



Tiina Rantanen ja Kirsi Viinanen

Eturauhassyövän magneettiohjattu sädehoito

Tulevaisuuden hoitomenetelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Röntgenhoitaja (AMK)

Radiografia ja sädehoito

Opinnäytetyö

10.11.2021

Tekijä	Tiina Rantanen ja Kirsi Viinanen
Otsikko	Eturauhassyövän magneettiohjattu sädehoito – Tulevaisuuden hoitomenetelmä
Sivumäärä	16 sivua + 1 liitettä
Aika	10.11.2021
Tutkinto	Röntgenhoitaja (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Radiografia ja sädehoito
Ohjaajat	Lehtori Heli Patanen Lehtori Ulla Nikupaavo
<p>Opinnäytetyö käsittelee eturauhassyövän magneettiohjattua (MK-ohjattu) sädehoitoa. Eturauhassyöpä yleistyy ja sen hoitomenetelmiä kehitetään jatkuvasti. Merkittävä uusi hoitomenetelmä on MK-ohjattu sädehoito. Sitä annetaan magneettikuvauslaitteen ja lineaari-kihihtymen yhdistävällä hybridilaitteella. Tekniikka pohjautuu ajatukseen, että turvallinen sädehoito perustuu hyvin kohdennettuun kasvainkäsittelyyn vahingoittamatta merkittävästi viereisiä terveitä kudoksia. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voisiko MK-ohjattu sädehoito olla tulevaisuudessa eturauhassyövän ensisijainen hoitomuoto. Asian pohtimiseksi raportissa kootaan yhteen uuden kehittyvän hoitotekniikan hyödyt, haasteet ja kehittämistarpeet hoidon yleistymisen kannalta.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Aineisto koottiin sosiaali- ja terveysalan ammatillisista tietokannoista. Mukaan hyväksyttiin vertaisarvioitua, luotettavia tieteellisiä artikkeleita ja tutkimukset, jotka antoivat vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Kysymykset olivat: miksi MK-ohjattu sädehoito on hyvä hoitomenetelmä eturauhassyöpäpotilaalle ja mitkä ovat menetelmän haasteet ja kehittämistarpeet. Aineisto rajattiin vuosiin 2019 – 2021 ja mukaan valikoitui 14 artikkelia. Lähdeaineistoon perehdyttiin huolellisesti, jotta sen pohjalta saatiin kattava kokonaiskuva eturauhassyövän MK-ohjattua sädehoidosta. Tämän jälkeen laadittiin tutkimuskysymyksiin pohjautuva yleiskatsaus aiheesta.</p> <p>Artikkeleissa korostui MK-ohjattua sädehoidon hyvinä ominaisuuksina sen tarjoama reaaliaikainen kuvantaminen, laadukas anatomian visualisointi ja elinten liikkeen seuranta hoidon aikana. Tämä mahdollistaa tarkasti kohdennettua hoidon ja säästää kasvaimen ympärillä olevia terveitä kudoksia säteilyn aiheuttamilta haitoilta. MK-ohjattua sädehoidon erinomainen pehmytkudoskontrasti yhdistettynä reaaliaikaiseen suunnitelman mukauttamiseen antaa mahdollisuuden pienentää marginaaleja, lisätä annosta yhtä hoitokertaa kohden ja toteuttaa entistä yksilöllisempiä hoitosuunnitelmia. Tutkijat ja artikkelien kirjoittajat näkevät hoitotekniikassa myös monia kehittämistarpeita. Haasteita tekniikan yleistymiselle aiheuttaa muun muassa pitkä hoitoaika, jonka aikana eturauhanen usein muuttuu muotoaan viereisten elinten liikkuessa. Magneetikuvantaminen ei sovellu kaikille potilaille esimerkiksi kehossa olevan metallin tai ahtaanpaikankammon takia. Potilaalle pitkä paikallaan makaaminen voi myös olla epämukavaa. Hybridilaitteiden saatavuus, tekniikan vaatimat henkilöstöresurssit ja hoitomuodon suuret kustannukset rajoittavat sen yleistymistä. MK-ohjattua sädehoidosta tarvitaan myös lisää kontrolloituja satunnaistettuja tutkimuksia hoitokäytäntöjen yhtenäistämiseksi ja menetelmän laajemman käytön tueksi.</p> <p>Opinnäytetyö hyödyttää sädehoidon parissa työskenteleviä röntgenhoitajia antaen heille kattavan kuvan MK-ohjattua sädehoidon hyödyistä ja haasteista eturauhassyövän hoitomenetelmänä. Suomeen on tulossa ensimmäinen hybridilaitte Helsinkiin uuteen Siltasairaalaan vuonna 2022. Tulevaisuudessa toivottavasti saadaan kotimaista tutkimustietoa ja käyttäjäkokemuksia kyseisestä eturauhassyövän hoitomenetelmästä.</p>	
Avainsanat	Eturauhassyöpä, magneettiohjattu sädehoito

Author	Tiina Rantanen ja Kirsi Viinanen
Title	Magnetic resonance guided radiotherapy – Future treatment method
Number of Pages	16 pages + 1 appendices
Date	November 10 2021
Degree	Radiographer (UAS)
Degree Programme	Degree programme in Radiography and Radiotherapy
Instructors	Heli Patanen, Senior lecturer Ulla Nikupaavo, Senior lecturer
<p>The thesis deals with magnetic resonance guided radiotherapy (MRgRT) of prostate cancer. Prostate cancer is becoming more common and its treatment methods are constantly being developed. A significant new treatment method is MRgRT. It is administered by a hybrid device combining a magnetic resonance imaging device and a linear accelerator. Basic idea of the technique is that safe radiotherapy is based on well-targeted tumor treatment without significantly damaging the surrounding healthy tissues. The aim of the thesis is to find out whether MRgRT could be the primary treatment for prostate cancer in the future. In order to reflect on the issue, the report brings together the benefits, challenges and development needs of the new evolving treatment technology in terms of the prevalence of care.</p> <p>The thesis was carried out as a descriptive literature review. The material was compiled from social and health sector professional databases. Peer-reviewed, reliable scientific articles and studies were adopted that provided answers to the research questions posed. The questions were: why is MRgRT a good treatment method for a prostate cancer patient and what are the challenges and development needs of the method. The material was limited to the time period of 2019 - 2021 and 14 articles were selected. The source material was carefully reviewed to provide a comprehensive overview of MRgRT for prostate cancer. This was followed by an overview of the topic based on research questions.</p> <p>The articles highlighted the good features of MRgRT, the real-time imaging it provides, the high-quality visualization of anatomy, and the monitoring of organ movements during treatment. This allows for precisely targeted treatment and saves the healthy tissues around the tumor from radiation-induced harm. The excellent soft tissue contrast of MRgRT, combined with real-time plan adjustment, allows you to reduce margins, increase the dose per treatment session, and implement more individualized treatment plans. Researchers and article writers also see many development needs in the treatment technology. Challenges to the more widespread use of the technology are presented, among other things, by the long duration of treatment, during which the prostate often changes shape as adjacent organs move. Magnetic resonance imaging is not suitable for all patients due to, for example, metal in the body or fear of confined places. It can also be uncomfortable for the patient to remain lying down for a long period of time. The availability of hybrid devices, the staff resources required due to the technology, and the high cost of treatment limit the possibility of it becoming more commonly used. There is also a need for more controlled randomized trials of MRgRT to harmonize treatment practices and support wider use of the method.</p> <p>The thesis benefits radiographers working in radiotherapy, giving them a comprehensive picture of the benefits and challenges of MRgRT as a treatment method for prostate cancer. The first hybrid device will be introduced in Finland at the new Siltasairaala in Helsinki in 2022. In the future, it is hoped that domestic research data and user experiences will be <u>gained from this method of treating prostate cancer.</u></p>	
Keywords	Prostate cancer, Magnetic resonance-guided radiotherapy

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Eturauhassyövän hoitomenetelmät	1
2.1	Sädehoito	2
2.2	Muut hoitomenetelmät	3
3	Magneettiohjattu sädehoito	4
3.1	Hybridilaitteen kehitys	5
3.2	Magneettiohjatussa sädehoidossa huomioitavat asiat	6
3.2.1	Turvallisuus ja kontraindikaatiot	6
3.2.2	Hoidon sopimattomuus kaikille potilaille	7
3.2.3	Laadunvalvonta ja tekniset ominaisuudet	7
4	Tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymykset	8
5	Kuvaileva kirjallisuuskatsaus	8
6	Tiedonhaku	9
7	Magneettiohjatun sädehoidon hyödyt, haasteet ja kehittämistarpeet	10
7.1	Magneettiohjatun sädehoidon hyödyt	11
7.1.1	Anatomian visualisointi ja hoidon reaaliaikainen mukauttaminen	11
7.1.2	Sädehoidon tarkka kohdistus ja riskielinten säästäminen	12
7.1.3	Yksilöllinen hoito	13
7.2	Magneettiohjatun sädehoidon haasteet ja kehittämistarpeet	13
7.2.1	Pitkä hoitoaika ja magneettikentän vaikutus	13
7.2.2	Satunnaistettujen kontrolloitujen tutkimusten vähäisyys	14
7.2.3	Saatavuus, kustannukset ja henkilöstöressurit	15
8	Eettisyys ja luotettavuus	15
9	Pohdinta	16
	Lähteet	19
	Liitteet	
	Liite 1. Aineiston analysointitaulukko	

1 Johdanto

Opinnäytetyömme kuvaileva kirjallisuuskatsaus käsittelee eturauhassyövän magneettiohjattua (MK-ohjattua) sädehoitoa. Aihe on ajankohtainen, koska MK-ohjattua sädehoitoa kehitetään aktiivisesti ja aiheesta on ilmestynyt viime vuosina useita tutkimuksia. Vuosittain todettavien eturauhassyöpätapausten määrä on kasvanut jyrkästi 1990-luvulta alkaen ja sen ennustetaan edelleen kasvavan. Viimeisen julkaistun Suomen syöpätapausten tilastoraportin mukaan 5016 suomalaista miestä sairastui eturauhassyöpään vuonna 2018. (Suomen syöpärekisteri 2018: 15,38.) Sairauden yleisyyden takia eturauhassyöpää ja sen hoitomuotoja tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti. MK-ohjattu sädehoito on merkittävä viimeisen vuosikymmenen aikana tullut muutos eturauhassyövän hoitoprosessissa. Opinnäytetyössä selvitetään, voisiko MK-ohjattu sädehoito olla tulevaisuudessa eturauhassyövän ensisijainen hoitomenetelmä. Uskomme, että käsittelemämme aihe ja vastaukset tutkimuskysymyksiimme kiinnostavat röntgenhoitajaopiskelijoita sekä sädehoidon parissa työskenteleviä radiografia-alan ammattilaisia.

MK-ohjattu sädehoito (MRgRT=Magnetic Resonance guided Radiotherapy) on jatkuvasti kehittyvä menetelmä erityisesti eturauhassyövän hoidossa. Kyseinen hoitotekniikka ei ole vielä käytössä Suomessa, joten siitä ei löydy myöskään kotimaista tutkimustietoa. Tutkimastamme kansainvälisestä aineistosta kuitenkin selviää, että menetelmästä ja sen kehittämistä ollaan hyvin kiinnostuneita. MK-ohjattu sädehoito kehittyy jatkuvasti, laitteistoa saadaan laajempaan käyttöön ja hoitotulokset paranevat. Edelleen on silti olemassa seikkoja, jotka jarruttavat tekniikan laajempaa käyttöönottoa syöpäradiologiassa.

