



**SAVONIA**

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

# PET-MRI ONKOLOGIASSA

Kirjallisuuskatsaus

TEKIJÄ/T: Niko Mähönen

Koulutusala Sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala	
Koulutusohjelma Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Niko Mähönen	
Työn nimi PET-MRI onkologiassa – Kirjallisuuskatsaus	
Päiväys	2.11.2016
Sivumäärä/Liitteet	42/1
Ohjaaja(t) Lehtori Pirjo Leppäsaari	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakolu Terveysala Kuopion yksikkö Radiografian ja Sädehoidon koulutusohjelma	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Syöpätautien diagnosointi ja hoito tarkentuvat jatkuvasti osittain myös kuvantamismenetelmien kehityksen myötä. Kahta eri modaliteettia yhdistävä hybridikuvantaminen on edennyt pitkin harppauksin viimeisen vuosikymmenen aikana ja PET-TT on nykyisin tärkeä osa kliinistä onkologista tutkimusta. Seuraava lupaava sovellutus onkologisessa fuusiokuvantamisessa on magneetti- ja PET-kuvauksen yhdistävä menetelmä PET-MRI. Menetelmän merkittävimmät edut PET-TT- kuvaukseen verrattuna ovat huomattavasti parempi pehmytkudosten erottelukyky ja pienempi säteilyannos, joka on tärkeä näkökohta erityisesti lasten, nuorten ja pitkäaikaista seurantaa vaativien potilaiden kuvantamisessa.</p> <p>Opinnäytetyössä esiteltiin PET-MRI yhdistelmäkuvantamismenetelmä sekä koottiin taulukoksi kirjallisuuskatsauksen avulla saatu ajankohtaisin tieto menetelmän eduista ja käyttökohteista onkologiassa. Tavoitteena oli tuottaa luotettavaa suomenkielistä tietoa uudesta hybridikuvantamismenetelmästä röntgenhoitajaopiskelijoiden ja röntgenhoitajien sekä muiden aiheesta kiinnostuneiden terveydenhuoltoalan ammattilaisten käyttöön.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksen avulla koottiin kuvantamismenetelmästä julkaistujen tutkimusten tietoja ja rakennettiin kokonaiskuvaa aiheesta. Aineistonhakua tehtiin Pubmed, Cinahl, Science Direct ja Medic -tiedonhakupalvelimien avulla. Lopullinen aineisto oli 11 tutkimusta, joita käytiin läpi tutkimuskysymysten avulla. Tuloksia käsiteltiin valitusta aineistosta koostetussa synteesitaulukossa. Aineisto käsittelee PET-MRI-hybridikuvantamismenetelmän käyttöä yleisimpien syöpätyyppien primaariagnostiikassa ja levinneisyys selvittelyissä, jotka ovat yleisimpiä kuvantamisen indikaatioita.</p> <p>Kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella osoitettiin, että PET-MRI on lupaava, mutta vielä hieman keskeneräinen kuvantamismenetelmä syöpäsairauksien kliinisessä kuvantamisessa. Sen on osoitettu olevan tehokas menetelmä esimerkiksi keskushermoston ja kohdunkaulan kasvainten sekä lymfoomien kuvantamisessa. Menetelmän keskeisimmät vielä avoimet ongelmat liittyvät vaimennuskorjaukseen, käyttöliittymien keskeneräisyyteen ja yleisemmällä tasolla menetelmän käyttökelpoisuuteen kliinisessä käytössä.</p> <p>Jatkotutkimusaiheeksi ehdotetaan jonkun tietyn, yksittäisen syöpätyypin kuvantamista PET-MRI:lla, kun menetelmä on yleistynyt kliinisessä käytössä ja laadullista sekä määrällistä tutkimustietoa on saatavilla nykyistä enemmän.</p>	
Avainsanat PET-MRI, positroniemissiotomografia, hybridikuvantaminen, fuusiokuvantaminen, syöpätaudit, onkologia	

Field of Study Social Services, Health and Sports			
Degree Programme Degree Programme of Radiography and Radiationtherapy			
Author(s) Niko Mähönen			
Title of Thesis PET-MRI in oncology – Literature review			
Date	2.11.2016	Pages/Appendices	41/1
Supervisor(s) Senior Lecturer Pirjo Leppäsaari			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, Degree Programme of Radiography and Radiotherapy			
<p>Abstract</p> <p>The diagnostics and the treatment of cancer are becoming more efficient partly because of the development of imaging methods. Hybrid imaging, combining two different modalities, has come a long way during the last decade and PET-CT has become an important part of clinical oncological research. The next possibility in oncologic fusion imaging is PET-MRI, integrating positron emission tomography and magnetic resonance imaging. The most significant advantages compared to PET-CT are superior soft-tissue contrast and smaller radiation exposure, which makes a great difference when imaging children, young people and patients who require long term follow-up.</p> <p>This thesis introduced PET-MRI hybrid imaging tool and gathered the most recent information about the method`s advantages and use in oncology in a compact, clear table. The aim of this study was to produce reliable, Finnish information about the new hybrid imaging method for radiographer students, radiographers and other health care professionals.</p> <p>The thesis has been accomplished as an integrative literature review. Literary review was used to gather information about published studies regarding PET-MRI and to form a general view of the subject. Data was collected using Pubmed, Cinahl, Science Direct ja Medic- databases. The final material consisted of eleven studies which were processed with the help of research questions. The results were handled in a synthesis chart made from the chosen material. The material considers the use of PET-MRI hybrid imaging method in local and metastatic diagnostics of cancer, which are the most common indications of radiologic imaging.</p> <p>This integrative literature review pointed that PET-MRI is a promising, yet still incomplete method in clinical cancer imaging. It has been proven to be an efficient application for example in imaging of central nervous system and cervix tumours and lymphoma. The application`s most crucial yet unsolved issues are related to attenuation correction, incomplete user interfaces and in more general level, the usefulness of PET-MRI in clinical use.</p> <p>A suggestion for further study is imaging of one certain cancer type with PET-MRI, after the method has become more common in clinical use and there is more qualitative and quantitative research information available.</p>			
<p>Keywords PET-MRI, positron emission tomography, hybrid imaging, fusion imaging, cancer, oncology</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	ONKOLOGIA .....	6
2.1	Syöpäsairaudet .....	6
2.2	Syövän TNM-levinneisyysluokittelu .....	7
2.3	Syövän hoitomuodot ja hoidon suunniteelu.....	7
3	PET- JA MAGNEETTIKUVANTAMINEN ONKOLOGIASSA .....	9
3.1	PET-MRI.....	9
3.2	Positroniemissiotomografiakuvauksessa hyödynnettävä fysikaalinen ilmiö ja kuvanmuodostus .....	11
3.3	Magneettikuvauksessa hyödynnettävä fysikaalinen ilmiö ja kuvanmuodostus .....	12
3.4	Radiolääkkeet .....	13
3.5	Säteily- ja magneettiturvallisuus.....	14
4	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	17
5	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	18
5.1	Menetelmän kuvaileva kirjallisuuskatsaus.....	18
5.2	Aineiston hankkiminen .....	18
5.3	Aineiston valinta .....	21
5.4	Aineiston analyysi ja kuvaus .....	22
6	TULOKSET.....	23
6.1	PET-MRI hybridikuvantamismenetelmän hyödyntäminen onkologiassa .....	23
6.2	PET-MRI:n ongelmia .....	25
7	POHDINTA .....	27
7.1	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	27
7.2	Luotettavuus ja eettisyys.....	28
7.3	Oma ammatillinen kehittyminen.....	30
	LÄHTEET.....	33
	LIITE 1. SYNTEESITAU LUKKO .....	38

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaiset, tarkat anatomiset ja toiminnalliset kuvantamismenetelmät kuten magneettikuvaus (Magnetic Resonance Imaging, MRI), positroniemissiotomografia (Positron Emission Tomography, PET) ja tietokonetomografia (TT) ovat erittäin suuressa roolissa kliinisessä onkologiassa eli syöpätautien tutkimuksessa ja hoidossa. Kuvantamislöydökset ovat avainasemassa diagnoosia tehtäessä sekä taudin vaikeusasteen luokittelussa ja hoidon suunnittelussa. Yksittäisiltä kuvaustekniikoilta tilaa ovat vallanneet erilaiset hybridikuvantamismenetelmät, joissa yhdistetään yhdellä kuvauskerralla elimistön aineenvaihdunta tarkkaan anatomiseen tietoon. Tunnetuin ja yleisin näistä menetelmistä on positroniemissiotomografian ja tietokonetomografian yhdistelmä (PET-TT), mutta viime vuosina markkinoille on tullut myös kliniseen käyttöön hyväksytty PET-MRI- kuvauslaite, jonka hyödyntämisestä onkologiassa on tutkittu kiivaasti. (Pace, Nicolai, Luongo, Aiello, Catalano, Soricelli ja Salvatore 2013, 290–291.)

Positroniemissiotomografian ja tietokonetomografian yhdistelmä (PET-TT) on hiljalleen syrjäyttänyt pelkän PET-kuvauksen lähes täysin. PET-TT-tutkimus on hybridikuvantamismenetelmä, jossa PET-tekniikalla saadaan selville kuvattavan kohteen fysiologia ja TT-kuvauksella anatominen tieto. Näiden kuvien sisältämä informaatio yhdistämällä saadaan kuva, joka kertoo kohteen tarkan anatomisen sijainnin lisäksi myös sen aineenvaihdunnasta. Tämä ominaisuus tekee menetelmästä erityisen sopivan diagnostiikkaan. (Seppänen ja Minn 2013, 2371–2372.)

Seuraava lupaava sovellutus onkologisessa fuusiokuvantamisessa on magneetti- ja PET-kuvauksen yhdistävä menetelmä PET-MRI. Menetelmän merkittävimmät edut PET-TT- kuvaukseen verrattuna ovat huomattavasti parempi pehmytkudosten erottelukyky ja säderasituksen merkittävä pieneneminen, joka on tärkeä näkökohta erityisesti lapsipotilaiden, nuorten ja pitkäaikaista seurantaa vaativien potilaiden kuvantamisessa. PET-MRI:lla on mahdollisuus saada tärkeää lisätietoa ihmiskehon morfologiasta, kudosten ja solujen toiminnasta, sekä aineenvaihdunnasta tarkasti, nopeasti ja turvallisesti. Ensimmäiset koko kehon kuvantamiseen soveltuvat PET-MRI laitteet otettiin käyttöön vuonna 2010 yhdysvalloissa ja Sveitsin Genevessä. Suomeen, Turun PET-keskukseen, ensimmäinen laite hankittiin vuonna 2012. (Kauhanen, Ristamäki, Kajander ja Seppänen 2013, 2578–2580.)

Tässä opinnäytetyössä esiteltiin PET-MRI yhdistelmäkuvantamismenetelmä ja koottiin taulukkoon kirjallisuuskatsauksen avulla saatu ajankohtainen tieto menetelmän eduista ja käyttökohteista onkologiassa. Tavoitteena oli tuottaa luotettavaa suomenkielistä tietoa uudesta hybridikuvantamismenetelmästä röntgenhoitajaopiskelijoiden ja röntgenhoitajien sekä muiden aiheesta kiinnostuneiden terveydenhuoltoalan ammattilaisten käyttöön. Aihe on vielä niin uusi, että siitä on olemassa hyvin vähän suomenkielistä tutkimustietoa, joten työlle on tilausta niin koulutuksessa kuin työelämässäkin. Opinnäytetyön menetelmänä oli kuvaileva kirjallisuuskatsaus ja sen tilaajana toimi Savonia-ammattikorkeakoulu Terveysala Kuopion yksikön Radiografian ja Sädehoidon koulutusohjelma. Aihe valittiin sen ajankohtaisuuden ja tekijän oman mielenkiinnon perusteella.

## 2 ONKOLOGIA

Onkologia on lääketieteen osa-alue, joka tutkii syöpäsairauksien syntyä, kehitystä, ennaltaehkäisyä ja hoitoa. Syöpä on yleisin kuolinsyy kehittyneissä ja toiseksi yleisin kehittyvissä maissa ja ilmaantuvuus kasvaa edelleen. Yleisimmät syöpätyypit vaihtelevat hieman ihmisten elintason ja -alueen mukaan, eikä kaikkien syöpien syntymekanismeja vielä tarkasti tunneta, mutta elintavoilla on edelleen suurin merkitys syövän synnyssä. Vaikka esiintyvyys kasvaa, syöpäkuolemien määrä erityisesti kehittyneissä maissa on kääntynyt laskuun, kun hoidot kehittyvät ja syöpätaudeista saadaan lisää tietoa. (Hietanen 2012.) Vuonna 2010 Suomessa todettiin miehillä 14 938 uutta syöpätapausta ja naisilla 14 570. Syöpään kuoli noin 11 000 ihmistä. Elossa oli lähes 225 000 ihmistä, joista noin puolet oli vielä aktiivihoidon tai seurannan piirissä sairastuttuaan syöpään enintään viisi vuotta sitten. Riski sairastua syöpään suurenee nopeasti 50. ikävuoden jälkeen, ja sairastuneiden keski-ikä Suomessa on 67 vuotta. Yleisimmät syöpätyypit miehillä ovat eturauhasen syöpä, keuhkosyöpä ja paksusuolen syöpä. Naisilla puolestaan yleisimpiä ovat rintasyöpä, paksusuolen syöpä ja kohdunrungon syöpä. (Sankila 2013.)

### 2.1 Syöpäsairaudet

Syöpäsairauksille ei ole täysin tarkkaa yksiselitteistä määritelmää, mutta yleensä syöpäkasvaimella tarkoitetaan solukon tai kudoksen epänormaalia, tarkoituksetonta kasvua, joka on isäntäelimistölle haitallista eikä ole riippuvainen ulkoisista kasvuärsykeistä. Muun kuin syöpäkasvaimen liikakasvu päättyy, kun sitä aiheuttanut ärsyke poistuu elimistöstä. Syöpä voi syntyä useilla eri mekanismeilla, mutta kaikkiin liittyy DNA:n mutaatio joka johtaa myöhemmin karsinogeneesiin eli syöpäsolujen syntyn. Mutaatiota aiheuttavat tekijät, karsinogeenit, voivat olla ulkoisia (kemikaalit, tupakansavu, asbesti, säteily, virukset) tai ihmisen oman perimän geneettisiä tai hormonaalisia virheitä. (Isola ja Kallioniemi 2013.)

Syövän syntyä voidaan tarkastella useasta eri näkökulmasta, mutta perustan käsityksille syövän synnystä luovat kliiniset havainnot. Juuri kliininen tutkimus on mahdollistanut kasvainten luokittelun, periytyvien syöpätyyppien tunnistamisen ja erityisesti etäpesäkkeiden syntymekanismien tarkemman selvittämisen. Kliinisesti erotettavia havaintoja syövästä pystytään usein tekemään vasta kasvaimen biologisen elinkaaren loppuvaiheessa. Silloin läpimitaltaan yhden senttimetrin kokoisen kasvaimen muodostama solukko on jakautunut jo 25–35 kertaa, ja syöpä on jo etenemisvaiheessa. Kliinisen onkologian kulmakivi on radiologinen kuvantaminen, jonka avulla tehdään usein ensimmäiset havainnot syöpäsolukon olemassaolosta, paikallisesta leviämisestä ja etäpesäkkeistä. Myös hoidon suunnittelussa ja hoitovasteen arvioinnissa sekä jälkiseurannassa tarvitaan usein kuvantamista. Syöpäsairauksien kuvantamisen monipuolistuessa ja tarkentuessa sen merkitys syövän hoidon eri vaiheissa kasvaa entisestään. Syövän hoito on kallista ja potilaalle raskasta, joten hoitojen oikea kohdentaminen on ensiarvoisen tärkeää. (Isola ja Kallioniemi 2013.)

## 2.2 Syövän TNM-levinneisyysluokittelu

Syöpäkasvaimen koon ja taudin levinneisyyden luokittelu vaikuttaa huomattavasti potilaan hoidon suunnitteluun ja ennusteeseen taudin paranemisesta tai etenemisestä. Se on myös tärkeä osa hoidon tuloksia arvioitaessa ja mahdollistaa luotettavan ja tarkan tietojen vaihdon eri hoitopaikkojen välillä. Yleisimmin käytetty kiinteään kudoksen syöpien levinneisyysluokittelu on Kansainvälisen syöpäunionin (International Union Against Cancer, UICC) julkaisema TNM-luokitus. Tässä luokittelussa T (tumour) kuvastaa primaarikasvaimen laajuutta, N (node) alueellisten syöpää sisältävien imusolmukkeiden määrää tai kokoa ja M (metastasis) etäpesäkkeiden olemassaoloa. (Roberts ja Joensuu 2013.)

