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

7 POHDINTA

Tutkimuksemme tarkoituksena oli vertailla perinteisen intensiteettimuokatus sädehoidon sekä RapidArc-sädehoitotekniikoiden annostilavuusjakaumia eturauhassyövän sädehoidossa tarkastelemalla eturauhasen läheisyydessä sijaitsevia riskielimiä sekä koko kehon saamaa säteilyannosta. Tutkimustuloksiamme perusteella olisi voitu miettiä kumulatiivisen säteilyannoksen nostamista, jos RapidArc-sädehoitotekniikka olisi ollut merkittävästi riskielimiä säästävämpi kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito.

Tässä kappaleessa vertaamme saamiamme tutkimustuloksia aiempiin tieteellisiin julkaisuihin. Tarkastelemme tutkimuksemme reliabiliteettia, validiteettia sekä eettisyyttä. Lopuksi kerromme oppimiskokemuksistamme sekä esitämme jatkotutkimushaasteet.

7.1 Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kuvio 2 osoitti, että RapidArc-sädehoito on peräsuolta säästävämpi sädehoitomenetelmä pienillä säteilyannoksilla 10–20 Gy kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. RapidArc oli säästävämpi myös isoilla sädeannoksilla 50–70 Gy. Näiden annosten välillä 30–40 Gy perinteinen IMRT-sädehoito oli hieman säästävämpi kuin RapidArc. Aznar, Engelholm, Kjær-Kristoffersen, Korreman, Lindberg, Logadottir ja Petersen (2010, 480–484) olivat tutkineet eturauhasensyöpää hoidettaessa pyörähdyksen lisäämisen vaikutusta sädehoidon osuvuuteen ja vaikuttavuuteen. Tutkimuksista kävi ilmi, että RapidArc-sädehoito oli peräsuolelle säästävämpi kuin perinteinen viisikenttäinen intensiteettimuokattu sädehoito. Tämä kävi tutkimuksessamme toteen siis vain osittain.

Kuvio 3 osoitti, että RapidArc-sädehoitotekniikka oli kaikilla sädeannoksilla hieman perinteistä intensiteettimuokattua sädehoitoa säästävämpi **virtсарakolle** eturauhassyövän sädehoidossa. James, McKenzie, Moiseenko, Morris, Nakano, Otto, Palma, Shaffer ja Vollans (2008, 996–1001) olivat tutkineet kaarihoidon ja perinteisen intensiteettimuokatus sädehoidon annosjakaumien eroja. Heidän tutkimuksensa osoitti, että VMAT-sädehoitotekniikka säästi virtсарakkoa eturauhassyövän sädehoidossa, mikä käy myös ilmi meidän tutkimuksessamme. Clivion, Cozzin, Deshpanden, Dinshawin, Engineerin, Fogliatan, Jameman, Mahantshettyyn, Nicolinin, Shrivastavan ja Vanettin (2008, 180–191) tutkimuksen mukaan RapidArc-sädehoitotekniikka

vähentää virtsarakon keskimääräistä säteilyannosta enemmän kuin perinteinen IMRT-tekniikka eturauhassyövän sädehoidossa. Tutkimuksessamme teimme saman havainnon tarkasteltaessa virtsarakon annosjakautumia vertailtaessa näitä kahta eri sädehoitotekniikkaa.

North Carolinassa oli myös tutkittu RapidArc:in ja perinteisen intensiteettimuokatuksen sädehoidon annosjakautumien eroja eturauhassyövän sädehoidossa. Tutkimuksen mukaan perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito oli **suolistoa** säästävämpi kuin yksikaarinen RapidArc-hoito. (Lee, Yin, Yoo, & Wu 2010, 935–942) Kaksikaarisella RapidArc-hoidolla päästiin samoihin suoliston säteilyannoksiin kuin perinteisellä IMRT:llä. Meidän tutkimuksessamme kuvio 4 osoitti perinteisen IMRT-sädehoidon olevan RapidArc-sädehoitotekniikkaa säästävämpi pienillä annoksilla, joten Leen ym. tutkimuksen tulokset käyvät toteutuvat osittain. Toisen tutkimuksen mukaan suoliston säteilyannosta oli RapidArc-tekniikalla saatu laskettua, mutta RapidArcilla ja perinteisellä IMRT-tekniikalla ei ollut suurta eroa (Clivio ym. 2008, 180–191). Tämä tutkimus mukailee hyvin omia tutkimustuloksiamme.

