



# Deep Resolve – tekoälyrekonstruktioiden hyö- dyntäminen magneettikuvan- tamisessa

Heidi Lehikoinen  
Heidi Salo

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2024  
Hyvinvointiteknologian ylempi tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Hyvinvointiteknologian ylempi tutkinto-ohjelma

LEHIKONEN, HEIDI & SALO, HEIDI:

Deep Resolve -tekoälyrekonstruktioiden hyödyntäminen magneettikuvantamisessa

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Marraskuu 2024

Magneettikuvantaminen on vakiintunut yhdeksi diagnostisen kuvantamisen tärkeimmistä menetelmistä sen hyvän pehmytkudoskontrastin takia. Magneettitutkimuksissa lyhyt kuvausaika ja hyvä kuvanlaatu ovat diagnostisesti tärkeitä lähtökohtia tutkimukselle, mutta haasteena on magneettikuvantamisen hidas datanhankintaprosessi. Korkealaatuiseen magneettikuvaukseen kuluu aikaa samalla, kun tulisi huomioida tutkimuksen miellyttävyys potilaalle. Sen vuoksi on tärkeää pyrkiä lyhentämään kuvausaikaa samalla kun lisätään magneettikuvien resoluutiota. Siemens Healthineers on ottanut käyttöön Deep Resolve -tekniikoita kuvanlaadun parantamiseksi sekä kuvausajan nopeuttamiseksi.

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Siemens Healthineers terveysteknologia yritykselle. Tavoitteena on tutkia minkälaisia hyötyjä Deep Resolve -tekniikat ovat tuoneet magneettikuvantamiseen ja voisiko niitä hyödyntää vielä lisää. Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia Deep Resolve -tekniikoiden hyötyjä magneettikuvantamisessa haastatteleamalla Terveystalon työntekijöitä kahdesta yksiköstä, joissa kyseiset tekniikat ovat käytössä.

Opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää ja aineisto kerättiin haastatteleamalla. Haastattelut olivat puolistrukturoituja parihaastatteluja, jotka toteutettiin etäyhteyden välityksellä. Haastattelut litteroitiin ja ne analysoitiin käyttäen teemoittelua. Tutkimuskysymykset tässä opinnäytetyössä ovat seuraavat: mitä vaikutusta on Deep Resolve -tekniikoiden käyttöönotolla magneettikuvantamistutkimuksiin? Mitä hyötyjä tekniikoiden käyttöönotto on tuonut magneettikuvantamistutkimuksiin? Voiko tekniikoita hyödyntää magneettikuvantamistutkimuksissa enemmän?

Keskeisimpiä tuloksia ovat, että Deep Resolve -tekniikoiden myötä useimpien kuvauskohteiden kuvausprotokollat ovat nopeutuneet ja magneettikuvaukset sujuvat nopeammin. Deep Resolve -tekniikoita hyödyntävät magneettikuvaukset ovat myös terävämpiä ja laadukkaampia. Haasteena on joidenkin sekvenssien kohdalla hidas kuvarekonstruktion laskenta, jonka vaikutusta oli pyritty pienentämään kuvausprotokollien uudelleen järjestelyillä. Yksiköille uusien Deep Resolve -tekniikoiden käyttöönotto osui kesälomakaudelle, joka oli hieman haitannut koulutukseen osallistumista, mutta yksiköt kokivat, ettei se ollut merkittävästi vaikuttanut kuitenkaan Deep Resolve -tekniikoiden varsinaiseen käyttöön. Deep Resolve -tekniikoiden käytössä oli tärkeää pohtia, käytetäänkö niitä ensisijaisesti parantamaan kuvanlaatua vai lyhentämään kuvausajoja.

---

Asiasanat: magneettitutkimus, magneettikuvaus, tekoäly, deep resolve

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree Programme in Well-being Technology

LEHIKONEN, HEIDI & SALO, HEIDI:  
Utilization of Deep Resolve Artificial Intelligence Image Reconstructions in  
Magnetic Resonance Imaging

Master's thesis 53 pages, appendices 4 pages  
November 2024

---

Magnetic Resonance Imaging (MRI) is a crucial medical imaging method due to its excellent soft tissue contrast. High-quality MRI studies require good image quality and short imaging times. However, achieving high image quality often results in longer data collection times. Ensuring patient comfort necessitates reducing imaging time while maintaining or enhancing resolution. Siemens Healthineers has developed Deep Resolve technologies to improve image quality and accelerate imaging.

The aim was to gather information about what kinds of benefits Deep Resolve technologies has brought to magnetic resonance imaging and whether it is possible to utilize those even more. The purpose was to interview some of Terveystalo's employees to examine what benefits Deep Resolve technologies have brought to their units.

The thesis employed a qualitative method with pair interviews. In Terveystalo's units with Deep Resolve technology it has reduced imaging times, expediting MRI. They have not introduced new types of studies or imaging targets because they have mainly used it for shortening the existing imaging protocols. Terveystalo is generally satisfied with the image quality. The primary purpose of using Deep Resolve technology is to enhance image quality or reduce imaging time.

---

Key words: magnetic resonance imaging, MRI, artificial intelligence, deep resolve

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	7
3	MAGNEETTITUTKIMUKSEN KULKU .....	8
4	MAGNEETTIVANTAMINEN .....	10
4.1	Magneettikuvantamisen historiaa .....	10
4.2	Magneettikuvantamisen fysiikkaa.....	11
4.2.1	Eri painotukset magneettikuvantamisessa .....	13
4.2.2	Spinkaikusekvenssi .....	15
4.2.3	Magneettikuvantamisen haasteita .....	17
5	TEKOÄLY JA MAGNEETTIVANTAMINEN.....	20
5.1	Syväoppiminen.....	20
5.2	Tekoäly magneettikuvantamisessa .....	21
6	DEEP RESOLVE -TEKOÄLYREKONSTRUKTIOT.....	23
6.1	Deep Resolve Boost .....	25
6.2	Deep Resolve Sharp .....	25
6.3	Deep Resolve Gain .....	25
6.4	Deep Resolve Swift Brain .....	26
7	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET .....	27
7.1	Aineiston keräys.....	27
7.2	Analysointimenetelmä .....	29
7.3	Tutkimuksen tulokset .....	30
8	POHDINTA .....	39
8.1	Tulosten pohdinta.....	39
8.2	Opinnäytetyöprosessin pohdinta ja jatkotutkimusaiheet.....	41
8.3	Luotettavuus ja eettisyys.....	43
	LÄHTEET .....	46
	LIITTEET .....	50
	Liite 1. Saatekirje .....	50
	Liite 2. Tietosuojailmoitus.....	51
	Liite 3. Suostumuslomake.....	52
	Liite 4. Haastattelukysymykset.....	53

## ERITYISSANASTO

Tässä opinnäytetyössä seuraavilla sanoilla tarkoitetaan:

Kuvasarja	Magneettikuvista koostuva kuvien sarja, joka kattaa kuvauskohteesta suunnitellun osion.
Kuvausaika	Magneettikuvauksen kesto potilaan asettelusta kuvauspöydälle potilaan kuvauspöydältä pois päästämiseen.
Kuvausprotokolla	Tietylle kuvauskohteelle suunniteltu useamman sekvenssin kokonaisuus.
Magneettikuvaus	Magneettitutkimuksen osa potilaan asettelusta kuvauspöydälle potilaan kuvauspöydältä pois päästämiseen.
Magneettitutkimus	Sisältää magneettikuvauksen lisäksi kaiken potilaan sisään kutsumisesta potilaan pois lähtemiseen.
Sekvenssi	Kuvausasetusten kokoelma, jonka lopputuloksena on magneettikuvien kuvasarja.
Tutkimusaika	Potilaalle varattu aika potilaan sisään kutsumisesta potilaan pois lähtemiseen.

## 1 JOHDANTO

Magneettikuvantaminen on vakiintunut yhdeksi diagnostisen kuvantamisen tärkeimmistä menetelmistä. Ionisoivan säteilyn puuttuminen ja vertaansa vailla oleva pehmytkudoskontrasti erottaa magneettikuvantamisen muista kuvantamismenetelmistä. Vaikka nämä ominaisuudet ovat auttaneet vahvistamaan magneettikuvantamisen roolia monien patologioiden diagnosoinnissa on sen rajoittavin tekijä edelleen pitkät kuvausajat. Perinteisillä magneettikuvausmenetelmillä joudutaan tekemään kompromisseja saavuttaakseen järkevät kuvausajat. (Behl 2021, 29.) Suurimmat kuvanlaatuun vaikuttavat kompromissit tehdään kuvausajan, resoluution ja magneettikuvan kohinan välillä, jossa yhden edellä mainituista muuttaminen vaikuttaa ainakin toiseen kahdesta jäljelle jäävästä (Strenberg 2022).

Deep Resolve koostuu tekoälyrekonstruktitekniikoista, jotka perustuvat syväoppimiseen (Lee, Nickel, Thoerme & Benkert 2023, 2). Koneoppiminen ja sen osajoukko, syväoppiminen, ovat tekoälyn haaroja. (Xu, Ouyang & Yuan 2023, 1.) Syväoppimisessa neuroverkot pystyvät käsittelemään monimutkaista dataa (kuten kuvia) sellaisenaan ja löytämään itse dataa parhaiten edustavat piirteet (Huhtanen, Nyman, Karlsson & Hirvonen 2020, 1957). Deep Resolve -tekniikoiden avulla voidaan saada huomattavasti nopeampi kuvausaika samalla vähentäen magneettikuvien kohinaa, säilyttäen niiden resoluutio ja jopa parantaen kuvanlaatua (Strenberg 2022).

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Deep Resolve -tekniikoiden hyötyjä magneettikuvantamisessa. Tavoitteena oli tutkia minkälaisia hyötyjä Deep Resolve -tekniikat ovat tuoneet ja voiko niitä hyödyntää magneettikuvantamistutkimuksissa vielä lisää.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on terveysteknologia yritys Siemens Healthineers, jolta aihe-ehdotus saatiin. Tuloksista on kuitenkin kiinnostunut myös Terveystalo, jonka kahteen toimipisteeseen Deep Resolve -tekniikat ovat tulleet käyttöön vuoden 2023 aikana.

## 2 TAVOITE, TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Ennen opinnäytetyösuunnitelman aloittamista tehtiin systemaattinen tiedonhaku. Sen pyrkimyksenä oli löytää kaikki merkitykselliset aineistot tutkittavasta ilmiöstä kasvattamatta kuitenkaan hakutulosjoukkoa niin suureksi, että hakutulosten läpikäyminen olisi mahdotonta. Systemaattinen tiedonhaku liittyy yleensä systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tekemiseen, mutta ohjeita voi soveltaa kaikenlaiseen kattavaan ja perusteelliseen tiedonhakuun. (Lukin, Isojärvi, Mäkelä & Peltonen. n.d.)

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia Deep Resolve -tekniikoiden hyötyjä magneettikuvantamisessa. Niiden pääasiallinen tarkoitus on parantaa kuvanlaatua ja nopeuttaa sekvenssien kestoa ja sen myötä nopeuttaa tutkimuksia. Deep Resolve -tekniikoita on neljä: Deep Resolve Gain, Deep Resolve Boost, Deep Resolve Sharp sekä Deep Resolve Swift Brain. Opinnäytetyössä keskitytään kolmeen näistä; Deep Resolve Gain, -Sharp sekä -Boost, koska nämä kolme ovat käytössä Terveystalon kahdessa yksikössä, joissa aihetta tutkitaan. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia minkälaisia hyötyjä Deep Resolve -tekniikat ovat tuoneet magneettikuvantamistutkimuksiin nopeutuneiden sekvenssien ja paremman kuvanlaadun myötä sekä voisiko niitä hyödyntää vielä enemmän.

Tutkimuskysymyksenä on: "Mitä vaikutusta on Deep Resolve-tekniikoiden käyttöönotolla magneettikuvantamistutkimuksiin?" Alakysymyksinä ovat: "Mitä hyötyjä tekniikoiden käyttöönotto on tuonut magneettikuvantamistutkimuksiin? "Voiko tekniikoita hyödyntää magneettikuvantamistutkimuksissa enemmän?"

### 3 MAGNEETTITUTKIMUKSEN KULKU

Opinnäytetyön tekijöillä on useamman vuoden kokemus magneettitutkimusten parissa työskentelystä ja sen vuoksi magneettitutkimuksen kulun kuvaaminen perustuu pääasiassa opinnäytetyön tekijöiden omakohtaiseen asiantuntijuuteen.

Magneettitutkimuksessa on hyvin tärkeää potilaan asianmukainen esivalmistelu, johon kuuluvat esitietokaavakkeen tarkastaminen ja potilaan haastattelu. Haastateltaessa potilaalta varmistetaan kontraindikaatiot eli mahdolliset esteet magneettitutkimukselle. Mahdollisiin kontraindikaatioihin kuuluvat muun muassa kehossa olevat vierasesineet. Potilaan haastattelun ja esitietokaavakkeen tarkastamisen jälkeen varmistetaan, ettei potilaalla ole tutkimusta haittaavaa metallia myöskään kehon ulkopuolella. Tarvittaessa potilasta pyydetään vaihtamaan potilasvaatteisiin kuvauksen ajaksi.

Esivalmisteluiden jälkeen potilas pääsee kuvaushuoneeseen, jossa hänet asetetaan magneettikuvauspöydälle oikealle kohdalle kuvauskohteen mukaan. Magneettikuvauspöytä siirretään magneettikuvausputken sisälle siten, että kuvattava kohde on keskellä magneettikuvausputkea. Sen suuaukon halkaisija on yleensä 60 tai 70 cm ja se on molemmista päistä avoin, hyvin valaistu sekä ilmastoitu. (Magneettitutkimus 2023.) Potilaalle annetaan kuulosuojaimet magneettikuvauslaitteen aiheuttamaan voimakkaan äänenvuoksi. Potilaalta varmistetaan, että asento on siedettävä niin, että hän pystyy olemaan paikallaan koko kuvauksen ajan. Tämän jälkeen röntgenhoitaja poistuu magneettikuvaushuoneesta säätöhuoneen puolelle suunnittelemaan kuvasarjoja.

Magneettikuvauksessa otetaan kuvasarjoja tavallisesti kolmessa eri suunnassa, jotka sisältävät useita leikkeitä ja erilaisilla magneettikuvan painotuksilla eri kudusrakenteiden erottamiseksi. Kuvasarjat suunnitellaan kuvauskohteen, oireiden sekä radiologin ohjeistuksen mukaisesti. Toisinaan magneettikuvauksen aikana saatetaan käyttää tehosteainetta radiologin ohjeiden mukaisesti joidenkin kudusrakenteiden korostamiseksi. Magneettitutkimus kestää yleensä 15 minuuttia – 1,5 tuntia riippuen kuvattavasta kohteesta ja tarvittavista kuvasarjoista.

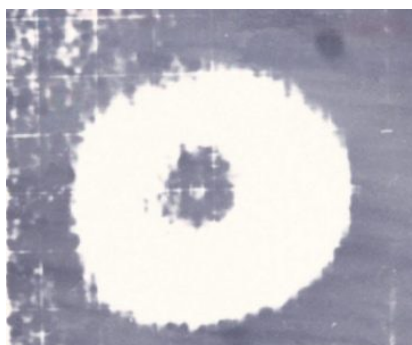
Magneettikuvauksen jälkeen potilaalta varmistetaan hänen jatkohoitonsa ja ohjataan hänet tarvittaessa seuraavaan paikkaan. Magneettitutkimus ei vaadi jälkiseurantaa eikä aiheuta rajoituksia normaaliin elämiseen. Tutkimuksessa mahdollisesti käytetty tehosteaine poistuu virtsan mukana.

## 4 MAGNEETTIVANTAMINEN

### 4.1 Magneettikuvantamisen historiaa

1960-luvulta alkaen on otettu käyttöön erilaisia kuvantamismenetelmiä muun muassa ultraääni, tietokonetomografia ja viimeisimpänä magneettikuvaus (Parhi-Riikola 2003). Magneettikuvauksen kannalta tärkeimmän pohjatyön tekivät luultavasti sveitsiläinen fyysikko Felix Bloch ja hänen yhdysvaltalainen kollegansa Edward Purcell, sillä he havaitsivat ydinmagneettisen resonanssi ilmiön. 1970-luvun alussa magneettikuvaus oli erittäin kokeellinen toimenpide, jolla ei vielä ollut mitään tekemistä lääketieteen kanssa. Se muuttui myöhemmin samalla vuosikymmenellä, kun lääketieteen teknologiayritykset alkoivat jalostaa sitä käyttökelpoiseksi diagnostiseksi menetelmäksi. Raymond Damadian, joka osallistui 1970-luvulla merkittävästi magneettikuvauksen tutkimukseen, tuotti vuonna 1977 ensimmäisen kuvan ihmisruumiista. (Grätzel von Grätz 2020a.)

