

Mohamed, Maryan Abdikarim  
Ayele, Eyerusalem Asgedom

## **Sikkerhetsutfordringer ved MR- avbildning av pasienter med DBS og CI.**

Safety challenges during MRI imaging of patients  
with DBS and CI.

Bacheloroppgave i Radiografi  
Veileder: Huuse-Røneid, Else Marie  
Mai 2023



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



Mohamed, Maryan Abdikarim  
Ayele, Eyerusalem Asgedom

## **Sikkerhetsutfordringer ved MR- avbildning av pasienter med DBS og CI.**

Safety challenges during MRI imaging of patients with  
DBS and CI.

Bacheloroppgave i Radiografi  
Veileder: Huuse-Røneid, Else Marie  
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for medisin og helsevitenskap  
Institutt for sirkulasjon og bildediagnostikk



Kunnskap for en bedre verden



## **Forord**

Hensikten med bacheloroppgaven er å se på sikkerhetsutfordringene ved MR-undersøkelser av pasienter med dyp hjernestimulator (DBS) og cochlea implantat (CI). Deretter skal oppgaven fokusere på hvordan potensielle farene kan håndteres av radiografene. Arbeidet har vært fra høsten 2022 til våren 2023, og det var lærerikt å fordype oss i et spennende tema innen MR. Ved å studere nærmere på de utfordringene med DBS/CI og MR-avbildning har vi fått kunnskap om mulige tiltak som vi kan bruke i arbeidslivet. Oppgaven er rettet mot radiografer, radiologer, og annet fagpersonell som har interesse av tema.

Vi vil takke vår veileder Else Marie Huuse-Røneid som har gitt oss god veiledning og nyttige tilbakemeldinger gjennom hele oppgaven. Vi vil også takke hverandre for godt samarbeid. Til slutt vil vi takke alle som har lest gjennom oppgaven og gitt konstruktive tilbakemeldinger.

Gjøvik 26. mai 2023

Maryan Mohamed og Eyerusalem Ayele

20 BRAD-NTNU i Gjøvik

<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Ordliste:</b> .....	<b>9</b>
<b>1.0 Innledning</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Bakgrunn for valg av tema</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 Hensikt med oppgaven</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 Problemstilling</b> .....	<b>11</b>
<b>1.4 Radiograffaglig relevans</b> .....	<b>11</b>
<b>1.5 Forskning</b> .....	<b>11</b>
<b>1.6 Avgrensning</b> .....	<b>12</b>
<b>1.7 Oppgavens oppbygning</b> .....	<b>13</b>
<b>2.0 Teori</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Nevrostimulator</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Dyp hjernestimulator .....	14
2.1.2 Cochlea implantat .....	14
<b>2.2 MR-avbildning</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Magnetisk Resonans .....	15
2.2.2 Statisk magnetfelt (B0).....	15
2.2.3 Radiofrekvensfelt (RF) .....	16
2.2.4 Gradientfelt .....	16
2.2.5 Sekvens .....	17
<b>2.3 Faktorer som har betydning for sikkerheten ved avbildning av DBS og CI fra tidligere forskning</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 DBS-elektrode, elektrodeforlengere og stimulator.....	19
2.3.2 Cochlea implantat .....	19
<b>2.4 Radiografens rolle</b> .....	<b>20</b>
<b>3.0 Metode</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 Litteraturstudie</b> .....	<b>21</b>
3.1.2 Begrunnelse av metode.....	21

3.1.3 Fremgangsmåte.....	22
<b>3.2 PICO-Skjema.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Inklusjons og eksklusjonskriterier .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Avansert søk og utvalg.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 Flytskjema.....</b>	<b>25</b>
<b>3.6 Kritisk vurdering av valgte studiene .....</b>	<b>26</b>
<b>3.7 Begrensninger .....</b>	<b>26</b>
<b>3.8 Analysering .....</b>	<b>26</b>
<b>3.9 Godkjenninger og etiske utfordringer.....</b>	<b>27</b>
<b>4.0 Resultater.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Presentasjon av de utvalgte studier .....</b>	<b>28</b>
4.2.1 Implantatoppvarming av DBS .....	38
4.2.3 Dysfunksjon.....	39
4.2.4 Forskyvning av den interne magneten CI.....	40
4.2.5 Smerte og ubehag .....	40
<b>5.0 Diskusjon.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Implantatoppvarming og tiltak.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 IPG-dysfunksjon og tiltak .....</b>	<b>44</b>
<b>5.3 Pulssekvenser og tiltak.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 Forskyvning av intern magnet og pasientposisjonering .....</b>	<b>44</b>
<b>5.5 Smerte og ubehag .....</b>	<b>45</b>
<b>5.6 Metodekritikk.....</b>	<b>46</b>
<b>6.0 konklusjon .....</b>	<b>48</b>
<b>7.0 Litteraturliste.....</b>	<b>50</b>
<i>Andre kilder i oppgaven.....</i>	<i>51</i>
<b>Vedlegg 1 søkehistorikk .....</b>	<b>55</b>

## Sammendrag

**Problemstilling:** Hva er sikkerhetsutfordringene ved MR-undersøkelser av pasienter med dyp hjernestimulatur og cochlea implantat, og hvordan kan radiografene håndtere potensielle farer for å sikre en trygg MR-undersøkelse for denne pasientgruppen?