Primaarituumorin kliininen luokitus tehdään mm. kuvantamislöydösten ja biopsioiden perusteella tuumorin koon ja levinneisyyden mukaan. T- luokitus kertoo primaarikasvaimen kokoluokan, ja se vaihtelee pienimmästä suurimpaan asteikolla T0 (ei invasoivaa syöpää), T1, T2, T3 ja T4. T-luokittelu vaihtelee hieman eri syöpätyyppien välillä. Jos samassa elimessä on useita kasvaimia, T- luokka määräytyy suurimman kasvaimen mukaan. Imusolmukealueiden luokitus tehdään N- luokituksella, jossa N0 tarkoittaa ei metastasointia ja N1, N2 ja N3 ilmaisevat levinneisyyden paikallisiin imusolmukkeisiin. Kauempana sijaitsevien etäpesäkkeiden luokitus on joko M0 (ei etäpesäkkeitä) tai M1 (etäpesäkkeinen syöpä). TX ja NX tarkoittavat, että kyseistä luokitusta ei pystytä tekemään. Syövät jaotellaan TNM-luokituksen perusteella levinneisyysasteisiin (stage), joita on viisi (0, I, II, III ja IV). Asteen IV syöpä tarkoittaa laajalle levinnyttä tai etäpesäkkeistä syöpää. Tarkempi, patologinen TNM-luokitus voidaan tehdä vain kokonaan tai riittävältä osin poistetusta kasvaimesta. (Roberts ja Joensuu 2013.)

## 2.3 Syövän hoitomuodot ja hoidon suunnittelu

Syövän tärkeimpiä hoitomuotoja ovat leikkaus, sädehoito ja erilaiset lääkehoidot kuten solunsalpaaja- ja hormonihoito. Käypä hoito valitaan kasvaimen koon, sijainnin ja taudin levinneisyyden mukaan. Pieni kasvain kannattaa yleensä poistaa leikkauksella, mutta sen hankala sijainti saattaa puoltaa sädehoitoa. Suurten kasvaimien ja levinneen taudin hoidossa käytetään nykyään yhä enemmän leikkauksen, sädehoidon ja lääkehoidon yhdistelmiä. Sädehoito tehoaa useimmiten isoonkin syöpäkasvaimeen, riippuen sen sädeherkkyydestä, mutta säteilylle vähemmän herkkien syöpien hoidossa se usein yhdistetään leikkaukseen ja lääkehoitoon. Tavoitteena on tällöin poistaa leikkauksessa kaikki näkyvä tuumorikudos ja hävittää sädehoidolla kasvaimen vieruskudoksissa tai alueellisissa imusolmukkeissa mahdollisesti olevat mikroskooppiset syöpäpesäkkeet ja kasvainsolukko, joiden poisto leikkauksella aiheuttaisi huomattavia haittoja. (Joensuu 2013.)

Hoidon suunnittelussa kuvantamislöydöksillä on merkittävä rooli, ja erityisesti sädehoitoa annettaessa primaarituumorin tarkka rajaaminen ja sitä ympäröivän kasvainsolukon määrän arviointi on äärimmäisen tärkeää. (Joensuu 2013.) TT – pohjainen kuvantaminen on nykypäivää sädehoidon suunnittelussa, mutta myös MRI kuvaus hoitokohteen määrittämistä ja hoidon suunnittelua varten on yleistynyt ja on rutiinia jo tietyillä potilasryhmillä. MRI- pohjaista sädehoidon annossuunnittelua

on tähän saakka rajoittanut kudostiheyden saaminen samasta kuvauksesta, mutta kehitys on sen suhteen jo pitkällä. PET- kuvaus ja funktionaalinen magneettikuvaus ja näiden yhdistelmät sädehoidon suunnittelussa antavat tietoa tuumorin aktiivisuudesta ja mahdollistavat esim. sädeannoksen lisäämisen ko. alueille. (Palmgren 2013.)

### 3 PET- JA MAGNEETTIKUVANTAMINEN ONKOLOGIASSA

Positroniemissiotomografiaa käytetään muun muassa syöpäkasvaimen tai sen lähettämien etäpesäkkeiden etsimiseen. Syövän levinneisyyttä tutkittaessa se usein muuttaa hoidon suunnitelmaa ja ennustetta, koska sen avulla saatetaan löytää odottamattomia uusia etäpesäkkeitä tai viittauksia epäselvän muutoksen hyvänlaatuisuuteen. Kuvauksessa potilaan verenkiertoon injisoidaan radioaktiivisella aineella leimattua glukoosianalogia, eli glukoosin kaltaista ainetta. Aine hakeutuu runsaasti glukoosia käyttäviin soluihin ja elimiin, kuten aivoihin, maksaan ja syöpäkasvaimiin. Hajotessaan kohdeelimessä normaalin glukoosiaineenvaihdunnan kaltaisesti aine alkaa tuottaa ympäristöönsä positroneja, jotka törmäilevät elimistön elektroneihin. Törmäyksen tapahtuessa kvantit tuhoutuvat ja vapautuvasta energiasta syntyy kaksi energialtaan 511 kiloelektronivoltin gammakvanttia, jotka lähtevät täsmälleen vastakkaisiin suuntiin. Ilmiötä kutsutaan annihilaatioksi. Nämä voidaan havaita annihilaatiosäteilyn mittaukseen optimoidulla PET-kameralla, jonka avulla säteilyn lähtöpiste paikannetaan ja siten muodostetaan kolmiulotteinen kuva tutkittavasta kohteesta. (Ruotsalainen 2003, 51.)

#### 3.1 PET-MRI

Syöpätautien diagnosointi ja hoito tarkentuvat jatkuvasti osittain myös kuvantamismenetelmien kehityksen myötä. Kahta eri modaaliteettia yhdistävä hybridikuvantaminen on edennyt pitkin harppauksin viimeisen vuosikymmenen aikana ja PET-TT on nykyisin erittäin tärkeä osa kliinistä onkologista tutkimusta. Lähes vuosikymmen ensimmäisen PET-TT-laitteen käyttöönoton jälkeen tuli kaupallisille markkinoille ensimmäinen kliiniseen käyttöön soveltuva PET-MRI-yhdistelmälaite. Sen kehitys aloitettiin jo ennen PET-TT:n yleistymistä, mutta lukuisat tekniset ongelmat kahden erittäin sensitiivisen, häiriöille alttiin kuvantamismenetelmän yhdistämisessä viivästyttivät laitteen käyttöönottoa muuhun kuin tutkimuskäyttöön. Keskeisimmät ongelmat liittyivät detektorirenkään ja valomonistinputken materiaalin vaikutukset  $B_0$ -kentän homogeenisuuteen, voimakkaan magneettikentän vaikutuksiin positroniemissiossa syntyviin säteilykvantteihin sekä kudosten säteilyä vaimentavan vaikutuksen dokumentointiin (vaimennuskorjaus). Magneettikuvantamisen kiistattomat hyödyt kuten erinomainen pehmytkudoskontrasti, ionisoivan säteilyn merkittävä annossäästö ja diffuusiokuvantamisen mahdollisuus kuitenkin lisäsivät käyttäjien odotuksia ja sitä kautta laitevalmistajien panostusta PET-MRI-laitteen kehitykseen. (Jadvar ja Colletti 2013, 84.)

Ennen PET-MRI-laitteen käyttöönottoa PET- ja magneettikuvia on yhdistelty jälkikäteen niin, että kumpikin kuvaus on tehty erikseen siihen tarkoitetulla laitteella ja kuvatdata on tämän jälkeen "liimattu" toistensa päälle. Myös tällä menetelmällä on saavutettu hyötyjä erityisesti keskushermoston kasvaimien kuvantamisessa, mutta muualla kehossa menetelmä on ollut herkkä virheille kuvausasennon sekä elimien ja jopa itse kasvaimen koon ja sijainnin muuttuessa kuvausten välillä. PET-MRI hybridikuvantamisessa näiltä haitoilta vältytään, sillä sekä anatominen magneettikuvauksesta saatava data että PET-kuvauksen toiminnallinen tieto kerätään yhtäaikaaisesti samalla kuvauslait-

teella. (Bulus, George, Washington ja Newcomer 2009, 68.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan PET-MRI yhdistelmälaitteella toteutettavaan kuvantamiseen, ei jälkikäteen tapahtuvaan kuva fuusioon.

Ensimmäinen kliiniseen käyttöön soveltuva PET-MRI- laite oli vuonna 2008 markkinoille tuotu Siemensin Brain PET, joka soveltui aivojen ja kallonpohjan yhtäaikaiseen PET-MRI kuvantamiseen. Tämän jälkeen useat laitevalmistajat ovat lanseeranneet erilaisia versioita koko kehon kuvantamiseen soveltuvista PET-MRI- kuvauslaitteista. Useimmissa näistä on ollut kyse kahdesta toisistaan täysin erillään olevasta, jopa eri huoneisiin sijoitetusta laitteesta, joiden välillä potilasta on pystytty liikuttamaan esimerkiksi laitteet yhdistävällä potilaspöydällä. Tämä on kuitenkin jatkanut liaksi kuvauksen kestoa ja lisännyt kuvien liikeartefaktia. Lisäksi on tarvittu vielä TT-kuvauksen vaimennuskorjausta varten, joka on vähentänyt merkittävästi kuvauksesta saatavaa hyötyä. (Jadvar ja Colletti 2013, 84-85.)

Vuonna 2010 tuli markkinoille ensimmäinen täysin integroitu koko kehon PET-MRI- kuvauksen ja magneettipohjaisen vaimennuskorjauksen mahdollistava laite Siemens Biograph mMR, jossa PET detektorirengas on sijoitettu samaan gantryyn 3 teslan magneetin kanssa. Tärkein ero sekä PET-TT- että aiemman sukupolven PET-MRI- laitteisiin on tekniikka, joka mahdollistaa PET- ja magneettidatan yhtäaikaisen keruun joka lyhentää merkittävästi kuvauksen kestoa ja vähentää mahdollista liikeartefaktia kuvissa. Uusi tekniikka mahdollistaa äärimmäisen tarkan rakenteellisen, metabolisen ja toiminnallisen kuvan saamisen yhdellä suhteellisen lyhytkestoisella kuvauksella. Menetelmän odotetaan tarjoavan merkittävää lisäarvoa ja aivan uusia mahdollisuuksia muun muassa neurologiseen, kardiologiseen ja erityisesti onkologiseen kuvantamiseen. (Jadvar ja Colletti 2013, 85.)

PET-MRI-laitteiden yleistymisen myötä tutkimus vaimennuskertoimien määrittämiseen MRI-kuvauksen avulla on kehittynyt merkittävästi. MRI-pohjaisessa vaimennuskorjausmenetelmässä selvitetään vaimennuskertoimet ilmalle, keuhkoille, pehmytkudokselle ja rasvalle. Tämä onnistuu esimerkiksi tutkimalla kaikkia aikoja, jolloin signaalit vedestä ja rasvasta ovat samassa vaiheessa ja eri vaiheessa. (Wettenhovi 2015, 26.)

Eryisesti tuumoreiden TNM- luokittelussa ja leikkauskelpoisuuden arvioinnissa pään- ja kaulan alueen- sekä luun- ja pehmytkudoksen syövässä PET-MRI:lla voidaan saavuttaa kiistattomia hyötyjä. Magneettitekniikan mahdollistamalla nanopartikkeleiden kuvantamisella voidaan todeta myös mikroskooppinen imusolmukemetastasointi, joka ei ole mahdollista PET-TT:lla. Lisäksi jo ensimmäisissä kliinisissä tutkimuksissa on todettu, että erityisesti aivotuumoreiden sädehoidon osuvuutta voidaan parantaa PET-MRI:n mahdollistaman tarkemman annossuunnitelman myötä. Lisäksi koko kehon PET-MRI mahdollistaa tarkemman hoitovasteen arvioimisen ja parantaa jatkohoidon tarkkuutta. Menetelmässä on kuitenkin vielä puutteita, jotka johtuvat pääosin sen toistaiseksi lyhyestä käyttökokeuksesta potilastyössä. Menetelmän hyödyllisyyttä suhteessa jo olemassa oleviin kuvantamistekniikoihin on kyseenalaistettu ja puolueeton tutkimustieto on vielä suhteellisen vähäistä. Lisäksi laitehankintoja rajoittavat vielä sen korkea hinta ja laitteen tekninen keskeneräisyys, jonka vuoksi useat toimijat odottavat laitteesta uudempaa versiota. (Jadvar ja Colletti 2013, 88.)

### 3.2 Positroniemissiotomografiakuvauksessa hyödynnettävä fysikaalinen ilmiö ja kuvanmuodostus

Positroniemissiotomografia (PET) on isotooppikuvausmenetelmä, jossa tutkitaan radionuklidilla leimatun tutkimusaineen jakaumaa elimistössä ajan ja paikan suhteen. Kerroskuvausperiaatteella toimiva tutkimus ilmaisee radioisotoopilla leimatun aineen metaboliaa elimistössä ja kertymistä tutkittavaan elimeen. PET on siis luonteeltaan funktionaalista eli toiminnallista kuvantamista. Muuhun isotooppikuvaukseen verrattuna PET mahdollistaa paremman herkkyyden ja paikkaerottelukyvyyn. Suosittuja kuvausaiheita onkologiassa ovat lymfooman luokittelu, paksu- ja peräsuolisyövän uusiutumistutkimukset, pään ja kaulan alueen syöpien uusiutuman osoitus, melanooman etäpesäkkeiden luokittelu ja arviointi, radiologisissatutkimuksissa epäselväksi jääneen keuhkomuutoksen pahanlaatuisuuden arvioiminen ja leikkauskelpoisuuden arviointi ei-pienisoluisessa keuhkosyövässä. PET-tutkimuksessa käytettäviä radionuklideja, positroneja emittoivia isotooppeja, valmistetaan hiukkaskiihdyttimellä. (Puumala 2003.)

Positroniemissiotomografian fysikaalinen ilmiö perustuu  $B^+$ -hajoamiseen, jossa kohde-elimeen saatetaan radiolääkkeen muodossa sopivaa radioaktiivista merkkiainetta. Yksi aineen ytimen protoneista hajoaa ja tuottaa elektronin antihiuksasen, positronin. Kudoksessa positroni vaeltaa muutaman millimetrin matkan, menettää nopeasti liike-energiaansa ja törmää lopulta antihiuksaseensa elektroniin, jolloin ne annihiloituvat eli häviävät. Vapautuva energia poistuu kahtena säteilykvanttina, joita kutsutaan annihilaatiogammoiksi. Nämä fotonit matkaavat toisistaan vastakkaisiin suuntiin ja niiden kummankin energia on täsmälleen 511 keV. Syntyvät kvantit havaitaan detektoreilla, joissa säteilyä havaitsevat kiteet ovat renkaassa potilaan ympärillä. Detektoriyksiköt muodostuvat useista detektorirenkaista joiden koko ja materiaali on aina kompromissi paikkaerotuskyvyyn ja säteilyn havaitsemis-herkkyyden välillä. Detektoriyksikkö lähettää kuvausta valvovalle tietokonejärjestelmälle tiedon oikeassa energiaikkunassa havaitusta fotonista (esim. 350–850 keV) ja havaitsemisajasta. Tietokoneet puolestaan etsivät havainnoista ne, jotka täyttävät positroniannihilaation ehdot eli tapahtumat havaitaan täsmälleen detektorirenkaan vastakkaisilla puolilla täsmälleen yhtäaikaisesti ja havaittujen fotonien energia on oikea. Näin tietokoneet voivat laskea tarkasti annihilaation tapahtumapaikan kudoksessa. (Ruotsalainen 2003, 52.)

Havaitut positroniannihilaatiosta syntyneet säteilykvanttiparit talletetaan sinogrammitaulukoihin, jotka vastaavat eri suunnista mitattuja säteilyintensiteettiprofiileja. Käytössä olevat PET-kuvauslaitteet voivat kerätä ja tallettaa useita miljoonia tapahtumia sekunnissa koko laitteiston tasolla. Kun havaintoja on riittävästi, näiden taulukoiden perusteella kuvat rekonstruoidaan, niihin tehdään tarvittavat vaimennus- ja muut korjaukset, jonka jälkeen kuvadata voidaan näyttää ja analysoida ohjaus-tietokoneen näytöllä. Saatu kuvatulos, esimerkiksi syöpäkasvaimen merkkiainekertymä, voi olla kuvan vallitseva piirre, jolloin kertymän anatominen sijainti jää epäselväksi. tämän vuoksi usein halutaan referenssiksi tarkka anatominen kuva, esimerkiksi tietokonetomografia- tai magneettikuva. (Ruotsalainen 2003, 52.)

Kudokset vaimentavat säteilyä, joka tulee huomioida PET-kuvauksessa. Fotonit saattavat vuorovai-  
kuttaa väliaineessa (tutkittavassa kudoksessa) ja luovuttaa siihen kaiken liike-energiansa. Jos siis

jompikumpi, tai molemmat, annihilaatiossa syntyneistä fotoneista absorboituvat kohteeseen, koinssidenssitapahtumaa ei pystytä rekisteröimään. Vaimennuskorjauksen tarkoituksena on selvittää mikä on todennäköisyys fotonin absorboitumiseen tietyssä pikselissä/vokselissa. Nykyään PET/TT-laitteiden yleistyessä vaimennuskorjaus tehdään TT-kuvauksen avulla. TT-laitteet ilmoittavat vaimennuksen suuruuden TT-numeroilla (CT Number, Hounsfield Unit, HU), jotka pitää muuttaa 511 keV:n energiaa vastaaviksi vaimennuskertoimiksi. TT-laitteen käyttäminen vaimennuskorjaukseen on kuitenkin osittain ongelmallista, sillä TT-kuvat saatetaan ottaa eri kohdista ja kuva-alue voi olla potilasta pienempi. (Wettenhovi 2015, 25-26.)