Wihurin fysiikantutkimuslaboratoriossa otettiin Suomen ensimmäinen magneettikuva, oliivin poikkileikkauksesta vuonna 1981 (kuva 1). Lopulta magneettikuvaus on osoittautunut yhdeksi lääketieteen välttämättömimmäksi kuvausmenetelmäksi. (Turun Yliopisto n.d.) Magneettikuvauksen voittokulkua on kiistatta edistänyt tietokoneiden samanaikainen nopea kehitys, sillä kuvarekonstruktioit vaativat valtavaa laskentakapasiteettia (Hari 2003). Magneettikuvausten saataavuuden parantuessa myös kuvausmäärät ovat kasvaneet. Vuonna 2021 Suomessa toteutettiin jo 456 000 magneettitutkimusta. (Salonen, Rejström, Huhtanen & Huhtanen 2023, 4.)

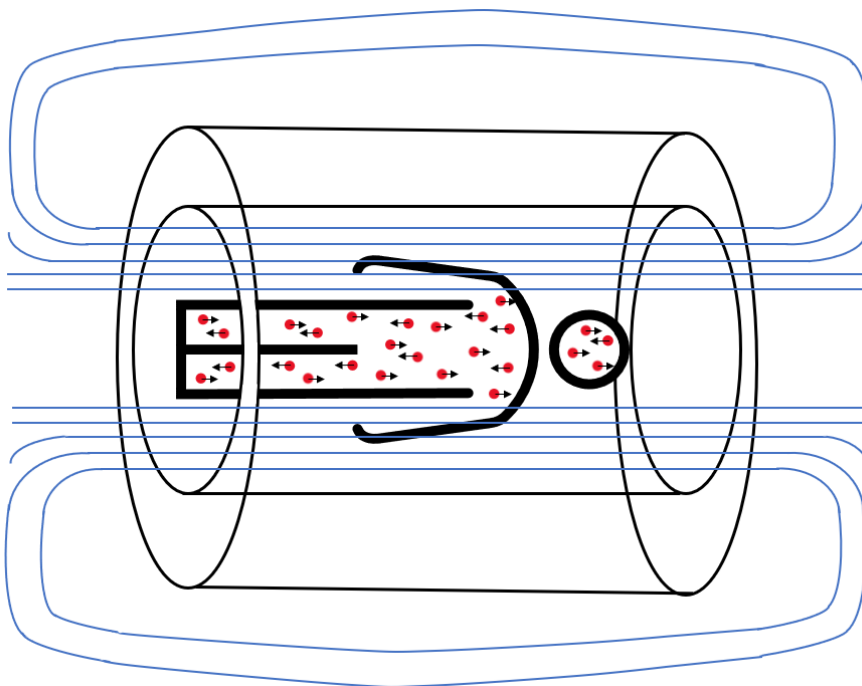


KUVA 1. Oliivin poikkileikkaus (Turun Yliopisto n.d)

## 4.2 Magneettikuvantamisen fysiikkaa

Magneettikuvantaminen perustuu kuvauskohteen protoneihin, joka on positiivisesti varautunut hiukkanen, joita on jokaisen atomin ytimessä. Vetyatomilla on ytimessään vain yksi hiukkanen, protoni, jonka vuoksi magneettikuvantamisessa hyödynnetään pääasiassa kohteen vesimolekyylejä, jotka koostuvat suurimalta osin vedystä. Positiivisesti varautuneet protonit ovat jatkuvassa pyörimisliikkeessä ja jokainen liikkuva varaus saa aikaan sähkövirran. Jokaisen sähkövirran ympärillä on pieni magneettikenttä, jolloin jokaisen pyörimisliikkeessä olevan protonin ympärillä on pieni magneettikenttä. (Chavhan 2022, 3.)

Normaalisti ihmiskehon protonit liikkuvat satunnaisesti mihin tahansa suuntaan. Mutta kun ihminen laitetaan staattiseen ulkoiseen magneettikenttään, satunnaisesti liikkuvat protonit järjestäytyvät ulkoisen magneettikentän suuntaisesti, osa samaan suuntaan ja osa vastakkaiseen suuntaan suhteessa ulkoiseen magneettikenttään (kuva 2). (Chavhan 2022, 3.)



KUVA 2. Protonien suuntautuminen ulkoisen magneettikentän mukaan.

Protonit jatkavat pyörimisliikettään myös ulkoisessa magneettikentässä, mutta siihen tulee lisäksi ulkoisen magneettikentän aiheuttama prekessioliike, jossa

protoniin tulee kiertoliikettä sen akselin suunnassa, muodostaen näin kartiomaisen liikeradan kuten esimerkiksi leluhyrällä (kuva 3) (Chavhan 2022, 3).



KUVA 3. Protonin prekessioliike (Magnets, Spins and Resonances 2023, 17).

Ulkoiseen magneettikenttään asettuneiden protonien tasapainotilaa horjutetaan virittävillä radiotaajuisilla pulsseilla (RF-pulssi) ja protonien palautuessa takaisin lähtötilaansa, eli relaksoituessaan, ne luovuttavat energiaa, joka vapautuu mitattavana signaalina (Chavhan 2022, 5; Vaara, Syväranta & Peltonen 2021, 2682). Signaali mitataan kuvauskohteen päälle asetetuilla vastaanotinkeloilla ja tietokoneet muuttavat vastaanotetun signaalin kuvaksi monimutkaisilla matemaattisilla prosesseilla. Kolmiulotteisen kuvan muodostamiseksi pitää tunnistaa mistä signaali tulee ja siihen käytetään staattisen magneettikentän lisäksi kolme erisuuntaista muuttuvaa magneettikenttää, gradientteja, jolloin jokainen protoni saadaan pyörimään omalla taajuudellaan ja näin niiden sijainti pystytään päättämään ja saadaan paikkatieto. (Chavhan 2022, 5–7.)

Yksi leike on yksi magneettikuva ja siksi leikkeenvalintagradientin avulla määritellään yksittäisen leikkeen kohta. Leikkeenvalintagradientti on ulkoisen magneettikentän (koordinaatiston Z-akselin) eli magneettikuvausputken suuntainen ja se voimistuu asteittain magneettikuvausputken päästä päähän. Leikkeen paksuuden määrittelee RF-pulssiin valittu taajuuksien joukko, mitä enemmän taajuuksia, sitä paksumpi on leike. Vaihekoodaus- ja taajuuskoodausgradientit ovat koordinaatiston X- ja Y-akselien suuntaiset ja ne auttavat määrittelemään kohdat leikkeessä, josta signaali tulee. Kaikki kolme gradienttia ovat kohtisuorassa toisiinsa ja ne ovat eri aikaan päällä sekvenssin aikana. (Chavhan 2022, 5–7.)

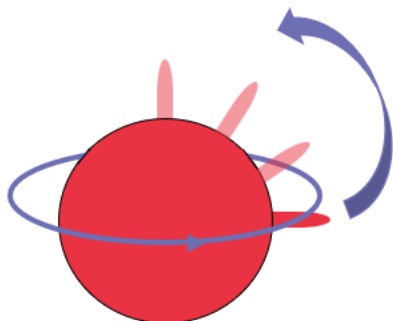
#### 4.2.1 Eri painotukset magneettikuvantamisessa

Magneettikuvantamisessa on tärkeää eri kudosten erottuvuus toisistaan ja tiettyjä kudosten ominaisuuksia saadaan korostettua erilaisilla tarkoitukseen optimoiduilla sekvensseillä, jotka ovat kokoelma kuvausasetuksia. Nämä suunnitellaan magneettikuvauslaitteille yhteistyönä radiologien, sairaalafysikoiden, röntgenhoitajien ja joskus myös laitevalmistajien edustajien kanssa. Erilaisten sekvenssien avulla saadaan eri tavoin eri kudosten suhteen painotettuja magneettikuvia. Niiden tarkoitus on saada rakenteet ja tautiprosessit erottumaan magneettikuvista paremmin ja näin kuvauskohteesta saa paremman kokonaiskäsitksen. Yhdellä sekvenssillä saadaan kuvauskohteen yhden anatomisen suunnan yhdellä tavalla painotetut leikkeet. Leikkeet muodostavat kuvasarjan. Jotta kuvaussuunnan mukaiset kudusrakenteet eivät jää näkymättä, kuvataan kohde vähintään kahdessa eri suunnassa. (Vaara ym. 2021, 2681–2682, 2684–2685.)

Magneettikuvantamisessa on olemassa kolmiulotteisen kuvatilavuuden tuottavia sekvenssejä, joista pystytään jälkikäteen laskemalla muodostamaan eri suuntaisia leikkeitä. Lasketut leikkeet eivät ole kuvanlaadulta vastaavia kuin erikseen magneettikuvaamalla hankittu vastaava kaksiulotteinen kuvasarja. Ne ovat kuitenkin hyödyllisiä, jos magneettikuvalta ei edellytetä erityistä tarkkuutta. Yksi magneettitutkimus koostuu yleensä useammasta sekvenssistä, jotka muodostavat tällöin kuvausprotokollan. Siihen valitaan sekvenssit lähetteessä olevan kysymyksenasettelun, kuvauskohteen, magneettikuvauslaitteen sekä potilaan ominaisuuksien perusteella. Jokainen lisäsekvenssi pidentää kuvausaikaa ja siksi ei ole järkevää kuvata kaikkea vaan valitaan potilaan tilan arviointiin riittävä määrä sekvenssejä. Kuvausprotokollat voivat olla potilaskohtaisia, mutta useimmiten käytetään valmiita kuvausprotokollia, jotka on suunniteltu eri kysymyksen asetteluille. (Vaara ym. 2021, 2681–2682, 2684–2685.)

T1-painotteinen magneettikuva saadaan, kun virittävällä RF-pulssilla käännetään protonia (kuva 4) ja mitataan sen jälkeen protonin palautumista pituussuunnassa. Palautumisaikaa kutsutaan pitkittäiseksi relaksaatioksi. Protonin kääntökulma vaihtelee, mitä enemmän protonia käännetään sitä enemmän kuvausaika kasvaa. Sillä on myös vaikutusta muuhunkin, kuten magneettikuvan kontrastiin, jonka vuoksi kääntökulman pitäminen pelkästään pienenä ei ole niin

yksinkertaista. Eri kudoksilla on eri pitkittäiset relaksaatioajat. Esimerkiksi vedellä on pitkä pitkittäinen relaksaatioaika ja rasvalla lyhyt, jolloin lyhyen relaksaatioajan kudokset näkyvät magneettikuvassa kirkkaina, koska ne ehtivät palautua hyvin ennen uutta RF-pulssia. (Chavhan 2022, 10, 13; Vaara ym. 2021, 2682.)



KUVA 4. RF-pulssilla  $90^\circ$  käännetty protoni palautumassa samalla pyörien preessioliikkeessä.

RF-pulssilla saadaan protonit pyörimään hetkellisesti samassa vaiheessa eli samalla taajuudella. Heti RF-pulssin jälkeen protonit alkavat palautumaan omaan tasapainotilaansa, aika joka protoneilla menee RF-pulssin jälkeen täydelliseen palautumiseen on poikittainen relaksaatioaika. Palautumisesta aiheutuvaa signaalia mittaamalla saadaan muodostettua T2-painotteinen magneettikuva. Eri kudoksilla on erilaiset poikittaiset relaksaatioajat, esimerkiksi vedellä on pitkä poikittainen relaksaatioaika eli sillä kestää pitkään palautua tasapainotilaan RF-pulssin jälkeen. Sen vuoksi siitä saadaan voimakkaampi signaali ja näin magneettikuvissa neste näkyy kirkkaana. (Chavhan 2022, 10–12, 14, 1; Vaara ym. 2021, 2682.)

Pitkittäinen ja poikittainen relaksaatio ovat saman prosessin eri osia ja halutun painotuksen mukaan määritellään sekvenssin parametrejä, jotta saadaan toivottunlaisia magneettikuvia eri kudskontrasteille. Tärkeitä parametrejä ovat muun muassa toisto aika, TR (time to repeat) eli aika, jonka jälkeen lähetetään uusi RF-pulssi. RF-pulssien välissä protonit pyrkivät palamaan lepotilaansa ja palautuessaan lähettävät signaalia. Toinen tärkeä parametri on kaiku aika, TE (time to echo) eli aika, joka kuluu RF-pulssin lopusta signaalin keräykseen. Näitä molempia parametrejä säätämällä saadaan aikaiseksi T1- ja T2 -painotteisia magneettikuvia. Esimerkiksi T2-painotteisessa magneettikuvassa käytetään pääasiassa pidempiä TR- ja TE-aikoja kuin T1-painotteisissa magneettikuvissa, jolloin

lyhyen T2-relaksaatioajan kudokset erottuvat tummempina ja pitkän T2-relaksaatioajan kudokset kirkkaampina. (Chavhan 2022, 10–12, 14, 1; Vaara ym. 2021, 2682.)

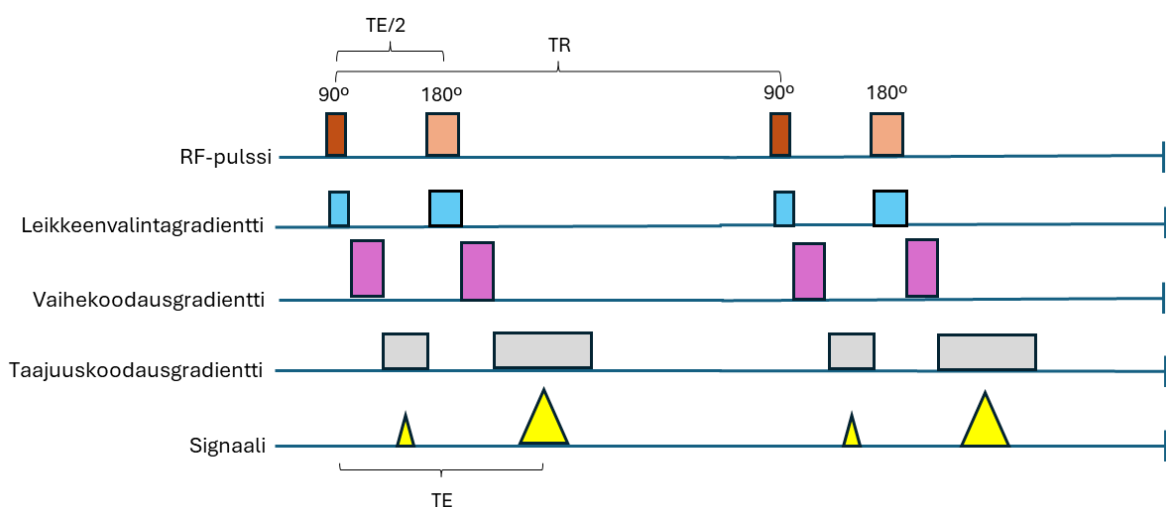
PD-painotus eli protonitiheys (proton density) magneettikuva määrittyy kudoksissa olevien protonien määrän mukaan. Kuvausparametrejä määrittelemällä saadaan pidettyä pitkittäisen ja poikittaisen relaksaation signaalimuutokset vähäisinä, jolloin saadaan esille eri kudosten välinen ero protonien määrässä. (Chavhan 2022, 15.)