2 Eturauhassyövän hoitomenetelmät

Eturauhassyövän ensioireet voivat vaikuttaa samantyyppisiltä, kuin eturauhasen hyvänlaatuisen liikakasvun oireet. Liikakasvun oireet tulevat kuitenkin yleensä hitaasti vuosien saatossa, kun taas syövän oireet samalla alueella usein kehittyvät nopeammin. Pääasiallisina oireina ovat uusiutuvat tulehdukset virtsateissä, virtsaamistarpeen lisääntyminen ja virtsapakko, sekä muut virtsaamisen häiriöt. (Saarelma 2021.) Eturauhasta voidaan tutkia kuvantamisen keinoin ultraäänellä, jolloin saadaan selville eturau-

hasen koko ja mahdollinen suurentuminen. Muutos voi näkyä myös TT- tai magneettikuvassa. (Tammela ym. 2020.) Eturauhassyöpää diagnosoidaan verikokein, ja lisäksi otetaan eturauhasesta koepaloja tarkempaa tutkimusta varten. Näillä kokeilla ja tutkimuksilla on mahdollista selvittää, onko potilaalla eturauhassyöpä, ja millainen syöpätyyppi on kyseessä. (Tarnanen & Aaltomaa & Sipilä & Jousilahti 2014.)

Eturauhassyövän hoito määritellään yhdessä potilaan kanssa neuvotellen ja huomioiden syövän koko ja levinneisyys sekä potilaan ikä ja muut sairaudet. Hoitona voi olla pelkkä seuranta, jos hoidon ei odoteta parantavan ennustetta. (Saarelma 2021.)

Muussa tapauksessa käytetään hormonihoitoa, endokriinista hoitoa eli lääkkeellistä tai kirurgista kastratiota, ulkoista tai sisäistä sädehoitoa, leikkausta, solunsalpaajia eli sytostaatteja, luustolääkkeitä sekä oireita lievittävää eli palliatiivista hoitoa (Tammela 2019). Potilaan ennuste on hyvä, jos syöpäkasvain on paikallinen ja syöpäkudos erilaistunutta. Näistä potilaista yli 90 % elää vähintään 10 vuotta syöpädiagnoosin jälkeen hoitomenetelmästä riippumatta. (Saarelma 2021.)

2.1 Sädehoito

Sädehoito tarkoittaa syöpäsolukon tuhoamista ionisoivan säteilyn avulla (Nurmi & Saarihahti & Tenhunen 2013). Eturauhassyövän sädehoito annetaan joko ulkoisesti tai kudoksen sisäisesti, mikä tarkoittaa radioaktiivisten jyväsien asettamista eturauhasen tai radioaktiivisten sondien käyttämistä eturauhasen sisällä 2–3 kertaa (Tammela 2017). Käytettäessä kudoksen sisälle asetettavia lyhyen kantaman radioaktiivista isotooppia sisältäviä metallijyväsiä, ne säteilevät kudoksessa muutamia viikkoja, eikä niitä poisteta sen jälkeenkään (Johansson 2018). Ulkoisen sädehoidon kokonaisannos määräytyy eturauhassyövän Gleason-riskiluokituksen mukaisesti. Suuren riski syöpä vaatii suuremman kokonaisannoksen. Hoitoannos ositetaan useisiin hoitokertoihin eli fraktioidaan. (Kellokumpu-Lehtinen & Joensuu & Tammela 2013b.) Gleasonin luokituksessa lukemaa seitsemän pidetään raja-arvona hyvän ja huonon ennusteen välillä. Matalat, alle seitsemään pisteeseen arvioidut syövät ovat rauhallisia, ja niiden kohdalla saattaa riittää pelkkä seuranta. Hyvin korkeat pisteet (8–10) tarkoittavat ärhäkästi käyttäytyvää syöpäkasvainta, joka vaatii useimmiten aktiivista hoitoa. (Käypä hoito 2014.)

Ulkoisen sädehoidon annetaan lineaarikiihdyttimillä. Eturauhanen paikannetaan tarkkojen kuvantamismenetelmien avulla ennen jokaista hoitokertaa. (Kouri & Tenhunen

2013.) Kuvantamistekniikoiden tarkoituksena on mahdollistaa kohdealueen ja terveen kudosalueen tarkka määrittäminen. Tällä varmistetaan kasvainalueelle suuri hoitoannos hyvien hoitotulosten saamiseksi ja samalla säästetään terveitä kudoksia säteilyltä ja vähennetään hoidon aiheuttamia haittavaikutuksia. (Nurmi ym. 2013.) Hoitoannos pyritään kohdistamaan mahdollisimman tarkasti eturauhaseen ja samalla pyritään siihen, että peräsuoli, virtsarakko ja virtsaputki säästyisivät säteilyltä. (Kouri & Tenhunen 2013.)

Sädehoidon suunnitelmaa tehtäessä huomioidaan näkyvä makroskooppinen kasvain sekä kokemustieto sen mahdollisesta mikroskooppisesta leviämisestä. Näin muodostettuun kohdealueeseen lisätään vielä elinten liikkeistä ja hoidon toteutustavasta aiheutuva epävarmuusmarginaali. (Kouri & Tenhunen 2013.) Annettaessa sädehoitoa eturauhaselle joudutaan huomioimaan eturauhasen sijaintiin vaikuttavat virtsarakon ja peräsuolen täyteen aiheuttamat päivittäiset muutokset (Kellokumpu-Lehtinen ym. 2013b). Nykyisellä hoitotekniikalla kasvainta sädetetään useista eri suunnista ja hoitokentät muotoillaan moniliuskarajainten avulla mukailemaan kohdetta (Nurmi ym. 2013). Säteilykeilojen suuntaus ja annoslaskenta suunnitellaan tietokoneella niin tarkasti, että hoito osuu eri hoitokerroilla muutaman millimetrin ja prosentin tarkkuudella syvälläkin sijaitsevaan kohteeseen. Simulaatiokuvauksella varmistetaan hoidon tarkka kohdenus. (Johansson 2018.) Tietokonetomografialla (TT) tehtävä simulaatio on pitkään ollut käytetyin sädehoidon hoitokenttien paikannusmenetelmä. TT-kuvista saadaan hyvin selville kohdealueen geometria ja kudostiheystiedot käyttäen ohuita leikkeitä ja tarvittaessa varjoainetehostusta. Kohdealue ja aluetta ympäröivät suojeltavat tervekudokset määritetään kolmiulotteisesti kuvasarjaan. Pitkän hoitojakson aikana kohdealueen geometria voi kuitenkin muuttua, joten tarvittaessa annossuunnittelukuvia otetaan uudelleen hoidon edetessä, jotta voidaan varmistaa laadukas hoito ja mahdollisimman vähäiset haittavaikutukset terveille kudoksille. Annossuunnittelujärjestelmillä TT-suunnittelukuviin voidaan yhdistää muilla kuvantamismenetelmillä otettuja kuvia kuten magneetti- ja PET-TT-kuvasarjoja. (Nurmi ym. 2013.)

2.2 Muut hoitomenetelmät

Toteamisvaiheessa suuri osa syövästä on paikallisia tai alueellisiin imusolmukkeisiin levinneitä (Nurmi ym. 2013). Paikallisen eturauhassyövän hoitomuotoja ovat radikaali-leikkaus ja -sädehoito sekä aktiiviseuranta (Saramies ym. 2017). Paikallisen eturauhas-

syövän ollessa etenemisriskiltä vähäinen, lieväoireinen tai potilaan odotettavissa olevan eliniän odotetaan olevan diagnoosin jälkeen alle 10 vuotta, on ensisijainen hoitomuoto aktiivinen seuranta, jossa potilaan PSA-arvoa (prostataspesifinen antigeeni) kontrolloidaan ja eturauhasesta otetaan uusia näytteitä tietyin määräväleihin. Jos seurannassa havaitaan syövän muuttuneen kohtalaisen tai korkean riskin syöväksi, siirrytään aktiivihoidoihin. Leikkauksessa poistetaan eturauhanen kokonaisuudessaan kapseloidun ja myös lantion alueen imusolmukkeet saatetaan poistaa. Syövän uusiutumisen vaaraa pyritään pienentämään leikkausalueelle kohdennetulla sädehoidolla. (Tammela 2017.) Paikallisesti levinneen syövän hoidossa harkitaan eturauhasen radikaalisädehoitoa ja siihen yhdistettyä hormonihoitoa. Vaihtoehtona on orkiektomia eli kivesten poistoleikkaus tai hormonihoito joko pistoksina tai tabletteina. (Saramies ym. 2017.)

Levinneestä eturauhassyövästä puhutaan, kun syöpä on lähettänyt etäpesäkkeitä eli metastaaseja. Eturauhassyöpäpotilaille tavallisimmat etäpesäkepaikat ovat luusto ja imusolmukkeet. Levinneen eturauhassyövän hoidolla tavoitellaan taudin tehokasta jarruttamista, mahdollisimman hyvän elämänlaadun ylläpitämistä ja elinajan pidentämistä. Tähän pyritään miessukupuolihormoni testosteronin vaikutusta estämällä. (Kellokumpu-Lehtinen & Joensuu & Tammela 2013.a) Levinneen eturauhassyövän hoitona on kastraatio joko kirurgisesti tai lääkkein sekä tarvittaessa palliatiivinen sädehoito. Hormoniresistenttiä levinnyttä eturauhassyöpää hoidettaessa harkitaan solunsalpaaja- sekä antiandrogenihoitoja sekä luuston haittatapahtumia estävää lääkitystä. Palliatiivisena hoitona käytetään mm. kipulääkitystä. (Saramies ym. 2017.)

3 Magneettiohjattu sädehoito

Perinteisen TT-kuvantamisella tehtävän sädehoidon suunnittelun rinnalle on kehitetty magneettiohjattu sädehoito (MRgRT= Magnetic Resonance guided Radio Therapy), jonka etuna on huomattavasti TT-kuvantamista parempi pehmytkudosten erottelukyky. Magneettiohjaus on merkinnyt kokonaan uudenlaisen kehityssuunnan alkamista sädehoidossa. (Corradini ym. 2019.) MRgRT sisältää päivittäisen 3D-magneettikuvauksen asettelua varten sekä lähes reaaliaikaisen hoidon aikana tapahtuvan kuvauksen kohteen paikantamiseksi. Analysoimalla hoidon aikana otettuja magneettikuvasarjoja pystytään seuraamaan hoidon vaikuttavuutta sekä ennustamaan hoitotuloksia. (Breto ym. 2018.) Eturauhassyövän äärimmäisen hypofraktioitujen hoitojen turvallisuuden ja tarkkuuden maksimoimiseksi voidaan käyttää peräsuolella hydrogeeli-välikapaleita, joka

vähentää eturauhasen liikettä samalla säästäten peräsuolta säteilyn haittavaikutuksilta (Cuccia ym. 2021).

Eturauhassyöpöpotilaiden hoidossa magneettikuvauksella on yhä tärkeämpi rooli. MK parantaa eturauhasen ja viereisten normaalien kudosten rajausta TT-kuvantamiseen verrattuna. Eturauhasen kuvantaminen pelkästään TT:llä yliarvioi eturauhasen tilavuuden 30–40 %. Vaikka MK on huomattavasti TT-kuvausta parempi eturauhasen rajauksessa, se ei ole ollut laajemmassa rutiinikäytössä sädehoidon kohteen määrittelyssä. Syynä tähän ovat olleet vaikeudet diagnostisten MK-kuvien yhdistämisessä TT-suunnittelukuviin. Viimeaikainen tekninen kehitys on kuitenkin mahdollistanut magneettikuvantamisen käytön ensisijaisena tai toissijaisena kuvantamismenetelmänä sädehoidon suunnittelussa. (Tyagi ym. 2017.)