### 3.3 Magneettikuvauksessa hyödynnettävä fyysikaalinen ilmiö ja kuvanmuodostus

Magneettikuvaus (Magnetic Resonance Imaging, MRI) on lääketieteessä käytetty kuvantamismenetelmä, joka perustuu ionisoivan säteilyn sijaan ydinmagneettiseen resonanssiin. Sen avulla pystytään tuottamaan kaksi- tai kolmiulotteisia leikekuvia ihmiskehosta tai sen yksittäisistä osista. Erityisen hyvin magneettikuvaus sopii keskushermoston, tuki- ja liikuntaelimestön ja vatsan tutkimiseen. Myös verisuonia voidaan kuvantaa. Menetelmässä kuvattava kohde on voimakkaassa magneettikentässä, jota häiritään radiotaajuisilla pulsseilla ja toisella heikommalla sähkömagneettisella kentällä. Magneettikentän voimakkuus ilmoitetaan Tesloina. Yleisimpiä ovat 1.5 ja 3 Teslan kuvauslaitteet. Magneettikentän vaihtelu aiheuttaa aineessa magneettisia muutoksia, jotka emittoivat eri aineille ominaisen heikon radiotaajuisen signaalin. (Grover, Tognarelli, Crossey, Cox, Taylor-Robinson ja Mcphail 2015, 246–248.)

Parittoman protonimäärän sekä parittoman neutronimäärän omaavilla ytimillä on sisäinen magneettikenttä, jota kutsutaan spiniksi. Ilman ulkoisen magneettikentän vaikutusta spinit ovat järjestäytyneet satunnaisesti ja niiden nettomagnetointuma on nolla. Kun spinit altistetaan voimakkaalle ulkoiselle magneettikentälle ( $B_0$ ), ne järjestäytyvät kahteen tilaan; joko magneettikentän suuntaisesti tai sitä vastaan. Ulkoisessa magneettikentässä vety-ytimet pyörivät hyrrämäisesti akselinsa ympäri eli prekessoivat. Prekession taajuus eli Larmor-taajuus on magneettivuon tiheyden ja ytimelle ominaisen gyromagneettisen suhteen tulo. Magneettivuolla tarkoitetaan staattisen  $B_0$ -magneettikentän voimakkuutta. Prekessoivat vety-ytimet muodostavat magneettikentän suuntaisen nettomagnetointuman. Tämän staattisen kentän lisäksi ytimeen kohdistetaan nopeasti muuttuva radiotaajuinen (RF) pulssi, joka pyrkii poikkeuttamaan ytimen magneettisen kentän suuntaan staattisen kentän suunnasta. Tällöin ytimen sisäisen kentän kääntö absorboi energiaa ja ytimen kenttä siirtyy korkeampaan energiatilaan eli virittyy. Viritys poikkeuttaa nettomagnetointumaa alkuperäisestä ulkoisen magneettikentän suuntaisesta tasapainotilasta. RF-pulssi virittää vain ne ytimet, joiden Larmortaajuus vastaa sen taajuutta. Kun RF-pulssi poistetaan, niin magneettinen tila palautuu takaisin alempaan energiatilaan staattisen kentän suuntaiseksi. Tällöin vapautuva energia tuottaa radiotaajuisen signaalin, joka indusoi heikon jännitteen kuvantamislaitteen vastaanottavassa käämissä eli kuvauskelassa, mistä se vahvistetaan ja muunnetaan kuvainformaatioksi. (Kaasalainen 2007, 7–11.)

Tämä signaali yksistään ei kuitenkaan riitä tuottamaan kuvaa magneettiputkessa olevasta potilaasta, koska sitä paikkaa potilaasta, mistä mikäkin signaali on lähtöisin, ei tiedetä. Tämän paikkainformaation saavuttamiseksi täytyy käyttää magneettikentän gradientteja. Gradientilla muutetaan staattista kenttää hieman. Gradientilla saadaan protonit prekessoimaan nopeammin tai hitaammin riippuen paikasta. Nopeammat tai hitaammat prekessiot havaitaan korkeampina tai matalampina taajuuksina MR-signaalissa, joten taajuusmittausten avulla voidaan eri paikkojen MR-signaalit erottaa toisistaan. Gradientteja voidaan käyttää missä tahansa suunnassa, jolloin saadaan haluttua informaatiota eri leikesuunnista. (Kaasalainen 2007, 7 – 11.)

### 3.4 Radiolääkkeet

Kemiallista yhdistettä, johon on liitetty radionuklidi ja joka on sellaisessa muodossa, että sitä on mahdollista antaa ihmiselle, nimitetään radiolääkkeeksi. Isotooppilääketieteessä käytetään radioaktiivisia isotooppeja avolähteinä radiolääkkeiden muodossa sairauksien tutkimiseen, hoitoon ja tieteellisiin tutkimuksiin. Radiolääkkeiden valmistus tapahtuu radiokemian laboratoriossa. Radiolääkkeessä radionuklidi on liitetty erilaisiin biokemiallisilta-, fysiologisilta- tai metabolisilta ominaisuuksiltaan mielenkiintoisiin kemiallisiin yhdisteisiin. Näiden yhdisteiden avulla käytettävän radionuklidin tulisi haakeutua mahdollisimman selektiivisesti tutkittavaan elimeen tai kudokseen. Radiolääkkeellä ei ole farmakologista vaikutusta, sillä lääkeaineen määrä on pieni, ja sen tehtävä on ainoastaan kuljettaa radiolääke haluttuun kohteeseen. Radiolääkkeen kertyminen haluttuun kudokseen voi tapahtua mm. aktiivisen kuljetusmekanismin, diffuusion, tai fagosytoosin välityksellä. Radiolääke annetaan muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta suonensisäisesti. (Korpela 2004, 228.)

PET-tutkimuksessa käytettäviä radionuklideja valmistetaan hiukkaskiihdyttimellä. Koska käytettyjen isotooppien puoliintumisaika on lyhyt, valmistuksen on tapahduttava lähellä käyttäjää. Tavallisimmin käytettävät radioisotoopit ovat  $^{15}\text{O}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{11}\text{C}$  ja  $^{18}\text{F}$ . Näiden puoliintumisajat ovat vastaavasti 2, 10, 20 ja 110 minuuttia. Merkkiaineita voivat olla vesi, veren sokeri, happi, rasvahappo, aivotoiminnan välittäjäaineet ja esim. syöpätutkimuksessa spesifit vasta-aineet. Isotoopilla leimattu merkkiaine käyttäytyy elimistössä samalla tavoin kuin kyseinen yhdiste luonnollisestikin käyttäytyy, jolloin voidaan mm. monitoroida verenvirtausta (vesi) ja aineenvaihduntatapahtumia (glukoosin- ja hapenkuutus). (Puumala 2003.)

Tavallisin PET- kuvauksessa käytettävä merkkiaine on radiofluoria sisältävä 2- $^{18}\text{F}$ -2-deoksi-D-glukoosi (FDG). PET-kuvantamisessa käytettävät radionuklidit, muun muassa  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  ja  $^{15}\text{O}$ , ovat alkuaineita, joita esiintyy ihmiskehon aineenvaihdunnassa osana luonnollisia kantajamolekyylejä. Tämän vuoksi kantajamolekyylien leimaaminen ei niiden kohdalla muuta niiden rakennetta tai biologista käyttäytymistä.  $^{18}\text{F}$  on kuitenkin poikkeus, sillä se korvaa yleensä vetyatomien, jolloin leimattu molekyyli käyttäytyy hieman eri tavalla kuin alkuperäinen molekyyli. FDG muuntuu kuitenkin samalla tavalla kuin glukoosi kemiallisen reaktion vaikutuksesta 2-deoksiglukoosi-6-fosfaatiksi, jolloin se jää soluun ja kertyy kudoksiin, joissa glukoosiaineenvaihdunta on nopeaa. Tällaisia kudoksia on esimer-

kiksi aivoissa, jotka käyttävät glukoosia energian lähteenään ja syöpäkudoksessa, missä solut tarvitsevat paljon energiaa nopean jakautumistahdin ylläpitoon. Tästä syystä <sup>18</sup>FDG soveltuu erityisen hyvin onkologiseen kuvantamiseen. (Korpela 2004, 232–233.)

### 3.5 Säteily- ja magneettiturvallisuus

Säteilylajit jaotellaan joko ionisoivaan tai ionisoimattomaan säteilyyn sen perusteella, miten se reagoi kohtaamansa aineen kanssa. Ionisoiva säteily sisältää paljon energiaa, joten se voi ionisoida atomin eli synnyttää siihen sähkövarauksen. Sähkövaraus voi puolestaan aiheuttaa kemiallisia muutoksia kudoksessa. Ionisoiva säteily voi pieninäkin annoksina aiheuttaa solun perimään vaurioita ja mutaatioita. Yksittäinen mutaatio eli solun perimäkoodin muutos ei vielä välttämättä aiheuta syöpää, mutta jos mutaatioita kertyy soluperimään useita, solusta saattaa kehittyä syöpäkasvain vuosienkin kuluttua altistuksesta. Pienintä turvallista säteilyannosta ei tunneta. Tästä syystä säteilynkäytön turvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Säteilyturvallisuus pitää sisällään kaikki ne toimet, joilla pyritään ehkäisemään, torjumaan ja minimoimaan ionisoivan säteilyn haittavaikutuksia. (Energiateollisuus 2007, 5-20.)

Säteilysuojelun pyrkimyksenä on suojata ihmisiä, yhteiskuntaa, ympäristöä ja tulevia sukupolvia säteilyn haittavaikutuksilta rajoittamatta kuitenkaan liaksi tarpeellista ja perusteltua säteilyn käyttöä. Säteilyn käyttö ja muu säteilytoiminta on hyväksyttävää silloin, kun se täyttää sille Säteilylaissa (1991, 2§) asetetut vaatimukset ja periaatteet. Säteilyn käytöllä saavutettava hyöty on oltava suurempi kuin toiminnasta aiheutuva haitta (oikeutusperiaate). Toiminnan tulee olla siten järjestetty, että siitä aiheutuva terveydelle haitallinen säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista (optimointi- eli ALARA-periaate, As Low As Reasonably Achievable). Yksilön säteilyaltistus ei myöskään saa ylittää ennalta määriteltyjä annosrajoja (yksilönsuojaperiaate). (STUK 2013.)

Magneettikuvauksen turvallisuuden kannalta tulee ottaa huomioon sekä staattisen että vaihtuvan magneettikentän, radioaaltoenergian ja magneettikontrastiaineiden aiheuttamat mahdolliset haitat ja vaaratilanteet. Magneettikenttien biologisia vaikutuksia on tutkittu paljon ja käsitykset vaihtelevat. Yleisesti magneettikenttien vaikutuksia kudoksille pidetään kuitenkin vähäisinä. Fysiologisia, jo altistuksen aikana ilmeneviä vaikutuksia sen sijaan on todettu. Nämä vaikutukset ovat kuitenkin luonteeltaan ohimeneviä ja palautuvia, esimerkiksi lämmön nousu kudoksissa. Haittavaikutusten välttämiseksi altistusta on kuitenkin suositeltavaa rajoittaa. (Huurto, Jokela ja Servomaa 1993, 26–38.)

Vaikka magneettitutkimuksessa ei käytetä ionisoivaa säteilyä, PET- tutkimuksessa käytettävät radioaktiiviset aineet ovat gammasäteileviä avolähteitä ja niiden käsittelyssä ja annostelussa on huomioitava potilaan ja henkilökunnan säteilysuojelu. Työntekijöiden mahdollinen altistus tapahtuu radiolääkkeen valmistelussa ja annostelussa sekä tutkimusaineinjektioiden ja kuvausten yhteydessä. Henkilökunnan tärkeimmät säteilyltä suojautumisen keinot ovat etäisyyden pitäminen avolähteeseen (ra-

diolääke ja potilas) ja mahdollisimman lyhyt oleskeluaika avolähteiden vaikutusalueella. Myös väliaineen, -eli lyijyvuorausten ja suojien- hyödyntäminen on tärkeä keino vähentää säteilyn tarkoitukse- tonta absorptiota. Säteililyöntekijöiden ja väestön yksilöiden säteilysuojelu tapahtuu muun muassa rakenteellisin keinoin huolehtimalla valmistelu- ja kuvaushuoneiden lyijyvuorauksilla seinärakenteilla ja mahdollisuudella pitää riittävästi etäisyyttä toisiin potilaisiin ja henkilökuntaan. (STUK 2008.)

Varmistamalla potilaan henkilöllisyys ja oikea, annoskalibraattorilla mitattu määrä radiolääkettä varmistetaan säteilynkäytön oikeutus ja optimointi potilaan osalta. Optimointia on niin ikään lääkeai- neinjektion ajoittaminen niin, että kuvaushetkellä säteilyn määrä on optimaalinen kuvauksen tulok- sen suhteen. Myös tarkka dokumentointi annetusta radionuklidista, aktiivisuudesta ja injisointiajasta on tärkeä osa säteilyturvallisuu- ta. Nykyään käytettävät automaattiset annostelijat ovat auttaneet henkilökunnan säteilyaltistuksen vähentämisessä ja vähentäneet inhimillisen virheen mahdollisuutta radiolääkkeen injisointiprosessissa. (STUK 2008.)

Magneettiturvallisuus koostuu useista osa-alueista, jotka voidaan jaotella suoriin ja epäsuoriin vaiku- tuksiin. Suorat vaikutukset liittyvät vaihtuviin magneetti- ja radiotaajuisten kenttien suureen vaihte- luun ja niiden biologisiin ja fysiologisiin vaikutuksiin. Epäsuorat vaikutukset puolestaan liittyvät voi- makkaan magneettikentän ja ferromagneettisten aineiden vuorovaikutukseen. Sähkömagneettisen kentän muutoksen ollessa yli 100kHz, sen luovuttama energia absorboituu kudoksissa lämmöksi. Magneetikuvauksessa kudokseen absorboituneen RF-energian lämpövaikutus riippuu monesta teki- jästä mm. potilaan massasta, johtavuudesta, ruumiinlämmöstä, ympäristön lämpötilasta ja veren- kierrosta. Lämpövaikutusta mitataan yleisesti SAR-arvolla (Specific Absorption Rate). Myös potilaan paino, pituus ja ikä vaikuttavat siihen. Lapsilla, raskaana olevilla naisilla ja henkilöillä, joiden läm- mönsäätelykyky on alentunut, kehon lämpötila ei saa nousta yli 0,5 °C. Erityisen tärkeäksi tämä tar- kastelu on tullut 3 Teslan kuvantamislaitteiden yleistyessä, koska SAR-arvo kasvaa eksponentiaali- sesti suhteessa kenttävoimakkuuteen ja RF-taajuuden kasvaminen suurentaa niin ikään SAR-arvoa. RF- säteilyn vaikutukseen liittyy myös laitteiston kunto, potilaan asettelu, sekä mahdollisten vieras- esineiden olemassaolo potilaassa. Vaikka nykyisen tiedon perusteella magneetikuvauksen aiheut- tama altistus ei ole vaaraksi sikiölle, niin silti suositellaan, että magneetikuvauksen korvattaisiin ultraää- nitutkimuksella raskauden ensimmäisen kolmanneksen aikana jos tämä on mahdollista. Magneettite- hosteainetta (esim. gadolinium) käytettäessä on huomioitava, että ne voivat aiheuttaa allergisia re- aktioita. Hoitajille sähkömagneettiselle kentälle altistumista aiheuttavat työvaiheet ovat kelojen vaihto, potilaan asettelu, tehosteaineen laitto, sekä mukana olo pelokkaan potilaan seurana kuvauk- sen aikana. Lääkäreille puolestaan altistusta aiheuttavat interventionaali- ja intraoperatiiviset tutki- mukset. (Huurto ym. 1993, 26–38.)

Biologisten ja fysiologisten vaikutusten ohella magneetikuvauksessa käytettävillä kentillä on epäsuo- ria vaikutuksia tutkimuksen turvallisuuteen. Tällaisia vaikutuksia ovat pääasiassa erilaisten esineiden sähköisiin tai ferromagneettisiin ominaisuuksiin liittyvät vaaratilanteet. Erilaisten sähköisesti tai mag- neettisesti aktiivisten implanttien ja laitteiden (esim. sydämentahdistin, lääkeainepumppu) toiminta voi häiriintyä vakavasti magneettikenttien vaikutuksesta. Tietyn tyyppiset sunttiliittimet, kirurgiset

hakaset tai muut implantit voivat kiertyä, irrota tai lämmetä voimakkaasti staattisen magneettikentän vaikutuksesta. Tästä syystä implantin tarkka tyyppi on tiedettävä, ennen kuin magneettikuvaus voidaan aloittaa. On myös huomioitava, että 1,5 Teslan laitteelle soveltuvat potilaat eivät välttämättä sovellu 3 Teslan laitteella kuvattaviksi. Vaaratilanteita voi syntyä myös, kun voimakas magneetti vetää puoleensa ferromagneettisia esineitä ns. projektiili-ilmiön vuoksi; ferromagneettinen esine -esimerkiksi teräksinen happipullo tai tippateline- lähtee yllättäen liikkeelle magneetin vetämänä ja sinkoutuu voimakkaasti magneettia kohti ruhjoen tiellään olevia esineitä tai ihmisiä. (Huurto ym. 1993, 26–38.)