Edellä mainittujen painotusten lisäksi on muitakin tapoja muokata kuvasarjoja esimerkiksi poistamalla tietyn kudoksen signaali, jotta muut kudokset korostuisivat. Tyypillisin tapa on häivyttää magneettikuvista rasvan signaali ja sitä kutsutaan rasvasaturaatioksi. Osa kuvasarjoista ei kuitenkaan ole mitään edellä mainituista painotuksista, vaan erilaisten tekniikoiden avulla on mahdollista magneettikuvata myös liikkuvia kudoksia, virtauksia ja raudan kertymää. Magneettikuvaan voidaan vaikuttaa myös antamalla potilaalle laskimoon tai injektiona niveleen tehosteainetta. Magneettikuvantamisessa käytettävä tehosteaine on gadoliniumpohjainen ja se lyhentää T1-relaksaatioaika. Tehosteainetta käytetään yleisimmin sekvensseissä, joissa neste ja rasva ovat tummia, jolloin tehosteaineella tehostuvat rakenteet erottuvat kirkkaampina muutoin tummista rakenteista. Ennen tehosteaineen laittoa tulee kuvata ensin pohjasarja ilman tehosteainetta, johon verrataan, että tehostuvalta näyttävät rakenteet todella ovat tehosteaineella tehostuneita. (Vaara ym. 2021, 2685–2686.)

#### **4.2.2 Spinkaikusekvenssi**

Sekvenssi koostuu useasta osasta, jossa RF-pulssit ja gradientit muodostavat monimutkaisen tapahtumasarjan. Sekvenssit jaotellaan usein neljään erilaiseen sekvenssityyppiin: spinkaikusekvenssi, gradienttikaikusekvenssi, IR-sekvenssi (inversion recovery) ja EPI-sekvenssi (echo planar imaging). (Chavhan 2022, 30–31.) Tämän työn kannalta olennaisin on spinkaikusekvenssi.

Spinkaikusekvenssi koostuu  $90^\circ$  ja  $180^\circ$  RF-pulsseista, joissa ensimmäinen on virittävä  $90^\circ$  RF-pulssi, jolla saadaan käännettyä protonit pois tasapainotilasta. Protonit alkava kuitenkin nopeasti palautumaan lähtötilaansa eivätkä pyöri enää samassa vaiheessa, jolloin niistä vapautuva signaali on hyvin heikko. Sen vuoksi lähetetään uudelleen vaiheistava  $180^\circ$  RF-pulssi TE/2 kohdalla. Sen avulla protonit saadaan taas pyörimään samassa vaiheessa, jolloin niistä saadaan vastaanotettua vahvempi signaali. TE-aika on spinkaikusarjoissa virittävien  $90^\circ$  RF-pulssien väli. Paikkatiedon saamiseksi leikkeenvalintagradientti on päällä samaan aikaan kuin RF-pulssi lähetetään. Vaihekoodausgradientti on päällä heti RF-pulssin jälkeen siihen asti, että signaali mitataan. Taajuuskoodausgradientti on päällä silloin, kun signaalia mitataan. Tämä kaikki toistetaan niin monta kertaa kuin määritelty magneettikuvan tarkkuus sen vaatii. RF-pulssien, TR- ja TE-aikojen sekä eri gradienttien ajankohdat ovat tiivistetty aikajanalalle (kuva 5). (Chavhan 2022, 31–32.)



KUVA 5. Spinkaikusekvenssi. Signaalin keräys toistetaan useita kertoja.

Turbospinkaikusekvenssi (TSE-sekvenssi) saadaan toistamalla  $180^\circ$  RF-pulsseja useita kertoja yhden TR-ajan sisällä, joista jokaisen jälkeen kerätään signaali. Näin signaalia saadaan kerättyä enemmän ja nopeammin ja se on yksi sekvenssien kiihdyttämismenetelmistä. (Chavhan 2022, 32–33.)

### 4.2.3 Magneettikuvantamisen haasteita

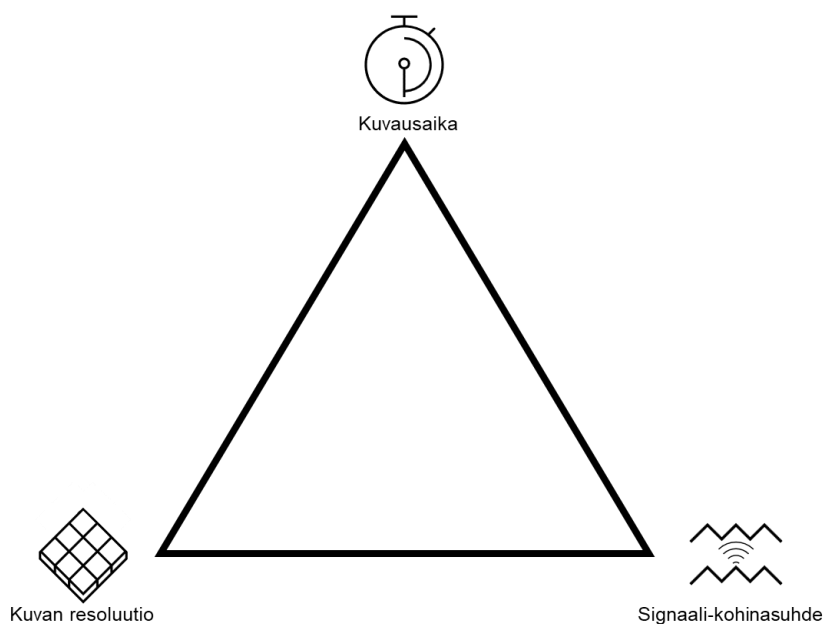
Magneettikuvantamisessa ulkoisen magneettikentän voimakkuus voi vaihdella eri laitteiden välillä. Tyypillisesti voimakkuus on 1,5 tai 3 Teslaa. Mitä voimakkaampi staattinen ulkoinen magneettikenttä on, sitä voimakkaampi signaali saadaan protonien palautuessa. Voimakkaamman signaalin avulla saadaan tarkempi tai nopeampi kuvaus, mutta ulkoisen magneettikentän voimistuessa lisääntyvät kuitenkin useat magneettikuvantamiseen liittyvät ongelmat. Näitä ovat artefaktien lisääntyminen sekä kudosten lämpeneminen ja sen vuoksi voimakkaampi magneettikenttä ei välttämättä tuo parempaa kuvanlaatua kaikissa kuvauskohteissa. (Vaara ym. 2021, 2683.) Yleisimpiä artefakteja magneettikuvantamisessa on liikeartefaktit (potilaan liike, hengitysliike, sisäelinten liike, nesteiden virtaus), aliasoituminen (kuva-alueen ulkopuolelle jäävän anatomian kiertäminen kuva-alueelle) ja kuva-alueella olevan metallin aiheuttama kuvapuutos (Chavhan 2022, 68–69, 74).

Kuvanlaadusta puhuttaessa tärkeitä käsitteitä ovat matriisi ja resoluutio, jotka ovat sidoksissa toisiinsa. Matriisi koostuu pikseleistä, jotka muodostavat kuvan pikseliriveinä ja -pylväinä, esimerkiksi matriisikoko 256 x 256 tarkoittaa, että kuva muodostuu 256 pikselirivistä ja 256 pikselipylvästä. Mitä isompi on matriisikoko, sitä parempi on kuvan resoluutio eli sitä tarkempi kuva on. (Chavhan 2022, 18.) Esimerkin resoluution saavuttamiseksi spinkaikusekvenssissä signaali tarvitsee kerätä 256 kertaa eli sekvenssin sisällä toistetaan RF-pulssit ja gradienttien muutokset yhtä monta kertaa. (Chavhan 2022, 45.)

Signaali-kohinasuhde eli SNR (signal-to-noise ratio) on myös yksi kuvanlaatuun vaikuttavista tärkeimmistä tekijöistä. SNR kuvaa halutun kuvan muodostamiseen tarvittun signaalin suhdetta ei-toivottuun signaaliin, joka aiheuttaa kuvaan turhaa kohinaa ja haittaa kuvanlaatua. SNR:ään voidaan kuvausta suorittaessa vaikuttaa useilla eri tekijöillä. Magneettikuva, jossa on korkea SNR, on vähemmän rakeinen ja siinä on enemmän yksityiskohtia verrattuna matalan SNR:n magneettikuvaan. SNR:ää voidaan parantaa toistamalla signaalin keräystä ja laskemalla niistä keskiarvo. Mutta tulee kuitenkin huomioida, että se pidentää kuvausaikaa. (Chavhan 2022, 18–19).

Magneettikuvan data kerätään sekvenssin aikana, jossa toistuu useasti RF-pulssit, joiden jälkeen vastaanotinkela vastaanottaa joka kerta protoneiden palautumisesta aiheutuneen signaalin. Mitä parempaa kuvanlaatua halutaan, sitä enemmän tarvitaan kuvadataa ja useampia RF-pulsseja. Se lisää sekvenssin kestoa eli kokonaiskuvausaikaa. Nämä tuovat omat haasteensa magneettikuvantamiseen, tasapainoilun kuvanlaadun ja sekvenssien keston välillä, sillä kokonainen magneettitutkimus koostuu usein useista sekvensseistä. (Chavhan 2022, 20.)

Jotta kuvausaika saataisiin pysymään järkevänä, vaatii magneettikuvaus kompromisseja SNR:n, magneettikuvan resoluution ja kuvausajan suhteen. Jos halutaan hyvää ja tarkkaa magneettikuvaa, pitää matriisia kasvattaa, mutta sen kasvattaminen lisää kuvausaikaa ja huonontaa SNR:ää. (Chavhan 2022, 18.) Yleensä magneettikuvan resoluution tai SNR:n kasvattamisella on automaattisesti negatiivinen vaikutus ainakin toiseen kahdesta muusta (kuva 6) (Behl 2021, 29). Kuvanlaatuun ja kuvasarjojen keston on muitakin vaikuttavia tekijöitä, mutta nämä ovat tärkeimmät ja vaikuttavimmat (Chavhan 2022, 19).



KUVA 6. Kuvausaika – kuvan resoluutio – signaali-kohinasuhde ja niiden suhde toisiinsa.

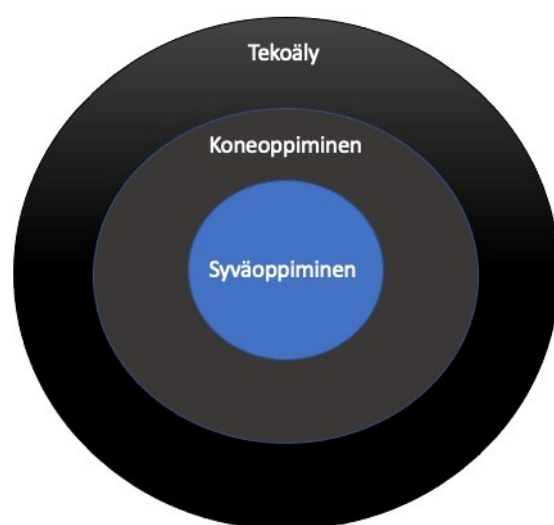
Magneettikuvauksen nopeuttamiseksi ja kuvanlaadun parantamiseksi on kehitetty monia eri tekniikoita. Yksi tavanomaisista magneettikuvauksen nopeutta-

mistavoista on rinnakkaiskuvantaminen. Rinnakkaiskuvantamisessa yksi vastaanotinkela sisältää useamman kelaelementin, jolloin signaalia voidaan vastaanottaa laajemmalla alueella samaan aikaan ja vähentää raakadatan keräämistä, joka nopeuttaa kuvausaikaa. Rinnakkaiskuvantamisen rajoite on SNR, koska se huononee mitä enemmän kuvasarjaa nopeutetaan eli kiihdytyskerrointa lisätään eli vähennetään raakadatan määrää. Sekvenssien kiihdytystekniikoita on monia, mutta yhteistä niille on, että ne huonontavat kuvanlaatua, koska useimmiten dataa kerätään vähemmän. Rinnakkaiskuvantamisen avulla pystytään kuitenkin parantamaan kokonaiskuvanlaatua, koska nopeutetusta sekvenssistä vapautunut aika voidaan hyödyntää kuvanlaadun parantamiseen eri menetelmillä. (Chavhan 2022, 45–46.)

## 5 TEKOÄLY JA MAGNEETTIKUVAUS

Tekoäly (artificial intelligence, AI) on tutkimusala, jossa tietokoneita käytetään jäljittelemään ihmisen älykkyyttä (Shimizu & Nakayama 2020, 1452). Tekoälyn tulo lääketieteeseen muuttaa nopeasti myös lääketieteellistä kuvantamista ja vie sitä kohti tulevaisuutta. Sen kehitys lääketieteellisessä kuvantamisessa on mul-listanut terveydenhuollon merkittävästi parantaen lääketieteellisen kuvantami-sen prosessien tarkkuutta, tehokkuutta ja nopeutta. Lisäksi tekoäly on helpotta-nut toistuvien tehtävien automatisointia, vapauttaen lääketieteen ammattilaisille aikaa monimutkaisempiin tapauksiin keskittymiseen. (Xu ym. 2023, 4–5.)

Koneoppiminen ja sen osa, syväoppiminen (deep learning, DL), ovat tekoälyn haaroja (kuva 7) (Xu ym. 2023, 1). Koneoppiminen koostuu tekoälyalgoritmeis-ta, jotka pystyvät oppimaan sille annetuista tiedosta eikä se vaadi etukäteen määriteltyjä päättelysääntöjä (Mazurowski, Buda, Saha & Bashir 2019, 941).



KUVA 7. Kaavio tekoälyhierarkiasta.

### 5.1 Syväoppiminen

Vuonna 2012 alkoi syväoppimisen aikakausi (Kämäräinen 2023, 3). Syväoppi-minen pyrkii ratkaisemaan sille annetun ongelman hyödyntäen neuroverkkoa tai useamman neuroverkon muodostamaa kerrosta. Syväoppimisessa sille koulu-

tetaan suuria neuroverkkoja, joissa eri tasoilla sijaitsevat neuronit ovat kukin matemaattisia malleja. (Shimizu & Nakayama 2020, 1452–1453.) Syväoppi-vaneuroverkko on matemaattinen malli, jonka (löyhänä) innoittajana on ollut aivojen rakenne (Kelleher 2019, 43). Kelleherin mukaan ”Syväoppimisen todella ihmeellinen ominaisuus ei ole sen perustana olevan matematiikan monimutkaisuus, vaan pikemmin, että se suoriutuu näin monimuotoisesta, jännittävästä ja vaikuttavasta tehtäväjoukosta niin yksinkertaisin laskutoimituksin.” (Kelleher 2019, 8).

Syväoppiminen voi käsitellä hyvin monimutkaisia tietoja, kuten kuvia, tekstiä ja musiikkia. Viime vuosina on menty siihen, että suurin osa siitä, mitä kutsutaan tekoälyksi, on syväoppimista ja sitä on alettu nopeasti käyttää radiologian alalla. Syväoppimista ei käytetä enää vain kuvien luokittelutarkoituksiin kuten ennen, vaan myös kuvanlaadun parantamiseen ja segmentointiin. Vaikka syväoppimista on monenlaista, rakenne on jossain määrin ennakoitavissa riippuen käsiteltävän datan muodosta, minkä vuoksi neuroverkon rakenne valitaan tietylle datalle sopivimmaksi. Konvoluutioneuroverkot ovat erityisesti kuvien analysointiin suunniteltuja syväoppivia neuroverkkoja. (Nakaura, Higaki, Awai, Ikeda & Yamashita 2020, 767–768.)

## 5.2 Tekoäly magneettikuvantamisessa

Magneettikuvantaminen on suosittu diagnostinen menetelmä laajalle valikoimalle tutkimuksia, mutta sen datanhankintaprosessi tekee siitä hitaamman kuin muut kuvantamismenetelmät kuten röntgen, tietokonetomografia tai ultraääni. Tämän vuoksi kuvausaikojen lyhentäminen on tärkeä tekijä magneettikuvantamisen rutiinikäytössä ja siksi neuroverkkopohjaiset koneoppimistekniikat ovat herättäneet kiinnostusta keinona nopeuttaa magneettikuvausta. (Knoll ym. 2020, 1–2.)