3.1 Hybridilaitteen kehitys

Hollannin Utrechtin yliopiston lääketieteellisen keskuksen (UMC) uusi kuvantieteiden keskus (CIS) esitteli ensimmäisenä maailmassa korkean kentän MR-Linac-järjestelmän, jossa yhdistyvät magneettikuvauslaite ja lineaarikiihdytin. Laitteen toi myöhemmin markkinoille Elekta. (Van den Heuvel.) Unity Elektassa on 1,5 Teslan magneettikuvauslaite ja 7 MV:n lineaarikiihdytin (Cuccia ym. 2021). Laite mahdollistaa annoksen muokkaamisen kasvaimen muodossa, koossa ja asennossa sekä ympäröivässä terveessä anatomiasa tapahtuvien päivittäisten muutosten perusteella. Elektan MRI-Linac mahdollistaa siten reaaliaikaisen kasvaimen visualisoinnin perusteella tapahtuvan tarkan sädeannoksen annon. (Elekta 2021.) Unity Elektan säteilytyksen asetusgeometria eroaa tavanomaisesta lineaarikiihdyttimestä. Lähde-akseli-etäisyys (SAD) on MR-Linacilla 143,5 cm tavanomaisen 100 cm:n sijaan ja moniliuskakollimaattorin liuskojen leveys on 7,15 mm normaalin 5 mm:n sijaan. MR-Linac eroaa tavanomaisesta lineaarikiihdyttimestä myös siten, että hoitopöytää voi liikuttaa vain pitkittäissuunnassa aseteltaessa potilasta isosentritasoon. Järjestelmä ei myöskään salli kollimaattorin pyörimistä, vaan kollimaattorin liuskat liikkuvat vain pitkittäissuunnassa kraniokaudaalisesti eli päästä jalkoihin päin. (Ding & Li & Liu 2021.)

Kaupalliseen käyttöön on Unity Elektan lisäksi kehitetty MRIdian Viewray hybridilaitte, jossa yhdistyvät 0,345 Teslan magneettikuvauslaite ja 6 MV:n lineaarikiihdytin. MRIdian-laitteen lähde - akseli - etäisyys on 90 cm ja laitteen moniliuskakollimaattorin liuskojen leveys on 8,3 mm. (van Timmeren ym. 2020.) Tämä hybridikone mahdollistaa

myös erityyppisten suunnitelmien mukauttamisen aina yksinkertaisesta uudelleenoptimoinnista täydelliseen online-adaptiiviseen työnkulkuun. Eturauhasta kuvattaessa käytetään T2-painotettua gradienttikaikusekvenssiä, jolloin eturauhanen visualisoituu tarkimmin. Suunnitelman uudelleenoptimoinnin jälkeen kuvataan yleensä sagittaali- ja koronaalitasot, jotta voidaan tarkistaa hoitoalueen elinten liike säteilytyksen aikana. (Cuccia ym. 2021.)

MK-laitteen ja lineaarikiihdyttimen integraatio pohjautuu ajatukseen, että turvallinen sädehoito perustuu hyvin kohdennettuun kasvainkäsittelyyn vahingoittamatta merkittävästi viereisiä terveitä kudoksia, koska syöpävaurioiden tuhoamiseen tarvittavat terapeutiset säteilyannokset ylittävät enimmäkseen terveiden kudosten sietämän kynnyksen. Almansour ym. vertailivat MR-Linacin 1,5 Teslan ja 3 Teslan diagnostisen MK-laitteen kuvanlaatuja kliinisesti 13 eturauhassyöpöpotilaan MRgRt:n suunnittelun yhteydessä. Tutkimus osoitti, että MR-Linacin nopea T2-sekvenssi tarjoaa riittävän pehmytkudoskontrastin päivittäiseen suunnitelman mukauttamiseen ja nopeaan kuvan saamiseen sädehoidon aikana. Artefaktit tai geometrinen vääristymä eivät heikentäneet kuvanlaatua merkittävästi. (Almansour ym. 2021.)

3.2 Magneettiohjatussa sädehoidossa huomioitavat asiat

3.2.1 Turvallisuus ja kontraindikaatiot

Erilaiset sydämentahdistimet, stimulaattorit tai muut elektroniset elintoimintoja tukevat laitteet voivat olla este magneetin käytölle. Monet uudemmissa laitteista ovat magneettiyhteensopivia, mutta erityisesti vanhemmat laitteet, joista tietoa ei ole säilynyt tai ole saatavilla, aiheuttavat riskin, joka vaatii aina perusteellisen selvityksen fyysikon toimesta. Magneettikenttä voi aiheuttaa laitteen rikkoutumisen tai häiritä sen normaalia toimintaa aiheuttaen potilaalle terveydellisiä haittoja. (Cuccia ym. 2021.) Metallinsirpalet, luodit tai muut määrittelemättömät metalliesineet kehon sisällä voivat aiheuttaa potilaalle jopa hengenvaaran niiden liikkua magneettikentässä. Kehossa olevat metalliesineet häiritsevät myös magneettikuvan laatua aiheuttamalla kuviin artefaktia. Lisäksi ne saattavat aiheuttaa esineen ympärillä olevan kudoksen lämpenemistä. (STUK 2019.)

3.2.2 Hoidon sopimattomuus kaikille potilaille

On olemassa tiettyjä rajoitteita ja haasteita, miksi MR-Linac ei välttämättä sovi kaikille potilaille. Hybridisäteilytekniikka on melko monimutkainen, aikaa vievä ja tarvitsee enemmän resursseja, kuin perinteinen kuvaohjattu sädehoito eli IGRT (image guided radiotherapy). On aina tarkoin pohdittava, onko MRgRT hoitomuotona sopiva kullekin eturauhassyöpää sairastavalle potilaalle. Kokonaisuutta on mietittävä erityisesti silloin, jos potilaalla on ollut aiemmin klaustrofobisia oireita tai psyykkisiä häiriöitä. Hoito annetaan useilla eri kerroilla, joten on varmistettava, että potilas kykenee sitoutumaan hoitoon. Niiden potilaiden kohdalla, joilla on suuri eturauhanen, merkittäviä virtsaamisvaikeuksia tai keille on tehty höyläysleikkaus, ei MRgRT ole sopivin hoitomuoto. Fyysisenä esteenä voi olla potilaan merkittävä ylipaino, joka saattaa olla ongelmana magneettiputkeen sopimisen ja kuvauskelojen käytön kanssa. Yhtenäiset ohjeistukset liittyen potilaiden painoon ja painoindeksiin MRgRT- tekniikan soveltuvuuden osalta puuttuvat toistaiseksi. (Cuccia ym. 2021.)

3.2.3 Laadunvalvonta ja tekniset ominaisuudet

MRgRT:n ollessa uusi menetelmä syövänhoidossa, sen laadunvalvonnalla on erityisen suuri rooli. Kuitenkin yhteiset standardoidut ohjeet ja protokollat vielä puuttuvat, mikä on johtanut siihen, että kussakin magneettia käyttävässä sädehoitoyksikössä on omat ohjeet ja laadunvarmistuskäytännöt. MRgRT:n käyttöä ja turvallisuutta edistäisivät yhteiset riskinarvioinnit sekä laadunvarmistusprotokollat. Näihin sisältyisivät magneettikuvauksen laadunvalvonta, potilaskohtainen laadunvarmistus, end to end- testit eli testit todellisessa ympäristössä vastaten ohjelmiston oikeaa käyttöä, sekä mukautuvan työnkulun laadunvalvonta. Haasteena on myös annoslaskelmien ja -mittausten tekeminen magneettikentässä. Perinteiset mittaustekniikat on korvattava uusilla magneettisopivilla malleilla ja luotava testit, joilla varmistetaan MK:n ja Linacin häiriötön rinnakkaistointi. (Kurz ym. 2020.)

MRgRT:n optimointistrategiat vaihtelevat tällä hetkellä eri paikkojen suhteen paljonkin. Tutkimusta tarvitaan edelleen runsaasti siihen, että voidaan luoda yhtenäiset, laadukkaat ja optimoidut hoitosuunnitelmat. Ainakin tiettyjen osa-alueiden automatisointi vähentäisi eroja sädehoitosuunnitelmien toteutusten kesken, parantaisi potilasturvallisuutta sekä saattaisi lyhentää hoitoaikoja. (van Timmeren ym. 2020.)

4 Tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön aihe rajattiin koskemaan yhden syöpäsairauden magneettiohjattua sädehoitoa. Eturauhassyöpä valikoitui kohteeksi yleisyytensä takia sekä siksi, että sen MK-ohjattu sädehoito on uusi ja jatkuvasti kehittyvä menetelmä, jota myös tutkitaan paljon. Monet tutkijat ennustavat siitä tulevan tulevaisuudessa eturauhassyövän ensisijaisen hoitomenetelmän. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää MK-ohjatun eturauhassyövän sädehoidon hyödyt sekä haasteet hoidon yleistymisen kannalta.

Tutkimuskysymyksemme ovat:

- Miksi MK-ohjattu sädehoito on hyvä hoitomenetelmä eturauhassyöpäpotilaille?
- Mitkä ovat MK-ohjatun sädehoidon haasteet ja kehittämistarpeet?

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä röntgenhoitajien tietämystä MK-ohjatusta eturauhassyövän sädehoidosta.

5 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Opinnäytetyön menetelmä on kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus on tutkimustekniikka, mikä tutkii aiemmin tehtyjä tutkimuksia ja esittelee tutkimusaiheen kannalta keskeisen kirjallisuuden ja tutkimusten otannat kooten yhteen olemassa olevan tiedon tutkimusaiheesta (Kankkunen & Vehviläinen & Julkunen 2013:97). Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on ilman tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä tehtävä yleiskatsaus, jonka avulla tutkittavasta ilmiöstä saadaan laaja-alainen kuvaus (Salakari 2020). Se on luonteeltaan aineistolähtöistä ja ilmiön ymmärtämiseen tähtäävää kuvausta. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus jaetaan neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan tutkimuskysymys, toisessa valitaan käytettävä aineisto, kolmannessa rakennetaan kuvaus aiheesta ja viimeisessä vaiheessa tarkastellaan tuotettua tulosta. Käyttämällä systemoituja hakumenetelmiä kirjallisuuskatsauksen aineiston keräämisessä ja tarkastelemalla sekä analysoimalla aineistoa kriittisesti saadaan kokonaiskuva kiinnostuksen kohteena olevasta aiheesta. (Kangasniemi ym. 2013.)

Opinnäytetyön onnistumisen kannalta kriittisin vaihe on hakusanojen muotoileminen tutkimuskysymysten perusteella. Hakusanojen valinnalla on suuri merkitys aineiston

kasaamisen kannalta, koska ne määrittävät haun tuloksena saadun aineiston kattavuuden. (Kananen 2019:40–41.) Opinnäytetyön aineiston järjestelyssä ja ryhmittelyssä käytetään apuna sisällönanalyysia. Luokittelemalla aineisto tiivistyy ja tutkimuksissa olevan tiedon tarkastelu ja kirjallisuuskatsauksen tulosten hahmottaminen helpottuu. (Tuomi & Sarajärvi 2018: Luku 4.5.) Opinnäytetyön vaiheet sisältävät suunnitelman laatimisen, tutkimuskysymysten määrittämisen, alkuperäistutkimusten hakemisen, valinnan ja laadun arvioimisen, analyysin ja tulosten esittämisen raportissa sekä seminaarissa (Kankkunen ym. 2013:97).