#### 4 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opinnäytetyössä esiteltiin PET-MRI yhdistelmäkuvantamismenetelmä sekä koottiin taulukkoon kirjallisuuskatsauksen avulla saatu ajankohtaisin tieto sen eduista ja käyttökohteista onkologiassa. Tavoitteena oli tuottaa luotettavaa suomenkielistä tietoa uudesta hybridikuvantamismenetelmästä röntgenhoitajaopiskelijoiden ja röntgenhoitajien sekä muiden aiheesta kiinnostuneiden terveydenhuoltoalan ammattilaisten käyttöön.

Opinnäytetyötä ohjaavat tutkimuskysymykset olivat:

1. Miten <sup>18</sup>FDG PET-MRI- tutkimusta voidaan hyödyntää onkologiassa?
2. Millaisia ongelmia menetelmään vielä liittyy?

## 5 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

### 5.1 Menetelmänä kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Yksi yleisimmin käytetyistä kirjallisuuskatsauksen perustyypeistä etenkin hoito- ja terveystieteellisessä tutkimuksessa on kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Sitä voi kuvata yleisluontoiseksi katsaukseksi ilman tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä. Käytetyt aineistot ovat laajoja ja aineiston valintaa eivät rajaa yhtä tiukat metodiset säännöt kuin esimerkiksi systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa. Tutkimuskohdetta voidaan kuitenkin kuvata laajasti ja tarvittaessa luokitella tutkittavan asian tai ilmiön ominaisuuksia. Tutkimuskysymykset ovat väljempää kuin systemaattisessa katsauksessa tai meta-analyyseissä. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus toimii itsenäisenä tutkimusmenetelmänä, mutta se tarjoaa myös uusia tutkittavia ilmiöitä systemaattista kirjallisuuskatsausta varten. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus perustuu tutkimuskysymykseen ja tuottaa valitun aineiston perusteella kuvailevan, laadullisen vastauksen. (Salminen 2011, 6.)

Kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella pyritään usein esimerkiksi etsimään vastauksia kysymyksiin, mitä ilmiöstä tiedetään tai selvittämään ilmiön keskeisiä käsitteitä. Tarkoituksena voi olla tutkia sitä, millaista vallitseva keskustelu ilmiöstä on ja mitä kehityssuuntia ja teorioita tiedosta on olemassa. Silloin voidaan pyrkiä tunnistamaan, vahvistamaan tai kyseenalaistamaan aikaisemman tutkimuksen esiin nostamia kysymyksiä, mutta myös tunnistamaan aikaisemman tiedon ristiriitoja tai tiedossa olevia aukkoja. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymys on usein konkreettisen kysymyksen muodossa ja valittua kysymystä voidaan tarkastella joko yhdestä tai useammasta näkökulmasta tai tasosta. Hyvän tutkimuskysymyksen edellytyksenä on, että se on riittävän täsmällinen ja rajattu, jotta ilmiötä on mahdollista tarkastella syvällisesti. Toisaalta tutkimuskysymyksen väljyys mahdollistaa ilmiön tarkastelemisen useammasta näkökulmasta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät tutkimuskysymykset limittyvät osittain päällekkäin, jolla pyritään saamaan katsauksesta mahdollisimman kattava nimenomaan tutkimusmetodin käytettävyyden kannalta. Vaikka kuvaileva kirjallisuuskatsaus on kokonaisuudessaan kirjallisuusperusteinen, tuotetun tuloksen pohdinta on olennainen osa katsauksen sisältöä. (Kangasniemi, Utriainen, Ahonen, Pietilä, Jääskeläinen ja Liikanen 2013, 294.)

### 5.2 Aineiston hankkiminen

Kirjallisuuskatsauksen tekijältä edellytetään valikoivuutta, analyttisyyttä ja kriittisyyttä aineistoa hankkiessa ja valittaessa. Katsaukseen otetaan mukaan vain tutkimusaiheeseen liittyvä kirjallisuus ja kriittisyys materiaalin valinnassa on tärkeää. Kirjallisuuskatsauksen laatiminen edellyttää kykyä lukea analyttisesti ja arvioivasti. (Montonen 2011, 15.)

Aineisto kirjallisuuskatsaukseen hankittiin kirjallisuushaulla eri tietokannoista. Jotta aiheeseen liittyvää tutkimustietoa saataisiin mahdollisimman kattavasti, käytettiin useita tietokantoja. Aineiston hankintaprosessi sisältää sekä varsinaiset haut että relevantin kirjallisuuden valinnan. Tietokantahaikuja varten muodostettiin soveltuvia, tarkasti suunnattuja hakusanoja ja niistä muodostettuja haku-

lausekkeita. Aineistoa haettiin Science Direct, Cinahl, Medic, ja PubMed- tietokannoista. Aluksi tiedonhaku tehtiin ensimmäiseen tutkimuskysymyksen liittyen. Hakusanoina käytettiin sanoja "Positron-Emission Tomography", "Magnetic Resonance Imaging", "PET/MRI", "cancer" ja "Oncology" sekä suomenkielisessä Medic-tietokannassa sanoja "positroniemiissiotomografia, "magneettikuvaus" ja "syöpä". Aineistona päätettiin käyttää ainoastaan verkkojulkaisuja, sillä julkaisut ovat kansainvälisiä ja niiden paperiversioita olisi ollut erittäin hankalasti saatavilla. Tämän vuoksi myöskään manuaalista tiedonhakuja ei tehty.

Hakusanot yhdisteltiin lausekkeiksi Boolean logiikaksi kutsutulla menetelmällä, jossa AND-operaattorin käyttö rajaa hakuja. Se on käyttökelpoinen yhdistettäessä eri aihepiirien käsitteitä toisiinsa. AND-operaattorin käyttö kahden hakusanan välissä edellyttää, että haku löytää vain tuloksia, jotka sisältävät molemmat hakusanat. Esimerkiksi haulla "A AND B" saadaan aineistoa, joka sisältää sekä termin A että termin B. muodossa. (Pitkänen 2015.) Tässä tapauksessa on erittäin toivottavaa, että termit yhdistyvät toisiinsa, sillä PET- ja MRI tutkimuksista erikseen on tehty lukematon määrä tutkimuksia, joita ei toivota hakuun. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi eri tietokannoista tehtyjen tiedonhakujen määrälliset hakutulokset ja alustavasti katsaukseen mukaan valittujen aineistojen määrät on esitelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Hakutulokset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi.

Tietokanta	Hakulauseke	Hakutulokset	Alustavasti valitut aineistot	Katsaukseen valitut aineistot
Science Direct	"PET MRI" AND cancer (2013–2016)	53	26	2
	"PET MRI" AND oncology	16	6	4
Cinahl	"PET MRI" AND cancer (2013–2016)	6	3	1
	"PET MRI" AND oncology	23	12	1
PubMed	"PET MRI" AND cancer (2013–2016, 5 ensimmäistä hakutulossivua)	415	42	0
	"PET MRI" AND oncology (2013–2016, 5 ensimmäistä hakutulossivua)	375	38	1
Medic	Positroniemiissiotomografia AND magneettikuvaus AND syöpä (2013–2016)	3	1	0
	Positroniemiissiotomografia AND magneetti AND onkologia (2013–2016)	0	0	0
Yhteensä		891	128	9

Toiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi hakulausekkeita muuteltiin hieman. Hakusanoina päädyttiin käyttämään yhdistelmiä PET MRI AND problems sekä eriteltynä PET AND MRI AND problems. Sanan "problem" eli "ongelma" koettiin olevan yksinkertaisempi kuin "avoimia kysymyksiä", joka englanniksi käännettynä todennäköisesti tuottaisi epätoivottuja tuloksia. Merkitykseltään sanat ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi käytettiin yhdistelmää PET MRI AND pitfalls, sillä tutkimusmenetelmien ongelmia ja epäkohtia kuvataan tieteellisissä artikkeissa kyseisellä termillä, jonka voi vapaasti suomentaa "sudenkuopaksi". Eri tietokantojen hakukoneet toimivat hieman eri tavoin, mutta periaate kuitenkin säilyy samana. Kone etsii artikkeleita ja tutkimustuloksia, joiden hakusana on määritelty joku edellä mainituista sanoista tai sana löytyy esimerkiksi tekstin otsikosta tai abstraktista eli lyhennelmästä. Toiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi tehtyjen hakujen määrälliset tulokset on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Hakutulokset toiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi.

Tietokanta	Hakulauseke	Hakutulokset	Alustavasti valitut ai- neistot	Katsaukseen valitut ai- neistot
Science Direct	"PET MRI" AND problems (2013–2016)	10	1	1
	"PET MRI AND pitfalls (2013–2016)	2	1	1
Cinahl	"PET MRI" AND problems (2013–2016)	3	0	0
	"PET MRI" AND pitfalls (2013–2016)	3	1	0
PubMed	"PET MRI" AND problems (2013–2016)	16	2	0
	"PET MRI" AND pit- falls(2013–2016)	9	4	0
Medic	PET AND MRI AND ongel- mat (2013–2016)	0	0	0
Yhteensä		43	9	2

### 5.3 Aineiston valinta

Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa aineiston valintaa ohjaa tutkimuskysymys ja tarkoituksena on löytää mahdollisimman kattava ja tarkoituksenmukainen aineisto siihen vastaamiseksi. Hakustrategiaan muodostetaan mukaanotto- ja poissulkukriteerit, jotka helpottavat relevantin kirjallisuuden tunnistamista ja varmistavat, että katsaus pysyy suunnitellussa fokuksessa. Aineiston valinnassa tulee esiin menetelmän aineistolähtöinen ja ymmärtämiseen tähtäävä luonne. Soveltuvan aineiston valitseminen ja analyysi tapahtuvat osittain samanaikaisesti. Aineiston valinnassa kiinnitetään huomiota jokaisen alkuperäistutkimuksen rooliin suhteessa tutkimuskysymykseen vastaamiseen. Päämääränä on myös artikkeleiden ja tutkimusten tieteellisen laadun arviointi, eli katsaukseen valitaan laadukkaita mahdollinen materiaali. (Stolt, Axelin ja Suhonen 2015, 25–28.)

Taulukossa 1. mainitut kirjallisuuskatsaukseen alustavasti mukaan valitut aineistot valittiin otsikon ja lyhennelmän perusteella. Lisäksi mukaanottokriteerinä oli suomen tai englannin kieli sekä tutkimusten ajantasaisuus. Koska kyseessä on suhteellisen tuore ja jatkuvan tutkimuksen alla oleva kuvantamismenetelmä, hyväksyttiin katsaukseen vain 2013 tai sitä uudemmat artikkelit ja tutkimustulokset. Mikäli hakukoneessa ei ollut kirjoitusvuoden rajausta, rajattiin tulokset manuaalisesti. Lyhennelmien perusteella mukaan otettiin vain tutkimukset ja artikkelit, joissa käsiteltiin hybridikuvantamista. Pois suljettiin siis sellaiset tulokset, joissa käsiteltiin PET-, PET-TT ja MRI- kuvantamismenetelmiä erikseen tai näiden kuvien jälkikäteen tapahtuvaa fuusiointia. Myös yhteys onkologisten sairauksien kuvantamiseen tuli olla jo otsikossa tai lyhennelmässä, sillä menetelmää käytetään myös esimerkiksi neurologisten sairauksien kuvantamiseen. Lisäksi valinta rajattiin koskemaan vain <sup>18</sup>FDG:lla tehtäviä kuvauksia. Kun alustava valinta oli tehty, jäljellä oli edelleen yhteensä 137 tulosta, joten tarkempi rajaaminen oli tarpeen.

Seuraavaksi aineistoa alettiin käymään tarkemmin läpi, ja mukaanottokriteeriksi päätettiin lisätä kytkös johonkin tiettyyn syöpätyyppiin niin, että eri syövät tulisivat mahdollisimman kattavasti mukaan. Tämä rajaa pois paljon artikkeleita, joissa menetelmää esitellään yleisellä tasolla suhteellisen pintapuolisesti, jolloin vaarana on toiston lisäksi keskittyminen ainoastaan menetelmän mahdollisiin hyötyihin. Lisäksi mukaan päätettiin ottaa 1–2 tutkimusta tai artikkelia jotka käsittelevät attenuaatiokorjausta, sekä ainakin yksi artikkeli joka keskittyy pelkästään menetelmän toistaiseksi ratkaisemattomiin ongelmiin. Myös tutkimuksissa käytetty radiolääke päätettiin rajata <sup>18</sup>FDG:iin, jotta erisuuntaisia tuloksia voitaisiin verrata paremmin.

Lopulliseen kirjallisuuskatsaukseen valittuja tutkimuksia tai artikkeleita kertyi yhteensä 11 kappaletta. Kaikki valitut julkaisut olivat eri puolilla maailmaa julkaistuja englanninkielisiä alkuperäistutkimuksia, tieteellisiä artikkeleita sekä kirjallisuuskatsauksia. Katsaukseen pyrittiin ottamaan mukaan tutkimuksia mahdollisimman laajakirjoisesti eri syöpäsairauksiin tai kuvantamismenetelmän haasteisiin liittyen, jotta tuloksesta saataisiin mahdollisimman kattava suhteessa tutkimuskysymyksiin.

## 5.4 Aineiston analyysi ja kuvaus

Kirjallisuuskatsauksen aineiston analyysin ja synteessin tavoitteena on järjestää valittujen tutkimusten tuloksia ja tehdä yhteenvetoa niistä. Siihen sisältyy aineiston järjestäminen ja luokittelu sekä tutkimusten yhtäläisyyksien ja eroavaisuuksien vertailu. Lopulta kirjoitetaan synteesi, eli tuloksia tulkitaan niin, että niistä muodostuu tietoa ja ymmärrystä lisäävä kokonaisuus. (Stolt ym. 2015, 30.)

Analyysin ensimmäinen vaihe oli kuvata tutkimusten tärkein sisältö: kirjoittajat, julkaisuvuosi ja -maa, tutkimuksen tarkoitus, asetelma, aineistonkeruumenetelmät, tutkimuksen kohdejoukko, otos, päätulokset sekä vahvuudet ja heikkoudet. Osa tästä työstä tehtiin jo tutkimusten arviointivaiheessa, sillä tutkimusten arviointi ja analyysivaihe ovat kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Tässä opinnäytetyössä valitut tutkimukset koottiin kuvailevaksi taulukoksi (Liite 1.), jossa edellä mainitut asiat eriteltiin jokaisen katsaukseen valitun tutkimuksen tai artikkelin osalta. Taulukoinnilla pyrittiin jäsentämään valittua aineistoa sekä arvioimaan sen luotettavuutta ja informatiivisuutta sekä yleisellä tasolla että suhteessa tutkimuskysymyksiin, ei ainoastaan referoimaan tutkimustuloksia tai artikkeleita.

Synteessissä raportoitiin tämänhetkinen tieto, osoitettiin jatkotutkimuksen tarve, selitettiin löydöksiä ja kuvattiin tutkimusten laatua. (Stolt ym. 2015, 30–31.) Vaihe vaati huolellista aineistoon tutustumista ja sen lukemista yhä uudelleen, erityisesti tulososan ja tutkimuksen johtopäätösten osalta. Seuraavassa vaiheessa tuotettiin varsinainen katsauksen käsittelyosa, eli tutkimustuloksia vedettiin yhteen tutkimuskysymysten näkökulmasta. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa käsittelyosan rakentaminen on menetelmän ydin. Sen tavoitteena on esitettyyn tutkimuskysymykseen vastaaminen valitun aineiston pohjalta laadullisena kuvailuna ja uusien johtopäätösten tekemisenä. Varsinainen kuvailu ja päätelmät keskitettiin pohdintaan. Kuvailussa pyrittiin yhdistämään ja analysoimaan sisältöä kriittisesti sekä yhdistelemään tietoja eri tutkimuksista. (Kangasniemi ym. 2013, 296.)

## 6 TULOKSET

Tuloksia käsiteltiin valitusta aineistosta koostetun synteesisäilytyksen (liite 1) avulla. Aineisto käsittelee PET-MRI hybridikuvantamismenetelmän käyttöä yleisimpien syöpätyyppien primaaridiagnostiikassa ja levinneisyyselvittelyissä jotka ovat yleisimpiä kuvantamisen indikaatioita. Lisäksi on käsitelty menetelmän vielä ratkaisemattomia ongelmia ja MRI-pohjaista attenuaatiokorjausta. Kirjallisuuskatsauksen tulosten avulla on vastattu aiemmin määriteltyihin tutkimuskysymyksiin.