Tekoälyn soveltamista magneettikuvauksessa voidaan käyttää monissa asioissa, kuten kuvanlaadun optimoinnissa sekä magneettikuvien artefaktien vähentämisessä. Koulutus, toiminnan infrastruktuuri ja loppukäyttäjien tuntemus ovat avaimia tekoälyn käytön, kehityksen ja optimoinnin sisällyttämisessä. (Abuzaid

ym. 2021, 83.) Syväoppimisen hyödyntäminen magneettikuvauksen nopeuttamisessa perustuu siihen, että perinteisiä kiihdytysmenetelmiä voidaan käyttää enemmän. Eri kiihdytysmenetelmät perustuvat siihen, että dataa kerätään vähemmän. Kiihdytysmenetelmien heikentäessä kuvanlaatua, sitä saadaan parannettua syväoppimisen keinoin. (Noordman ym. 2023, 2.) Kuvanlaadun optimoinnissa pyritään vähentämään magneettikuvan kohinaa, lisäämään tarkkuutta ja vähentämään liikkeestä (hengitys, nesteiden virtaus, sydämen syke sekä potilaan levottomuus) tulevia artefakteja. Kuvanlaadun optimointi ja magneettikuvien artefaktien vähentäminen voidaan jakaa kahteen kategoriaan: syväoppiva kuvanrekonstruktio ja syväoppiva magneettikuvan jälkikäsitteily. Yhteisenä haasteena eri syväoppimisen menetelmillä on, että siihen vaaditaan paljon monipuolista harjoitusdataa. Harjoitusdatan saatavuus voi olla haasteellista, koska todellisten lääketieteellisten kuvien saatavuuteen vaikuttavat eettiset sekä tietoturvasyyt. (Nguyen ym. 2020 176–177; Lin 2021, 3,9.)

Lääketieteellinen teknologia on edistynyt huomattavasti viime vuosina, ja suuria trendejä tällä hetkellä ovat miniatyrisointi, digitalisointi ja automaatio. On syytä uskoa, että magneettikuvantamisen tulevaisuus saattaa kehittyä huomattavasti tai jopa muuttua pysyvästi. Entä jos yhä useampi potilas pystyisi menemään magneettikuvaukseen, koska putken läpimitta olisi leveämpi ja magneettikuvauslaitteet olisivat hiljaisempia ja vähemmän pelottavia ahtaanpaikankammioille. Entä jos, laitteet olisivat myös vähemmän painavia ja tilaa vieviä sekä vaatimukset laitteen ympärillä olevaan rakennukseen kevyempiä. (Grätzel von Grätz 2020b.)

Syväoppivien neuroverkkojen vahvuus on siinä, että eri algoritmeja voidaan laittaa päällekkäin. Tämä voisi tulevaisuudessa mahdollistaa eri tekniikoiden yhdistämisen. Esimerkiksi kuvanlaadun parantamisessa syväoppiva kuvarekonstruktio sekä syväoppiva magneettikuvien jälkikäsitteily yhdessä tai kahden eri kuvantamismenetelmän kuvien yhdistäminen. (Lin 2021, 11.) Voisiko tulevaisuudessa magneettikuvauslaitteet olla saatavilla yhä useammalle potilaalle, jos ne olisivat huomattavasti nopeampia ja edullisempia. Mitä jos, magneettikuvauslaitteesta olisi sellainen liikuteltava malli, jonka pystyisi tuomaan suoraan sellaisten potilaiden luokse, jotka eivät itse pääse magneettikuvauslaitteen luokse?

## 6 DEEP RESOLVE -TEKOÄLYREKONSTRUKTIOT

Magneettitutkimuksissa kuvausajat vaihtelevat huomattavasti kuvattavan kehon alueen, potilaan hoitomyönteisyyden ja radiologin valitsemien kuvausprotokollien mukaan. Magneettitutkimuksissa lyhyt kuvausaika ja hyvä kuvanlaatu ovat diagnostisesti tärkeitä lähtökohtia tutkimukselle, mutta haasteena on magneettikuvantamisen hidas datanhankintaprosessi. Korkealaatuiseen magneettikuvaukseen kuluu aikaa samalla, kun tulisi huomioida tutkimuksen miellyttävyys potilaalle. Sen vuoksi on tärkeää pyrkiä lyhentämään kuvausaikaa samalla kun lisätään magneettikuvien resoluutiota. (Carson, Maile, Sielicki & Gulay 2023, 8.)

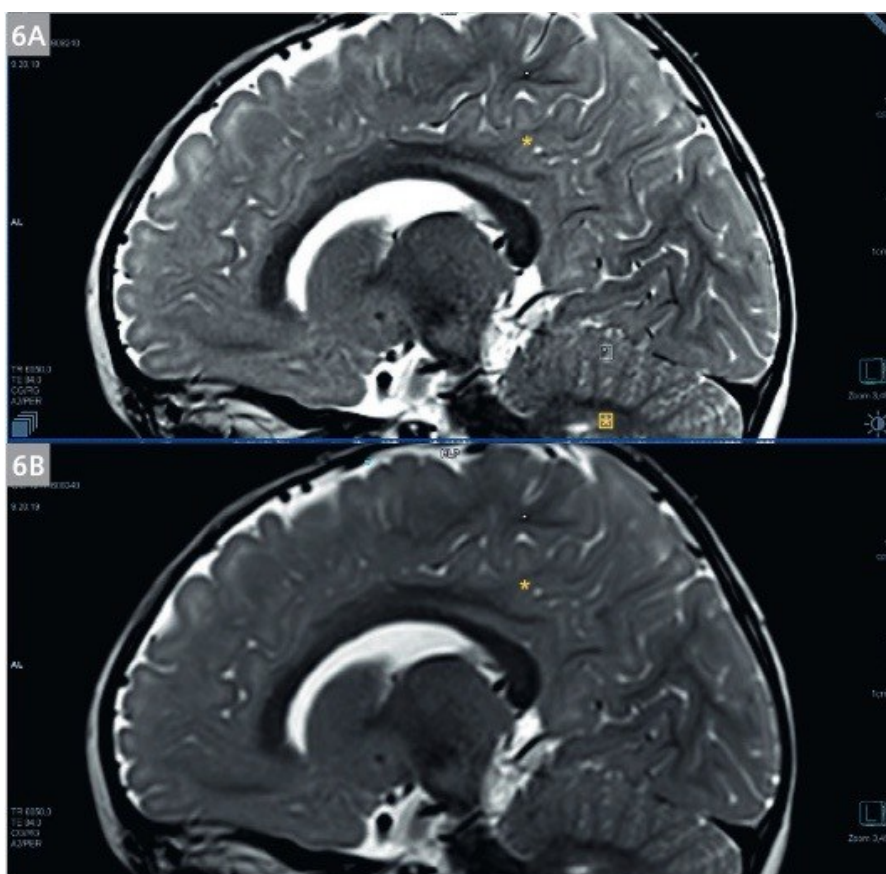
Siemens Healthineers on ottanut käyttöön edistyneitä syväoppimisen magneettikuvaustekniikoita kohinan vähentämiseksi ja terävyyden lisäämiseksi. Nämä syväoppimisen kuvarekonstruktio tekniikat mahdollistavat paremman resoluution ja suuremman SNR:n samalla, kun ne lyhentävät kuvausaikoja. (Carson ym. 2023, 9.)

Deep Resolve -tekniikat ovat edistyneitä tekoälypohjaisia kuvanrekonstruktio tekniikoita, joka hyödyntävät erityisesti konvoluutiohermoverkkoja. Deep Resolve -tekniikat nopeuttavat magneettikuvantamista ilman, että kuvanlaadusta tarvitsee joustaa. Syväoppiminen parantaa magneettikuvan laatua vaihteittain, jolloin saadaan selkeämpi magneettikuva, jossa on vähemmän kohinaa. (Deep Resolve- Faster than ever before 2022.)

Deep Resolve -tekniikoita on neljä erilaista ja niitä voidaan käyttää yhdessä toisiaan tukien. Nämä neljä eri tekniikkaa ovat: Deep Resolve Gain, -Sharp, -Boost ja -Swift Brain. Deep Resolve -tekniikoita ei yhdistellä pelkästään keskenään vaan myös tavanomaisten kiihdytys- ja kuvanrekonstruktio tekniikoiden kanssa. Tällöin esimerkiksi kuvausajan nopeutuminen tulee siitä, että tavanomaisia kiihdytystekniikoita voidaan käyttää suuremmilla kertoimilla, kun kuvanlaatua voidaan parantaa Deep Resolve -tekniikoilla. (Carson ym. 2023, 9–10; Lee ym. 2023, 2.)

Deep Resolve- tekniikoita on tutkittu muun muassa lasten magneettikuvantamisessa, koska lapsilla on pienemmät kehon osat, jolloin tarvitaan korkeamman resoluution magneettikuvia ja ohuempia leikkeitä kuin aikuisilla. Sen vuoksi kuvausajat ovat usein pidempiä. Deep Resolve- tekniikat mahdollistavat lasten magneettikuvantamiseen lyhemmät kuvausajat, jolloin myös pienten lasten magneettikuvausta varten nukutettuna olo aika on lyhyempi. Potilaan liikkuaessa kuvasarjan uusintakuvauskaan ei ole niin aikaa vievää nopeammilla kuvasarjoilla. Tärkeintä on lasten magneettikuvantamiseen tarvittava korkea resoluutio, joka on mahdollista näiden Deep Resolve -tekniikoiden myötä. Lapsilla tehdystä Deep Resolve -tekniikoiden tutkimuksessa niiden avulla löydettiin sellaisia muutoksia, mitä muilla kuvantamismenetelmissä ei ollut todettu. (Dehem 2022, 2–7.)

Deep Resolve -tekniikoiden havainnollistamiseksi on alla olevassa kuvassa (kuva 8) verrattu samaa dataa, joissa toisessa on käytössä Deep Resolve -tekniikka ja toisessa perinteinen kuvanrekonstruktio tekniikka magneettikuvantamislaitteella (Dehem 2022, 2–7).



KUVA 8. Kuvassa 6A on käytetty Deep Resolve -tekniikka ja kuva 6B on kuvattu perinteisin magneettikuvantamisen menetelmin (Dehem 2022, 3).

## 6.1 Deep Resolve Boost

Deep Resolve Boost (DRB) käyttää syväoppimisalgoritmia magneettikuvanmuodostamiseen raakadatasta. Se mahdollistaa lyhyemmät kuvausajat lisäämällä rinnakkaiskuvantamisen kiihdytyskerrointa (PAT) tai vähentämällä kerättyjen keskiarvojen määrää tai mahdollisesti molempia. (Lee ym. 2023, 2.)

## 6.2 Deep Resolve Sharp

Deep Resolve Sharp (DRS) lisää kuvan terävyyttä käyttämällä syväoppimis pohjaista superresoluutioalgoritmia samalla varmistuen, että alkuperäinen raakadata säilyy tarkasti lopullisessa magneettikuvassa. Kliinisessä käytännössä DRB:tä ja DRS:ää käytetään tyypillisesti yhdistelmänä korkean tason resoluution saavuttamiseksi mahdollisimman pienellä kuvausajalla. (Lee ym. 2023, 2.) Deep Resolve Sharp voi suurentaa matriisin kokoa jopa kaksinkertaiseksi molemmilla suunnissa, mikä lisää huomattavasti kuvan terävyyttä (Behl 2021, 31).

## 6.3 Deep Resolve Gain

Deep Resolve Gain on ratkaisu älykkääseen kohinanpoistoon. Magneettikuvis- sa kohina ei jakaudu tasaisesti, vaan vastaanotinkelan ja potilaan muodosta riippuen SNR on yleensä korkeampi lähellä vastaanotinkeloja. Myös eri kuvanrekonstruktio tekniikoiden käyttö voi johtaa vaihteleviin kohinatasoihin rekonstruoidussa magneettikuvassa. (Behl 2021, 29.) Deep Resolve Gain on kohden- nettu kohinanpoistomenetelmä magneettikuvien SNR:n lisäämiseksi. Se käyttää hankittua dataa luodakseen kohinakartan, joka heijastaa alueellisia kohinan vaihteluita ja käyttää sitä osana magneettikuvan rekonstruktioita. (Deep Resolve- Faster than ever before 2022.)

## 6.4 Deep Resolve Swift Brain

Deep Resolve Swift Brain on erittäin nopea aivojen magneettikuvausprotokolla, joka yhdistää älykästä kuvadatan hankintaa sekä syväoppimisalgoritmeja magneettikuvan rekonstruktiossa. Nämä mahdollistavat johdonmukaisesti korkearesoluutioiset magneettikuvat nopealla kuvausajalla saavuttaen kaikki aivojen kuvantamisen tärkeimmät kuvakontrastit. (Deep Resolve- Faster than ever before 2022.)

## 7 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimusmenetelmä. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa asiat eivät ole konkreettisesti mitattavissa, vaan siinä tutkitaan ja kuvataan todellista elämää. Kvalitatiivinen tutkimus painottaa mitä ja miten kysymyksiä ja aineistot voivat olla muun muassa tekstejä, keskusteluja, haastatteluja, havainnointipäiväkirjoja tms. Haastattelut toimivat usein päämenetelmänä. Aineisto voi tarvittaessa olla myös numeerista, mutta se analysoidaan eri tavalla kuin kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa. Kvalitatiivisen tutkimuksen tuloksia ei ensisijaisesti ilmaista numeerisessa muodossa, vaikka jokin asia olisikin aineistosta laskettavissa ja päätelmiä tuloksia varten ei tehdä yleistettävyyttä ajatellen. (Juhila, K. 2021a; Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2013, 161, 205.) Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tarkoituksena on tutkia tapausta riittävän perusteellisesti, jotta saataisiin esille se, mikä on merkittävää ja mikä saattaisi toistua myös yleisemmän tason tarkastelussa (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006d). Etukäteen oli tiedossa, että vastaajia ei ole tule olemaan montaa, jonka vuoksi kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä katsottiin parhaimmaksi tähän opinnäytetyöhön. Aihe myös tutkii mielipiteitä, näkökulmia ja kokemuksia, jota eivät ole niin helposti numeerisesti mitattavissa.

### 7.1 Aineiston keräys

Aineiston keruu tavaksi valittiin haastattelu, koska sen etuna on joustavuus niin tilanteiden kuin haastateltavien mukaan. Haastattelussa on mahdollista selvittää vastauksia, koska aiheesta ei pysty etukäteen sanomaan, että minkälaisia vastauksia haastattelussa tulee. Vastauksia on mahdollista myös pyytää syventämään, jos haluaa jollekin mielipiteelle perusteluja sekä tarvittaessa kysymään muita lisäkysymyksiä. Haastatteluissa haastateltavat ovat tutkijalle tunnettuja, jonka vuoksi haastateltavat on mahdollista tavoittaa myöhemmin uudelleen, jos on tarpeellista täydentää aineistoa. (Hirsjärvi ym. 2013, 205–206.)

Haastattelukysymykset muodostettiin teoriaan ja tutkimuksen tavoitteeseen, tarkoitukseen ja tutkimuskysymyksiin pohjautuen. Näiden perusteella isoimmiksi teemoiksi haastattelukysymyksille nousivat kuvausajan ja magneettitutkimusten nopeutuminen, magneettikuvien kuvanlaatu, Deep Resolve -tekniikoiden käytönoton sujuvuus sekä vaikutus röntgenhoitajien työskentelyyn.

Haastateltavat valittiin heidän kokemuksensa ja osaamisensa mukaan. Kaikilla haastateltavilla oli usean vuoden kokemus magneettikuvantamisen parissa työskentelystä. Haastatteluiden kannalta oli tärkeää, että haastateltavilla oli kokemusta työskentelystä kyseissä toimipisteessä ennen Deep Resolve -tekniikoiden tuloa ja niiden jälkeen, jotta he voivat luotettavasti vertailla Deep Resolve -tekniikoiden vaikutusta toimintaan. Haastateltavaksi valittiin etähaastattelut Microsoft Teams -sovellusta hyödyntäen, koska opinnäytetyöntekijät sekä haastateltavat olivat eri paikkakunnilla.

Terveystalon työntekijöitä haastateltiin etäyhteyden välityksellä kahdesta eri toimipisteestä huhti- ja toukokuun 2024 aikana. Ennen haastatteluja haastateltaville lähetettiin sähköpostitse saatekirje (liite 1) sekä tietosuojailmoitus (liite 2), jonka jälkeen suostumuslomakkeet allekirjoitettiin AtomiSign- sähköisellä allekirjoituspalvelulla (liite 3). Saatekirjeessä haastattelun kerrottiin perustuvan vapaaehtoisuuteen sekä muistutettiin keskeyttämisen olevan mahdollista missä tahansa tutkimuksen vaiheessa. Haastateltaville kerrottiin myös, että kaikki vastaukset ovat anonyymejä eikä heitä voida jälkikäteen yhdistää vastauksiinsa. Virallisen tutkimusluvan ja suostumuslomakkeen allekirjoituksen jälkeen sovittiin päivämäärät etähaastatteluille ja lähetettiin Teams-kutsut haastateltaville.