Valveen mukaan (2011, 53) RapidArc-sädehoitotekniikka myös laskee kriittisten elinten maksimiannoksia verrattaessa perinteiseen IMRT-tekniikkaan. Vertailimme taulukoiden 1, 2, 3, 4 ja 5 maksimiarvoja tilavuusyksiköillä perinteisellä intensiteettimuokatuksella sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla. Kaikilla kohteilla ja kaikilla säteilyarvoilla RapidArc-tekniikalla oli pienempi maksimisäteilyannos kuin perinteisellä intensiteettimuokatuksella sädehoidolla.

Tutkimuksessamme tarkastelimme myös **koko kehon** (body) saamaa säteilyannosta annossuunniteluohjelman antaman body-tilavuuden mukaan. Koska body on annossuunniteluohjelman ominaisuus eikä sille ole anatomista vastinetta, on sitä vaikea vertailla lähdekirjallisuuteen. Valveen tutkimuksen mukaan (2011, 17) RapidArc- ja VMAT-sädehoitotekniikan hoitopään pyörähtäminen potilaan ympäri saa aikaan pienien säteilyannosten leviämisen laajalle alueelle terveeseen kudokseen, ja tämä tekniikka voi tällä tavoin kasvattaa sekundäärisyövän riskiä. Kuvio 5 voitiin huomata, että pienillä annoksilla 0–10 Gy RapidArc-sädehoitotekniikalla koko keho sai enemmän säteilyannosta kuin perinteisellä intensiteettimuokatuksella sädehoidolla. Tutkimustuloksemme ovat siis samassa linjassa Valveen tutkimuksen kanssa.

James ym. tutkimuksesta (2008, 996–1001) kävi ilmi, että VMAT-sädehoitotekniikka vaati vähemmän **monitoriyksiköitä** kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito. Heidän

tutkimuksessaan monitoriyksiköiden lukumäärä saatiin 38–42 % pienemmäksi kuin perinteisellä 5-kenttäisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla. Myös Aznarin ym. (2010, 480–484) tutkimuksessa RapidArc-sädehoidolla saavutettiin haluttu hoitoannos pienemmällä monitoriyksikkölukumäärällä kuin perinteisellä IMRT-tekniikalla. Tutkimuksessamme RapidArc-sädehoitotekniikalla monitoriyksiköitä oli vain 0,8 prosenttia vähemmän kuin perinteisellä IMRT-sädehoitotekniikalla. Koska tutkimuksessamme monitoriyksiköiden lukumäärissä ei ollut huomattavaa eroa, aikaisempien tutkimuksien (Jamesin ym. 2008, 996–1001; Aznar ym. 2010, 480–484) tulokset eivät käyneet toteen. Sädehoitoyksikön fyysikot osasivat selittää tämän ilmiön johtuvan ainakin osittain siitä, ettei annossuunnittelussa aina käytetä monitoriyksiköiden rajainta (Sädehoitoyksikön fyysikot 12.12.2012, keskustelu).

Aznarin ym. (2010, 480–484) mukaan RapidArc oli perinteistä IMRT-sädehoitoa nopeampi. RapidArc-hoidon fraktio kesti keskimäärin 1,5 minuuttia, kun vastaava aika viisikenttäisellä perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla oli 8,9 minuuttia. Tämä aikavoitto on merkittävä potilaan paikalla pysymisen kannalta. Todellisuudessa RapidArc-sädehoidon suunnittelemiseen menee annossuunnittelijalta moninkertaisesti enemmän aikaa kuin perinteisellä intensiteettimuokatulla sädehoidolla, sillä RapidArc-annossuunnitelmat ovat tietokoneille hyvin raskaita laskennallisesti. Tässä siis hoitajalla jää enemmän aikaa sädehoitotyöhön, mutta annossuunnittelijalla enemmän työtä suunnittelutyöhön, joten hoitoajassa voittaminen kumoutuu. (Sädehoitoyksikön fyysikot 12.12.2012, keskustelu.)