6 Tiedonhaku

Tiedonhakuja suoritettiin Metropolia AMK:n kirjastopalveluiden kautta käyttäen sosiaali- ja terveysalan ammatillisia tietokantoja kuten Pubmed, Medic ja Cinahl. Lähteitä etsittiin alkuun myös tutkimalla aihetta käsittelevien tutkimusten ja opinnäytetöiden lähdeluetteloita. Opinnäytetyön aihe, magneettiohjattu sädehoito, on melko uusi menetelmä eturauhassyövän hoidossa, joten tuoreita ulkomaisia lähteitä löytyi hyvin. Kotimaisia tutkimusartikkeleja ei löytynyt lähteiksi useiden hakusanavaihtoehtojen perusteella. Aineistoon hyväksyttiin vain vertaisarvioidut ja luotettavat tieteelliset artikkelit ja tutkimukset, joista oli koko teksti saatavilla. Teoriapohjaa aiheelle haettiin kirjallisuuden lisäksi sekä kansainvälisistä tietokannoista että kotimaisesta Duodecimista. Lopulliset kirjallisuuskatsauksessa käytettävät hakusanat valittiin alustavien tutkimuskysymyksiensä perusteella, joita vielä tarkennettiin työn edetessä.

Aiheesta saatavilla oleva aineisto on kirjoitettu pääosin englannin kielellä. Opinnäytetyön aihetta rajattaessa testattiin lukuisia englanninkielisiä hakusanayhdistelmiä Metropolian MetCat-kirjastopalveluiden e-aineistojen hakupalvelussa. Hakuosumien määrä vaihteli suuresti. Hakua rajattiin edelleen tutkimuskysymyksiemme perusteella monien eri sanayhdistelmien kokeilun jälkeen valitsemalla hakusanat MRgRT (Magnetic Resonance guided Radio Therapy) AND prostate. Haku keskitettiin vuosien 2019–2021 välille. Näillä hakusanoilla ja kriteereillä tuloksia tuli 36 kappaletta päivämäärällä 19.5.2021. Opinnäytetyön toteutusvaihe aloitettiin perehtymällä näihin artikkeleihin. Kuviossa 1 on kerrottu aineiston valintakriteerit.

Kirjallisuuskatsausaineiston valintakriteerit
MetCat e-aineistot: Sosiaali- ja terveysalan ammatilliset tietokannat Pubmed, Medic ja Cinahl
Hakusanat: MRgRt (Magnetic Resonance guided Radio Therapy) AND prostate
Vertaisarvioidut tieteelliset artikkelit ja tutkimukset
Koko teksti saatavilla
Kieli: englanti
Aikaväli: 2019-2021

Kuvio 1 Kirjallisuuskatsausaineiston valintakriteerit

Ainestoa analysoitiin ja karsittiin artikkelien otsikoiden sekä sisällön perusteella. Pois karsiutuivat artikkelit, jotka eivät käsitelleet eturauhasen sädehoitoa tai MK-ohjattua sädehoitoa. Artikkeleista tehtiin muistiinpanoja ja arvioitiin, antavatko ne vastauksia tutkimuskysymyksiimme. Lopullisiksi artikkeleiksi opinnäytetyöhön valikoitui 14 tieteellistä artikkelia, jotka täyttivät kaikki ennalta asetetut kriteerit. (Liite 1)

7 Magneettiohjatun sädehoidon hyödyt, haasteet ja kehittämistarpeet

Magneettiohjatussa sädehoidossa kohde-elimen sekä ympäröivien elinten anatomiset muutokset ovat nähtävissä reaaliaikaisesti ja tarkasti. Eturauhassyövän hoidossa on tärkeää saada mahdollisimman kattava ja tarkka sädeannos syöpäkasvaimeen. Samalla pyritään suojelemaan viereisiä säteilyherkkiä elimiä ja kudoksia säteilyn aiheuttamilta haitoilta. MRgRT:n myötä yksilölliset hoitosuunnitelmat ja hoidon mukauttaminen tuovat uutta näkökulmaa eturauhassyövän hoitoon. Merkittävimpänä muutoksena pidetään sitä, että hoitofraktioiden määrää voidaan vähentää tekniikan mahdollistaessa aiempaa suurempien sädeannosten antamisen tarkasti kohde-elimelle.

Menetelmän ollessa vielä uusi, toiminta, turvallisuus ja laadunvarmistus toteutetaan toistaiseksi yksikkökohtaisilla ohjeilla, koska täysin yhtenäiset toimintaohjeet puuttuvat. Sekä henkilöstö- että rahoitusresurssien vähäisyys on ollut jarruttavana tekijänä

MRgRT:n kehitystyössä ja laitteiden määrän kasvattamisessa. Tulevaisuudessa MK-ohjattujen sädehoitolaitteiden yleistyessä ja tekniikan kehittyessä joitain toimintoja voidaan automatisoida, ja näin mahdollisesti lyhentää hoitoaikoja sekä lisätä potilasturvallisuutta.

7.1 Magneettiohjatun sädehoidon hyödyt

7.1.1 Anatomian visualisointi ja hoidon reaaliaikainen mukauttaminen

MK-ohjattu sädehoito mahdollistaa reaaliaikaisesti kuvantuvan adaptiivisen suunnittelun, joka taas mahdollistaa suuremman tarkkuuden fraktioitujen eli ositettujen sädeannosten antamisessa. Kun sädehoito annetaan MK-ohjatusti, potilaaseen ei tarvitse invasiivisin menetelmin sijoittaa röntgenpositiivisia merkkejä, kuten jyväsiä. (Tocco & Kishan & Ma & Kerkmeijer & Tree 2020.) Tämänhetkisen saatavilla olevan näytön mukaan MK-ohjattua stereotaktista sädehoitoa (SBRT) pidetään turvallisena ja toteuttamiskelpoisena hoitovaihtoehtona. Tutkimusraporteissa korostuu MK-ohjatun sädehoidon tarjoama ylivertainen anatomian visualisointi. (Cuccia ym. 2021.) Korkean resoluution reaaliaikaista kuvantamista hoidon aikana pidetään yhtenä MRgRT:n kiinnostavimmista ominaisuuksista. Se auttaa lääkäreitä rajoittamaan fraktion aikaisen peristaltiikasta, virtsarakon täyttymisestä tai hengittämisestä aiheutuvan liikkeen vaikutuksia ja mahdollistaa hoidon mukauttamisen päivittäisen anatomian perusteella potilaan maatesa hoitopöydällä. (Thorwarth & Low 2021; Verkooijen & Henke 2021). Ensimmäistä kertaa sädehoidon historiassa kasvain ja sen ympärillä olevat elimet voidaan visualisoida jatkuvasti säteen annon aikana. Tämä mahdollistaa annetun annoksen tarkemman seurannan, mutta myös kyvyn sammuttaa säde välittömästi, jos hoidon aikana ilmenee epäedullisia olosuhteita, kuten peräsuoleen kulkeutunut kaasua eturauhasen säteilytyksen aikana. (Gregoire ym. 2020.)

Online-mukautettava hoito on erityisen hyödyllinen silloin, kun elinten asennot ja tilavuudet muuttuvat huomattavasti hoidon aikana (Jung-in ym. 2019). Van Timmeren ym. tutkivat Online-mukautettuja MK-ohjattuja sädehoitosuunnitelmia vertaamalla niitä optimaalisina pidettyihin vertailuhoitosuunnitelmiin. Heidän mukaansa tavoitekattavuus näiden välillä oli vertailukelpoinen ja Online-mukautetuissa suunnitelmissa havaittiin vain pieniä muutoksia viitesuunnitelmiin verrattuna. Suurin vaihtelu annosparametreissa havaittiin vatsan alueelle sädehoitoa saaneilla potilailla. Tähän vaikutti riskielinten sijainti

hoitokentän välittömässä läheisyydessä sekä ruoansulatuselimistön liikehdintä. (van Timmeren ym. 2020.)

7.1.2 Sädehoidon tarkka kohdistus ja riskielinten säästäminen

MK-ohjatulla sädehoidolla sädeannokset voivat olla pienemmät, koska tällä menetelmällä ei tarvitse ottaa huomioon itse kohde-elimien, sekä viereisten elimien arvioitua liikkuvuutta, vaan tarkkaa kuvaa säteilykohteesta saadaan reaaliaikaisesti. Toisaalta menetelmän tarkkuus mahdollistaa myös hypofraktioiden eli suurempien ositettujen säteilyannosten määrän kohdealueelle. (Tocco ym. 2020.) Reaaliaikaisen MK:n ehdottomia hyötyjä on se, että sen aikana voidaan sädeannosta muuttaa sen mukaan, miten eturauhanen turpoo tai liikkuu tai sen viereiset elimet kehossa liikkuvat. Myös rakon tai peräsuolen täyttö vaikuttavat eturauhasen muotoon ja sen mukana sädehoidon kohdennettuun hoitokenttään. (Corradini ym. 2019.) MRgRT :n avulla voidaan parantaa hoitotuloksia, vähentää hoitoon liittyviä toksisia vaikutuksia ja antaa suurempia tarkasti kohdennettuja sädeannoksia (Verkooijen & Henke 2021). Menetelmä antaa mahdollisuuden sopeutua fraktioiden välisiin ja sisäisiin muutoksiin, minkä ansiosta pienemmät tavoitemarginaalit ja mahdollisesti parempi riskielinten säästäminen voivat olla mahdollisia. MRgRT avaa uusia näköaloja kohti yhden tai muutaman fraktion ultrahypofraktioituja sädehoitoja. (Thorwarth & Low 2021.) Tutkijat ovatkin tulleet siihen päätelmään, että MR-Linacille voidaan laatia MK-ohjattuja yhden ja kahden fraktion stereotaktisia sädehoitosuunnitelmia (Mohajer ym. 2021).

MRgRT on täydellinen kumppani immunoterapialle. Toiminnallinen kuvantaminen MR-Linacilla saattaa auttaa tunnistamaan hoitovasteen saaneet henkilöt, jotka voisivat hyötyä annoksen pienentämisestä, samoin kuin ne potilaat, joiden kohdalla lisäannos voisi lisätä kasvaimen hallintaa. MK-pohjainen toiminnallinen kuvantaminen voi paljastaa myös kasvainten radiosensitiiviset tai säteilykestävät osamäärät, jotka voivat hyötyä erilaisesta annostuksesta. Mielenkiintoista on, että osittaisen kasvaimen säteilytyksen on osoitettu aiheuttavan tehokkaan immuunivasteen ilman tarvetta hoitaa koko kasvainta. Säteilyn tarkkaan antamiseen radioimmunoterapian yhteydessä liittyy myös imukudoksen säästäminen. Kasvaimeen liittyvien valuvien imusolmukkeiden säteilytyksen välttäminen voi olla ratkaisevaa immuunivasteen eheyden kannalta. (Hörner-Rieber ym. 2021.)

7.1.3 Yksilöllinen hoito

MRgRT:n erinomainen pehmytkudoskontrasti yhdistettynä reaaliaikaiseen suunnitelman mukauttamiseen antaa mahdollisuuden pienentää marginaaleja, lisätä annosta fraktiota kohden ja integroida toiminnalliset tiedot erittäin yksilöllisiin hoitosuunnitelmiin (Hörner-Rieber ym. 2021). MRgRT:n avulla saadaan tarkempaa tietoa kasvaimen hoitovasteesta (Kurz ym. 2020). Korkean kentän MR-Linacilla annettavan hypofraktioidun sädehoidon oletetaan olevan tulevaisuudessa seuraavan sukupolven eturauhassyövän sädehoidon standardimenetelmä (Mannerberg ym. 2020; Gregoire ym. 2020; Kurz ym. 2020).