Haastattelu tavaksi valittiin ryhmähaastattelu, joka toteutui parihaastatteluina, koska molemmista toimipisteistä oli kaksi haastateltavaa. Ryhmähaastattelussa keskustelu on hedelmällisempää ja tietoa saadaan nopeasti useammalta henkilöltä samaan aikaan. Haastattelu oli puolistrukturoitu, jossa kaikille haastateltaville esitettiin samat tai likipitään samat kysymykset samassa järjestyksessä (liite 4). Täysin yhtenäistä määrittystä puolistrukturoitujen haastattelujen toteutuksesta ei ole kuitenkaan olemassa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006b.) Puolistrukturoidussa haastattelussa on varioinnin varaa ja myös mah-

dollisuus esittää alkuperäiseen suunnitelmaan kuulumattomia kysymyksiä (Muotio 2022).

Haastattelut tallennettiin, jonka jälkeen ne litteroitiin pian haastattelujen jälkeen, kun haastattelut olivat vielä opinnäytetyöntekijöiden muistissa. Litterointia varten tallenteet muutettiin pelkiksi äänitiedostoiksi. Puolistrukturoiduissa, tiettyihin asioihin tarkasti kohdistetuissa haastatteluissa voidaan toisinaan poimia haastatteluista vain tutkimuksen kannalta tärkeimmät asiat tuloksiin (Saaranen-Kauppinen & Puusniikka 2006a). Litterointi on puheen ja toiminnan purkamista kirjoitettuun muotoon ja keskeinen kysymys litteroinnissa on, millä tarkkuudella puhe puretaan. Kun ollaan kiinnostuneita puheen sisällöstä eli näkökulmista, mielipiteistä tai jonkin tietyn ilmiön ymmärryksestä, litteraatiotarkkuudeksi riittää, että asia tulee ymmärretyksi. Tärkeintä on, mitä haastateltavalla on sanottavana aiheesta, jonka vuoksi puheen sisältämät takelut ja tauot eivät ole keskeisiä. (Kallio n.d.) Äänitiedostojen litteroinnin apuna käytettiin Microsoft Word -sovelluksen älykästä litterointia, joka puheentunnistuksen avulla litteroi sinne ladatun äänitiedoston. Litterointi vaati kuitenkin vielä korjauksia, jotka tehtiin tallenteita kuuntelemalla ja kirjoittamalla korjaukset litterointiin.

## 7.2 Analysointimenetelmä

Laadullisen analyysin voisi määritellä aineiston tiivistämiseksi ja jalostamiseksi käsitteelliseen tai teoreettiseen muotoon. Mitään yleispätevää kaavaa, mallia tai ohjeita siihen ei ole, kuinka laadullisen aineiston analyysia tulisi tehdä. Laadullista analyysia voidaan tehdä useilla eri menetelmillä, joiden perinteisiä välineitä ovat koodaaminen, teemoittelu sekä tyypittely. Aineisto ei koskaan itsessään nosta mitään esiin, vaan tutkijan tehtävä on löytää ja jäsentää siitä keskeisimmät asiat. (Günther, Hasanen & Juhila 2021.)

Aloitimme analysoinnin tutustumalla litteroituun aineistoon sekä rakentamalla kokonaiskuvan siitä. Kahden haastattelun litteroiduista aineistoista koostettiin yhteenveto, jossa vastaukset jaoteltiin teemojen mukaan. Teemoittelu on yksi laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmistä ja sitä voidaan pitää yhtenä sisällönanalyysin muotona (Juhila, K. 2021b). Laadullinen sisällönanalyysi on hyvin

lähellä teemoittelua ja usein niitä käytetään vaihtoehtoisina nimityksinä toisilleen. Sisällönanalyysissä keskitytään siihen, mistä asioista, aiheista ja teemoista aineisto kertoo. (Vuori 2021a.) Usein teemoittelu tehdään haastatteluaineistosta, mutta on huomioitava, että haastattelun teemat eivät ole sama asia kuin analyysin tuloksena syntyvä aineiston teemoittelu. Teemat ovat siis aineistossa toistuvia asioita, jotka ovat tutkimusongelman kannalta olennaisia ja jotka muodostuvat analyysin tuloksena. (Juhila, K. 2021b.) Tässä opinnäytetyössä vastausten teemat mukailivat kysymysten teemoja. Tulososiossa esittelemme teemojen käsittelyn yhteydessä katkelmia aineistosta eli sitaatteja. Niiden tarkoituksena on havainnollistaa aineistosta muodostunutta teemoittelua.

### 7.3 Tutkimuksen tulokset

Terveystalon molemmissa toimipisteissä Deep Resolve -tekniikat olivat olleet haastatteluihin mennessä alle vuoden käytössä. Käyttöönotot olivat olleet kesälä 2023. Kysymykseen kuinka käyttöönotto heidän mielestään sujui, vastasivat molempien toimipisteiden haastateltavat olevansa tyytyväisiä Deep Resolve -tekniikoiden käyttöönottoon, vaikka kummassakin käyttöönoton ajankohta oli päällekkäin kesälomakauden kanssa. Sen vuoksi kaikki koulutukseen suunnitellut henkilöt eivät päässeet osallistumaan varsinaiseen käyttöönottokoulutukseen, mutta saivat koulutusta myöhemmin kouluttajan käydessä uudelleen toimipisteissä. Haastateltava kertoivat käyttöönoton ajankohdasta näin:

– – se oli tietysti vaan meillä niinku kesäaika, et sitten meillä oli paljon lomaa, ja mä itteki olin niinku oikeastaan kaikki ne käyttö tai ei kaikkia, mutta mut varmaan ne niinku ne jonkun isoimman semmoisen käyttökoulutuksen mäkin olin silloin niinku lomalla, et sitten tota ne vähän sotki – – tän syksyn talven aikana niin, sitten niinku viety eteenpäin sitä laitetta, että et et niinku näin hoitajan näkökulmasta, niin ehkä ehkä niinku meitä oli aika paljon lomalla, mutta niinku siihen nähen nyt ihan ihan OK.

Toisaalta toimipisteessä A uskottiin, että Deep Resolve -tekniikat olisi saatu nopeammin aktiiviseen käyttöön ja sekvenssejä kehitettyä heti, jos käyttöönoton aikaan ei olisi ollut kesälomia, kuten eräs haastateltava kuvasi:

Tää on mun henkilökohtainen mielipide oli se, että se ehkä tuli vähän väärää aikaa, että sitä olisi voinut odottaa syksyä, että ne olisi sitten niinku saatu sitten niinku paremmin ja nopeammin ja nope-

ammin käyttöön ja sitten muutettua ja optimoitua niitä asioita paremmin, mutta nyt sitten myös syksyllä ja nyt tänä keväänä on siten meistä enemmänkin sitä asiaa sitten tehtyä – – mutta se on ollut radiologeille ainakin kuitenkin oli, että helpompi niinku ehkä kuitenkin sitten pienestä lähteä muuttamaan niitä asioita.

Kysymykseen missä kaikissa kuvauskohteissa Deep Resolve -tekniikat ovat käytössä ja voisiko niitä hyödyntää vielä jossakin, vastasit haastateltavat, että niitä hyödynnetään molemmissa toimipisteissä kaikissa yleisimmissä tutkimuskohteissa ja sekvensseissä, joissa se on tekniikan puolesta mahdollista. Tällä hetkellä Deep Resolve -tekniikkaa on mahdollista hyödyntää vain turbospinkai-kusekvensseissä.

Toimipisteessä B Deep Resolve -tekniikat ovat käytössä myös harvinaisemmissa tutkimuksissa niissä sekvensseissä, joissa sitä on mahdollista käyttää. Toimipisteessä A Deep Resolve -tekniikat eivät ole vielä käytössä metallinhäivytyssekvensseissä sekä vatsan alueen sekvensseissä, joissa Deep Resolve -tekniikoiden käyttö olisi mahdollista. Heillä ei myöskään ollut vielä perehdytystä tänä keväänä tulleeseen mahdollisuuteen lisätä Deep Resolve -tekniikoita diffusio- ja SWI-sekvensseihin. Perehdytyksen jälkeen voidaan tekniikoita hyödyntää myös kyseisissä kuvasarjoissa. Odotuksena työntekijöillä on tekniikoiden kehittyminen lisää, jotta sitä voitaisiin hyödyntää laajemmin muun muassa 3D-sekvensseissä, jos lisäosien hankintakustannus sen mahdollistaa. Haastateltava kertoi jo saatavilla olevien uusien ominaisuuksien perehdytyksen aikataulusta näin:

– – nyt sitten viime tänä keväänä tuli sitten vasta siihen DRB:hen se laajennus, että se oliko sen että se toimii nyt SWI:n ja diffusioninkin kanssa. – – Että meillä ei ole niitä niinku käytännössä, että niitä ei nähtävästi perehdytetty näihin aikaisemmin ostettuihin DRB hommiin – –

Kysymykseen onko Deep Resolve -tekniikat mahdollistaneet uusia tutkimuksia, haastateltavat vastasivat, että niiden myötä kummassakaan toimipisteessä ei ole aloitettu kuvaamaan mitään uusia kuvauskohteita tai uudenlaisia magneettitutkimuksia. Deep Resolve -tekniikoita on pääasiassa hyödynnetty lyhentämään jo olemassa olevien kuvausprotokollien kuvausaikoja, jolloin dataa kerätään

vähemmän ja Deep Resolve -tekniikoilla on saatu korjattua kuvasarjojen kuvanlaatu ennalleen tai jos mahdollista niin paremmaksi.

Jos Deep Resolve -tekniikoita hyödynnettäisiin pelkästään kuvanlaadun parantamiseen, saattaisi olla mahdollista aloittaa tekemään joitakin uusia neurologisia kuvauskohteita tai joitakin tarkempia tutkimuksia. Ennemmin koetaan, että rajoittavana tekijänä Deep Resolve -tekniikoiden hyödyntämisessä on, että niitä pystyy toistaiseksi hyödyntämään vain turbospinkaikusekvensseissä. Eräs haastateltava sanoi Deep Resolve -tekniikoiden rajoitteesta näin: ”Niin siis se hän on tekninen rajoitus tällä hetkellä, minkä takia sitä ei pystytä soveltamaan enemmän.”

Haastateltavilta kysyttiin, miten Deep Resolve -tekniikat ovat vaikuttaneet kuvausaikoihin ja yleisesti vastaus oli, että sekvenssit ovat nopeutuneet. Taulukoissa 1 ja 2 on tuotu esille sekvenssien kuvausaikojen ero perinteisillä magneettikuvantamisen kiihdytysmenetelmillä verrattuna Deep Resolve -tekniikoita hyödyntäviin sekvensseihin. Lähteenä taulukkoon on Terveystalolta saadut tiedot toimipisteen A käyttämistä sekvensseistä.

TAULUKKO 1. Pään magneettikuvauksen rutiiniprotokolla. Sekvenssien pituuksien vertailu ilman Deep Resolve -tekniikoita ja niiden kanssa.

<b>Toimipiste A: Pään rutiini magneettikuvaus</b>			
	<b>Perinteinen</b>	<b>Deep Resolve</b>	<b>Aikaero %</b>
<i>Koko tutkimus</i>	16:23	11:50	-28 %
AAhead_scout	0:19	0:19	0 %
Localizer_tra	0:20	0:20	0 %
Localizer_sag	0:20	0:20	0 %
Localizer_cor	0:20	0:20	0 %
t2_dark-fluid_tra_DRB	4:32	2:44	-40 %
t2_tra_DRB	2:46	1:33	-44 %
t2_sag_DRB	2:28	1:31	-39 %
t1_cor_DRB	3:34	2:59	-16 %
ep2d_diff_3scan_trace	1:44	1:44	0 %

TAULUKKO 2. Polven magneettikuvauksen protokolla. Sekvenssien pituuksien vertailu ilman Deep Resolve -tekniikoita ja niiden kanssa.

<b>Toimipiste A: Polven magneettikuvaus</b>			
	<b>Perinteinen</b>	<b>Deep Resolve</b>	<b>Aikaero %</b>
<i>Koko tutkimus</i>	22:04	11:38	-47 %
AAKnee_Scout	0:18	0:18	0 %
t2_sag_DRB	3:56	1:27	-63 %
im_fs_sag_DRB	3:18	1:46	-46 %
pd_sag_DRB	3:56	1:33	-61 %
t2_fs_cor_DRB	-	1:53	-
pd_cor_DRB	3:17	1:31	-54 %
im_fs_tra_DRB	3:32	1:30	-58 %
t1_cor_DRB	3:47	1:40	-56 %
pd_fs_sag_DRB	4:04	1:50	-55 %
pd_fs_cor_DRB	3:49	2:11	-43 %
t2_fs_tra_DRB	4:51	1:42	-65 %
t2_acl-viisto_DRB	1:51	1:51	-46 %
t1_cor	1:46	-	-

Haastateltavilta kysyttiin, miten Deep Resolve -tekniikoiden tulo on vaikuttanut magneettitutkimuksen suorittamiseen ja eniten työhön on vaikuttanut joidenkin sekvenssien datan laskennan hitaus. Sekvenssit ovat nopeutuneet, koska raakadataa tarvitsee kerätä vähemmän ja Deep Resolve -tekniikat pitävät kuvanlaadun yhtä hyvänä tai jopa parempana pienemmästä raakadatan määrästä huolimatta. Kuvasarjan magneettikuvien haluttu tarkkuus ja sekvenssin kiihdytyksen määrä vaikuttavat siihen kuinka paljon tietokoneella on laskemista raakadatatista. Mitä tarkempi magneettikuva halutaan, sitä enemmän tietokoneella on laskemista.

Magneettitutkimuksen aikana joidenkin sekvenssien ongelmana on, että sen päätyttyä tietokoneella kestää pitkään laskea kuvasarja valmiiksi. Eli toisin sanoen sekvenssin loputtua kestää ennen kuin kuvasarjan magneettikuvat saa-

daan näkyville ja se toisinaan hidastaa hoitajien työskentelyä. Erityisesti silloin kun tutkimuksen viimeisen sekvenssin magneettikuvien saamisessa kestää, täytyy hoitajien odottaa, että he voivat mennä päästämään potilasta pois. Heidän täytyy nähdä ja tarkistaa kaikkien kuvasarjojen magneettikuvat ennen potilaan pois päästämistä, jotta ne ovat varmasti onnistuneita. Myös magneettikuvausta suorittaessa hyödynnetään jo kuvattuja kuvasarjoja, jotta tietyt anatomiset kohteet, joiden mukaan kuvapakkojen paikkoja suunnitellaan, saadaan paremmin näkyville. Tällöinkin voi joutua odottamaan kesken magneettitutkimuksen tiettyä kuvasarjaa, jotta pystyy suunnittelemaan loppuun seuraavan kuvasarjan kuvapakan paikat. Haastateltava kuvasi kuvasarjan odottamista näin:

– – ehkä pisimmillään me ollaan mitattu, oliko se 6 minuuttia kestää, että me saadaan se sarja siihen ruudulle – – jos sä haluat varmistaa ja sä näät osan niistä kuvista, kyllä siitä pikkuhiljaa, mutta jos sä haluat varmistaa, että koko pakka on onnistunu. Ja sä odotat sen usein joku 2 minuuttia – –

Toisinaan hoitajat eivät ole odottaneet magneettitutkimuksen aikana varsinaisen kuvasarjan valmistumista suunnittelun avuksi vaan ovat jatkaneet magneettikuvausta eteenpäin, jolloin he ovat saattaneet saada palautetta radiologeilta huonosti tai vinoon suunnitelluista kuvapakoista. Eräs haastateltava kertoi asiasta näin:

– – joskus me kuvataan vaan niinku scouttien perusteella, kun niillä kestää niin paljon tulla, – – Ni sit se on vaikuttanut siihen, että radiologit tulee välillä et miksi tää kippaus on vähän vino tai näin. Ja sitten mä, mullakin on käynyt sitä, että mä vaan sitten myönnän et no mä oon kyllä sen suunnitellu ton noitten scouttien perusteella, kun en mä oon jaksanut odottaa niitä.