### 6.1 PET-MRI hybridikuvantamismenetelmän hyödyntäminen onkologiassa

Magneettikuvauksen olennaisin etu tietokonetomografiaan verrattuna on huomattavasti parempi pehmytkudosten erottelukyky ja kaksinkertaisen säderasituksen puuttuminen, joka on tärkeä näkökulma erityisesti lasten ja nuorten kuvantamisessa. Vaikka uusien PET-TT-laitteiden kehittyessä säteilyrisistä on saatu pienennettyä, syöpätauteja joudutaan usein seuraamaan pitkiäkin aikoja uusiutumisen riskin vuoksi. Tästä seuraa kumulatiivisen säteilyannoksen kasvua ja stokastisten säteilyn haittavaikutusten mahdollisuus lisääntyä. Lisäksi PET-MRI:n selkeitä etuja ovat PET- ja anatomisen kuvadatan keruun yhtäaikaisuus joka pienentää merkittävästi liikeartefaktoiden riskiä sekä erilaiset toiminnalliset MRI-sekvenssit kuten diffusiokuvaus (Sotoudeh, Sharma, Fowler, McConnathy ja Dehdasti 2016.)

Pään- ja kaulan alueen syöpien tutkimisessa PET-MRI on todettu erittäin käyttökelpoiseksi erityisesti primaari- tai metastasoituneen tuumorin T-luokittelussa. Covallo, Cavaliere, Aiello, Cianelli, Mesolilla, Iolio, Rossi ja Nicolai (2014) totesivat tutkimuksessaan, että MRI:n tarkka kudoskarakterisaatio on eduksi pään ja kaulan alueella, jossa on paljon pehmytkudoksia ja rakenteet ovat lähellä toisiaan. MRI-tekniikan mahdollistamat kudoksen diffuusiota ja perfuusiota korostavat kuvaussekvenssit auttavat edelleen rajaamaan entistä tarkemmin tuumorimassan terveestä kudoksesta. Tästä on etua mm. leikkauksen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Sen sijaan pään ja kaulan alueen syövän imusolmukemetastasoinnin selvittelyissä Platzek, Beuthien-Baumann, Schneider, Gudziol, Kitzler, Maus, Schramm, Popp, Laniado, Kotzerke ja van den Hoff (2014) eivät löytäneet merkittäviä etuja tai lisäarvoa PET-MRI:n käytölle verrattuna erikseen tehtäviin PET- tai magneettikuvauksiin. Tämä johtunee siitä, että käytössä olevilla menetelmillä imusolmukkeet on jo pystytty paikantamaan varsin tarkasti, joten kelvollisia perusteluita kalliimmalle ja pitkäkestoisemmalle tutkimukselle ei ole.

Vatsan ja lantion alueen syöpien kuvantamisessa PET-MRI:n on todettu suoriutuvan yhtä hyvin kuin PET-TT:n. Menetelmien herkkyys ja spesifisyys ovat samaa tasoa, mutta kuvanlaatu on PET-MRI:ssa parempi. Tutkimuksessaan Xin, Ma, Guo, Sun, Zhang, Liu ja Zhai (2015) totesivat lisäksi, että varhaisessa vaiheessa kohtusyöpää kuvannettaessa morfologiset muutokset eivät vielä näy PET-TT:llä, mutta PET-MRI paljasti muutoksia kaikissa tutkimuksessa kuvatuissa kohdun tuumo-reissa. Myös maksaleesiot olivat PET-MRI kuvista paremmin rajattavissa ja luokiteltavissa. Sen sijaan

imusolmukelevinneisyyden todettiin myös tässä tutkimuksessa olevan tarkempaa jo yleisesti käytössä olevilla menetelmillä.

Myös pehmytkudossarkooman kuvantamisen uusia mahdollisuuksia on tutkittu kliiniseen käyttöön soveltuvan PET-MRI- laitteen markkinoille tulon myötä. Schuler, Platzek, Beuthien-Baumann, Fenchel, Ehninger ja van den Hoff (2015) tutkivat PET-MRI:n mahdollisia hyötyjä sarkooman hoitovasteen arvioinnissa. Tutkimuksessa todettiin menetelmän olevan käyttökelpoinen ja parantavan hoitovasteen arvioinnin tarkkuutta verrattuna olemassaoleviin menetelmiin. Tutkimuksessa todetaan ainakin lasten ja nuorten sarkoomapotilaiden hyötyvän tiheämmästä seurannasta jonka pienempi säteilyrasitus mahdollistaa. Lisäksi tarkempi erottelukyky mahdollistaa todellisen hoitovasteen erottamisen esim. turvotuksesta tai kudoksettyydestä. Lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan, jotta menetelmän tuottamaa lisätietoa pystytään hyödyntämään tehokkaasti.

Rintasyövän tutkimukseen PET-MRI ei ainakaan toistaiseksi tuone mitään uutta mullistavaa näkökulmaa. Pace ym. (2013, 291–296) toteavat tutkimuksessaan, että kokokehon PET-MRI soveltuu rintasyövän kuvantamiseen yhtä hyvin kuin PET-TT ja tulokset korreloivat lähes täydellisesti keskenään, mutta pienemmän säteilyrasituksen lisäksi muita selkeitä etuja ei ole havaittavissa.

Keuhkosyövän kuvantamisessa TT ja myös PET-TT ovat erittäin vahvassa roolissa johtuen keuhkukudoksen tuumorien suuresta tiheyserosta, joka mahdollistaa tarkan havainnollistamisen säteilyn vaimenemiseen perustuvissa kuvauksissa. Magneettitutkimus on monin tavoin ongelmallinen keuhkojen kuvantamisessa kudoksen pienen protonitiheyden, magneettikentän epähomogeenisuuden sekä hengitys- ja sydämen liikkeen aiheuttaman artefaktin vuoksi. Fan, Sher, Kohan, Vercher-Conejero ja Rajiah (2014, 291–302) käsittelevät artikkelissaan keuhkojen PET-MRI:n teknisiä haasteita ja tulevaisuuden mahdollisuuksia. He toteavat, että tutkimusprotokollien kehittyessä PET-MRI:ta voidaan hyödyntää tehokkaasti keuhkosyövän tarkassa TNM-luokituksessa ja sillä voidaan näin ollen vaikuttaa mm. hoidon suunnitteluun. Primaaridiagnostiikan tosin arvellaan vielä pitkään nojautuvan TT:n varaan.

Yksi tärkeimmistä PET-MRI:n käyttökohteista onkologiassa tulee epäilemättä olemaan lasten tutkimukset. 3T magneetin ylivertainen pehmytkudoskontrastin ja -karakterisaation hyödyt korostuvat keskushermoston, luuytimen, välikarsinan ja lantion alueen pahanlaatuisissa kasvaimissa jotka ovat lasten ja nuorten yleisimpiä syöpätyyppejä. Tällä hetkellä käytössä olevat menetelmät edellyttävät useimmiten erillisiä PET-TT ja magneettitutkimuksia, joten kuvien yhdistelyn aiheuttamien artefaktien lisäksi päästäisiin eroon myös edellä mainittujen tutkimusten vaatimista pitkistä sedaatioista ja anestesiaista. Tärkeimpänä etuna lienee kuitenkin merkittävä säteilyrasituksen väheneminen säteilylle herkällä lapsipotilailla. Pugmire, Guimaraes, Lim, Friedmann, Huang, Ebb, Weinstein, Catalano, Mahmood, Catana ja Gee (2016, 322–329) toteavat tutkimusartikkelissaan, että PET-TT:n korvaaminen PET-MRI:lla mahdollistaa jopa 67 % efektiivisen annoksen säästön.

## 6.2 PET-MRI:n ongelmia

Toistaiseksi ratkaisemattomat keskeisimmät ongelmat ja rajoitteet PET-MRI:n onkologisessa kuvantamiskäytössä liittyvät teknisiin seikkoihin, vaimennuskorjaukseen, käyttöliittymien keskeneräisyyteen ja yleisemmällä tasolla menetelmän käyttökelpoisuuteen kliinisessä käytössä. Delson, Voert:n, Galizan Barrosan ja Veit-Haibach:n (2015, 552–559) mukaan menetelmän rakenteelliset rajoitteet juontavat juurensa perusongelmaan, eli kahden erilaisen kuvantamismenetelmän vaatiman tekniikan sulauttaminen yksiin kuoriin. Jotta laite ei kasvaisi kooltaan epäedullisen suureksi, kompromisseja oli tehtävä jo kehittämissä vaiheissa. Tämän seurauksena laitteen gantryrenas jäi erittäin pieneksi ja ahtaaksi, joka on vastoin yleistä magneettikuvauslaitteiden kehityssuuntaa. Tämä on ongelmallista erityisesti ylipainoisille ja ahtaanpaikankammoisille potilaille. Toisaalta laitteen rakenne on mahdollistanut PET- kollimaattoreiden määrän lisäämisen, jolla on suotuista vaikutus kuvakentän kokoon ja kuvanlaatuun. Joidenkin magneettisekvenssien on myös havaittu vaikuttavan PET-datan keruuseen eli gammakvanttien havaitsemiseen. Vaikkakaan tämän seikan ei ole havaittu vaikuttavan kuvanlaatuun, on ilmiö yhtä kaikki huomioitava tuloksia tutkittaessa. Näiden lisäksi teknisiin rajoitteisiin luokituu mm. käyttötilojen asettamat vaatimukset, joissa on huomioitava sekä avolähteiden käsittelyn vaatimat säteilysuojelunäkökulmat, että ulkopuolisilta radioaaltoilta suojattu faradayn häkki magneettilaitetta varten.

Menetelmän vaikeimmat ongelmat liittyvät vaimennuskorjaukseen. Koska TT:n mahdollistamaa vaimennuskorjauskarttaa ei PET-MRI:ssa luonnollisesti ole saatavissa, joudutaan turvautumaan epäsuoriin menetelmiin gammakvanttien absorboitumisen huomioimiseksi kuvarekonstruktioita tehtäessä. Tällainen menetelmä on esimerkiksi magnettikuvien segmentointi, jossa eri kudoksille (esim. keuhko, rasva, pehmytkudos, ilma) annetaan jälkikäteen tiedettyjä vaimennusarvoja ja lisätään vielä arvio muiden kohteiden (esim. kuvauskelat) vaimennusvaikutuksesta. Tämä onnistuu esimerkiksi tutkimalla kaikuajoja, jolloin signaalit vedestä ja rasvasta ovat eri vaiheissa. Kaikuajoihin perustuva vaimennuskorjaus on kuitenkin altis virheille, jolloin PET-kertymä vääristyy. (Wettenhovi 2015, 26.) Toinen mahdollisuus on käyttää tiettyjä sekvenssejä, joilla saadaan kuvannettua luukudos. Tämä huomioi luun vaimennuksen mutta toisaalta ei luustosta aiheutuvan sironnan vaikutusta spesifisyyteen. (Delso ym. 2015, 552–559)

Tutkimusmenetelmän hyötynäkökulmia pohditaan Delson ym. (2015, 552–559) artikkelissa suhteessa tutkimuksen kestoon. Ohjelmisto- ja muuta suunnittelua tarvitaan vielä, jotta tekniikan kaikki hyödyt saadaan esille ja kuvaustulokset optimoituja maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi. Tutkimuksen kesto ei saisi ylittää erillisten PET-TT- ja magneettikuvausten yhteenlaskettua kestoja. Muutoin uhkana on, että menetelmä on vain ylikallis magneettikuvauslaite. Lisäksi ohjelmistosuunnittelulla tulisi saada vältettyä yli-informaatiota magneettikuvista, kun jo pelkällä PET-kuvauksella voidaan erottaa suurin osa kasvainkudoksesta. Kuvausmenetelmän artefaktoista korostuvat erityisesti kemiallinen siirtymä, magneettikuvan metalliartefaktaan liittyvät ongelmat erityisesti proteesipotilaille sekä pehmytkudosten nestekertymien vaikutukset PET-kuvaan. Artikkelissa pohditaan myös henkilöstöpolitiikkaa; siinä esitetään, että PET-MRI-tutkimuksesta vastaisi joko tiimi johon sisältyy

erikseen sekä isotooppi- että magneettiosaamisen omaava röntgenhoitaja tai vaihtoehtoisesti molempiin modaliteetteihin erikoistunut röntgenhoitaja yksin. Joka tapauksessa erityisesti kehitteillä olevien vaativien magneettikuvassekvenssien vuoksi pitkä perehtymisjakso on tarpeen ja kaikilta ammattiryhmiltä vaaditaan monialaista osaamista.

Jin Yoon, Sung Leen ja Min Leen (2015, 32–49) katsausartikkelissa menetelmän todetaan olevan ylivoimainen joidenkin pehmytkudossyöpien levinneisyyden arvioinnissa, mutta siinä on vielä paljon kehitettävää ja kliinisen näytön puutteita. Esimerkiksi neuroendokriinisten kasvainten silmin havaittavuus oli vielä tutkimuksissa parempi PET-TT:lla. Pehmytkudossarkooman luokittelussa ja leikkauskel-  
poisuuden arvioinnissa PET—MRI:lta odotetaan paljon, mutta kliinistä näyttöä on vielä vähän. Keskeisimmän syöpien TNM- luokitteluun liittyvän ongelman todetaan kuitenkin olevan vaimennuskor-  
jauksen epätarkkuus erityisesti luustometastaaseja paikallistettaessa, sillä se johtaa helposti FDG-  
kertymän aliarviointiin.

## 7 POHDINTA

Kirjallisuuskatsauksen avulla pystyttiin vastaamaan opinnäytetyössä käsiteltäviin tutkimuskysymyksiin. Kirjallisuuskatsaukseen valitut aineistot vahvistivat ja tukivat jo teoriaosuudessa tullutta tietoa PET-MRI-hybridikuvantamismenetelmän onkologisista sovellutuksista ja siihen liittyvistä ongelmista ja rajoitteista.

### 7.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tulokset osoittavat, että PET-MRI on lupaava, mutta vielä hieman keskeneräinen kuvantamismenetelmä syöpäsairauksien kliinisessä tutkimisessa. Ylivoimaisesti eniten hyötynäkökulmia sen käytössä vaikuttaisi olevan pehmytkudosten kasvainten kuvantamisessa, erityisesti keskushermoston ja kaulan alueella, sillä tällä alueella pehmytkudoksen erottelukyvystä on tuumorin paikallistamisen ja luokittelun lisäksi hyötyä sekä levinneisyyden että hoitovasteen arvioinnissa. PET-MRI on todettu olevan erillistä PET:aa ja magneettikuvausta herkemmäksi menetelmäksi muun muassa pään ja kaulan alueen levyepiteelisyövän paikallisen levinneisyyden kartoittamisessa. Nykyisillä menetelmillä koko kehon PET-TT on yhdistetty paikalliseen magneettikuvaukseen. Nyt molemmat olisi mahdollista suorittaa yhdellä kuvantamiskäynnillä. Tämä lisää potilasystävällisyyttä ja on kustannustehokkaampaa.

Vatsan ja lantion alueen kasvaimissa magneettikuvauksen on osoittautunut tarkimmaksi menetelmäksi kasvaimen paikallisen levinneisyyden osoittamisessa. PET- ja magneettikuvan yhdistäminen on osoittautunut levinneisyysarvioinnissa yhdenvertaiseksi lantion magneettikuvauksen, vatsan tietokonetomografian ja keuhkojen röntgenkuvan kanssa. Peräsuolen, eturauhasen ja kohdunkaulan syövän leikkausta edeltävä levinneisyyden arviointi vaatii usein lantion alueen magneettikuvauksen ja koko vartalon tietokonetomografian. Etenkin näissä syövässä PET-MRI:lta odotetaan paljon, koska sama informaatio on mahdollista saada yhdellä kuvantamiskerralla. Myös yhtäaikaisen datankeruun mahdollistama liikeartefaktin parempi hallinta on PET-MRI:n selkeä etu vartalon aluetta kuvattaessa. Tahdonalainen tai tahdoton potilaan liikkuminen PET- ja TT- kuvauksen välissä aiheuttaa aina ongelmia kuvantulkinnassa. Liikettä aiheutuu paitsi potilaan korjatessa asentoa kuvauspöydällä, myös hengityksestä, sydämenlyönneistä ja suoliston sekä virtsateiden peristaltiikasta. Näitä voidaan pyrkiä eliminoimaan PET-TT:ssa esimerkiksi tahdistetuilla kuvauksilla, mutta tulokset eivät aina ole optimaalisia. Kun toiminnallinen ja anatominen tieto kerätään samanaikaisesti, myös kaikki liike talletuu kuviin samanaikaisena. Tämä vähentää artefaktia huomattavasti.

Keuhkojen primaarikasvainten kuvantamisen osalta tutkimustieto puoltaa vielä TT:n käyttöä erityisesti pienten leesiodien huonon erottuvuuden vuoksi perinteisissä magneettikuvissa. Sen sijaan diffusiokuvauksilla on saavutettu erinomaisia tuloksia keuhkonodusten paikallistamisessa ja luokittelussa. Sillä on mahdollista saada myös lisätietoa kasvaimen toiminnallisuudesta.