Vertailtaessa tutkimustuloksiamme kaikkiin edellä mainittuihin tieteellisiin julkaisuihin voidaan sanoa, ettei RapidArc-hoitomenetelmällä säästetty niin paljon tervettä kudosta verrattaessa perinteiseen intensiteettimuokattuun sädehoitoon, mitä olimme odottaneet. Tämä johtuu osittain siitä, että lähdekirjallisuudessa puhuttiin yleensä 5-kenttäisestä IMRT-hoidosta, kun taas Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön annossuunnittelijat tekevät yleensä 7–9 kenttää yhteen perinteisellä IMRT-tekniikalla toteutettuun sädehoitoon. Tämä isompi kenttämäärä kattaa paremmin hoitokohteen, ja sillä saadaan suojattua riskielimiä. Voidaan siis sanoa, että Oulun yliopistollisen sairaalan sädehoidon yksikön IMRT-annossuunnitelmat ovat lähtökohtaisesti parempia kuin kirjallisuuslähteiden 5-kenttäiset IMRT-annossuunnitelmat. Convery, Cosgrove, Dearnaley, Nutting, Padhani, Rowbottom & Webb (649–656) vertailivat vuonna 2000 konventionaalista, 3-kenttäistä sekä 9-kenttäistä annossuunnitelmaa lantioalueen sädehoidossa. Tutkimuksesta käy ilmi, että kenttämäärän kasvattaminen säästää terveitä kudoksia.

7.2 Luotettavuus ja eettisyys

Yksittäiset annostilavuudet oli haastava kerätä annostilavuushistogrammeista annossuunnitteluohjelman luonteen vuoksi. Kun mietitään tulosten toistettavuutta – reliaabeliutta – saattavat yksittäisten annostilavuuksien suuruudet vaihdella, ja näin saadaan erilainen aineisto. Kuitenkin jos jokainen arvo otetaan aina täsmälleen samalla lailla, tutkimuksen toistettavuus toteutuu. (ks. Hirsjärvi ym. 2004, 216.)

Tiedonkeruulomakkeemme muokkautui niin, että saimme kerättyä siihen juuri ne arvot, joita halusimme tutkia. Validius toteutui siis asteittain tutkimuksen edetessä, ja lopulta saimme siirrettyä teorian tiedon tutkimuksessa käyttämäämme mittariin. Tutkittavat elimet on valittu yhdessä fyysikko Vesa-Pekka Heikkilän kanssa sillä perusteella, että sädehoidon yksikön annossuunnittelutiimi saa tutkimuksestamme mahdollisimman suuren hyödyn. Alun perin otimme muistiin suunnittelualueiden (PTV) tilavuudet, jotta voisimme myöhemmin määrittää terve kudoksen saaman säteilyannoksen koko kehon (body) avulla. Tutkimuksen edetessä selvisi, ettemme kuitenkaan voineet hyödyntää PTV-arvoja terve kudoksen säteilyannoksen määrittämiseen. Siten validius oli myös puutteellista tutkimuksestamme, koska osa aineistosta jäi hyödyntämättä. Tätä puutetta paikkasimme vertailemalla suoraan koko kehon (body) annosjakauksia perinteisellä intensiteettimuokatuilla sädehoidolla ja RapidArc-sädehoitotekniikalla. (ks. Kananen 2011, 150.) Epäselvyyksissä meillä oli aina mahdollisuus kysyä apua fyysikoilta, jotka auttoivat meitä mielellään. Luomamme tiedonkeruulomake aineiston keruulle oli hyvin selkeä, mikä helpotti tulosten jäsentelyä ja muokkaamista myöhemmin (ks. Hirsjärvi 2004, 178).

Kaikkiin valmiisiin aineistoihin on suhtauduttava kriittisesti, ja niiden luotettavuutta on syytä miettiä. Jotta saimme tarvittavat tiedot haluamassamme muodossa, perehdyimme annossuunnitteluohjelman käyttöön ja ominaisuuksiin tarkasti ennen aineiston keruuta. Mielestämme potilasaineistomme on hyvä ja luotettava, koska se on kerätty Oulun yliopistollisen sairaalan omasta potilasrekisteristä. (ks. Hirsjärvi 2004, 178.)

Noudatimme hyvää tieteellistä käytäntöä, keräsimme aineiston huolellisesti ja rehellisesti (ks. Viikka 2005, 29–30). Tutkimusaineiston keruu tapahtui niin, että toinen otti tietoja hoitosuunnitelmista ja toinen kirjasi niitä Excel-taulukkoon toiselle tietokoneelle. Pidimme nämä roolit koko aineiston keruun ajan, jotta aikaa ei olisi mennyt uuden roolin sisäistämiseen, vaan aineisto saatiin poimittua ripeästi, mutta huolellisesti. Aineiston analysointi tapahtui yhdessä, joten

tutkijatriangulaatio toteutui. (ks. Hirsjärvi ym. 2004, 218.) Jos olimme epävarmoja jonkin aineiston keruuseen liittyvän asian kanssa, pyysimme heti apua paikalla olleilta fyysikoilta ja näin minimoimme virheen mahdollisuuden aineistossamme.