Kuvanlaskennan hitaus ja kuvasarjojen odottelu vie joissakin kuvausprotokollissa hyötyä siitä, että varsinaiset sekvenssit ovat nopeampia, kun niiden valmistumista voi joutua odottamaan minutteja. Odottelua on pyritty minimoimaan muuttamalla kuvausprotokollissa olevien sekvenssien järjestyksiä sekä lisäämällä alkuun useampia lyhyitä suunnittelukuvasarjoja.

Kysymykseen onko Deep Resolve -tekniikoiden tuloa huomioitu esimerkiksi potilaiden valmistelussa tai tutkimusajoissa haastateltavat vastasit, että toistaiseksi ei ole tehty muutoksia potilaiden valmisteluun tai tutkimusaikoihin, vaikka useimpien kuvauskohteiden kuvausprotokollat ovat nopeutuneet ja kuvaukset sujuvat nopeammin. Suurimman haasteen mahdollisesti lyhyempiin tutkimus-

aikoihin tuo se, että potilaat ovat valmiina heidän tutkimusaikansa koittaessa. Mikä tarkoittaa sitä, että potilaiden on oltava ajoissa paikalla, esitietokaavake täytettynä, mahdolliset magneettikuvantamisen kontraindikaatiot selvitettyinä ja tarvittaessa vaatteet vaihdettuna. Eräs haastateltava kuvasi asiaa näin:

- – kyllä se haaste on nytten, jos lyhennetään aikaa niin asiakkaan pitää olla sitten, niinku, se kuvausaika on se tietty ja eli hänen pitää kuitenkin olla ajoissa ja kontrat tietenkin kunnossa, että siinä ei ole enää aikaa tällaisille niinku perusjutuille. – –kun se on se potilaan aika, niin se pitäisi olla jo silloin siellä putkessa suurin piirtein, että kaikki haastattelut ja siitä että lomakkeen täyttämiset ja muut olisi tehty siihen mennessä, että se siinä on se haastavin – –

Lyhyempiä tutkimusaikoja on kokeiltu ja kokeilut ovat pääasiassa menneet hyvin. Haasteina lyhyemmissä tutkimusajoissa on ollut, jos päivässä on ollut paljon pään tutkimuksia, magneettikuvauksessa on jouduttu käyttämään suunnittelelutta tehosteainetta tai on jouduttu ottamaan ylimääräisiä lisäkuvasarjoja. Tiukaksi laitettu päivän aikataulu voi olla hoitajille hyvin stressaavaa, kun aikaa millekään ylimääräiselle ei ole. Jos potilaiden tutkimusajat ovat olleet myöhässä, ovat potilaat saattaneet antaa siitä palautetta. Yksityisen terveydenhuollon oletetaan olevan hyvää ja täsmällistä ja siksi pienetkin myöhästymiset voivat aiheuttaa palautetta potilailta. Enimmäkseen kokeilussa on kuitenkin pysytty aikataulussa lyhyemmilläkin kuvausajoilla. Pidempien tasausaikojen tai tyhjäksi jätettyjen kiireaikojen avulla on saatu tarvittaessa kiinni myöhässä olevaa päivän kuvausaikataulua.

Kysymyksessä, miten Deep Resolve -tekniikat ovat vaikuttaneet kuvanlaatuun haastateltavat vastasivat, että kuvanlaatu riippuu paljon siitä, kuinka paljon on haluttu säästää aikaa, mutta pääasiassa Deep Resolve -tekniikoita hyödyntävät kuvasarjat ovat terävämpiä ja laadukkaampia. Sekvenssit, joita on kiihdytetty todella paljon ajan säästämiseksi ja Deep Resolve -tekniikoilla parannettu kuvanlaatua, ovat kuitenkin välillä ”teennäisen” näköisiä, koska tekoäly poistaa kuvista kohinaa ja osassa kohinasta on kuitenkin myös dataa, joka vaikuttaa kuvan tarkkuuteen.

Kuvanlaatuun liittyen kysyttiin myös, että onko joutunut koskaan kuvaamaan Deep Resolve -tekniikalla kuvatun sekvenssin tilalle ”vanhaa” perussekvenssiä,

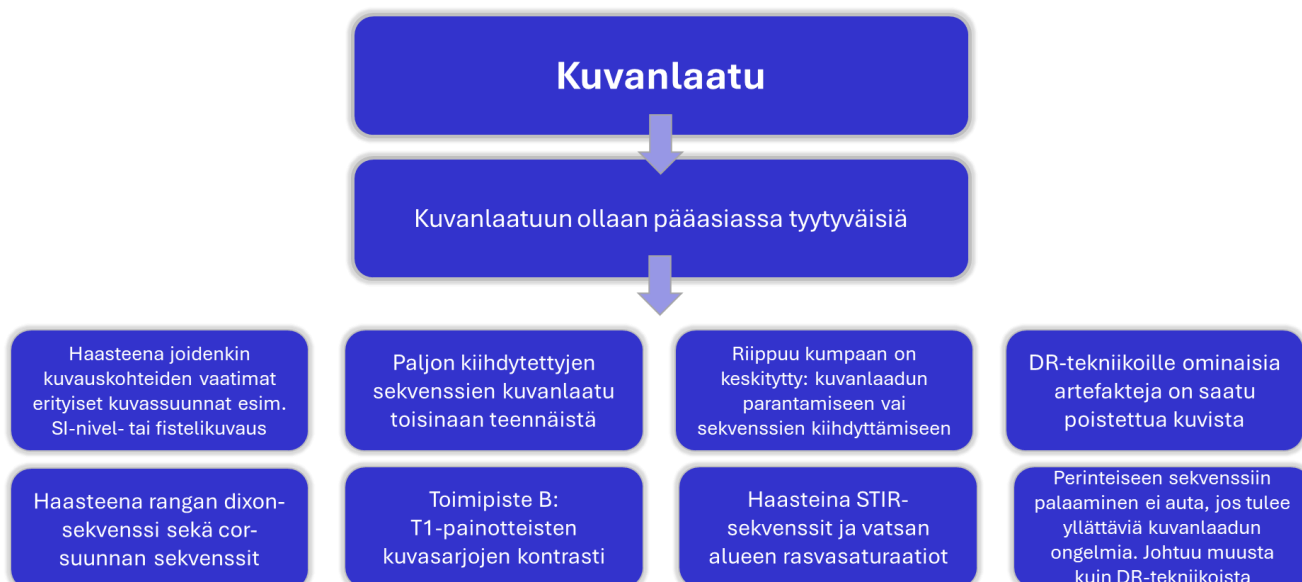
jos Deep Resolve -tekniikalla kuvatun kuvasarjan kuvanlaatu ei ole ollut riittävä. Molemmissa toimipisteissä on yksittäisiä sekvenssejä, joissa Deep Resolve -tekniikoita ei käytetä, vaikka se olisi mahdollista, koska niissä Deep Resolve -tekniikoiden käyttö on tuonut haasteita kuvanlaadun suhteen. Tällöin on palattu käyttämään aiemmin käytössä ollutta sekvenssiä. Kuvanlaadun ongelmia on ollut SI-nivelten kuvasarjoissa, johtuen kuvauskohteen vaatimasta kuvapakkojen asetelutavasta, fistelikuvauksissa sekä coronaali-suunnan kuvasarjoissa, joissa kuva on ollut hyvin rakeista. Kuvasarjojen kuvanlaadun haasteista kertoi eräs haastateltava näin:

Ongelmia on DRB sarjoissa vähän mitään tullut. Omasta mielestäni vastaan on esimerkiksi rangoissa Cor- suunta. Se se tekee siitä sellaisen hyvinkin rakeisen elikkä, vaikka siinä on phaseoversampling laitettu kahteensataan, mut silti se ei tee sitä hyvännäköistä. Mutta tämä on esiintyy esimerkiksi kaularangassa hyvinkin voimakkaasti. – – myös niin on tosiaan, se murheenkryyni, on vielä vähän ollut myös nuo SI-nivelet, että siinä on tulee sitä kippausta sen verran.

Selkärangan dixon-sekvensseissä on ollut myös ongelmia ja useista yrityksistä huolimatta niiden kuvanlaatua ei ole saatu parannettua. Joitain haasteita on myös neurologissa kuvauksissa ja vatsan alueen rasvasaturaatioissa ja STIR-kuvasarjoissa. Deep Resolve -tekniikat aiheuttavat kuviin myös omia artefaktejaan, mutta ne on saatu ratkaistua. Toimipisteessä B on ihmetystä aiheuttanut Deep Resolve -tekniikoita hyödyntävien T1-painotteisten kuvasarjojen kontrasti, joka on poikkeava verrattuna tavanomaiseen T1-painotteiseen kuvasarjaan. Toimipisteessä A on palattu SI-nivelten sekvensseissä aiemmin käytössä olleisiin sekvensseihin, jotka eivät hyödynnä Deep Resolve -tekniikoita. Toimipisteessä B ei ole käytössä enää vanhoja sekvenssejä niiden osalta mille on vastaavia Deep Resolve -tekniikoita olemassa. Jos kuvauksessa tulee kuvanlaadussa ongelmia, ei yleensä auta palaaminen aiemmin käytettyyn sekvenssiin, vaan kuvanlaadun ongelmat johtuvat jostakin muusta tekijästä.

Deep Resolve -tekniikoiden koetaan soveltuvan erityisen hyvin nivelten kuvantamiseen. Ortopedit ovat ”hehkuttaneet” ja antaneet hyvää palautetta Deep Resolve -tekniikoilla tehdyistä kuvauksista. Toimipisteessä B hieman ”pelätäänkin”, että ortopedit alkavat pyytämään kuvauksia erityisesti tälle yhdelle laitteelle, jossa Deep Resolve -tekniikat ovat käytössä ja tällöin se kuormittaisi enemmän

tätä yhtä laitetta. Radiologit olivat alkuun epäileväisiä Deep Resolve -tekniikoita kohtaan, mutta ovat alun jälkeen olleet kuitenkin tyytyväisiä kuvanlaatuun ja palaute ollut pääasiassa positiivista. Haastateltava kertoi näin radiologien etukäteisajatuksista: ”Radiologit ehkä lähtökohtaisesti oli vähän sitä tai niinku skeptisiä, että mihin se pystyy, mitä hyötyä siitä on ja miltä se näyttää.” Kuvasarjojen optimointi ja kehittäminen on kuitenkin mennyt ”hyvässä hengessä” radiologien kanssa ja he ovat aktiivisesti kertoneet, jos kuvanlaadussa on ollut parantamista. Radiologien kanssa on erityisesti ollut keskustelua poikkeavista kuvan kontrasteista sekä Deep Resolve -tekniikoiden aiheuttamista artefakteista. Toimipisteet ovat tehneet yhteistyötä ja vaihdelleet kehitettyjä sekvenssejä toistensa kanssa. Näin kehitystyö on hyödyttänyt molempia toimipisteitä. Alla olevaan kuvaan koostettuna kuvanlaatuun liittyvät vastaukset (kuva 9).



KUVA 9. Kooste kuvanlaatuun liittyvistä vastauksista

Kysymyksessä siitä, onko haastateltaville annettu riittävästi aikaa sekvenssien kehittämiseksi, he vastasivat, että heille on ollut varattuna Deep Resolve -tekniikoiden koulutuksiin hyvin aikaa, mutta koulutusten jälkeen ajanvarauslistojen ollessa täynnä, sekvenssien kehittämiseksi on ollut hyvin vähän tilaisuuksia. Ajanvarauslistojen ollessa täynnä ei kuvausten aikana ole aikaa sekvenssien kehittämiseen tarvittavalle ajatustyölle, mutta toimipisteessä B työntekijät ovat hyödyntäneet viikonloppujen hiljaisempia vuoroja ja saattaneet testilla sekvenssejä silloin. Toimipisteen B työntekijät kuitenkin kokivat, että aikaa sek-

venssien testaamiselle saattaisi saada, jos siitä ”pitäisi meteliä”. Sekvenssejä tehdessä ja testatessa molemmat toimipisteet ovat olleet tyytyväisiä Siemens Healthineersin kouluttajan apuun ja tavoitettavuuteen. Kouluttaja on ollut myös aktiivisesti toimipisteisiin päin yhteydessä.

Keskustelun keskiössä Deep Resolve -tekniikoiden hyödyntämisessä on, että käytetäänkö sitä pääasiassa nopeuttamaan kuvauksia vai parantamaan kuvanlaatua. Toiveena tulevaisuuteen on, että Deep Resolve -tekniikoita pystyttäisiin hyödyntämään kaikissa sekvensseissä ja kuvanlaskenta olisi nopeampaa, jotta se ei vie hyötyä siitä, että sekvenssit ovat nopeita.

## 8 POHDINTA

### 8.1 Tulosten pohdinta

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää Siemens Healthineersille, miten Deep Resolve -tekniikoiden tulo on vaikuttanut magneettikuvantamiseen Terveystalon kahdessa yksikössä, jossa ne on otettu käyttöön keväällä 2023. Lisäksi tutkittiin että, mitä hyötyjä Deep Resolve -tekniikoiden käyttöönotto on tuonut yksiköille sekä voisiko niitä hyödyntää vielä lisää. Deep Resolve -tekniikoista on Siemens Healthineersin omia tutkimuksia, mutta vastaavia käyttäjän mielipiteet huomioivia opinnäytetöitä ei ole tehty.

Tutkimustulosten perusteella Terveystalon yksiköt ovat huomanneet eron vanhojen ja uusien Deep Resolve -tekniikoita hyödyntävien sekvenssien välillä. Heiltä saadut esimerkit sekvenssien kestoista todistavat kuinka merkittävästi Deep Resolve -tekniikat ovat nopeuttaneet sekvenssejä ja sitä myötä lyhentäneet kuvausprotokollien kestoa. Tällä hetkellä potilaat hyötyvät kuvausprotokollien nopeutumisesta lähinnä tutkimuksen miellyttävyydessä, kun magneettikuvausputkessa tarvitsee olla aiempaa lyhyemmän aikaa. Vielä ei ole päästy kuin hyödyntämään kuvausprotokollien kestojen lyhenemistä esimerkiksi lyhentämällä potilaiden tutkimusaikoja, jolloin päivään saattaisi mahtua enemmän tutkimuksia. Joitain kokeiluja heillä on ollut lyhyemmille tutkimusajoille, mutta potilaan tutkimusaikaan vaikuttaa moni muukin ulkopuolinen tekijä potilaan paikallaoloon ja valmisteluun liittyen. Sen vuoksi potilaiden tutkimusaikojen lyhentämiseen täytyy Terveystalossa perehtyä erikseen, miten näihin itse magneettikuvausvauksen ulkopuolisiin tekijöihin voidaan vaikuttaa.

Yksiköt olivat tyytyväisiä Deep Resolve -tekniikoiden käyttöönottoon, vaikka ajankohta olikin samaan aikaan kesälomakauden kanssa ja kaikki käyttöönotto-koulutukseen suunnitellut työntekijät eivät päässeet osallistumaan. Käyttöönoton ajankohta tulisi kuitenkin suunnitella tarkasti, jotta siitä saataisiin paras mahdollinen hyöty irti. Ajankohdan valinnalla pystytään varmistamaan kaikkien osapuolien resurssien kunnollinen hyödyntäminen ja näin koulutukseen käytetystä ajasta saadaan mahdollisimman paljon hyötyä niin asiakkaan kuin koulut-

tajankin kannalta. Koulutukseen olisi tärkeää päästä niiden henkilöiden kenen siihen on suunniteltu osallistuvan. Tällä tavoin voidaan välttää mahdolliset ylimääräiset kouluttajan lisäkäynnit, jotka vievät niin asiakkaan työntekijöiden ja mahdollisesti magneettikuvauslaitteen kuvausaikaa kuin kouluttajankin aikaa. Kaikkien koulutukseen suunniteltujen henkilöiden samanaikaisella osallistumisella varmistetaan myös tiedon oikeanlainen siirtyminen ja ymmärtäminen mitä vähemmälle määrälle ihmisiä tietoa tarvitsee erikseen välittää. Tiedon välittämisessä saattaa tapahtua väärinymmärryksiä ja tietoa voi jäädä kertomatta.