On todennäköistä, että PET-MRI:lla tullaan saamaan lisäinformaatiota pään ja kaulan alueen, lantion ja maksan alueen syöpäkasvaimista. Sen avulla on mahdollista saada yhdellä kuvauksella käsitys

sekä taudin paikallisesta tilanteesta, että mahdollisesta levinneisyydestä. PET:n lisääntyvä merkkiainevalikoima ja funktionaalinen magneettikuvauksen kehittäminen tarjoavat mielenkiintoisen yhdistelmän, jolla on mahdollista saada tarkkaa tietoa myös kasvaimen luonteesta, kuten sen solukkuudesta ja aineenvaihdunnasta. Tulevaisuudessa se voi olla tärkeä työkalu onkologisten hoitojen suunnittelussa.

PET-MRI-hybridikuvantamismenetelmän keskeisimmät vielä avoimet ongelmat liittyvät vaimennuskorjaukseen, käyttöliittymien keskeneräisyyteen ja yleisemmällä tasolla menetelmän käyttökelpoisuuteen kliinisessä käytössä. Vaikka lupaavia mahdollisuuksia ja selkeitä hyötynäkökulmia on paljon, menetelmän parissa tehtävä tutkimustyö on edelleen pahasti kesken. Suurimmat tekniset ongelmat on saatu vuosien kuluessa ratkaistua, mutta menetelmä on edelleen tavallaan ”vastaus vailla kysymystä”, eli kiistattomat käytön indikaatiot (lasten kuvantamista lukuun ottamatta) ovat vielä kysymysmerkkejä ja laaja tutkimusnäyttö puuttuu. Usein erittäin lähelle samoihin kvalitatiivisiin tuloksiin päästään PET-TT:lla tai PET-TT:n ja magneettikuvauksen yhdistelmällä, jotka säilyttänevät vahvan asemansa hybridikuvantamisessa vielä pitkään.

Suurin yksittäinen laitteen klinisen käytön suosiota ja laitehankintoja jarruttava tekijä on todennäköisesti hinta. Tuikeilmaisimina käytetyt puolijohdemateriaalit ja 3 Teslan magneettiteknologia ovat erittäin kalliita, joten samanaikaisen PET- ja magneettikuvauksen mahdollistavan laitteen hinta kohoaa jopa yli 3 miljoonaan euroon. Tämä luonnollisesti puoltaa monille toimijoille PET-TT:n hankintaa, sillä hankintakustannukset jäävät alle puoleen ja toisaalta ainakin vielä toistaiseksi lyhyempi kuvausaika mahdollistaa suuremmat kuvausmäärät, joka puolestaan lyhentää laitteen hinnan kuoletusaikaa. Menetelmän lopullinen läpimurto vaatineee edellä mainittujen ongelmien ratkaisemisen lisäksi uusien, spesifisten, luotettavien ja sensitiivisten radiolääkkeiden ja magneettikontrastiaineiden kehittämistä varta vasten onkologisia ja neurologisia PET-MRI-kuvauksia silmällä pitäen.

## 7.2 Luotettavuus ja eettisyys

Hyvillä tieteellisillä käytännöillä tarkoitetaan rehellisyyttä, tarkkuutta ja suoruutta tutkimustyön eri vaiheissa sekä hyvien tieteellisten toimintatapojen noudattamista ja muiden tutkijoiden kunnioittamista. Tutkimus tulee toteuttaa hyvien tieteellisten käytäntöjen mukaisesti ollakseen eettisesti hyväksyttävä. (TENK 2012.) Luotettavuus perustuu pitkälti tutkijan rehellisyyteen tutkimusprosessin aikana tehtyihin valintoihin ja ratkaisuihin liittyen. Tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa tulee pystyä arvioimaan tekemiään valintoja tutkimusprosessin kaikissa vaiheissa. Luotettavuuden arvioinnissa tutkijan tulee kyetä perustelemaan tehtyjä valintoja. (Vilkkä 2015, 196–197.)

Opinnäytetyön tiedonhaku on toteutettu hyviä eettisiä periaatteita noudattaen. Tiedonhaun eri vaiheet sekä aineiston valintakriteerit on dokumentoitu tarkasti ja aineistosta kerätyt tulokset analysoitu ja tulokset esitelty rehellisiä ja luotettavia toimintatapoja noudattaen. Tutkijoiden työtä on kunnioitettu viittaamalla asianmukaisesti heidän julkaisuihinsa tekstissä ja lähdeluettelossa.

Eri tiedontuottajien arvostus ja luotettavuus voi vaihdella paljonkin. Painetuissa lähteissä julkaisija (taustatekijä) ja julkaisu (lehti, julkaisusarja) toimii tiedon luotettavuuden ja laadun valvojana. Myös internetlähteissä tiedontuottaja tai sivuston vastaava organisaatio on sisältöjen laadun takaaja. Tutkimustiedon arviointia varten tieteellisten julkaisujen toimitukset käyttävät asiantuntija-arviointia (referee-käytäntö, peer review -vertaisarviointi) julkaistavan aineiston valinnassa. Kaupallisista tahoista yleisesti luotettavina voidaan pitää tunnettuja suuria kustantamoja sekä tietokirjallisuuteen keskittyviä kustantamoja. (Rantasaari, Laitinen ja Pitkänen 2012.)

Valitsemani aineisto koostui kymmenestä artikkelista, joiden lähteinä oli käytetty niin alkuperäistutkimuksia kuin tutkimusartikkeleitakin. Artikkeleista käy selkeästi ilmi niiden tarkoitus, perustelut, kysymys mihin vastausta haetaan ja millaisia tuloksia artikkelin kirjoittaminen tuotti. Kaikki artikkelit olivat vertaisarvioituja, ja niiden julkaisijoina toimivat suuret kustantamot ovat tunnettuja ja arvostettuja alallaan, joten niiden voidaan olettaa olevan luotettavia. Artikkelien kirjoittajat ovat alan asiantuntijoita ja kaikkien artikkeleiden lähdeluettelot ovat kattavia. Kaikki artikkelit on julkaistu kolmen vuoden sisällä, samoin kuin suuri osa artikkelien kirjoittamisessa käytetystä lähdeaineistosta, joten artikkeleiden voidaan katsoa olevan ajantasaista tietoa. Artikkeleiden johtopäätökset ja tulokset ovat pitkälti samansuuntaisia ja niiden sisältö liittyy keskeisesti tutkimuskysymyksiin vastaamiseen.

Koska kyse on kuitenkin uudesta tutkimusmenetelmästä, jonka kliininen käyttö on vielä suhteellisen vähäistä, tutkimusten aineisto on usein suppeaa. Tehdyt tutkimukset ovat lähes poikkeuksetta alustavia tutkimuksia, joiden tuloksille löytyy vain vähän vertailupohjaa. Vähäisistä tutkimusmääristä johdun myöskään kuvausprotokollat eivät ole vakiintuneita ja standardisoituja, joka osaltaan heikentää tutkimustulosten luotettavuutta. Lisäksi koska useimmat tutkimukset oli toteutettu tämänhetkisen standardin (yleensä PET-TT) yhteydessä samalla radiolääkeinjektiolla, ylittyivät suositellut aikarajat injektioon ja PET-MRI- kuvauksen välillä paljonkin. Tällä on vaikutusta radiolääkkeen aktiivisuuden määrään ja se saattaa vaikuttaa myös kuvauksen tuloksiin heikentäen tutkimuksen luotettavuutta.

Toinen opinnäytetyönä toteutetun katsauksen luotettavuuteen vaikuttava seikka on saatavilla oleva aineisto. Päätin ottaa katsaukseen mukaan vain ilmaiseksi saatavat tutkimukset ja artikkelit. Aineiston valintaa tehdessäni niitä osoittautui olevan yllättävän vähän. Uusimmat ja otsikon sekä lyhennelmän perusteella lupaavimmat tutkimukset olivat poikkeuksetta maksullisia. Tämäkin epäilemättä johtuu menetelmän tuoreudesta ja nopeasta kehityksestä; tutkimustuloksia ”janotaan” useissa laitehankintoja harkitsevissa paikoissa ja toisaalta myös laitteen jo käyttöön ottaneissa yksiköissä protokollien kehittämiseksi. Suunnitelmavaiheessa harkinnassa oli joidenkin keskeisten tutkimustulosten ostaminen omakustanteisesti, mutta ne osoittautuivat kalliiksi ja maksu olisi oikeuttanut vain lyhytaikaiseen käyttöön. Lisäksi se olisi asettanut eettisyydelle lisäkysymyksiä, kuten millä perusteella olisi valinnut maksullisia artikkeleita.

### 7.3 Oma ammatillinen kehittyminen

Oma opinnäytetyön prosessini ei täysin noudattanut perinteistä kaavaa, sillä vaihdoin työn aihetta kokonaan työsuunnitelmavaiheessa ja aloitin työn alusta nykyisestä aiheesta. Aiheen vaihdon jälkeen työ eteni varsin sujuvasti työsuunnitelmavaiheeseen ja alkoi muodostua nykyiseen muotoonsa. Työn edetessä sain rajattua aihetta ja muotoilin tutkimuskysymykset tiiviimmäksi. Aiheesta ei suoraan ole tehty suomenkielistä tutkimusta, joskin PET- ja MRI- kuvien fuusiosta oli hiljattain tehty opinnäytetyö, joka sivuaa aihetta melko läheltä. Tämä aiheutti alkuvaiheessa pohdintaa aiheen tarpeellisuudesta. Totesin kuitenkin aiheen niin erilaiseksi, että koin myös hybridikuvantamista käsittelevälle tutkimukselle olevan tarvetta.

Hotarisen (2006, 4) mukaan yksilön asiantuntijaksi kehittymisen prosessi on vuorottelua käytännön kokemuksen, teoreettisten käsitteiden opiskelun, teoretiedon soveltamisen ja uuden tiedon omaksumisen välillä. Asiantuntijuudelle välttämätön teoreettisen ja käytännöllisen tiedon integrointi voi tapahtua vain tällä tavoin. Ammatillisen osaamisen ja käytännön tiedon yhdistely tapahtuu muualla kuin perinteisessä opetuksessa. Asiantuntijuuden syntyminen ja jatkuva kehittäminen edellyttävät myös tiedollista työssä oppimista, jotta työelämän muutokset pystytään huomioimaan riittävän nopeasti. Koulutuksen ja työelämän välille tarvitaan yhä kiinteämpää yhteistyötä ja tiedon vaihtoa, jotta opiskelija saisi mahdollisimman hyvät edellytykset asiantuntijuutensa kehittämiseen. Yhtenä opinnäytetyön motivaattorina onkin toiminut ajatus, että voisin joskus tulevaisuudessa toimia kyseisen PET-MRI- kuvantamismenetelmän kliinisenä asiantuntijana ja yhdistää hankkimaani teoretietoa käytäntöön. Työn tekeminen antoi perusosaamista teoreettisen tiedon käyttämiseen käytännön työn tukena. Sain käytännön kokemusta siitä, mitä näyttöön perustuva toiminta on ja miten näyttöön perustuvia toimintatapoja luodaan.

Opinnäytetyöprosessin myötä oma asiantuntijuuteni on kehittynyt usealla eri osa-alueella. Vaikka opinnäytetyössä käsiteltävistä kuvantamismenetelmistä erillään käytettynä on pidetty koulutuksen puitteissa teoriakurssit ja olen työharjoittelussa ollut tekemisissä kyseisten kuvausmenetelmien kanssa, työn tekeminen syvensi teoriaosaamistani aiheesta ja antoi selkeästi valmiuksia myös työelämään. Työskentelin opinnäytetyöprosessin aikana sädehoitoyksikössä, jossa pääsin aitiopaikalta seuraamaan syöpätautien hoitoa ja pohtimaan sekä keskustelemaan alan asiantuntijoiden kanssa siitä, mikä PET-MRI:n rooli voisi tulevaisuudessa olla sädehoidon kannalta. Sieltä oli lähtöisin myös alkuperäinen työn aihe, perustuen sen uutuusarvoon ja ajankohtaisuuteen sekä toivomus esitellä työn tuloksia osaston henkilökunnalle, mikäli tulevaisuudessa sinne työllistyn.

Radiografia- ja sädehoitotyö edellyttää röntgenhoitajalta paitsi kliinistä osaamista, myös ajan tasalla olevaa terveystieteiden ja sitä tukevien muiden tieteenalojen tuottamaa tutkimustietoa ja kykyä käyttää näitä tietoja kliinisissä tilanteissa. Röntgenhoitajan tulee kyetä arvioimaan kriittisesti työskentelyään ja siinä käyttämäänsä tietoa ja kehittää toimintaansa näyttöön perustuen. (Opetusministeriö 2006.) Teoreettisen ja tutkimuksellisen tiedonetsinnän ja lähdekritiikin taitoni ovat merkittävästi lisääntyneet, samoin kuin suomen- ja englanninkielisen ammattisanaston hallinta. Vaikka on kyse yhdistelmäkuvantamisesta, on syvempi perehtyminen molempiin modaliteetteihin erikseen (PET ja

magneetti) varmasti hyödyllistä jatkon kannalta, sillä molemat ovat vahvasti erikoisosaamista vaativia kuvantamismenetelmiä. Myös Ruohotie (2002, 9) toteaa, että etenkin tulevaisuudessa asiantuntijatehtävissä työskenteleviltä odotetaan vahvaa ammatillista osaamista, yhteistyökykyä, monitaitoisuutta, systeemistä osaamista ja oppimiskykyä. Lisääntyvät haasteet edellyttävät uusien tietojen ja taitojen omaksumista sekä ammatti-identiteetin kehittymistä ja ammatillista kasvua.

Kuten useissa opinnäytetyössä käsitellyistä tutkimuksista mainittiin, on moniammatillinen osaaminen ja perinteinen modaaliteettirajojen hälveneminen välttämätöntä tulevaisuuden työssä. Kuvausmenetelmien kehityksessä on keskeisessä roolissa saada mahdollisimman paljon tietoa yhdellä kuvauskäynnillä. Tämä edellyttää henkilökunnalta – mukaanlukien röntgenhoitajilta – osaamista niin radiologisesta anatomian kuvantamisesta kuin toiminnallisesta isotooppikuvantamisestakin. On niin ikään mielenkiintoista seurata uuden kuvantamismenetelmän alkutaipaletta ja kehittymistä sekä nähdä, tuleeko menetelmästä uusi standardi kliiniseen käyttöön vai jääkö se jo olemassa olevien keinojen varjoon pelkäksi tutkimustyökaluksi.

Aikaisempi kokemukseni ja osaamiseni tutkimuksen tekemisestä on vähäistä, jollei jopa olematonta. Tämä aiheutti valmistelu- ja tiedonkeruuvaiheessa runsaasti työtä, jotta työn rungosta ja lopputuloksesta saatiin tarkoituksenmukainen. Lähestyminen työhön aloitettiin kirjallisuuskatsauksen tekemiseen perehtymällä. Tätä varten luin alan kirjallisuutta ja tutustuin tehtyihin kirjallisuuskatsauksiin. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tuntui sopivan omiin tarkoituseriini parhaiten, joten valitsin sen työn rungoksi. Vasta tämän jälkeen pääsin käsiksi itse aineiston etsintään ja valintaan sekä käsittelyyn. Oma tietämykseni aiheesta lisääntyi työn tekemisen myötä, samoin kuin tieteellisen tiedonhaun ja kirjoittamisen taito.

Suuri työmäärä yllätti myös analyysivaiheessa. Aineisto oli kokonaan englanninkielistä ja osittain melko vaikeaselkoista. Suurin osa tutkimuksista oli suunnattu ensisijaisesti lääkäreille ja fyysikoille, joten sen lukeminen ja ymmärtäminen oli työlästä. Tieteellisen tekstin lukeminen kuitenkin kehittyi työtä tehdessä merkittävästi, etenkin kun useita tutkimuksia joutui lukemaan uudestaan ja uudestaan keskeisen tiedon löytämiseksi ja ymmärtämiseksi. Työn tavoitteena oli tuottaa suomenkielistä tietoa menetelmästä nimenomaan hoitohenkilökunnan käyttöön, jolloin tarpeettoman syvälle lääketieteellisiin tai fysikaalisiin yksityiskohtiin menemistä pyrittiin välttämään. Toisaalta esimerkiksi röntgenhoitajan ydinosaamisalueeseen kuuluvista kuvausprotokollista ei artikkeleissa juuri tietoa ollut niiden kehittymättömyyden vuoksi mutta toisaalta myös siksi, että yksiköt tapaavat yleensä rakentaa itselleen sopivimmat protokollat näyttöön perustuvan tiedon pohjalta eli ”valmiita” ratkaisuja ei useinkaan ole saatavilla.