Tutkimuksestamme ei aiheutunut haittaa potilaalle. Siitä ei esimerkiksi aiheutunut säteilyaltistusta potilaalle, koska käytimme jo olemassa olevia annossuunnitelmia. Näin ollen tutkimuksemme oli turvallinen potilaille. (ks. Walliman 2005, 363; Creswell 2003, 64–65.) Potilasaineisto pysyi alusta loppuun anonyyminä potilaiden yksityisyyden kunnioittamiseksi. Pidimme henkilötietolistaa sädehoidon yksikössä aineiston keruun ajan emmekä vieneet sitä osaston ulkopuolelle. Henkilöt oli numeroitu, jotta mahdollisten ilmenevien poikkeavuuksien myötä saatiin annossuunnitelman tiedot jäljitettyä. (ks. Vilka 2007, 95.)

7.3 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet

Oppimistavoitteenamme oli selkeyttää kuvaamme sädehoidon annossuunnittelusta. Röntgenhoitajan työssä on tärkeää ymmärtää, mistä potilaan saamat varhaiset ja myöhäiset sädehoidon sivuvaikutukset johtuvat. Sädehoito-osastolla työskennellessä on etua annossuunnitelmien lukutaidosta ja näin ollen osaa etsiä niistä tarvittavia tietoja. Röntgenhoitajan rooli annossuunnittelussa on kasvanut viime vuosien aikana ja annossuunnittelutaidoista on tulevaisuudessa yhä enemmän hyötyä.

Opimme kirjoittamaan tieteellistä tekstiä sekä tekemään tieteellistä tutkimusta. Tämä oli meille molemmille ensimmäinen tieteellinen tutkimus. Aloitimme tiedonhaulla ja ideoinnilla, josta siirryimme aiheen rajaamiseen. Tiedonhakutaitomme kehittyivät huimasti, mikä on tärkeää näyttöön perustuvassa toiminnassa. Osaamme hakea tietoa niin kotimaisia kuin ulkomaisia tieteellisistä julkaisuista ja osaamme tarkastella lähteitä kriittisesti. Teoreettisen viitekehyksen myötä lähdimme tutustumaan tutkimusmetodologiaan, josta molemmat opimme paljon. Opimme myös aineiston analysointia ja tilastollista käsittelyä.

Opinnäytetyötämme tehdessä opimme tavoitteellista työskentelyä, sinnikkyyttä sekä tiimityötaitoja. Jaoimme eri tehtäviä omien vahvuksiemme sekä toiveidemme mukaan toisillemme, mutta opimme myös työstämään sellaisia asioita, jotka eivät olleet itselleen niin mieluisia tai eivät kuuluneet vahvoille osa-alueillemme. Laadimme myös aikataulua opinnäytetyön loppuunsaattamiselle ja opettelimme tarpeen tullen joustamaan siinä. Röntgenhoitajan työssä

olemme joka päivä muiden kollegojen kanssa tekemisissä ja työskentelemme tiimeissä, joten näistä tiimityötaidoista on varmasti hyötyä tulevassa ammatissamme.

Olimme osana moniammatillista yhteisöä opinnäytetyötä tehdessämme. Pidimme palavereita niin sairaalafyysikkojen kuin lehtoreiden kanssa. Tämä on kasvattanut viestintä- ja vuorovaikutustaitojamme. Palavereiden myötä opimme myös tekemään kompromisseja ja ymmärsimme, että viestinnän tulee toimia eri osapuolien välillä.

Opinnäytetyön etenemistä auttoi aihevalintamme. Meille molemmille oli selvää tehdä kvantitatiivinen tutkimus ja molempia kiinnosti sädehoito. Lisäksi sädehoitoyksikön sairaalafyysikot vakuuttivat aiheemme tärkeyden. Oli mukava suorittaa tutkimusta, jonka tuloksia odotetaan ja hyödynnetään sädehoidon annossuunnittelussa.

Tämän tutkimuksen myötä tiedämme, miten säteilyannos jakautuu riskielimille eturauhasen syöpää hoidettaessa perinteistä intensiteettimuokattua ja RapidArc-sädehoitotekniikkaa tarkasteltaessa. Ensimmäinen jatkotutkimusidea onkin tehdä samanlainen selvitys hoidettaessa muita syöpiä, esimerkiksi rintasyöpää tai pään ja kaulan alueen syöpiä.