Käyttöönotto koulutuksen jälkeen on tärkeää, että yksiköissä löydettäisiin aikaa uusien Deep Resolve -tekniikoiden kehittämiselle. Kehittämiselle annettu aika saadaan hyvin todennäköisesti takaisin, kun Deep Resolve -tekniikoista saadaan kaikki hyöty irti nopeutuneilla kuvausprotokollilla ja mahdollisesti toimintaa sitä myötä kehittämällä suuremmilla tutkimusmäärillä.

Deep Resolve -tekniikat toivat haasteita joidenkin sekvenssien kuvan laskennan hitaudessa, mutta Terveystalon työntekijät olivat ratkoneet itse näitä haasteita muuttamalla sekvenssien järjestyksiä ja lisäämällä suunnittelusekvenssejä kuvausprotokolliin. Koulutuksien yhteydessä voisi kiinnittää huomioita ja ehdottaa valmiiksi vastaavia tapoja niiden sekvenssien kohdalla, jossa kuvan laskennan hitautta on tiedossa, niin kauan kunnes kuvan laskennan hitaus on saatu muulla tavoin ratkaistua.

Deep Resolve -tekniikoilla voidaan parantaa kuvanlaatua sekä nopeuttaa kuvausaikoja joko painottaen jompaakumpaa tai hieman molempia. Terveystalolla on hyvin osattu Deep Resolve -tekniikoiden tuomien hyvien ominaisuuksien lisäksi ratkoa myös sen tuomia haasteita. Kouluttajan aktiivisuus sekvenssien kehittämisen avustamisessa varsinaisen käyttöönoton jälkeen sai kiitoksia Terveystalon työntekijöiltä. Taulukossa 3 on koostettuna tutkimuksen tuloksissa esille nousseet Deep Resolve -tekniikoiden hyödyt ja haasteet.

TAULUKKO 3. Tutkimuksen tuloksissa esiin nousseet hyödyt ja haasteet.

Hyödyt	Haasteet
Nopeammat sekvenssit mahdollistavat nopeammat kuvausprotokollat	Kuvan laskennan hitaus
	Kuvanlaatu: Kaula- ja lanneranganrangan cor-suunnissa
Erityisesti nivelten kuvauksiin tuo hyötyä, mutta hyödyttää muuallakin	Kuvanlaatu: STIR-sekvensseissä
	Kuvanlaatu: SI-nivelissä
Pääasiallisesti parempi kuvanlaatu	Kuvanlaatu: Dixon- sekvensseissä
	Kuvanlaatu: Fistelikuvauksissa
	Kuvanlaatu: T1-sekvenssien kontrasti

## 8.2 Opinnäytetyöprosessin pohdinta ja jatkotutkimusaiheet

Yhteistyö opinnäytetyöntekijöiden kesken opinnäytetyötä tehdessä sujui hyvin, johon auttoi, että molemmilla opinnäytetyön tekijöillä oli useamman vuoden työkokemus magneettikuvantamisesta työskentelystä. Aiheen valinta oli molemmille tärkeä juuri kiinnostuksesta magneettikuvantamista kohtaan ja se tarjosi mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön aiheesta, joka voisi tuoda oikeaa hyötyä toimeksiantajalle.

Opinnäytetyön aktiivinen tekeminen aloitettiin syksyllä 2023. Opinnäytetyöaihe muuttui alkuperäisestä aiheesta kaksi kertaa. Alkuperäinen aihe olisi huomionut millaista kustannushyötyä sekvenssien nopeutuminen toisi, mutta kustannushyödyt jätettiin pois. Kustannushyötyjen tutkimiseen olisi tarvittu Terveystalolta tietoa, joka ei ole julkista. Sen jälkeen aihe rajautui Deep Resolve- tekniikoiden tuomiin hyötyihin ja miten toimintaa voisi kehittää niiden tuomien hyötyjen myötä. Selvisi kuitenkin, että aiheesta oli tulossa toinen saman tapainen ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö toisessa ammattikorkeakoulussa, joka huomioi muun muassa miten potilaiden valmistelua ja tutkimuksen kulkua voitaisiin kehittää ja optimoida.

Lopulta aihe rajautui Deep Resolve -tekniikoiden hyötyihin ja voisiko niitä hyödyntää entistä enemmän Terveystalon yksiköissä, jossa se on jo käytössä. Yhteistyö Terveystalon sekä Siemens Healthineersin kanssa sujui hyvin. Pidimme joitain palavereita toimeksiantajan kanssa sekä raportoimme tutkimuksen etenemisestä.

Haastatteluihin kysymyksiä pohtiessa oli tärkeää suunnitella mahdollisimman avoimet kysymykset, jotta ei omalla kysymyksen asetelullaan ohjaisi haastateltavia. Jälkikäteen kysymyksiä katsottaessa, jotkin kysymykset olisivat voineet olla vieläkin neutraalimpia. Ihan kaikkea ei haastatteluissa myöskään huomannut kysyä, vaan joitakin tarkentavia kysymyksiä kysyttiin vielä jälkikäteen haastateltavilta sähköpostilla. Haastateltavia oli neljä, mikä tuntui aluksi "vain" neljältä, mutta haastatteluja litteroidessa ja analysoidessa todettiin, että tulokset olisivat pysyneet samoina, vaikka haastateltavia olisi molemmista yksiköistä ollut useampi.

Opinnäytetyöprosessin alussa suunnittelimme opinnäytetyötä paikan päällä Tampereen ammattikorkeakoulussa, jonka jälkeen siirryimme kommunikoimaan etäyhteyden välityksellä kotipaikkakuntiemme välimatkan takia. Sovimme aikataulut opinnäytetyön eri osioiden palautuksille yhdessä, jonka jälkeen kävimme läpi mitä uutta olimme ehtineet tekemään tuona aikana ja mikä on seuraava vaihe. Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista ja antoisaa, sen myötä pääsi syventymään magneettikuvaukseen ja tekoälyn siihen tuomiin ratkaisuihin entistä paremmin. Parasta yhteistyössä opinnäytetyön parin kanssa oli, että aihetta pystyi pohtimaan yhdessä toisen kanssa ja saamaan toiselta tukea.

Haastavaa opinnäytetyön tekemisessä oli magneettifysiikan tiivistäminen, niin että se tukee opinnäytetyön teoriaosuutta ja on myös mahdollisimman helppolukuinen ilman alan syvempää tuntemusta. Haasteena oli myös kahden eri yrityksen kanssa toimiminen, jotta aihetta tutkittaisiin oikeasta näkökulmasta toimeksiantajalle. Toisinaan oli lähellä, ettei toimeksiantajan ja tutkittavien roolit menneet sekaisin, mutta takaisin oikeaan suuntaan pääsemisessä auttoi tutkimuskysymysten kautta aiheen pohtiminen. Tutkimuksen lähtökohtana toteutuksessa ja tuloksissa pidettiin toimeksiantajan tavoite ja tarkoitus opinnäytetyölle koko opinnäytetyöprosessin ajan. Tulosten analysointi tuntui haastavalta, koska

kummallakaan opinnäytetyön tekijällä ei ollut kokemusta aineiston keräämisestä haastattelemalla, haastatteluaineiston analyysistä ja niiden tulosten tulkitsemisestä. Sen vuoksi tulosten analysointi aiheutti suurta epävarmuutta siitä, että onko osattu tehdä riittävästi. Vaikka tulos ei tule esille isoja yllättäviä havaintoja, on sen tulos silti merkittävä, sillä se viittaa siihen, että tarkastellut asiat ovat jo vakiintuneella ja hyvällä pohjalla.

Tutkimukseen olisi ollut mielenkiintoista saada radiologeja mukaan ja käsitellä kuvanlaadulliset asiat tarkemmin. Se olisi kuitenkin tehnyt opinnäytetyöstä huomattavasti laajemman ja siksi selkeämmän rajauksen sekä radiologien työ määrän vuoksi nämä päätettiin jättää opinnäytetyöstä pois. Aiheesta on Siemens Healthineersin omia tutkimuksia, mutta aihetta voisi tutkia jonkin heidän asiakkaansa näkökulmasta Suomessa. Sen vuoksi erillisenä jatkotutkimusaiheena voisi olla kuvanlaadun tutkiminen radiologien näkökulmasta ja heidän kokemuksiin Deep Resolve -tekniikoiden käytöstä. Jatkotutkimusaiheina voisi olla myös, miten vaikuttaa näihin ulkoisiin tekijöihin, jotta potilaiden tutkimusaikojat voitaisiin lyhentää ja mikä lyhyempien kuvausprotokollien ja tutkimusaikojen vaikutus on kustannuksiin, jotka nyt rajautuivat tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

### **8.3 Luotettavuus ja eettisyys**

Opinnäytetyössä noudatettiin Tampereen ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjeita. Tämän opinnäytetyön luotettavuutta vahvistaa perusteellinen dokumentointi koko tutkimusprosessista, sisältäen selkeän kuvauksen tutkimuksen lähtökohdista, teoreettisesta taustasta sekä aineistonkeruusta. Tarkka prosessin kuvaus auttaa lukijaa ymmärtämään tutkimuksen kulun, jonka avulla lukija pystyy arvioimaan tutkimuksen luotettavuutta. Läpinäkyvyys ja avoimuus ovat tutkimuksen keskeisiä arvoja. (Mustajoki 2018.)

Opinnäytetyötä tehdessä on avoimesti kommunikoitu niin Siemens Healthineersin kuin Terveystalon suuntaan ja mitään tietoa ei ole jätetty kertomatta. Kaikki prosessissa tuotettu kirjallinen materiaali on dokumentoitu. Haastatteluiden tallenteet ja litteroinnit hävitetään, kuten haastateltaville on kerrottu,

heti kun opinnäytetyö on hyväksytty. Opinnäytetyöhön pyrittiin avaamaan koko tutkimusprosessi sen luotettavuuden arvioimiseksi.

Opinnäytetyön aihe oli uusi ja täysin samanlaisia tutkimuksia ei ole tehty aiemmin. Aineistoa löytyi teoriaosuuteen magneettifysiikasta ja tekoälystä kattavasti eri lähteistä. Aineiston julkaisukieli oli joko suomi tai englanti ja mukaan teoreettiseen viitekehykseen valittiin vain korkeintaan viisi vuotta vanhoja tutkimuksia tai aineistoja. Tekoäly ja magneettikuvantaminen ovat jatkuvasti kehittyviä teknologian osa-alueita, jonka vuoksi aineiston aikarajaus tehtiin tiukasti. Opinnäytetyö kirjoitettiin sekä teksti- ja lähdeviitteet kirjattiin Tampereen ammattikorkeakoulun opinnäytetyöohjeiden mukaisesti.

Hyvä tieteellinen käytäntö tarkoittaa rehellisyyttä, huolellisuutta sekä tarkkuutta opinnäytetyön jokaisessa vaiheissa. Opinnäytetyön tekemisessä edellytetään vastuullista ja eettistä tekoälysovellusten käyttöä. (Vuori 2021b.) Tutkimuksessa käytettiin Microsoft Word -sovelluksen älykästä litterointia, joka oli ainoa tekoälyä hyödyntävä ratkaisu opinnäytetyötä tehdessä.

Vuoren (2021b) mukaan kvalitatiivisessa tutkimusmenetelmässä eettiset kysymykset liittyvät tutkimuksen kaikkiin vaiheisiin aina aiheenvalinnasta tutkimustulosten julkaisuun ja lopulta aineistojen arkistointiin. Tutkijan kriittisyys omaa työtään kohtaan ei vähennä tutkimuksen arvoa vaan parantaa sitä. (Vuori 2021b.) Tutkimusta arvioitaessa on huomioitava se, että kaikki tutkimus on tutkijan tekemää rakennelmaa. Näin ollen tutkimus on aina yhdenlainen versio tutkittavasta aiheesta, se ei tarjoa objektiivista, eikä absoluuttista tietoa, vaikka näin haluttaisiin ajatella. Tuloksista voidaan kuitenkin tehdä joitakin johtopäätöksiä, mutta tulokset ovat tilanteeseen sidonnaisia. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006c.)

Opinnäytetyölle haettiin lupa Terveystalolta ja tehtiin opinnäytetyösopimukset niin Siemens Healthineersin kuin Terveystalon kanssa. Opinnäytetyösopimukset ovat sähköisesti allekirjoitettu. Haastatteluun osallistuminen oli vapaaehtoista ja haastateltaville lähetettiin saatekirje, jossa kerrottiin opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus, tietosuojailmoitus sekä suostumuslomake. Heille annettiin mahdollisuus jättää prosessi kesken missä kohtaa vain, jos heistä siltä tuntuu. Tutki-

muksessa huomioitiin, että haastateltavat pysyvät tuloksissa anonyymeinä kuten heille oli luvattu ja tutkimus ei sisältänyt missään kohtaa henkilötietoja. Kaikki dokumentaatio on tallennettuna TUNI.fi -pilvipalveluun, joka vaatii kirjautumiseen salasanan sekä erillisen vahvistuksen.

## LÄHTEET

Abuzaid, M.M., Tekin, H.O., Reza, M., Elhag, I.R & Elshami, W. 2021. Assessment of MRI technologists in acceptance and willingness to integrate artificial intelligence into practice. *Radiography journal* 01.07.2021. Viitattu 26.01.2024. <https://www.sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S1078817421000870?via%3Dihub>

Behl, N. 2021. Deep Resolve – Mobilizing the Power of Networks. *MAGNETOM Flash lehti* 1.2021. Viitattu 21.01.2024. [https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/15fe3041cb84f0c0/c102fcc011dd/Behl\\_Deep-Resolve\\_MAGNETOM\\_Flash\\_78\\_ISMRM\\_2021.pdf](https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/15fe3041cb84f0c0/c102fcc011dd/Behl_Deep-Resolve_MAGNETOM_Flash_78_ISMRM_2021.pdf)

Carson, B., Maile, P., Sielicki, J & Gulay T. 2023. Clinical User Perspective of Deep Learning Image Reconstruction Techniques (Deep Resolve) for Improved MRI Capabilities. *MAGNETOM Flash -lehti* 3.2023. Viitattu 23.01.2024. [https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/a4046699301169b9/f33787a65d08/siemens-healthineers-magnetom-world-Gulay\\_Carson\\_Deep-Resolve\\_RSNA-2023.pdf](https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/a4046699301169b9/f33787a65d08/siemens-healthineers-magnetom-world-Gulay_Carson_Deep-Resolve_RSNA-2023.pdf)

Chavhan, G. 2022. *MRI Made Easy (for Beginners)*. 3.painos. New Delhi/London: Jaypee Brothers Medical Publishers

Deep Resolve- Faster than ever before. 2022. Siemens Healthineers. Verkkosivu. Viitattu 22.01.2024. <https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/43ac1c8627df5a23/9121a0dc7e9e/siemens-healthineers-mr-deep-resolve-family-infographic.pdf>

Dehem, J. 2022. Deep Resolve in Pediatric MRI. *MAGNETOM Flash lehti* 2.2022. Viitattu 22.01.2024. [https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/c0b342111fb73ddb/cbb92958a937/siemens-healthineers\\_magnetom-world\\_deep-resolve-in-pediatric-mri\\_new-version.pdf](https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/c0b342111fb73ddb/cbb92958a937/siemens-healthineers_magnetom-world_deep-resolve-in-pediatric-mri_new-version.pdf)

Grätzel von Grätz, P. 2020a. Magnetic resonance imaging: the long path to the patient. *Siemens Healthineers*. Viitattu 29.10.2024. <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/history-of-mri>

Grätzel von Grätz, P. 2020b. The MRI at 50 – what lies ahead. *Siemens Healthineers*. Viitattu 27.10.2024. <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/mso-the-MRI-at-50>

Günther, K., Hasanen, K. & Juhila, K. 2021. Johdanto: analyysi ja tulkinta. *Tietoarkisto. Verkkosivu*. Viitattu 28.10.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/analyysi-ja-tulkinta/>

Hari, R. 2003. *Magneettikuvia elävistä kudoksista ja elimistä*. *Duodecim lehti* 2003. Verkkosivu. Viitattu 27.10.2024. <https://www.duodecimlehti.fi/duo93965>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara P. 2013. *Tutki ja kirjoita*. 18. painos. Porvoo: Bookwell Oy.