Haasteita työn tekemiselle aiheuttivat myös rajalliset resurssit. Päädyin tekemään työn itsekseni joutuin pitkälti henkilökohtaisen elämän asettamista rajoitteista ajankäytölle. Useamman henkilön turvin työtä olisi pystytty osittamaan ja jakamaan helpottaen näin yksittäisen tekijän työtaakkaa. Lisäksi puutteellinen aikataulutusta ja työn tekemisen lykkääminen muiden asioiden tieltä aiheutti suurta painetta työn loppuvaiheeseen, jotta työ valmistuisi ajoissa. Työn yksin tekeminen mahdollisti aikataulujen lykkäämisen liiaksi eteenpäin, joten tältäkin kannalta katsottuna ryhmätyö olisi ollut toimivampi

ratkaisu. Voimavarana toimi oma kiinnostukseni aihetta kohtaan ja motivaatio saada työ ajoissa tehdyksi.

Koko työn tekemisen ajan pyrin pitämään keskiössä tutkimuskysymykset, jotka ohjasivat teoriaosion rakentumista sekä aineistohakua ja -valintaa. Tämä helpottikin erityisesti aineiston valintavaiheessa, sillä runsaasta materiaalista olisi ollut hankala valita soveltuvat tutkimukset ilman tiukkoja muuttokriteereitä. Myös sopivien hakusanojen muodostaminen oli helpompaa kysymysten pohjalta. Kysymykset pysyivät muuttumattomina koko työn tekemisen ajan ja onnistuin löytämään niihin kattavat vastaukset valitusta aineistosta. Alkuelämäni oli, että PET-MRI on tehokkaampi ja tarkempi kaikilla onkologian osa-alueilla, mutta työn edetessä kävi ilmi, että menetelmässä on vielä paljon puutteita ja osassa syöpätauteja PET-TT:n edut ovat vaikeasti ylitettävissä.

## LÄHTEET

- BOLUS, Norman, GEORGE, Remo, WASHINGTON, Johnnee ja NEWCOMER, Bradley R. 2009. PET-MRI: The Blended Modality Choice of the Future? *Journal of Nuclear Medicine Technology* [verkkoartikkeli]. [Viitattu 2016-03-14]. Saatavissa: <http://tech.snmjournals.org/content/37/2/63.full>
- COVELLO, M, CAVALIERE, C, AIELLO, M, CIANELLI, M.S, MESOLELLA, B, IORIOB, B, ROSSI, A, ja NICOLAI, E 2014. Simultaneous PET/MR head–neck cancer imaging: Preliminary clinical experience and multiparametric evaluation. *European journal of radiology* 84/2015, 1269–1276. [verkkoartikkeli]. [viitattu 2016-09-11]. Saatavissa: [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0720048X15001849/1-s2.0-S0720048X15001849-main.pdf?\\_tid=1a72fae6-a072-11e6-adf5-0000aacb35e&acdnat=1478032441\\_8f946ecb2537077fbf57e896f2db1ab5](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0720048X15001849/1-s2.0-S0720048X15001849-main.pdf?_tid=1a72fae6-a072-11e6-adf5-0000aacb35e&acdnat=1478032441_8f946ecb2537077fbf57e896f2db1ab5)
- DELSO, Gaspar, TER VOET, Edwi, DE GALIZA BARBOSA, Felipe ja VEIT-HAIBACH, Patrick 2015. Pitfalls and Limitations in Simultaneous PET/MRI. *Seminars in Nuclear Medicine* 45/2015, 552-559. [verkkoartikkeli]. [viitattu 2016-09-17]. Saatavissa: [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0001299815000550/1-s2.0-S0001299815000550-main.pdf?\\_tid=3d62fbf4-a073-11e6-b830-0000aab0f6b&acdnat=1478032929\\_6d72a8f93de19651781b0ec5115e860e](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0001299815000550/1-s2.0-S0001299815000550-main.pdf?_tid=3d62fbf4-a073-11e6-b830-0000aab0f6b&acdnat=1478032929_6d72a8f93de19651781b0ec5115e860e)
- ENERGIATEOLLISUUS 2007. Hyvä tietää säteilystä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-28]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/hyva\\_tietaa\\_sateilysta\\_lr\\_130808.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/hyva_tietaa_sateilysta_lr_130808.pdf)
- FAN, Li, SHER, Andrew, KOHAN, Andreas, VERCHER-CONEJERO, Jose ja RAJIAH, Prabhakar 2014. PET/MRI in Lung Cancer. *Seminars in Roentgenology* 49/2014, 291-303. [verkkoartikkeli]. [viitattu 2016-09-17]. Saatavissa: [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0037198X14000388/1-s2.0-S0037198X14000388-main.pdf?\\_tid=6d1e9320-a074-11e6-ae04-0000aacb35d&acdnat=1478033439\\_f8a53ad98c479e32303d7d742ef00c20](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia.fi/S0037198X14000388/1-s2.0-S0037198X14000388-main.pdf?_tid=6d1e9320-a074-11e6-ae04-0000aacb35d&acdnat=1478033439_f8a53ad98c479e32303d7d742ef00c20)
- GROVER, Vijay, TOGNARELLI, Joshua, CROSSEY, Mary, COX, Jane, TAYLOR-ROBINSON, Simon ja MCPHAIL, Mark 2015. Magnetic Resonance Imaging: Principles and Techniques: Lessons for Clinicians. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology* 3/2015, 246-255. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-05]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia.fi/science/article/pii/S0973688315004156>
- HAKALA, Juha 1999. Graduopas: melkein maisterin niksikirja. 61–239. Helsinki: Gaudeamus.
- HIETANEN, Päivi 2012. Väestö vanhenee ja lihoo – syöpä yleistyy kaikkialla. Potilaan lääkärilehti. [digilehti] [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: <http://www.potilaanlaakarilehti.fi/laakarin-aani/vaesto-vanhenee-ja-lihoo-ndash-syopa-yleistyy-kaikkialla/#.VRUHL463Sk5>

HOTARINEN, Olavi 2006. Ammatillinen kasvu ja asiantuntijuus. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Ammatillinen opettajakorkeakoulu. Opinnäytetyö. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-11-01]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/19601/TMP.objres.379.pdf>

HUURTO, Laura, JOKELA, Kari ja SERVOMAA, Antti 1993. Magneettikuvauslaitteet, niiden käyttö ja turvallisuus Suomessa 1993. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/24/074/24074757.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/24/074/24074757.pdf)

ISOLA, Jorma ja KALLIONIEMI, Anne. Kasvainsairauksien määritelmä ja jaottelu. Miten syöpä syntyy. Julkaisussa: JOENSUU, Heikki, ROBERTS, Peter, KELLOKUMPU-LEHTINEN, Pirkko-Liisa, JYRKKIÖ, Sirkku, KOURI, Mauri, LYLY, Teppo (toim.) Syöpätaudit. Helsinki: Duodecim.

JADVAR, Hossein ja COLLETTI, Patrick 2013. Competitive advantage of PET/MRI. *European Journal of Radiology* 83/2014, 84–94. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-11]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia.fi/science/article/pii/S0720048X13002829>

JIN YOO, Hye, SUNG LEE, Jae ja MIN LEE, Jeong 2015. Integrated Whole Body MR/PET: Where Are We? *Korean journal of radiology* 1/2015, 32–49.

JOENSUU, Heikki 2013. Syövän tärkeimmät hoitomuodot. Julkaisussa: JOENSUU, Heikki, ROBERTS, Peter, KELLOKUMPU-LEHTINEN, Pirkko-Liisa, JYRKKIÖ, Sirkku, KOURI, Mauri, LYLY, Teppo (toim.) Syöpätaudit. Helsinki: Duodecim.

KAASALAINEN, Touko 2007. Diagnosointi magneettitutkimuksella korkean b- arvon diffuusiokuvauksella. Pro Gradu. Helsingin yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-05]. Saatavissa: <http://per.physics.helsinki.fi/kirjasto/ont/tkaasalainen/gradu.pdf>

KANGASNIEMI, Mari, UTRIAINEN, Kati, AHONEN, Sanna-Mari, PIETILÄ, Anna-Maija, JÄÄSKELÄINEN, Petri ja LIIKANEN, Eeva 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsennettyyn tietoon. *Hoitotiede* 25/2013, 291–301. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-13]. Saatavissa: <http://elektra.helsinki.fi/se/h/0786-5686/25/4/kuvailev.pdf>

KAUHANEN, Saila, RISTAMÄKI, Raija, KAJANDER, Sami ja SEPPÄNEN, Marko 2013. Positroniemissiotomografian ja magneettikuvauksen yhdistelmällä tarkkuutta onkologiseen kuvantamiseen? *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 24/2013. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-05]. Saatavissa: [http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/uusinnumero?p\\_p\\_id=Article\\_WAR\\_DL6\\_Articleportlet&Article\\_WAR\\_DL6\\_Articleportlet\\_viewType=viewArticle&Article\\_WAR\\_DL6\\_Articleportlet\\_tunnus=duo11420&Article\\_WAR\\_DL6\\_Articleportlet\\_member=JPPpRX9\\*\\*SdU](http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/uusinnumero?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&Article_WAR_DL6_Articleportlet_viewType=viewArticle&Article_WAR_DL6_Articleportlet_tunnus=duo11420&Article_WAR_DL6_Articleportlet_member=JPPpRX9**SdU)

KORPELA, Helinä 2004. Isotooppilääketiede. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: [https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja3\\_3.pdf/5a5eba88-7559-41a4-b0b8-ebef3cad5724](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja3_3.pdf/5a5eba88-7559-41a4-b0b8-ebef3cad5724)

MONTONEN, Tero 2011. Opinnäytetyöopas. Itä-Suomen Yliopisto, Kauppatieteiden laitos. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: <https://www2.uef.fi/documents/1174654/1212008/UEFopinnaytetyo.pdf/fb4f22f9-4ada-40f1-a447-96ddea51e1cd>

OPETUSMINISTERIÖ 2006. Ammattikorkeakoulusta terveydenhuoltoon. Koulutuksesta valmistuvien ammatillinen osaaminen, keskeiset opinnot ja vähimmäisopintopisteet. Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2006:24. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-10-30]. Saatavissa: <http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2006/liitteet/tr24.pdf>

PALMGREN, Jan-Erik 2013. Sairaalaafysikko KYS Syöpäkeskus. Uudet hoitomahdollisuudet sädehoidossa. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: <http://onkologiayhdistys-yhdistysavain-fibin.directo.fi/@Bin/9e4336472c9974c6c1a725de9fc5fffe/1458121657/application/pdf/171455/kopio2013erikoistuvienpaivat-uudetmenetelmatsadehoidossa.pdf>

PACE, Leonardo, NICOLAI, Emanuele, LUONGO, Angelo, AIELLO, Marco, CATALANO, Onofrio, SORICELLI, Andrea ja SALVATORE, Marco 2013. Comparison of whole-body PET/CT and PET/MRI in breast cancer patients: Lesion detection and quantitation of 18F deoxyglucose uptake in lesions and in normal organ tissues. *European Journal of Radiology* 83 (2014) 289-296. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-05]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia.fi/science/article/pii/S0720048X13005925>

PITKÄNEN, Sari 2015. Boolean logiikka. Tieto- ja viestintäteknikan käytön oppaita ja oppimateriaaleja. Itä-Suomen Yliopisto. [verkkosivu]. [viitattu 2016-04-16]. Saatavissa: <https://wiki.uef.fi/display/opkmateriaalit/Boolean+logiikka>

PLATZEKA, Ivan, BEUTHIEN-BAUMANN, Bettina, SCHNEIDER, Matthias, GUDZIOLD, Volker, KITZLERE, Hagen, MAUSF, Jens, SCHRAMMF, Georg, POPPB, Manuel, LANIADOA, Michael, KOTZERKEB, Jörg, VAN DEN HOFFA, Jörg 2014. FDG PET/MR for lymph node staging in head and neck cancer. *European Journal of Radiology* 83/2014 1163–1168.

PUGMIRE, Brian, GUIMARAES, Alexander, LIM, Ruth, FRIEDMANN, Alison, HUANG, Mary, EBB, David, WEINSTEIN, Howard, CATALANO, Onofrio, MAHMOOD, Umar, CATANA, Ciprian ja GEE, Michael 2016. Simultaneous whole body 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography magnetic resonance imaging for evaluation of pediatric cancer: Preliminary experience and comparison with 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography computed tomography. *World journal of radiology* 3/2016, 322-330.

PUUMALA, Keijo 2003. PET. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-03-10]. Saatavissa: <https://www.sry.fi/index.php?66>

RANTASAARI, Jukka, LAITINEN, Markku ja PITKÄNEN, Jukka. Mitä-miksi-milloin. Tiedonhankinta tutkimuksen perustan rakentamisena. Päijät-Hämeen Koulutuskeskerni. [verkkosivu]. [viitattu 2016-10-10]. Saatavissa: <http://www.lpt.fi/tietokeskus/tiedonhankinta/>

ROBERTS, Peter ja JOENSUU, Heikki 2013. TNM-levinneisyysluokittelu. Julkaisussa: JOENSUU, Heikki, ROBERTS, Peter, KELLOKUMPU-LEHTINEN, Pirkko-Liisa, JYRKKIÖ, Sirkku, KOURI, Mauri, LYLÄ, Teppo (toim.) Syöpätaudit. Helsinki: Duodecim.

RUOHOTIE, Pekka 2000. Oppiminen ja ammatillinen kasvu. Helsinki: WSOY.

RUOTSALAINEN, Ulla 2003. PET-tutkimukset. Julkaisussa: SOVIJÄRVI, Anssi, AHONEN, Aapo, HARTIALA, Jaakko, LÄNSIMIES, Esko, SAVOLAINEN, Sauli, TURJANMAA, Väinö ja VANNINEN, Esko (toim.) Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

SALMINEN, Ari 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja 62. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: [http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)

SANKILA, Risto 2013. Syövän yleisyys. Julkaisussa: JOENSUU, Heikki, ROBERTS, Peter, KELLOKUMPU-LEHTINEN, Pirkko-Liisa, JYRKKIÖ, Sirkku, KOURI, Mauri, LYLÄ, Teppo (toim.) Syöpätaudit. Helsinki: Duodecim.

SCHULER, Markus, PLATZEK, Ivan, BEUTHIEN-BAUMANN, Bettina, FENCHEL, Michael, EHNINGER, Gerhard ja VAN DEN HOFF, Jörg 2015. 18F-FDG PET/MRI for therapy response assessment in sarcoma: comparison of PET and MR imaging results. *Clinical Imaging* 39/2015, 866–870. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2016-10-01]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia.fi/science/article/pii/S0899707115001448>

SEPPÄNEN, Marko ja MINN, Heikki 2013. Positroniemissiotomografia syövän uusiutumisen ennustamisessa. *Lääkärilehti* 38/2014 [digilehti]. [viitattu 2016-02-29]. Saatavissa: <http://www.fimnet.fi.ezproxy.savonia-apet-mk.fi/cgi-cug/brs/artikkeli.cgi?docn=000041736>

SOTOUDEH, Houman, SHARMA, Akash, FOWLER, Kathryn, MCCONATHY, Jonathan ja DEHDASHTI, Farrokh 2016. Clinical Application of PET/MRI in Oncology. *Journal of magnetic resonance imaging* 44/2016, 265-276.

STOLT, Minna, AXELIN, Anna ja SUHONEN, Riitta (toim.) 2015. Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turku: Turun Yliopisto.

STUK 2008. St-Ohje 6.1. Säteilyturvallisuus avolähteiden käytössä. [verkkajulkaisu] [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/3473-6\\_1.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/3473-6_1.pdf)

STUK 2013. St-ohje 1.1. Säteilytoiminnan turvallisuus. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2016-03-28]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/22496-ST1-1.pdf>

SÄTEILYLAKI 1991/592. Finlex. Lainsäädäntö. [viitattu 2016-03-28]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19910592>

TENK 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje 2012. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2016-03-12]. Saatavissa: [http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK\\_ohje\\_2012.pdf](http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf)

VILKKA, Hanna 2015. Tutki ja kehitä. Juva: PS-kustannus.