RapidArc on nopeampi sädehoitohoitotekniikka verrattaessa hoitokerran pituutta perinteiseen intensiteettimuokattuun sädehoitoon. Toinen jatkotutkimushaaste on aikaedun tutkiminen: kuinka paljon nopeampi RapidArc-hoitotekniikka on kuin perinteinen intensiteettimuokattu sädehoito ja mistä erot johtuvat.

LÄHTEET

Astner S., Bayer W., Busch R., Jacob V. & Kneschaurek P. 2010. A Planning Comparison of Dynamic IMRT for Different Collimator Leaf Thicknesses with Helical Tomotherapy and RapidArc for Prostate and Head and Neck Tumors. *Strahlentherapie und Onkologie*. 186, 502–510.

Aznar, M., Engelholm, S., Kjær-Kristoffersen, F., Korreman, S., Lindberg, H., Logadottir, A. & Petersen, P. 2010. Rotational Radiotherapy for Prostate Cancer in Clinical Practice. *Radiotherapy and Oncology*. 97 (3), 480–484.

Boyer, A., Butler, B., DiPetrillo, T., Engler, M., Fraas, B., Grant, W., Ling, C., Low, D., Mackie, T., Mohan, R., Purdy, J., Roach, M., Roseman, J., Verhey, L., Wong, J., Cumberland, R., Stone, H. & Palta, J. 2001. Intensity-Modulated Radiotherapy: Current Status and Issues of Interest. *International Journal of Radiation Oncology*. 51 (4), 880–914.

Chao, H-L., Cheng, J., C-H., Tsai, C-L., Tsai, Y-C. & Wu, J-K. 2011. Treatment and Dosimetric Advantages between VMAT, IMRT, and Helical Tomotherapy in Prostate Cancer. *Medical Dosimetry*. 36, 264–271.

Clivio, A., Cozzi, L., Deshpande, D., Dinshaw, K., Engineer, R., Fogliata, A., Jamema, S., Mahantshetty, U., Nicolini, G., Shrivastava, S. & Vanetti, E. 2008. A Treatment Planning Study Comparing Volumetric Arc Modulation with RapidArc and Fixed Field IMRT for Cervix Uteri Radiotherapy, *Radiotherapy & Oncology*. 89 (2), 180–191.

Creswell, W., J. 2003. *Research Design. Qualitative, Quantitative and Mixed Method*. 2. painos. Thousand Oaks: Sage Publications.

Convery, D., Cosgrove, V., Dearnaley, D., Nutting, C., Padhani, A., Rowbottom, C. & Webb, S. 2000. Reduction of Small and Large Bowel Irradiation Using an Optimized Intensity-Modulated Pelvic Radiotherapy Technique in Patients with Prostate Cancer. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 48 (3), 649–656.

Eturauhassyövän ulkoinen sädehoito. Hakupäivä 20.5.2011.

http://www.suomalaineneturauhassyopa.fi/sivut/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=52

Glatstein, E. & Goffman, T.E. 2002. Intensity-Modulated Radiation Therapy. *Radiation Research*. 158 (1), 115–117.

Hall, E. 2006. Intensity-modulated radiation therapy, protons, and the risk of second cancers. *International Journal of Radiation Oncology*. 65 (1), 1–7.

Heikkilä, V-P., 2012. Henkilökohtainen tiedonanto. Sähköpostiviesti 27.2.2012. Oulun yliopistollinen sairaala.

Heikkilä, V-P., 2013. Henkilökohtainen tiedonanto. Sähköpostiviesti 4.1.2013. Oulun yliopistollinen sairaala.

Hirsjävi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2004. Tutki ja kirjoita. 10. painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

James, K., McKenzie, M., Moiseenko, V., Morris, J., Nakano, S., Otto, K., Palma, D., Shaffer, R. & Vollans, E. 2008. Volumetric Modulated Arc Therapy for Delivery of Prostate Radiotherapy: Comparison with Intensity-Modulated Radiotherapy and Three-Dimensional Conformal Radiotherapy. *Radiation Oncology, Biology, Physics*. 72 (4), 996–1001.

Joensuu, H., Kouri, M. & Tenhunen, M. 2001. Intensiiteettimuokattu sädehoito – Uusi tekniikka parantaneet hoitotuloksia. *Duodecim*. 117, 389–394.

Joensuu, H., Ojala, A., Tenhunen, M., Kouri, M. & Teppo, L. 2002. Kliininen sädehoito. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Jussila, A-L., Kangas, A. & Haltamo, M., 2010. Sädehoitotyö. Helsinki: WSOYpro Oy.