**Hensikt:** Hensikten med denne oppgaven er å se nærmere på MR-sikkerhetsutfordringene ved MR-undersøkelser av pasienter med dyp hjernestimulatur (eng. deep brain stimulation, DBS) og cochlea implantat (CI). Deretter skal oppgaven fokusere på hvordan potensielle farene kan håndteres av radiografene.

**Metode:** En litteraturstudie er benyttet for å løse problemstillingen. Vi analyserer resultatene til åtte studier for å undersøke sikkerhetsutfordringene som oppstår ved MR-avbildning av pasienter med DBS/CI. I tillegg potensielle tiltak som radiografene kan benytte for å gi en trygg undersøkelse.

**Resultat:** Hovedutfordringene som har blitt funnet ved MR-avbildning med DBS og CI er ulike. Utfordringen er implantatoppvarming og IPG-dysfunksjon. Potensielle tiltak som radiografene kan gjøre er bruk av 1.5T magnetfeltstyrke og sender/mottaker hodespole og bruk av spesifikke sekvenser. Ved CI er utfordringene smerte, ubehag og forskyvning av den interne magneten. Potensielle tiltak er bruk av bedøvelse, kunnskap av modell typen til implantatet, bruk av supinert stilling ved plassering av pasienten, passe på magnet polariteten av MR-maskinen og å unngå reposisjonering i magnetåpningen.

**Konklusjon:** Det finnes MR-tilpasset retningslinjer som er lagt av implantatleverandører for pasienter med DBS/CI. De utfordringene med DBS/CI er implantatoppvarming, IPG-dysfunksjon, smerte, ubehag og forskyvning av den interne magneten. Det er dette radiografene må passe på for å gi en trygg MR-undersøkelse for pasienter med DBS/CI. For å oppnå en sikker MR-avbildning av pasienter med DBS/CI har oppgaven kommet frem med noen tiltak hvor avbildnings parametere må tas i betraktning for de ulike utfordringene. Dette gjør det mulig for pasienter med DBS/CI å få diagnostisk nytte av MR på likt nivå som vanlige pasienter gjør. Likevel er det alltid viktig å veie fordeler og ulemper ved diagnostiske undersøkelser. Hvis MR sannsynligvis vil gi betydelige fordeler for pasienter med DBS/CI kan en viss grad av risiko være akseptabel.



Det er ikke mulig å komme fram til et generelt tiltak for DBS/CI, fordi pasienter er implantert med ulike implantatmodeller, hvor noen pasienter har eldre og moderne. Det er krav med flere forskinger for DBD/CI for å få nye oppdaterte kunnskap om de ulike DBS/CI modeller.

**Nøkkelord:** Magnetisk resonans, dyp hjernestimulator, cochlea implantat, pasientsikkerhet

**Antall ord:** 7982

## **Abstract**

**Thesis:** What are the safety challenges in MRI examination of patients with deep brain stimulator (DBS) and cochlear implant (CI), and how can radiographers manage potential dangers to ensure a safe MRI examination for this patient group?

**Purpose:** The purpose of this thesis is to take a closer look at the MRI safety challenges in MRI examinations of patients with DBS and CI. The task will then focus on how potential dangers can be handled by radiographers.

**Method:** A literature review has been used to answer the thesis question. We analyzed the results of eight studies for the safety challenges arising from MR imaging of patients with DBS/CI. In addition, potential measure radiographers can use to provide a safe examination.

**Results:** The main challenges that have been found in MR imaging with DBS and CI are different. The DBS challenges are implant heating and IPG-dysfunction. Potential measures radiographers can take are use of 1.5T magnetic field strength, head-transmit coils and the use of specific imaging parameters. With CI, the challenges are pain, discomfort, and displacement of the internal magnet. Potential measures include usage of anesthetic, knowledge of the model type of the implant, supine positioning of patient when getting into position, being aware of the magnet polarity of the scanner and avoiding reposition in the bore of the scanner.

**Conclusion:** There are MRI-conditional guidelines made by implant manufacturers for patients with DBS an CI. The challenges with DBS/CI er implant heating, IPG-dysfunction, pain, discomfort, and displacement of internal magnet. This is what radiographers must be aware of to achieve safe MR imaging of patients with DBS/CI. In order to achieve safe MR examination of these patients, image acquisition parameters can be taken into consideration for the challenges. This makes it possible for patients with DBS/CI to benefit from MRI at the same level as normal patients. Nevertheless, it is always important to weigh the advantages and disadvantages of a diagnostic examination. If MRI is likely to provide significant benefits to patients with DBS/CI, some degree of risk may be acceptable.