WETTENHOVI, Ville-Veikko 2015, 25-26. Aikariippuva rekonstruktio positroniemissiotomografiassa. Pro Gradu-tutkielma. Fysiikan koulutusohjelma, Itä-Suomen yliopisto, Sovelletun fysiikan laitos. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2016-03-16]. Saatavissa: [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20150121/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20150121.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20150121/urn_nbn_fi_uef-20150121.pdf)

XINA, Jun, QUANMEI, Maa, GUOA, Qiyong, SUNB, Hongzan, ZHANGA, Shaomin, LIUB, Changping ja ZHAI, Wei 2016. PET/MRI with diagnostic MR sequences vs PET/CT in the detection of abdominal and pelvic cancer. *European Journal of Radiology* 85/2016 751

## LIITE 1. SYNTEESITAUULUKKO

Tutkimuksen tekijät ja julkaisuvuosi	Tutkimuksen nimi	Tutkimusmenetelmä	Tutkimusongelma	Keskeiset tulokset	Johtopäätökset ja luotettavuus
Ivan Platzeka, Bettina Beuthien-Baumann, Matthias Schneider, Volker Gudziol, Hagen H. Kitzlere, Jens Mausf, Georg Schrammf, Manuel Poppb, Michael Laniadoa, Jörg Kotzerkeb, Jörg van den Hoffa 2014.	FDG PET/MR for lymph node staging in head and neck cancer	Prospektiivinen tutkimus; 38 potilasta joille tehtiin PET- ja MRI-tutkimukset erikseen ja hybridilaitteella	<sup>18</sup> FDG PET-MRI- kuvauksen hyödyllisyyden arviointi pään- ja kaulan alueen syöpien imusolmukelevinneytydessä.	Metastaattinen tauti löytyi 16/38 potilaalta. Sensitiivisyys ja spesifisyys ovat: MRI 65.8%/97.2%, PET 86.8%/97% ja PET-MRI 89.5%/95.2%	Menetelmällä ei saavuteta merkittäviä hyötyjä pään- ja kaulan alueen syövän levinneisyyden arvioinnissa. Spesifisyys ja sensitiivisyys ovat samaa luokkaa kuin erikseen suoritetuissa tutkimuksissa Tutkimus on vertaisarvioitu ja julkaistu kansainvälisesti arvostetussa julkaisussa eikä sen tekijöillä ole sidonnaisuuksia, joten tutkimusta voidaan pitää luotettavana.
Markus Kajo Schuler, Ivan Platzek, Bettina Beuthien-Baumann, Michael Fenchel, Gerhard Ehninger, Jörg van den Hoff 2015.	<sup>18</sup> F-FDG PET/MRI for therapy response assessment in sarcoma: comparison of PET and MR imaging results	Retrospektiivinen tutkimus; 12:lle pehmytkudossarkoomaa sairastavalle potilaalle tehtiin kokokehon PET-MRI ennen kemoterapian aloitusta ja ensimmäisen hoitosyklin jälkeen. PET- ja MRI – kuvat arviointiin erikseen ja tuloksia verrattiin.	<sup>18</sup> FDG PET-MRI- kuvauksen hyödyllisyys pehmytkudossarkooman hoidon vaikuttavuuden arvioinnissa gd-tehosteiseen MRI-kuvaukseen verrattuna	PET- ja MRI-kuvista tehdyt päätelmät olivat identtisiä 8/12 tutkimuksessa ja erosivat 4:ssä. Poikkeavissa tuloksissa 3:ssa PET- kuvaus paljasti vasteen huonommaksi kuin MRI ja yhdessä päinvastoin.	Menetelmä saattaa parantaa hieman pehmytkudossarkooman kemoterapiahoidon vaikuttavuuden arvioinnin luotettavuutta verrattuna pelkkään MRI-tutkimukseen, mutta tulokset eivät ole selkeitä ja jatko-tutkimuksia tarvitaan. Tutkimuksessa on useita rajoitteita; potilasotos on pieni, syöpälajit ovat epähomogeenisia (mukana useita eri sarkoomatyyppjejä) ja pitkäaikaisseurantaa ei ole. Luotettavuudeltaan tutkimus kuitenkin on kohdallisen hyvä; se on vertaisarvioitu ja julkaistu arvostetussa kansainvälisessä julkaisussa ja sen tekijät ovat alallaan tunnetuja asiantuntijoita.
Li Fan, Andrew Sher, Andres Kohan, Jose Vercher-Conejero ja Prabhakar Rajiah 2014	PET/MRI in Lung Cancer	Tutkimusartikkeli/katsaus, jossa on keskitytty keuhkosyövän PET-MRI-tutkimuksen tekniisiin yksityiskohtiin, kuvausprotokolliin sekä ongelmiin ja mahdollisuuksiin	Soveltuuko PET-MRI keuhkosyövän kuvantamiseen ja antaako se lisää arvoa TNM-luokitteluun verrattuna PET-TT:n?	T-luokitus: ei merkittävää etua johtuen huonommasta paikkaerotuskyvystä N-luokitus: DWI-painotteinen PET-MRI hieman sensitiivisempi kuin PET-TT ja	PET-MRI on lupaava menetelmä keuhkosyövän kuvantamisessa erityisesti ylivoimaisen pehmytkudoskontrastin ja kudostyypin eristämisen ansiosta. Myös toiminnallinen kuvantaminen tuo uusia mahdollisuuksia. Keuhkokudoksen vähäinen protonitiheys aiheuttaa kuitenkin

				väärien positiivisten mahdollisuus pienempi. M-luokitus: Ei merkittävää eroa. Sattumalöydöksenä mahdollisuus todeta infiltoivaa tuumori.	haasteita kuvausprotokollien kehittämiseksi ja niitä on edelleen tehostettava myös kuvausajan lyhentämiseksi. Artikkelin kansainvälisessä arvostetussa lehdessä julkaistu, vertaisarvioitu ja siinä on käytetty runsaasti alku-peräistutkimuksia lähteenä. Asiantuntija-artikkelit eivät kuitenkaan ole luotettavimpia mahdollisia lähteitä.
M. Covello, C. Cavaliere, M. Aiello, M.S. Cianella, M. Mesolella, B. Ioriob, A. Rossia, E. Nicolai 2014	Simultaneous PET/MR head-neck cancer imaging: Preliminary clinical experience and multiparametric evaluation	prospektiivinen tutkimus; 44 pään- tai kaulan alueen syöpäpotilasta (22 primaari, 22 metastasoitunutta kasvainta) tutkittiin biopsioiden, PET-TT:n ja PET-MRI:n avulla ja tuloksia tutkitaan toistaan tietämättä kaksi lääkäri-fysikkoparia.	Soveltuuko PET-MRI pään- ja kaulan alueen syöpien diagnostiikkaan, erityisesti T-luokitukseen ja voidaanko toiminnallinen MRI yhdistää PET-kuvaukseen ongelmitta?	Tutkijaryhmien päätelmät tuumorien koosta ja sijainnista olivat erittäin yhteneviä; primaarikasvaimissa 97% ja metastaseissa 93%. Tulosten todetaan olevan samansuuntaisia muiden vastaavien tutkimusten kanssa.	PET-MRI on erittäin käytännöllinen työkalu pään- ja kaulan alueen kasvainten tarkassa paikallistamisessa. Hyvä kudoskarakterisaatio edesauttaa mm. leikkauksen ja muiden hoitojen suunnittelua. Lupaavat tulokset diffuusiokuvauksista lisäävät menetelmän tarkkuutta entisestään. Tutkimus on julkaistu ja vertaisarvioitu ja sen tekijät ovat alansa tunnettuja asiantuntijoita. Tutkimusmenetelmät ja tulokset on esitelty selkeästi ja kattavasti. Tulokset noudattelevat yleistä linjaa.
Leonardo Pace, Emanuele Nicolai, Angelo Luongo ja Marco Aiello Onofrio A. Catalano, Andrea Soricelli ja Marco Salvatore 2013	Comparison of whole-body PET/CT and PET/MRI in breast cancer patients: Lesion detection and quantitation of 18F-deoxyglucose uptake in lesions and in normal organ tissues	36 rintasyöpäpotilasta tutkittiin ensin PET-TT:llä ja välittömästi tämän jälkeen PET-MRI:lla koko kehon protokollalla. Tuloksia vertailtiin visuaalisesti primaari-tuumorin sijainnin sekä kontrastin osalta ja radiolääkekertymää mitattiin kvantitatiivisesti.	Vertailla PET-MRI:n ja PET-TT:n suorituskykyä MRI- ja TT- pohjaisten vaimennuskorjauskarttojen välillä sekä verta radiolääkkeen kertymistä kasvainkudoksen ja normaalin kudoksen välillä.	Molemmilla tutkimusmenetelmillä löydettiin 74 leesiota. Visuaalisessa kuvantulkinnassa ei noussut esiin merkittäviä eroja. Sen sijaan laskennallisissa radiolääkekertymien mittauksissa PET-MRI:n etuna oli parempi kasvainkertymä ja heikompi terve kudoksen kertymä.	Kokokehon PET-MRI perustuen MRAC-vaimennuskorjaukseen on rintasyövän kuvantamisessa yhtä luotettava kuin perinteinen PET-TT ja sitä voidaan käyttää kliiniseen päätöksentekoon ja hoidon suunnitteluun. Mitään merkittävää etua sillä ei kuitenkaan rintasyöpätutkimukseen saada. Tutkimus on julkaistu ja tarkastettu. Tuloksissa on kuitenkin useita ristiriitaisuuksia ja virhelähteitä liittyen lähinnä radiolääkkeen laskennalliseen kertymään. Kuvaukset on esim. toteutettu samalla radiolääkeinjektioilla, jolloin aika

					injektion ja kuvauksen välillä voi vaihdella.
Jun Xina, Quanmei Maa, Qiyong Guoa, Hongzan Sunb, Shaomin Zhanga, Changping Liub ja Wei Zhai 2016.	PET/MRI with diagnostic MR sequences vs PET/CT in the detection of abdominal and pelvic cancer	45 potilasta kuvattiin ensin PET-TT:llä koko kehon protokollalla ja välittömästi tämän jälkeen PET-MRI:lla kohdennetusti tuumorialueelta. Kuvia tulkittiin kolmipisteisen protokollan mukaan; niistä arvioitiin kuvanlaatua, kuvafuusiota ja leesioiden näkyvyyttä.	Millainen on <sup>18</sup> FDG- PET-MRI:n kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen suorituskyky vatsan- ja lantion alueen tuumoreiden diagnostiikassa verrattuna <sup>18</sup> FDG-PET-TT-kuvaukseen?	66 kasvaimesta PET-TT:lla löydettiin 63 ja PET-MRI:lla 59. Molemmilla menetelmillä saavutettiin hyvä diagnostinen tarkkuus. Kuvanlaadun todettiin olevan erinomainen ja kertymäärvot korreloivat tarkasti menetelmien välillä.	PET-MRI osoittautui PET-TT:n veroiseksi vatsan- ja lantion alueen tuumoreiden paikallistamisessa ja luokittelussa. Gynegologisten syöpien diagnostiikassa PET-MRI osoittautui tarkemmaksi kuin PET-TT. Tutkimusaineistoon verrattain laaja ja tutkimus on hyvin toteutettu ja raportoitu. Julkaistu ja vertaisarvioitu sekä käyetty luotettavia lähteitä joten suhteellisen luotettava tutkimus.
Brian Pugmire, Alexander Guimaraes, Ruth Lim, Alison Friedmann, Mary Huang, David Ebb, Howard Weinstein, Onofrio Catalano, Umar Mahmood, Ciprian Catalana ja Michael Gee 2016.	Simultaneous whole body <sup>18</sup> F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography magnetic resonance imaging for evaluation of pediatric cancer: Preliminary experience and comparison with <sup>18</sup> F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography computed tomography	10 PET-MRI-tutkimusta tehtiin 7 lapsipotilaalle (12-19v) ja tuloksia tulkittiin visuaalisesti ja kertymäärvöjen (SUV) perusteella.	Esitellä alustavia tuloksia siitä, miten PET-MRI suoriutuu lasten ja nuorten onkologisessa kuvantamisessa verrattuna PET-TT:aan	20 pahanlaatuista kasvainta löydettiin molemmilla kuvausmenetelmillä. Kertymäärvot korreloivat lähes täydellisesti menetelmien välillä.	PET-MRI soveltuu erinomaisesti lasten ja nuorten onkologiseen kuvantamiseen hyvän pehmytkudoskontrastin ja pienemmän säteilyrasituksen ansiosta. Julkaistu ja vertaisarvioitu. Aineisto suhteellisen kapea. Taustalla useita menetelmällisesti tasokkaita tutkimuksia, mutta niiden potilasotannat ovat suhteellisen pieniä ja osa perustuu tutkimuskäyttöön.
Gaspar Delso, Edwi ter Voert, Felipe deGaliza-Barbosa ja Patrick Veit-Haibach 2015	Pitfalls and Limitations in Simultaneous PET/MRI	Kirjallisuuskatsaus jossa käsitellään menetelmän heikkouksia ja rakoitteita ja niihin mahdollisia ratkaisuja.	Tuottaa PET-MRI laitteen käyttäjille perustason tietoa menetelmän ongelmista, niiden vakavuudesta ja mahdollisista ratkaisuista	Kliininen näyttö on toistaiseksi vähäistä. Attenuaatiokorjaus on keskeisin ongelma.	PET-MRI on kliinisessä käytössä uutuus ja siinä on paljon potentiaalisia hyötyjä. Käyttäjiltä vaaditaan kuitenkin erittäin laajaa osaamista <u>tehokkaan</u> käytön mahdollistamiseksi. Lähteenä useita menetelmällisesti tasokkaita

					tutkimuksia, mutta niiden potilasotannot ovat suhteellisen pieniä
Hye Jin Yoo, Jae Sung Lee ja Jeong Min Lee 2015.	Integrated Whole Body MR/PET: Where Are We?	Kirjallisuuskatsaus jossa käsitellään menetelmän taustaa ja nykytilaa sekä tulevia mahdollisuuksia tehtyjen tutkimusten kautta.	Esitellä PET-MRI:n teknisen kehityksen tausta, käydä läpi menetelmän mahdollisia hyötyjä ja ongelmakohtia ratkaisumahdollisuuksineen sekä ensimmäisiä kliinisen käytön sovelluksia.	PET-MRI:n edut korostuvat pehmytkudossyöissä kuten lymfoomissa ja lapsilla ja nuorilla. Paljon lupaavia sovellutuksia mutta kaippaa vielä hiomista.	Menetelmän todetaan olevan ylivoimainen joidenkin pehmytkudossyöpien levinneisyyden arvioinnissa ja vähentävän säderasitusta, mutta siinä on vielä paljon kehitettävää ja kliinisen näytön puutteita. Artikkelin tulokset noudattelevat yleistä linjaa mutta eivät tuo juuri uutta lisätietoa aiheesta. Julkaistun paikallisessa asiantuntijajulkaisussa ja vertaisarvioitu. Lähteet vaikuttavat luotettavilta.
Felipe deGaliza Barbosa, Gustav vonSchulthess ja Patrick Veit-Haibach 2015.	Workflow in Simultaneous PET/MRI	Kirjallisuuskatsaus jossa on kartoitettu PET-MRI:n kuvausprotokollia ja työnkulun optimointia kuvaus-aikojen lyhentämiseksi ja prosessin sujuvoittamiseksi.	Millaisia ovat nykyisen kirjallisuuden valossa keskeiset näkökulmat koskien menetelmän kuvauskäytäntöjä, protokollia ja kuvantulkintaa ja miten niitä voidaan parantaa.	Toistaiseksi kirjallisuutta aiheesta on erittäin vähän ja se keskittyy enemmän pelkästään MRI:n protokolliin. PET-MRI- kuvantamisessa on yleisesti käytössä kahta linjausta; koko kehon protokolla ja paikallinen elinkohmainen protokolla. Paikallisempaa kuvausta tulisi suosia lyhempien kuvaus-aikojen vuoksi.	Kuvausprotokollien optimointi on keskeisessä roolissa kuvausmenetelmän yleistymisessä. Nyky menetelmillä kerätään paljon tarpeetonta tietoa joka kuormittaa järjestelmää ja tekee menetelmästä hieman hitaan ja kömpelön. PET-MRI:n todetaan olevan toistaiseksi paremmin soveltuva tutkimuskäyttöön kuin kliiniseen potilastyöhön. Artikkelissa on käytetty runsaasti luotettavan olaisia lähteitä ja se on veertaisarvioitu ja julkaistu tunnetussa julkaisussa. Tekijät ovat alansa asiantuntijoita ja perustelevat väitteensä hyvin.
Houman Sotoudeh, Akash Sharma, MBA, Kathryn J. Fowler M, Jonathan McConathy ja Farrokh Dehdashti 2016.	Clinical Application of PET/MRI in Oncology	Kirjallisuuskatsaus, jossa arvioidaan PET-MRI:n hyötyjä rinta-, keuhko-, ruoansulatuskanavan-, eturauhasen ja gyneologisen syövän sekä lymfooman kuvantamisessa	Käydä läpi menetelmän nykytilaa yleisimpien syöpätyyppien tutkimuksen osalta ja arvioida sen käytettävyyttä.	PET-MRI:n laajempi leviäminen kliiniseen käyttöön edellyttää erityisiä indikaatioita joilla laitteen kulut ja vaativampi kuvantulkinta pystytään perustelemaan.	Vaikka menetelmän kaikkia hyötyjä ei vielä saada hyödynnettyä, syöpätauteja joudutaan usein seuraamaan pitkäänkin aikoja uusiutumisen riskin vuoksi. PET-MRI:lla kumulatiivisen säteilyannoksen kasvua ja stokastisten säteilyn haittavaikutuksia voidaan pienentää.

					<p>Lähteitä on käytetty runsaasti ja ne ovat laadukkaita. Artikkelin kirjoittajat ovat tunnettuja ammattilaisia ja tehneet paljon tutkimustyötä. Julkaisu on niin ikään tunnettu ja alallaan arvostettu. Kirjallisuuskatsoituksen menetelmästä sen sijaan ei ole mainittu mitään joten toistettavuus on kyseenalaista.</p>
--	--	--	--	--	--