Vuoden 2021 X-Change symposiumissa Vincenzo Valentini pohti, tuleeko MR-Linac korvaamaan yleisesti käytössä olevan CBCT – menetelmän (cone beam computed tomography). Hänen arvionsa on, että näin tulee suurelta osin käymään, mutta MR-Linac ei kuitenkaan sovellu kaikille potilaille, kaikille kasvaimille, eikä kaikkiin sädehoitoihin. MR-Linacilla pystytään räätälöimään entistä yksilöllisempiä yksittäisten potilaiden tarpeisiin sopivia hoitoja. (Valentini 2021.) Yhteenvetona voidaan todeta, että MRgRT:tä voidaan pitää urauurtavana uutena tekniikkana, joka kykenee luomaan uusia näkökulmia yksilöllisen, potilaslähtöisen sädehoidon suunnitteluun ja hoitoon (Corradini ym. 2019).

7.2 Magneettiohjatun sädehoidon haasteet ja kehittämistarpeet

7.2.1 Pitkä hoitoaika ja magneettikentän vaikutus

Magneettiohjatussa sädehoidossa aika hoitofraktiota kohti on huomattavasti pidempi kuin tavanomaisissa sädehoidoissa, varsinkin silloin, kun suoritetaan päivittäinen hoidon mukauttaminen. Päivittäinen hoitosuunnitelman mukauttaminen onkin usein varattu hypofraktioituille hoidoille. (Gregoire ym. 2020.) MR-Linac järjestelmällä annettu eturauhasen yksi sädehoitokerta hypofraktioinnilla kestää keskimäärin 56 minuuttia. Hoidon aikana rakon ja suolen täytyminen voi muuttaa eturauhasen muotoa. Vaikka reaaliaikaista kuvantamista käytettäisiinkin koko hoidon ajan, eturauhasen sekä viereisten riskielinten eli OAR- elinten (Organs at risk) luonnollisesta liikkumisesta johtuen riskinä voi olla se, että kohde-elin eturauhanen saakin aliannoksen sille tarkoitetusta annoksesta. Tällöin suunniteltujen annosten eli fraktioiden määrää joudutaan lisäämään

halutun kokonaissädeannoksen saamiseksi. Mahdollista on myös se, että viereisille elimille voi mennä osa kohde-elimen sädeannoksesta. (Mannerberg ym. 2020; Cuccia ym. 2021.)

MRgRT:n kehityksestä huolimatta sädehoidon antoaika potilaalle on edelleen pidempi, koska annosjakauksen optimointi tapahtuu reaaliaikaisesti verkossa (Corradini ym. 2019). Sädehoidon onnistumisen kannalta on erittäin merkittävää, että potilas pysyy paikallaan ja on joka hoitokerralla samassa asennossa. Hoitoaikojen pidentyminen saattaa aiheuttaa paikallaan makaavassa potilaassa epämukavuuden tunnetta ja mahdollista kipua. (Tocco ym. 2020.)

Magneettikuvantamisessa erityisesti korkea magneettikenttä aiheuttaa kudosten lämmön nousua, joka voi aiheuttaa vaurioita kehossa. Ominaisabsorptionopeus (SAR= specific absorption rate) kuvaa radiotaajuisesta säteilystä johtuvaa kehoon imeytyvää energiaa ja on verrannollinen magneettikentän voimakkuuteen. Tämä ominaisuus aiheuttaa haastetta sille, miten lämmön nousua voidaan rajoittaa MRgRT:n aikana. Kun magneettikenttää käytetään röntgensäteiden kanssa, se voi aiheuttaa korkeita pinta-annoksia suuren annoksen kohdalla heterogeenisellä kudosisilmärajapinnalla, kuten suolikaasun kohdalla. (Thorwarth & Low 2021.) Sädeannoksen suureneminen kudosisilmärajapinnassa johtuu elektronien palautumisvaikutuksesta. Vaikka annoslaskennan tarkkuutta selvitetään ottamalla huomioon riskit, on ilma-alueiden liikkumista vaikea arvioida. Yksi mahdollisuus olisi, että ylimääräinen kaasu potilaan peräsuolesta poistettaisiin ennen sädehoidon antamisen aloittamista. (Mohajer ym. 2021.)

7.2.2 Satunnaistettujen kontrolloitujen tutkimusten vähäisyys

Vaikkakin MRgRT tunnustetaan tärkeäksi ja edistyneeksi uuden teknologian hoitomuodoksi syövän hoidossa, edelleen tarvitaan runsaasti tutkimustietoa erilaisista satunnaistetuista kontrolloiduista tutkimuksista (RCT= Randomized controlled trial), joissa verrataan erilaisia satunnaisesti valittuja ryhmiä keskenään. Tällaisia tutkimuksia on tehty vasta vähän, vaikkakin hyviä dokumentoituja hoitotuloksia on saatu potilasrekistereistä ja satunnaistamattomista tutkimuksista. Hoitomuodon yhtenäistämiseksi olisi tärkeää, että RCT-tutkimukset muodostaisivat tutkimusdatan pohjan. Tutkimustulosten tulisi sisältää sekä potilaiden ilmoittamat tulokset että yhteistyön eri MRgRT- alustojen välillä. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna satunnaistettujen ja korkealaatuisten RCT-tutkimusten tekeminen on tärkeää. (Verkoojien & Henke 2021.) Kliiniset tutkimukset kohti

vertailevia satunnaistettuja tutkimuksia olisivat suunta kohti yhteisiä standardeja. Korkeat kustannukset, käytettävissä oleva rahoitus ja käsitteelliset kiistat voivat olla haasteena kokeiden suorittamisessa. MRgRT- teknologian kehittyessä huimaa vauhtia eteenpäin, saattaa käydä toisaalta myös niin, että tutkimustieto on jo osittain vanhentunut sen päätyessä yleisön saataville. (Gregoire ym. 2020.)

7.2.3 Saatavuus, kustannukset ja henkilöstöresurssit

MRgRT:n käytön turvallisuuden takaamiseksi tulisi sädehoitoyksiköissä olla kyseisiä laitteita kaksi kappaletta. Jos yksikössä on vain yksi laite, teknisten ongelmien ilmetessä tietojen varmuuskopiointia tai potilaan hoitoa ei voidakaan toteuttaa toisella laitteella. MRgRT:n tämänhetkinen resurssien tarve sekä käytön monimutkaisuus estävät kuitenkin yksiköitä hankkimasta useampia laitteita. (Cuccia ym. 2021.) Innovatiivinen sädehoitotekniikka MRgRT on kalliimpi ja heikommin saatavilla kuin useimmat aiemmin käytetyt sädehoitomuodot. Kustannusten näkökulmasta on tunnistettava ne potilaat, joille kyseinen sädehoitomuoto on todennäköisimmin hyödyllinen. (Verkoojien & Henke 2021; Grégoire ym. 2020.)

Tarvitaan edelleen paljon testejä ja kliinisiä tutkimuksia, jotta MRgRT:n hyödyt voidaan osoittaa. Suuria ponnistuksia ja hyvää yhteistyötä tarvitaan eri tahojen kesken siihen, että uutta tekniikkaa voidaan tarjota oikea-aikaisesti mahdollisimman monen syöpäpotilaan hyväksi. Uusi tekniikka ei saa vaarantaa potilasturvallisuutta, eikä toiminta saa rikkoo näyttöön perustuvan lääketieteen periaatteita. Päivittäinen suunnitelman mukauttaminen johtaa erilaiseen työnkulkuun ja vaatii onkologien ja lääketieteen fyysikoiden osallistumista jokaiseen hoitokertaan. (Grégoire ym. 2020.) Pohdittavana onkin kriittisesti se, onko MRgRT uusi mullistus sädehoidossa, vai vain kokeilu, joka useiden edeltäjiensä tapaan kaatuu ennen pitkää. Kannattaako MRgRT:hen sijoittaa terveydenhuollon leikkauksien ja haasteiden keskellä, koska se on toistaiseksi vain tietyn marginaalisen ihmisryhmän saavutettavissa, vai sijoittaako paremmin saavutettaviin sädehoidon palveluihin. (Verellen 2021.)

8 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyö tehtiin noudattaen hyvää tieteellistä käytäntöä. Opinnäytetyössä korostuvat asianmukaiset ja selkeät lähdeviitteet. Tutkimusten tekijöitä sekä heidän työtään ja

saavutuksiaan kunnioitettiin viittaamalla heidän teoksiinsa asianmukaisesti. Huolellisuus, tarkkuus, rehellisyys, avoimuus ja vastuullisuus olivat mukana opinnäytetyöprosessin kaikissa vaiheissa. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2013.)

Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen eettisyyttä sekä luotettavuutta voidaan arvioida sillä, kuinka läpinäkyvää työn eteneminen on aina tutkimuskysymyksestä johtopäätöksiin ja pohdintaan asti. Tutkimuskysymykset esitettiin selkeästi ja perusteltiin hyvin. Luotettavuutta lisättiin tarkentamalla tutkimuskysymykseen liittyvää kirjallisuusaineistohakua työn edetessä. Aineistona käytetty tutkimusmateriaali oli perusteltu ja se oli relevantti kirjallisuuskatsauksen aiheen mukaisesti. Valintakriteerit käytetyille aineistolle kuvattiin raportissa selkeästi. (Kangasniemi ym. 2013.) Tutkimusmateriaalin luotettavuutta lisättiin myös sillä, että kumpikin opinnäytetyön tekijä suoritti koko tutkimusaineistoon tutustumisen itsenäisesti (Stolt & Axelin & Suhonen 2016).

Opinnäytetyössä käytettiin ainoastaan luotettavia lähteitä lääketieteellisistä tietokannoista; hyväksytyjä vertaisarvioituja artikkeleita ja lääketieteen kirjallisuutta. Tiedonkeruuprosessi raportoitiin niin, että se oli täysin läpinäkyvä ja sen toistettavuus taattu. Näin ollen käytetyt lähteet ovat myös jatkossa saavutettavissa. Kirjallisuuskatsauksessa ei käsitelty salassa pidettävää tietoa, kuten potilasasiakirjoja. Henkilöhaastatteluita tai arkaluontoisen tutkimustiedon keruuta ei toteutettu, eikä näin ollen syntynyt minkäänlaista rekisteriä.

Opinnäytetyöprosessin kaikissa vaiheissa tehtiin itsearviointia ja etiikkaa noudatettiin pitämällä kiinni sovituista aikatauluista, tehtävistä ja pelisäännöistä. Opinnäytetyötä muokattiin ohjaavilta opettajilta sekä opponenteilta saadun palautteen ja korjausehdotusten pohjalta.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön aiheesta löytyi kansainvälistä aineistoa runsaasti ja sitä oli myös tutkittu laaja-alaisesti. Valittuja artikkeleita analysoitiin tutkimuskysymysten perusteella, hakien magneettiohjatun sädehoidon mahdollisuuksia, hyötyjä, haasteita ja kehittämistarpeita. Valitut artikkelit käsitelivät näitä aiheita eri näkökulmista. Erilaiset tutkimukset, kokeet ja pohdinnat esittelivät eri päätelmiä MK-ohjatun sädehoidon ympäriltä. Käsiteltyjä teemoja olivat muun muassa magneettilaitteiden saatavuus sädehoitoon, kustannukset ja henkilöstöressurit, tulevaisuuden näkymät ja tämänhetkiset haasteet. Artikkeleista tuli

esiin syvä kiinnostus MK-ohjatun sädehoidon kehittämiseen ja saatavuuden parantamiseen. Suurimmassa osassa artikkeleita pääpaino oli tekniikan tuomissa mahdollisuuksissa ja tulevaisuuden kehittämistyössä. Toisaalta myös pohdittiin realistisesti sitä, onko järkevää panostaa vain tietyn potilasryhmän hoitoon tarkoitettuun tekniikkaan. Vaihtoehtona tuotiin esiin satsaukset suuremman yleisön saavutettavissa oleviin syöpähoitoihin. Tutkimusaineisto antoi kattavan kuvan tämän hetken tilanteesta, ja siitä mitä vielä pitäisi kehittää, jotta MRgRT:stä tulisi ensisijainen hoitomuoto eturauhassyövän hoidossa.