Huhtanen, H., Nyman, M., Karlsson, A & Hirvonen, J. 2020. *Tekoäly radiologiassa*. *Duodecim lehti* 2020. Verkkosivu. Viitattu 28.11.2023. <https://www-duodecimlehti-fi.libproxy.tuni.fi/xmedia/duo/duo15753.pdf>

Juhila, K. 2021a. Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteet. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 16.2.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullisen-tutkimuksen-ominaispiirteet/>

Juhila, K. 2021b. Teemoittelu. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 9.9.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/>

Kallio, A. n.d. Litterointi. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 18.11.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-prosessi/litterointi/>

Kelleher, J. 2019. Syväoppiminen- kuinka tekoäly toimii. Pietiläinen, K. (suom.). Helsinki: Libris/painoliber Oy

Knoll, F., Hammernik, K., Zhang, C., Moeller, S., Pock, T., Sodickson, D & Akçakaya, M. 2021. Deep-Learning Methods for Parallel Magnetic Resonance Imaging Reconstruction: A Survey of the Current Approaches, Trends, and Issues. IEEE Signal Process lehti 22.05.2021. Viitattu 23.01.2024. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8962951>

Kämäräinen, J. 2023. Koneoppimisen perusteet. E-kirja. Suomi: Otatieto. Viitattu 19.04.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.ellibslibrary.com/fi/book/9789516724327>

Lee, H-S., Nickel, D., Thoenner, G. & Benkert, T. 2023. Deep Resolve Boost (DRB) and Sharp (DRS) for Diffusion: ADC Phantom Evaluation. MAGNETOM Flash lehti 02.2023. Viitattu 28.11.2023. [https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/751e44a47f93933b/ed5368f2650c/siemens-healthineers\\_magnetom-world\\_clinical-corner\\_Lee\\_Benkert\\_DRB\\_for\\_Diffusion\\_ISMRM\\_2023.pdf](https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/751e44a47f93933b/ed5368f2650c/siemens-healthineers_magnetom-world_clinical-corner_Lee_Benkert_DRB_for_Diffusion_ISMRM_2023.pdf)

Lin, D., Johnson, P., Knoll, F. & Lui Y. 2021. Artificial Intelligence for MR Image Reconstruction: An Overview for Clinicians. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2021 April; 53(4): 1015–1028

Lukin, P., Isojärvi, J., Mäkelä, S & Peltonen, T. N.d. Systemaattinen tiedonhaku. Tampereen yliopisto. Verkkosivu. Viitattu 10.11.2023 <https://libguides.tuni.fi/systemaattinen-tiedonhaku>

Magneettitutkimus. 2023. Terveyskylä. Verkkosivu. Viitattu 11.11.2024. <https://www.terveyskyla.fi/tutkimukseen/kuvantamistutkimuksia/magneettitutkimus>

Magnets, Spins and Resonances. 2023. An Introduction to the Basics of Magnetic Resonance. Siemens Healthcare GmbH. Viitattu 8.2.2024. [https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/4c778d745ed25f35/2bdd2a725e8b/siemens-healthineers\\_mr-basics\\_Magnets\\_Spins\\_Resonances\\_2023\\_MR-07000G.643.03.01.02.pdf](https://marketing.webassets.siemens-healthineers.com/4c778d745ed25f35/2bdd2a725e8b/siemens-healthineers_mr-basics_Magnets_Spins_Resonances_2023_MR-07000G.643.03.01.02.pdf)

Mazurowski, M., Buda, M., Saha, A & Bashir, M. 2019. Deep learning in radiology: an overview of the concepts and a survey of the state of the art with focus on MRI. Journal of Magnetic Resonance Imaging 04.2019, 939–954.

Muotio, L. 2022. Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä. Muotoilu-info. Verkkosivu. Viitattu 28.09.2024. <https://www.muotoilu.info/index.php/tutkiva-muotoilu/menetelmat/teemahaastattelu-tutkimusmenetelmana/>

- Mustajoki, H. 2018. Avoin tiede ja tutkimusetiikka. Vastuullinen tiede. Verkkosivu. <https://vastuullinentiede.fi/fi/tutkimustyo/avoin-tiede-ja-tutkimusetiikka>
- Nakaura, N., Higakib, T., Awaib, K., Ikedaa, O & Yamashitaa, Y. 2020. A primer for understanding radiology articles about machine learning and deep learning. *Diagnostic and Interventional Imaging journal* 2020. Viitattu 26.01.2024. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.libproxy.tuni.fi/33121910/>
- Nguyen, X., Oztek, M., Nelakurti, D., Brunnuell, C., Mossa-Basha, M., Haynor, D. & Prevedello L. 2020. Applying Artificial Intelligence to Mitigate Effects of Patient Motion or Other Complicating Factors on Image Quality. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*. Volume 29, Number 4, August 2020, 175–180
- Noordman, C., Yakar, D., Bosma, J., Simonis, F & Huisman, H. 2023. Complexities of deep learning-based undersampled MR image reconstruction. *European Radiology Experimental* (2023) 7:58. <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00372-7>
- Parhi-Riikola, P. 2003. Poikkiteollista magneettikuvausta. Kaleva. Verkkosivu. Viitattu 25.10.2024. <https://www.kaleva.fi/poikkiteollista-magneettikuvausta/2107474>
- Saaranen-Kauppinen, A & Puusniekka, A. 2006a. Litterointi. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 11.11.2024. [https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L7\\_2\\_1.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L7_2_1.html)
- Saaranen-Kauppinen, A & Puusniekka, A. 2006b. Strukturoitu ja puolistrukturoitu haastattelu. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 9.9.2024. [https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6\\_3\\_3.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_3.html)
- Saaranen-Kauppinen, A & Puusniekka, A. 2006c. Tutkimuksen arviointi-reflektointia. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 12.11.2024. [https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L3\\_3\\_3.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L3_3_3.html)
- Saaranen-Kauppinen, A & Puusniekka, A. 2006d. Yleistäminen. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 23.10.2024. [https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6\\_2\\_3.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_2_3.html)
- Salonen, I., Rejström, J., Huhtanen, S. & Huhtanen, J. 2023. Gadoliniumpohjaisten tehosteaineiden turvallisuus lasten magneettitutkimuksissa- kuvaileva kirjallisuuskatsaus. *Journal of Clinical Radiography and Therapy* 02.2023. Viitattu 27.10.2024. <https://sorf.fi/wp-content/uploads/2024/01/Salonen-et-al-JCRR-22023-vol.-22-3.pdf>
- Shimizu, H. & Nakayama, K. 2020. Artificial intelligence in oncology. *Cancer Science lehti*. 25.04.2020. Viitattu 23.01.2024. <https://doi.org/10.1111/cas.14377>
- Strenberg, C. 2022. Siemens Healthineers Improves Magnetic Resonance Imaging with Deep Resolve. *Medical Product Outsourcing*. Verkkosivu. Viitattu 28.11.2023. [https://www.mpo-mag.com/issues/temp2022/view\\_breaking-news/siemens-healthineers-improves-magnetic-resonance-imaging-with-deep-resolve/](https://www.mpo-mag.com/issues/temp2022/view_breaking-news/siemens-healthineers-improves-magnetic-resonance-imaging-with-deep-resolve/)
- Turun Yliopisto. N.d. Wihurin fysiikantutkimuslaboratorio. Historia. Verkkosivu. Viitattu 25.10.2024. <https://sites.utu.fi/wihuri/historia-3/>
- Vaara, S., Syväranta, S. & Peltonen, J. 2021. Magneettikuvauksen ABC: T1, T2, fat sat, DWI ynnä muut. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 2021;137(24):2681–9. Viitattu 12.9.2024. <https://www.duodecimlehti.fi/duo16593>

Vuori, J. 2021a. Laadullinen sisällönanalyysi. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 12.11.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavanvalinta-ja-yleiset-analyysitavat/laadullinen-sisallonanalyysi/>

Vuori, J. 2021b. Tutkimusetiikka ihmistieteissä. Tietoarkisto. Verkkosivu. Viitattu 11.10.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusetiikka/tutkimusetiikka-ihmistieteissa/>

Xu, M., Ouyang, Y. & Yuan, Z. 2023. Deep Learning Aided Neuroimaging and Brain Regulation. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 23.5.2023. Viitattu 22.01.2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10255716/pdf/sensors-23-04993.pdf>

## LIITTEET

### Liite 1. Saatekirje

Hei!

Opiskelemme Tampereen ammattikorkeakoulussa terveysteknologian ylemmässä tutkinto-ohjelmassa. Teemme opinnäytetyötä aiheesta ”Deep Resolve - tekoälyrekonstruktioiden hyödyntäminen magneettikuvantamisessa”. Tällä viestillä pyydämme teitä osallistumaan haastatteluun. Haastattelun tarkoituksena on selvittää, miten teknologioiden tulo on vaikuttanut työskentelyyn röntgenhoitajan/fyysikon näkökulmasta.

Opinnäytetyötä varten on tehty opinnäytetyösopimus sekä haettu lupa sen toteuttamiseen. Osallistuminen haastatteluun on täysin vapaaehtoista ja osallistumisen voi keskeyttää koska vaan sanomatta syytä. Vastaukset käsitellään luottamuksellisesti ja anonymisti. Vastaukset tullaan hävittämään kolmen kuukauden kuluttua, kun opinnäytetyö on julkaistu.

Aineistoa tullaan käyttämään vain tämän opinnäytetyön tutkimustarkoituksiin. Tutkimuksessa on otettu huomioon tietosuoja ja tämän saatekirjeen liitteissä on opinnäytetyön tietosuojailmoitus.

Tutkimus on tarkoitus toteuttaa Teams-haastatteluna. Haastattelu nauhoitetaan ja litteroidaan. Kestoltaan haastattelu on noin tunnin mittainen.

Ohjaavana opettajana opinnäytetyössä toimii Jussi Ylänen [jussi.ylanen@tuni.fi](mailto:jussi.ylanen@tuni.fi). Opinnäytetyö tullaan julkaisemaan [www.theseus.fi](http://www.theseus.fi).

Ystävällisin terveisin,  
Heidi Lehikoinen ja Heidi Salo

## Liite 2. Tietosuojailmoitus

## Tietosuojailmoitus

Rekisterin nimi	Deep Resolve- tekoälyrekonstruktioiden hyödyntäminen magneettikuvantamisessa
Päiväys	03.04.2024
Rekisterin pitäjät	Heidi Lehikoinen ja Heidi Salo (heidi.lehikoinen@tuni.fi, heidi.a.salo@tuni.fi)
Ohjaaja tai oppilaitoksen yhteyshenkilö	Jussi Ylänen (jussi.ylanen@tuni.fi)
Henkilötietojen käsitte- lyn tarkoitus ja käsitte- lyperuste	<p>Henkilötietojasi käsitellään Deep Resolve- teknologioihin liittyvässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyössä tehdään ryhmähaastattelu. Haastattelun tarkoituksena on selvittää, miten teknologioiden tulo on vaikuttanut työskentelyyn röntgenhoitajan/fysiikon näkökulmasta.</p> <p>Tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Henkilötietojen käsittelyperusteena on yleisen edun mukainen tutkimus opinnäytettä varten.</p> <p>Opinnäytetyön ohjaajalla voi olla pääsy aineistoon opinnäytetyön ohjaamista ja tarkastamista varten. Tällöin rekisterinpitäjänä on Tampereen ammattikorkeakoulu ja käsittelyperusteena yleisen edun mukainen opetustehtävä.</p> <p>Tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Henkilötietojen käsittelyperusteena on suostumus. Suostumuksen voi peruuttaa milloin tahansa ilmoittamalla tästä rekisterinpitäjälle. Mahdollinen osallistumisen peruuttaminen ei estä siihen asti kerättyjen tietojen käyttämistä tutkimuksessa edelleen. Voitte kuitenkin pyytää kaikkien vastausten poistamista tutkimuksesta.</p>
Henkilötietojen säily- tysaika	<p>Aineisto ja henkilötiedot tuhoetaan, kun opinnäytetyö on arvioitu. Arvioitu valmistusaika on 09/2024. Manuaalinen aineisto hävitetään tietosuojajätteeseen, digitaalinen aineisto poistetaan.</p> <p>Siltä osin kun ohjaajalta on pääsy aineistoon opinnäytetyön ohjaamista ja tarkastamista varten, ohjaajat ja tarkastajat käsittelevät henkilötietoja niin kauan kun on tarpeellista työn hyväksymistä varten.</p>
Rekisterin tietosisältö ja tietolähteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nimitiedot, vain tutkimukseen osallistumista ja suostumusta varten</li> <li>• Yhteystiedot (sähköpostiosoite) vain tutkimukseen osallistumista ja suostumusta varten</li> <li>• Tutkimuksen aineisto: haastattelun äänitallenteet, ei yhdistetä nimi tai yhteystietoihin.</li> </ul> <p>Tiedot kerätään tutkittavilta itseltään.</p>
Rekisteröidyn oikeudet	Tietosuojalainsäädännön mukaisesti sinulle kuuluu oikeus saada pääsy tietoihin, oikaista tietoja, oikeus tietojen poistamiseen (oikeus tulla unohdetuksi), rajoittaa tietojen käsittelyä ja vastustaa henkilötietojen käsittelyä. Jos haluat käyttää jotain oikeuttasi, ota yhteys rekisterinpitäjään.
Oikeus valittaa viranomaisille	Sinulla on oikeus tehdä valitus henkilötietojen käsittelyä valvovalle viranomaiselle, jos epäilet henkilötietojasi käsiteltävän vastoin tietosuojalainsäädäntöä: tietosuoja.fi, puh: 0295666700, sähköposti: <a href="mailto:tietosuoja@om.fi">tietosuoja@om.fi</a>
Henkilötietojen vastaanottajat	Henkilötietojasi ei luovuteta ulkopuolisille.
Rekisterin suojauksen periaatteet	Manuaalinen aineisto säilytetään lukitussa tilassa/kaapissa. Digitaalinen aineisto säilytetään Onedrivessä.

## Liite 3. Suostumuslomake

## SUOSTUMUSLOMAKE

Deep Resolve- tekoälyrekonstruktioiden hyödyntäminen magneettikuvantamisessa.

Suostumus tutkimukseen osallistumiseksi

Minua on pyydetty osallistumaan yllä mainittuun tieteelliseen tutkimukseen ja olen saanut kirjallista tietoa tutkimuksesta, ja mahdollisuuden esittää siitä tutkijoille kysymyksiä.

Ymmärrän, että tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista ja että minulla on oikeus kieltäytyä siitä sekä peruuttaa suostumus ja keskeyttää tutkimus väliaikaisesti syytä ilmoittamatta. Ymmärrän myös, että tiedot käsitellään luottamuksellisina.

Annan suostumukseni tutkimukseen.

Paikka ja päivämäärä

---

Allekirjoitus

---

Nimenselvennys

---

Puhelinnumero

---

sähköpostiosoite

#### Liite 4. Haastattelukysymykset

Esittely: Kuka on, mikä on asema ja kokemus röntgenhoitajana/fyysikkona

1. Mikä on kokemus magneettikuvantamisesta ennen ja jälkeen Deep Resolve -tekniikan tulon?
2. Kuinka kauan Deep Resolve -tekniikka on ollut käytössä?
3. Miten tekniikan käyttöönotto onnistui?
4. Missä kaikissa kuvauskohteissa tekniikka on jo käytössä?
5. Miten sitä voitaisiin hyödyntää muissakin kohteissa?
6. Onko tekniikan myötä aloitettu tekemään uusia tutkimuksia? Jos on niin, mitä tutkimuksia ja miksi?
7. Miten tekniikka on vaikuttanut koneella tutkimuksen tekemiseen?
8. Onko lisännyt esim. klikkauksia tai huomannut, että potilaat lämpenevät helpommin (koska kiihdytyskertoimia on enemmän)?
9. Miten tekniikka vaikutti kuvausaikoihin?
10. Miten tekniikoiden tulo on huomioitu potilaan valmistelussa, tutkimusajoissa tai jotenkin muuten?
11. Miten tekniikka on vaikuttanut kuvanlaatuun?
12. Onko joutunut uusimaan DRB-sarjan jälkeen saman sarjan ilman DRB:tä tai korvaamaan protokollassa DRB-sarja ”vanhalla” perussarjalla?
13. Onko yksikössä annettu tarpeeksi aikaa laitteella sarjojen kehittämiseksi?
14. Mitä muuta haluatte kertoa Deep Resolve -tekniikan tulosta yksiköönne?