Jyrkkiö, S. 2004. Eturauhassyövän sädehoito. *Suomen lääkärilehti*. 59 (35), 3139–3141.

Kananen, J. 2011. Kvantti – Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Tampereen yliopistopaino.

Kananen, J. 2008. Kvantti – Kvantitatiivinen tutkimus alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

Kangasmäki, A. & Kouri, M. 2009. Moderni sädehoito. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Kjær-Kristoffersen, F., Ohlhues, L., Medin, J. & Korreman, S. 2009. RapidArc volumetric modulated therapy planning for prostate cancer patients. *Acta Oncologica*. 48 (2), 227–32.

Korpela, M. 2007. Eturauhassyövän sädehoidon haittavaikutukset, Kustannus Oy Duodecim. Hakupäivä 20.1.2012 http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=nix00972

Kouri, M., Ojala, A. & Tenhunen, M. 2007. Sädehoito. Teoksessa Joensuu, H., Roberts, P.J., Teppo, L. & Tenhunen, M. Syöpätaudit. 3. painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. 137–160.

Kärnä, A. 2008. Ionisaatiokammimatriisin käyttö intensiteettimuokatus sädehoidon laadunvarmistuksessa. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos.

Lahtinen, T & Holsti, L. 1997. Kliininen säteilybiologia. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Lee, R., Yin, F-F., Yoo, S. & Wu, J. 2010, Radiotherapy Treatment Plans With RapidArc for Prostate Cancer Involving Seminal Vesicles and Lymph Nodes, *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 76 (3), 935–942

Miettinen, A., Pukkila, O. & Tapiovaara, M. 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Teoksessa Pukkila, O. (toim.) Säteilyn käyttö. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto Oy:n kirjapaino.

Mustonen, R. & Salo, A. 2002 Säteily ja solu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteilyturvakeskus. Hämeenlinna: Karisto Oy:n kirjapaino.

Norlén, B. J., Schenkmanis, U. & Bokförlag, I. 2008. Eturauhassyöpä. Suomenos Salonen, S. Helsinki: WSOY.

Pollack, A., Zagars, G.K., Starkschall, G., Antolak, J.A., Lee, J.J., Huang, E., von Eschenbach, A.C., Kuban, D.A. & Rosen, I. 2002. Prostate cancer radiation dose response: results of the M. D. Anderson phase III randomized trial. *International Journal of Radiation Oncology*. 53 (5), 1097–1105.

Potosky, A., Davis, W., Hoffman, R., Stanford J., Stephenson R., Penson, D. & Harlan, L. 2004. Five-year outcomes after prostatectomy or radiotherapy for prostate cancer: the prostate cancer outcomes study. *Journal of the national cancer institute*. 96 (18), 1358–1367.

RapidArc. Hakupäivä 14.2.2012.
http://www.varian.com/us/oncology/treatments/treatment_techniques/rapidarc/

Sipilä, P. 2010. Sädehoitolaitteet. Teoksessa Jussila, A-L., Kangas, A. & Haltamo, M. Sädehoitotyö. Helsinki: WSOYpro OY. 111–133.

Suomen Syöpärekisteri. Hakupäivä 24.4.2011.
<http://stats.cancerregistry.fi/stats/fin/vfin0003i0.html>

Sädehoito. Hakupäivä 20.5.2011.
http://www.ilmarinen.fi/tyoterveyskirjasto/tk.koti?p_osio=&p_artikkeli=dlk01078&p_teos=dlk&p_sel_auus=

Sädehoitoyksikön fyysikot 2012. Aamupalaverin keskustelu 12.12.2012. Oulun yliopistollinen sairaala.

Tenhunen, M. 2010. Sädehoidon biologiset perusteet. Teoksessa Jussila, A-L., Kangas, A. & Haltamo, M. Sädehoitotyö. Helsinki: WSOYpro OY. 51–74.

Valve, A. 2011. RapidArc-hoitotekniikka eturauhassyövän sädehoidossa. Pro Gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos.

Valve, J. 2010. Säteilifysiikka. Teoksessa Jussila, A-L., Kangas, A. & Haltamo, M. Sädehoitotyö. Helsinki: WSOYpro OY. 32–50.

Vanhanen, A. 2008. Sädehoidon annossuunnitelmien säteilybiologinen vertailu. Pro Gradu - tutkielma. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos.

Vilka, H. 2005. Tutki ja kehitä. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Vilka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Walliman, N. 2005. Your Research Project. 2. painos. Lontoo: Sage Publications.