Vaikka käytetty tutkimusaineisto olikin kansainvälistä, aihe on myös erittäin ajankohtainen Suomessa. Helsinkiin valmistumassa olevan Siltasairaalan HUS Syöpäkeskukseen on rakenteilla uusia tiloja sädehoitolaitteille. HUS:in julkisesta hankinta-asiakirjasta selviää, että tilat valmistuvat kahdelle lineaarikiihdyttimelle sekä MRI-Linacille vuoden 2022 aikana. ”MRI-Linac on erikoislaite, joka voi tuoda sädehoidon piiriin kokonaan uusia potilasryhmiä, joita ei aikaisemmalla teknologialla ole voinut turvallisesti hoitaa.” (HUS/1771/2021.) Opinnäytetyö voisikin toimia tietopohjana tulevaa MR-Linacia käyttäville röntgenhoitajille sekä muulle sädehoidon parissa toimivalle henkilöstölle. Uuden hoitotekniikan rantauduttua Suomeen, tullaan lähivuosina toivottavasti saamaan myös kotimaista tutkimustietoa ja käyttäjäkokemuksia MK-ohjatusta sädehoidosta.

Opinnäytetyön aihe herätti tekijöissä jo alkuun aitoa mielenkiintoa, ja tutkimusaineistoon perehtyminen lisäsi entisestään halukkuutta perehtyä tarkemmin aiheeseen. Kyseisen hoitotekniikan ajankohtaisuus sekä kansainvälinen kiinnostus sitä kohtaan erityisesti eturauhassyövän hoidossa kasvattivat motivaatiota tehdä aiheesta kattava kirjallisuuskatsaus. Aineistoa löytyikin erittäin runsaasti, jolloin haasteeksi tuli löytää juuri sopivat hakusanat aineiston rajaamiseksi. Monien kokeilujen jälkeen siinä onnistuttiin ja kasaan saatiin sopiva määrä artikkeleita kirjallisuuskatsauksen toteuttamiseksi. Tutkimusaineiston ollessa täysin englanninkielistä, oli ajoittain erittäin haastavaa ymmärtää sekä kääntää oikein suomen kielelle kuvantamistekninen ja lääketieteellinen sanasto ja termistö. Opinnäytetyöprosessi oli antoisa ja lisäsi tekijöiden tietämystä magneettikuvantamisesta, sädehoidosta ja eturauhassyövästä. Kirjallisuuskatsauksen laatiminen kehitti tieteellisen tekstin kirjoittamisen taitoa. Oppimiskokemusta rikastuttivat tiedonkeruu kansainvälisistä tietokannoista, tiedon analysointi ja arvioiminen, sekä opinnäytetyön kannalta merkittävien seikkojen löytäminen artikkeleista. Oli hienoa huomata, että

työn edetessä ja aiheen jo tultua tutummaksi, englannin kielen taito ja tieteellisen tekstin ymmärtäminen paranivat huomattavasti. Opinnäytetyötä edeltäneet röntgenhoitajaopinnot ja opiskelun ohessa hankittu alan työkokemus antoivat hyvät valmiudet lähteä opinnäytetyöprosessiin. Kirjallisuuskatsauksen laatiminen syvensi tekijöiden ammatillista osaamista ja herätti kiinnostusta seurata radiologian alan kehitystä jatkossakin.

Lähteet

Almansour, Haidara & Afat, Saif & Fritz, Victor & Schick, Fritz & Nachbar, Marcel & Thorwarth, Daniela & Zips, Daniel & Müller, Arndt-Christian & Nikolaou, Konstantin & Othman, Ahmed E. & Wegener, Daniel 2021. Prospective Image Quality and Lesion Assessment in the Setting of MR-Guided Radiation Therapy of Prostate Cancer on an MR-Linac at 1.5 T: A Comparison to a Standard 3 T MRI. *Cancers* 01 March, Vol.13(1533), p.1533. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8036991/>> Viitattu 26.10.2021.

Breto, Adrian & Padgett, Kyle & Ford, John & Chang, Channing & Fuss, Martin & Mellon, Erik. 2018. Analysis of Magnetic Resonance Image Signal Fluctuations Acquired During MR-guided Radiotherapy. *Scholarly Journals*.

Corradini, S. & Alongi, F. & Andratschke, N. & Belka, C. & Boldrini, L. & Cellini, F. & Debus, J. & Guckenberger, M. & Hörner-Rieber, J. & Lagerwaard, FJ & Mazzola, R. & Palacios, MA & Philippens, Meppi & Raaijmakers, CPJ & Terhaard, CHJ & Valentini, V. & Niyazi, M. 2019. MR-guidance in clinical reality: current treatment challenges and future perspectives. *Radiation Oncology* 14 (92). <<https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-019-1308-y>> Viitattu 29.1.2021.

Cuccia, Francesco & Corradini, Stefanie & Mazzola, Rosario & Spiazzi, Luigi & Rigo, Michele & Bonù, Marco Lorenzo & Ruggieri, Ruggero & Buglione Di Monale E Bastia, Michela & Magrini, Stefano Maria & Alongi, Filippo 2021. MR-Guided Hypofractionated Radiotherapy: Current Emerging Data and Promising Perspectives for Localized Prostate Cancer. *Cancers* 2021, Vol.13(8). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8070332/>> Viitattu 26.10.2021

Ding, Shouliang & Li, Yongbao & Liu, Hongdong 2021. Comparison of Intensity Modulated Radiotherapy Treatment Plans Between 1.5T MR-Linac and Conventional Linac. *SAGE journals* 20. <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1533033820985871>> Viitattu 4.7.2021.

Elekta 2021. Elekta Unity. Two worlds, one future. <<https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/unity>> Viitattu 4.7.2021.

Grégoire, Vincent & Guckenberger, Matthias & Haustermans, Karin & Lagendijk, Jan & Ménard, Cynthia & Pötter, Richard & Slotman, Ben & Tanderup, Kari & Thorwarth, Daniela & Zips, Daniel 2020. Image guidance in radiation therapy for better cure of cancer. *Molecular Oncology* Jul, Vol.14(7). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7332209/>> Viitattu 26.10.2021.

HUS/1771/2021. MRI-Linac sädehoitolaitteen hankinta HUS Syöpäkeskuksen sädehoito-osastolle. <<http://husd360fi.oncloudos.com/kokous/2021442251-5.PDF>> Viitattu 29.10.2021.

Hörner-Rieber, Juliane & Klüter, Sebastian & Debus, Jürgen & Adema, Gosse & Ansems, Marleen & Verheij, Marcel 2021. MR-Guided Radiotherapy: The Perfect Partner for Immunotherapy? *Frontiers in Oncology* Vol.10. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fonc.2020.615697/full>> Viitattu 26.10.2021.

Johansson, Risto 2018. Sädehoito. Lääkärikirja Duodecim. <https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01078> Viitattu 15.1.2021.

Jung-in, Kim & Jong, Min Park & Chang, Heon Choi & Hyun, Joon An & Yi-Jun, Kim & Jin, Ho Kim 2019. Retrospective study comparing MR-guided radiation therapy (MRgRT) setup strategies for prostate treatment: repositioning vs. Replanning. Radiation oncology (London, England) 01 August 2019, Vol.14(1), pp.1-10. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6683369/>> Viitattu 26.10.2021.

Kananen, Jorma 2019. Opinnäytetyön ja pro gradun pikaopas. Avain opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittamiseen. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja-sarja. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kangasniemi, Mari & Utriainen, Kati & Ahonen, Sanna-Mari & Pietilä, Anna-Maija & Jääskeläinen, Petri & Liikanen, Eeva. 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen. Hoitotiede. 25 (4). 291–301. Kuopio.

Kankkunen, Päivi & Vehviläinen-Julkunen, Katri 2013. Tutkimus hoitotieteessä. 3. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Kellokumpu-Lehtinen, Pirkko & Joensuu, Timo & Tammela, Teuvo 2013a. Kastratioresistentin eturauhassyövän hoito. Syöpätaudit. Duodecim oppiportti.

Kellokumpu-Lehtinen, Pirkko & Joensuu, Timo & Tammela, Teuvo 2013b. Paikallisen eturauhassyövän sädehoito. Syöpätaudit. Duodecim oppiportti.

Kouri, Mauri & Tenhunen, Mikko 2013. Sädehoidon suunnittelu ja toteutus. Syöpätaudit. Duodecim oppiportti.

Kurz, Christopher & Buizza, Giulia & Landry, Guillaume & Kamp, Florian & Rabe, Moritz & Paganelli, Chiara & Baroni, Guido & Reiner, Michael & Keall, Paul & Riboldi, Marco 2020. Medical physics challenges in clinical MR-guided radiotherapy. Radiation Oncology 2020, Vol.15, pp.1-16. <<https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-020-01524-4>> Viitattu 26.7.2021.

Käypä hoito 2014. Eturauhassyöpä. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Urologiyhdistys ry:n asettama työryhmä. <<https://www.kaypahoito.fi/hoi11060>>. Viitattu 25.10.2021.

Mannerberg, Annika & Persson, Emilia & Jonsson, Joakim & Gustafsson, Christian & Gunnlaugsson, Adalsteinn & Olsson, Lars & Ceberg, Sofie 2020. Dosimetric effects of adaptive prostate cancer radiotherapy in an MR-linac workflow. Radiation Oncology, Vol.15, pp.1-9. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7350593/>> Viitattu 26.10.2021.

Mohajer, Jonathan & Dunlop, Alex & Mitchell, Adam & Goodwin, Edmund & Nill, Simeon & Oelfke, Uwe & Tree, Alison 2021. Feasibility of MR-guided ultrahypofractionated

radiotherapy in 5, 2 or 1 fractions for prostate cancer. *Clinical and translational radiation oncology* 01 January, Vol.26, pp.1-7. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7674276/>> Viitattu 26.10.2021.

Nurmi, Heidi & Saarilahti, Kauko & Tenhunen, Mikko 2013. Kuvantamishojauksinen sädehoito. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim*. 129(7):721–729. <<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2013/7/duo10892>> Viitattu 15.1.2021.

Saarelma, Osmo 2021. Eturauhassyöpä. *Lääkärikirja Duodecim*. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00210>> Viitattu 29.10.2021

Salakari, Minna 2020. Systemoitu kirjallisuuskatsaus tiedon tuottamisen menetelmänä. Turku AMK. Turku university of applied sciences. <https://tohtori.turkuamk.fi/uploads/2020/04/92b18b03-kirjallisuuskatsaus_20.4.20.pdf> Viitattu 24.1.2021.

Saramies, Leena & Inkinen, Heli & Möykkönen, Kari & Pelkonen, Tiina & Peltomäki, Anu & Becker, Sebastian 2017. Eturauhassyöpä ja sen epäily. *Hoitoketjut. EKSOTE. Duodecim terveystietä*. Päivitetty 14.8.2017.

Stolt, Minna & Axelin, Anna & Suhonen, Riitta (toim.) 2016. Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turun yliopisto. Grano Oy, Turku.

STUK 2019. Magneettitutkimus. <<https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/magneettitutkimus>> Viitattu 31.1.2021.

Suomen syöpärekisteri 2018. Syöpä 2018-raportti. Päivitetty 27.5.2020. <https://syoparekisteri.fi/assets/files/2020/05/Syopa2018_raportti.pdf> Viitattu 15.1.2021.

Tammela, Teuvo & Kinnala, Pekka & Pétas, Anssi & Ronkainen, Hanna & Sipilä, Raija & Taari, Kimmo 2020. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Urologiyhdistyksen asettama työryhmä. Eturauhasen hyvänlaatuisen liikakasvu. Käypähoitosuositus. <<https://www.kaypahoito.fi/hoi11010>>. Viitattu 29.10.2021

Tammela, Teuvo 2017. Eturauhassyövän hoito. *Kirurgia. Duodecim oppiportti*.

Tammela, Teuvo 2019. Eturauhassyöpä. *Lääkärin käsikirja. Duodecim terveystietä*. Päivitetty 4.6.2019.

Tarnanen, Kirsi & Aaltomaa, Sirpa & Sipilä, Raija & Jousilahti, Pekka 2014. Eturauhassyöpä, miesten yleisin syöpä Suomessa. *Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. Käypä hoito suositus*. <<https://www.kaypahoito.fi/khp00006>>. Viitattu 29.10.2021.

Thorwarth, Daniela & Low, Daniel A. 2021. Technical Challenges of Real-Time Adaptive MR-Guided Radiotherapy. *Frontiers in Oncology* Vol.11. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7982516/>> Viitattu 26.10.2021.

Tocco, Boris R. & Kishan, Amar U. & Ma, Ting Martin & Kerkmeijer, Linda & Tree, Alison 2020. MR-Guided Radiotherapy for Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology*. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7757637/>> Viitattu 26.1.2021.

Tuomi, Jouni & Sarajärvi, Anneli 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Uudistettu laitos. E-kirja. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Luku 4.5.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2013. Teoksessa Varantola, Krista & Launis, Veikko & Helin, Markku & Spoof, Sanna Kaisa & Jäppinen, Sanna (toim.). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa 2012. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta. <https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf> Viitattu 14.1.2021.

Tyagi, Neelam & Fontenla, Sandra & Zelefsky, Michael & Chong-Ton, Marcia & Ostergren, Kyle & Shah, Niral & Warner, Lizette & Kadbi, Mo & Mechalakos, Jim & Hunt, Margie 2017. Clinical workflow for MR-only simulation and planning in prostate. *Radiation Oncology*. 12 (119). < <https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-017-0854-4#Sec1>> Viitattu 24.1.2021.

Valentini, Vincenzo 2021. In 2030 MR-Linac will replace CBCT. X-change symposium: status and future of modern radiation oncology—from technology to biology. *Radiation Oncology*, Vol.16, pp.1-17. < <https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-021-01758-w>>. Viitattu 26.10.2021.

Van den Heuvel, Joop. Innovations – MRI-LINAC image-guided radiotherapy, game-changing MR-LINAC technology in new Center for Image Sciences. < <https://www.philips.co.uk/healthcare/education-resources/publications/hotspot/mr-linac>> Viitattu 4.7.2021.

van Timmeren, Janita & Chamberlain, Madalyne & Krayenbuehl, Jérôme & Wilke, Lotte & Ehrbar, Stefanie & Bogowicz, Marta & Hartley, Callum & Zamburlini, Mariangela & Andratschke, Nicolaus & Pavic, Matea & Balermipas, Panagiotis & Ryu, Chaehee & Guckenberger, Matthias & Tanadini-Lang, Stephanie 2020. Treatment plan quality during online adaptive re-planning. *Radiation Oncology*, Vol.15, pp.1-11. < <https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-020-01641-0>> Viitattu 26.10.2021.

Verellen, Dirk 2021. Critical appraisal “in 2030 MR linac will be limited to highly specialized centers”. X-change symposium: status and future of modern radiation oncology—from technology to biology. *Radiation Oncology*, Vol.16, pp.1-17. < <https://link.springer.com/article/10.1186/s13014-021-01758-w>>. Viitattu 26.10.2021.

Verkooijen, Helena M & Henke, Lauren E. 2021. Sensible Introduction of MR-Guided Radiotherapy: A Warm Plea for the RCT. *Frontiers in Oncology* Vol.11. < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8017276/>> Viitattu 26.10.2021.

Aineiston analysointitaulukko

Tekijä(t), vuosi, missä jul- kaistu	Julkaisun nimi	Tarkoitus	Aineiston keruu ja analysointi	Päätulokset
Cuccia, Francesco & Corra- dini, Ste- fanie & Mazzola, Rosario & Spiazzi, Luigi & Rigo, Michel & Bonù, Marco Lo- renzo & Ruggieri, Ruggero & Buglione Di Monale E Bastia, Michela & Magrini, Stefano Maria & Alongi, Fi- lippo Julkaisussa Cancers 2021, Vol.13(8)	MR-Guided Hypofraction- ated Radio- therapy: Cur- rent Emerg- ing Data and Promising Perspectives for Localized Prostate Can- cer	Tiivistää saata- villa oleva näyttö hybridikoneiden roolista eturau- hasen mk-ohja- tussa stereotakti- sessa sädehoi- dossa	Systemaattinen kir- jallisuuskatsaus Pub- med-tietokannasta	1. MRgRT näyttää olevan luotettava edistysaskel eturauhassyövän hoi- dossa. 2. Saatavilla olevat MRgRT-järjestelmät ovat potentiaalisen kliinisen sovelluksensa alkuvai- heessa ja jatkuvien pa- rannusten keskellä.
Verkoijien, Helena M & Henke, Lau- ren E. Julkaisussa Frontiers in Oncology 2021, Vol.11	Sensible In- troduction of MR-Guided Radiother- apy: A Warm Plea for the RCT	Tuoda ilmi, kuinka rajallisesti MRgRt-tekniikan tehokkuudesta verrattuna TT-oh- jattuun sädehoi- toon on tutkittua tietoa ja todis- teita.	Systemaattinen kir- jallisuuskatsaus Pub- med-tietokannasta	1. RCT: t (randomized controlled trials) ovat keskeisiä MRgRT: n tule- van menestyksen kan- nalta. 2. Satunnaistetut tutki- mukset auttavat tunnist- amaan ja perustelemaan MK-ohjauksen potentiaa- liset kliiniset hyödyt ja varmistavat tämän uuden tekniikan koordinoitun levittämisen.

<p>Thorwarth, Daniela ; Low, Daniel A.</p> <p>Julkaisussa Frontiers in Oncology 2021, Vol.11</p>	<p>Technical Challenges of Real-Time Adaptive MR-Guided Radio-therapy</p>	<p>Tämän katsauksen tarkoituksena on keskustella teknisistä haasteista reaaliaikaisen adaptiivisen MRgRT: n alalla ja tuoda esiin nykyiset tutkimussuunnat, jotka pyrkivät löytämään uusia teknisiä ratkaisuja perustaksi tuleville kliinisille saavutuksille tällä alalla.</p>	<p>Systemaattinen kirjallisuuskatsaus PubMed-tietokannasta</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pienemmät tavoitemarginaalit ja potentiaalisti parempi elinriskien säästäminen voivat olla mahdollisia MRgRT: n avulla, mikä avaa uusia näköaloja kohti yhden tai muutaman fraktion sädehoitoa. 2. Reaaliaikaisessa MK-ohjauksessa monet vaiheet edellyttävät automatisointia. Tutkijat ovat alkaneet automatisoida ja nopeuttaa prosesseja tekoälymenetelmillä. 3. Tarvitaan kuitenkin tutkimusta sekä kuratoituja, standardoituja ja hyvin dokumentoituja tietoja.
<p>Al-mansour, Haidara & Afat, Saif & Fritz, Victor & Schick, Fritz & Nachbar, Marcel & Thorwarth, Daniela & Zips, Daniel & Müller, Arndt-Christian & Nikolaou, Konstantin & Othman, Ahmed E. & Wegener, Daniel</p> <p>Cancers 01 March 2021, Vol.13(1533), p.1533</p>	<p>Prospective Image Quality and Lesion Assessment in the Setting of MR-Guided Radiation Therapy of Prostate Cancer on an MR-Linac at 1.5 T: A Comparison to a Standard 3 T MRI</p>	<p>Tämän tutkimuksen tarkoituksena on suorittaa kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen analyysi MRL-kuvista 1,5 T:ssä potilailla, joille tehdään eturauhassyövän MRgRT-suunnittelu. Tämän tutkimuksen tulokset avaavat tietä turvallisemman ja tehokkaamman suunnittelun työkulun kehittämiseksi eturauhassyöpää sairastavilla potilailla, joille tehdään MK-ohjattu sädehoito.</p>	<p>Helmikuun 2019 ja kesäkuun 2020 välisenä aikana otettiin mukaan yhteensä 13 peräkkäistä potilasta, joilla oli biopsialla vahvistettu eturauhassyöpä ja täydelliset MRL- ja MRI3T-tiedot.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. T2w-kuvantamisen kuvanlaatu oli vertailukelpoinen ja diagnostinen myös ilman spasmolyytisten tai varjoaineiden antamista, kun taas DWI-kuvat (diffusion-weighted images) eivät saavuttaneet riittävää diagnostista tasoa ja ne on optimoitava reaaliaikaisen toiminnallisen kuvantamisen edelleen hyödyntämiseksi MRgRT:ssa. 2. Leesioiden näkyvyys ja diagnostinen luottamus paranivat merkittävästi sen jälkeen, kun MRL oli luettu yksimielisesti MRI3T: n kanssa, mikä olisi suositeltavaa turvallisen suunnittelun ja hoidon työkulun kannalta.

<p>Hörner-Rieber, Juliane & Klüter, Sebastian & Debus, Jürgen & Adema, Gosse & Ansems, Marleen & Verheij, Marcel</p> <p>Julkaisussa Frontiers in Oncology 2021, Vol.10</p>	<p>MR-Guided Radiotherapy: The Perfect Partner for Immunotherapy?</p>	<p>Katsauksessa keskitytään potentiaaliin yhdistää MK-ohjattu adaptiivinen sädehoito immunoterapiaan tarjoamalla yleiskuva MRgRT: n nykytilasta, prekliinisen ja kliinisen radioimmunoterapian viimeaikaisesta kehityksestä sekä MK-ohjatun radioimmunoterapian ai- nutlaatuisista mahdollisuuksista ja haasteista.</p>	<p>Systemaattinen kirjallisuuskatsaus PubMed-tietokannasta</p>	<p>1. Erinomainen pehmytkudoskontrasti yhdistettynä reaaliaikaiseen suunnitelman mukauttamiseen antaa nyt mahdollisuuden vähentää marginaaleja, lisätä annosta fraktiota kohden ja integroida toiminnalliset tiedot erittäin yksilöllisiin hoitosuunnitelmiin. Nämä ominaisuudet tekevät MK-ohjatusta sädehoidosta täydellisen kumppanin immunoterapialle.</p> <p>2. Tarvitsee edelleen optimointia, mikä edellyttää yhteistyöponnisteluja, protokollien, mallien ja menetelmien standardointia sekä järjestelmällistä kuvantamis- ja biomateriaalidatan keräämistä.</p>
<p>Mohajer, Jonathan & Dunlop, Alex & Mitchell, Adam & Goodwin, Edmund & Nill, Simeon & Oelfke, Uwe & Tree, Allison</p> <p>Julkaisussa Clinical and translational radiation oncology 01 January 2021, Vol.26, pp.1-7</p>	<p>Feasibility of MR-guided ultrahypofractionated radiotherapy in 5, 2 or 1 fractions for prostate cancer</p>	<p>Ultrahypofraktioidun eturauhasen sädehoidon suunnittelun toteutettavuutta Unity MR-Linacilla.</p>	<p>Monaco 5.40: tä (Elekta) käytettiin tuottamaan IMRT-suunnitelmat kolmelle annosfraktiointiprotokollalle (5, 2 ja 1) kymmenelle satunnaisesti valitulle aiemmin hoitulle eturauhas-syöpäpotilaalle.</p>	<p>1.MR-Linacille voidaan laatia MK-ohjatun 1- ja 2-fraktioisen SBRT: n (stereotactic body radiotherapy) toimitettavia suunnitelmia käyttämällä HDR- (high dose rate) ja SBRT-(stereotactic body radiotherapy) klinisten tutkimusten annosrajoi-tuksia ja tavoitteita.</p>

<p>Corradini, Stefanie & Niyazi, Maximilian & Verellen, Dirk & Valentini, Vincenzo & Walsh, Seán & Lauber, Kirsten & Unger, Kristian & Debus, Jürgen & Pieters, Bradley & Guckenberger, Matthias & Senan, Suresh & Budach, Wilfried & Rad, Roland & Mayerle, Julia & Belka, Claus</p> <p>Julkaisussa Radiation Oncology 2021, Vol.16, pp.1-17</p>	<p>X-change symposium: status and future of modern radiation oncology—from technology to biology</p>	<p>Katsauksen tarkoituksena on tiivistää X-change symposium – kokouksen tärkeimmät kohokohdat ja jakaa visio säteilyonkologian tulevaisuudesta.</p>	<p>Yli 150 säteilyonkologia, lääkäri- ja RTT: tä osallistui tähän kokoukseen. Katsaus on yhteenveto sädehoidon huippututkijoiden henkilökohtaisista näkemyksistä.</p>	<p>1. Useita artikkeleita koskien onkologian, teknologian ja biologian osa-alueita.</p>
<p>Tocco, Boris R & Kishan, Amar U & Ma, Ting Martin & Kerkmeijer, Linda G. W & Tree, Alison C.</p> <p>Julkaisussa Frontiers in Oncology 2020, Vol.10</p>	<p>MR-Guided Radiotherapy for Prostate Cancer</p>	<p>Tässä artikkelissa keskustelemme nykyisten kuvanohjausstrategioiden puutteista ja eturauhassyövän MK-ohjatun hoidon mahdollisista eduista ja rajoituksista. Kerromme myös nykyisiä kokemuksia MR-linac-työnkulusta ja tämän tekniikan</p>	<p>Systemaattinen kirjallisuuskatsaus PubMed-tietokannasta</p>	<p>1. MRgRT: n käyttö voisi poistaa ennakkosuunnitteluvaatimuksen ja johtaa lyhyempiin reitteihin ja parempiin tuloksiin.</p> <p>2. Satunnaistettuja kohteita tarvitaan, ja ne edellyttävät teollisuuden ja akateemisten kumppaneiden välistä yhteistyötä vankan näytön tarjoamiseksi käytännöstä.</p>

		tarjoamista mahdollisuuksista.		
<p>Grégoire, Vincent & Guckenberger, Matthias & Haustermans, Karin & Legendijk, Jan & Ménard, Cynthia & Pötter, Richard & Slotman, Ben & Tandrup, Kari & Thorwarth, Daniela & Zips, Daniel</p> <p>Julkaisussa Molecular Oncology Jul 2020, Vol.14(7), pp.1470-1491</p>	Image guidance in radiation therapy for better cure of cancer.	Tässä katsausartikkelissa kuvataan IGRT: n (image-guided radiotherapy) tämähetkistä kehitystä ja kommentoidaan jatkotutkimusmahdollisuuksia.	Systemaattinen kirjallisuuskatsaus Scholarly Journals - tietokannasta	<p>1. Todistettu käsitys siitä, että IGRT mahdollistaa kasvaimen täydellisen peittymisen riittävällä säteilyannoksella ja säästää normaalia kudosta, mahdollistaa useiden syöpäpotilaiden tuloksen parantamisen.</p> <p>2. IGRT on edelleen tutkimuksen ja kehityksen liikkeellepaneva voima esimerkiksi uuden tyyppisten sädehoitojen luomisessa.</p> <p>3. Kuva-ohjattu säteilyonkologia on kokemuksensa ja tulevaisuudennäkymiensä kanssa kulmakivi kohti parempia parannuskeinoja tulevaisuudessa kaikille syöpäpotilaille.</p>
<p>van Timmeren, Janita & Chamberlain, Madalynne & Krayenbuehl, Jérôme & Wilke, Lotte</p>	Treatment plan quality during online adaptive replanning.	Tämän tutkimuksen tavoite oli verrata verkossa mukautettujen suunnitelmien (online-adapted plans) laatua vastaaviin	Tähän retrospektiiviseen tutkimukseen osallistui 52 potilasta, joita hoidettiin ViewRay MRIdian Linacilla. Yhteensä Analysoitiin 238 verkossa mukautettua suunnitelmaa, jotka	1. Verkossa mukautettujen suunnitelmien annosmittauslaatu oli verrattavissa vertailuhoitosuunnitelmiin ja riskielimien (OAR) annos oli joko vertailukelpoinen tai pienentynyt hoitopaikasta riippuen.

<p>& Ehrbar, Stefanie & Bogowicz, Marta & Hartley, Callum & Zamburlini, Mariangela & Andratschke, Nicolaus & Pavic, Matea & Baltermpas, Panagiotis & Ryu, Chaehee & Guckenberger, Matthias & Tanadini-Lang, Stephanie</p> <p>Julkaisussa Radiation Oncology 2020, Vol.15, pp.1-11</p>		<p>hoitosuunnitelmiin.</p>	<p>optimoitiin joko segmenttien painoja muuttamalla (n = 85) tai tekemällä täydellinen uudelleenoptimointi (n = 153). Arvioitiin viisi erilaista hoitopaikkaa: eturauhanen, vatsa, maksa, keuhkot ja lantio. Dosimetriset parametrit kasvaimen bruttotilavuudesta (GTV), suunnitellusta kohdetilavuudesta (PTV), 2 cm: n rengas PTV: n ympärillä ja riskielimet (OAR) otettiin huomioon.</p>	<p>Annoksen vuoto oli kuitenkin hieman lisääntynyt.</p>
<p>Mannerberg, Annika & Persson, Emilia & Jonsson, Joakim & Gustafsson, Christian & Gunnlaugsson, Adalsteinn & Olsson, Lars & Ceberg, Sofie</p> <p>Radiation Oncology 2020, Vol.15, pp.1-9</p>	<p>Dosimetric effects of adaptive prostate cancer radiotherapy in an MR-linac workflow.</p>	<p>Tarkoituksena oli arvioida adaptiivisen uudelleen suunnittelun aikakehyksessä MR-linacilla tapahtuvia anatomisia muutoksia ja niiden dosimetrisiä vaikutuksia eturauhas-syövän hoidossa.</p>	<p>Kaksi MK-kuvaa (MR1 ja MR2) hankittiin 30 minuutin välein kullekin tutkimukseen osallistuneista 35 potilaasta. MR1: n perusteella luotiin erittäin hypofraktioidut VMAT-hoitosuunnitelmat, joissa oli kolme erilaista tavoitetilavuutta (PTV). Näiden annosjakaumia verrattiin MR2 kuviin laadittuihin mukautuvalla uudelleen suunnittelulla saatuihin annosjakaumiin.</p>	<p>1. Raportoitiin kohteen aliannostus, joka johtuu anatomisista muutoksista MR-linac-työnkulun mukautuvan uudelleensuunnittelun aikana. Sekä virtsarakon että peräsuolen tilavuuden muutokset aiheuttivat suuria eturauhasen siirtymiä.</p> <p>2. Tämä osoittaa sijainnin perusteellisen tarkistamisen tärkeyden ennen hoidon antamista ja että työnkulkua on nopeutettava ennen marginaalin vähentämistä.</p>

<p>Kurz, Christopher & Buizza, Giulia & Landry, Guillaume & Kamp, Florian & Rabe, Moritz & Paganelli, Chiara & Baroni, Guido & Reiner, Michael & Keall, Paul & Riboldi, Marco</p> <p>Radiation Oncology 2020, Vol.15, pp.1-16</p>	<p>Medical physics challenges in clinical MR-guided radiotherapy.</p>	<p>Tässä tutkimuksessa tarkastellaan avoimia lääketieteellisen fysiikan kysymyksiä MK-ohjatun sädehoidon (MRgRT) toteutuksessa, keskittyen nykyisiin lähestymistapoihin ja IGART- (image-guided adaptive radiotherapy) innovaation mahdollisuuksiin.</p>		<p>1. MRgRT: n viimeaikainen kehitys mahdollistaa anatomisten muutosten ja hoidon sopeuttamisen IGART: ssa. MK:n järjestelmällinen käyttö mahdollistaa IGART-työnkulussa paremman hoidon räätälöinnin ja yksilöllisen hoitovasteen arvioinnin.</p>
<p>Jung-in Kim & Jong Min Park & Chang Heon Choi & Hyun Joon An & Yi-Jun Kim & Jin Ho Kim</p> <p>Radiation oncology (London, England) 01 August 2019, Vol.14(1), pp.1-10</p>	<p>Retrospective study comparing MR-guided radiation therapy (MRgRT) setup strategies for prostate treatment: repositioning vs. Replanning</p>	<p>Tässä tutkimuksessa verrattiin eturauhassyövän adaptiivista uudelleensuunnittelua ja potilaan uudelleenasettelua pehmytkudosten kohdistamisen perusteella käyttämällä MK-ohjattua sädehoitojärjestelmää (MRgRT).</p>	<p>Yhteensä 19 eturauhassyöpää sairastavaa potilasta valittiin takautuvasti. Viikoittaiset magneettikuvat otettiin 5 viikon ajan jokaiselle potilaalle anatomisten muutosten tarkkailemiseksi hoitojakson aikana.</p>	<p>1. Potilaan uudelleenasetteluun perustuva suunnitelma voi säilyttää suhteellisen potilaskohteen kattavuuden, ja riskielinten arvot pysyvät kliinisellä sietokyvyllä hoidon aikana.</p> <p>2. Sopeutumissuunnitelma ei parantanut riskielimille annettua annosta. Kohdealueen annos pysyi vakiona. Sopeutettu suunnitelma on kuitenkin hyödyllinen, kun elinten sijainnit ja tilavuudet muuttuvat huomattavasti hoidon aikana.</p>
<p>Corradini, S & Alongi, F & Andratschke, N & Belka, C & Boldrini, L & Cellini, F & Debus, J</p>	<p>MR-guidance in clinical reality: current treatment challenges and future perspectives</p>	<p>Tarkasteltiin MRgRT:n alustavaa sovellettavuutta nykyisessä kliinisessä käytännössä ja tämän uuden tekniikan tulevaisuuden näkymiä</p>		<p>1. Voidaan todeta, että MRgRT: tä voidaan pitää urauurtavana uutena tekniikkana, joka kykenee luomaan uusia näkökulmia kohti yksilöllistä, potilaskeskeistä suunnittelua</p>

<p>& Guckenberger, M & Hörner-Rieber, J & Lagerwaard, F & Mazzola, R & Palacios, M & Philippens, M & Raaijmakers, C & Terhaard, C & Valentini, V.</p> <p>Radiation Oncology 2019, Vol.14</p>		eri hoitopaikoille.		<p>ja hoitomenetelmiä erityisesti päivittäisien online-sopeutumisen ansiosta.</p> <p>2. Lisäksi MRL-järjestelmät voittavat tavanomaisen IGRT:n rajoitukset, varsinkin pehmytkudoksessa, missä kohde ja riskielimet tarvitsevat tarkan määrittelyn. Joitakin huolenaiheita on kuitenkin edelleen ja lisätutkimuksia tarvitaan.</p>
--	--	---------------------	--	---