It is not possible to arrive at a general safety measure for DBS/CI, because patients are implanted with different implant models of different manufacture years. Some patients have older, and some have more modern devices. More research should be carried out for DBS/CI patients, to gain new and updated knowledge about various DBS/CI models.

**Keywords:** Magnetic resonance imaging, deep brain stimulation, cochlear implant, patient safety.

**Number of words:** 7982

**Ordliste:**

**Magnetisk resonanstomografi = MR**

**Tesla = T**

**Field of view = FOV**

**Dyp hjernestimulator= DBS**

**Cochlea implantat = CI**

**Statisk magnetfelt= B0**

**Radiofrekvens felt= RF-felt (B1)**

**Spinn ekko=SE**

**Fast spinn ekko=FSE**

**Gradient ekko= GRE**

**Inversjon-gjenvinning = IR**

**Inversjonstid =TI**

**Repetisjonstid= TR**

**Ekkotid = TE**

**Stigehastighet = dB/dt**

**Spesifikk absorpsjonshastighet = SAR**

**Root Mean Square= B1+rms**

**Mikrotesla =  $\mu$ T**

## **1.0 Innledning**

Magnetisk resonanstomografi (MR) er betraktet som et trygt bildediagnostisk, fordi den ikke bruker ioniserende stråling, som computertomografi og røntgen. MR gir bedre fremstilling av bløtvevskomponenter og visualisering av anatomiske strukturer uten å påføre pasienten for noe ioniserende stråling (Vu *et al.*, 2022). Selv om MR ikke bruker ioniserende stråling, kan MR gi skadelige eller dødelige konsekvenser for mennesker (Keevil, 2016). Utfordringen med MR er at maskinen tiltrekker seg ferromagnetiske objekter, som implantater og utstyr som ikke er tilpasset MR, fordi MR består av et sterkt statisk magnetfelt. Radiofrekvensen (RF) fører også til at implantater og vev varmer opp, noe som skader implantatenes normale funksjon og pasienten (Norsk Radiografforbund, 2022).

## **1.1 Bakgrunn for valg av tema**

Bakgrunnen for valgt av tema oppsto under praksis ved en MR-avdeling. MR-avdelingen tok ikke bilder av pasienter med aktive medisinske implantater, som for eksempel nevrostimulatorer. Radiografen opplevde det som utrygt og pasienter ble avvist eller henvist videre til et annet sykehus. I en rapport om MR-sikkerhet publisert av Norsk radiografforbundet 2022 påpeker at det kan være utfordrende for radiografer å vite hva man skal passe på når det gjelder aktive medisinske implantater. I tillegg sier Norske radiografforbund (2022) at det er flere og nye typer implantater i bruk med mangelfulle MR-sjekklistor og at dette frembringer utfordringer rundt utredning av pasienter som skal gjennomgå MR-undersøkelse. Et økende antall aktive medisinske implantater hos pasienter blir stadig mer utfordrende i klinisk MR-avbildning. Dette resulterer i dødsfall når det gjelder MR-undersøkelser internasjonalt (Norsk Radiografforbund, 2022).

## **1.2 Hensikt med oppgaven**

Hensikten med denne oppgaven er å se nærmere på MR-sikkerhetsutfordringene ved MR-undersøkelser av pasienter med DBS og CI. Deretter skal oppgaven fokusere på hvordan potensielle farer kan håndteres av radiografer.

### 1.3 Problemstilling

Problemstillingen i denne oppgaven er “*Hva er sikkerhetsutfordringene ved MR-undersøkelser av pasienter med dyp hjernestimulatur (DBS) og cochlea implantat (CI), og hvordan kan radiografer håndtere potensielle farer for å sikre en trygg MR-undersøkelse for denne pasientgruppen?*”

### 1.4 Radiograffaglig relevans

Radiografer har ansvar for å gjennomføre undersøkelser og passe på pasientsikkerheten ved MR undersøkelser. På grunn av et økende antall pasienter med aktive medisinske implantater er målet med oppgaven å finne ut hvordan vi kan sikre tilgang til MR-undersøkelser for disse pasienter. Produsenter av implantater prøver å forbedre MR-kompatibiliteten til aktive medisinske implantater for pasienter (Aissani, Laistler og Felblinger, 2019). Det Norske Radiografforbundet (2022) påpeker at det er lav kompetanse på hvordan nevrostimulatorer skal avbildes. Dermed er problemstillingen radiograffaglig relevant. Det er behov for å kartlegge potensielle farer og hvordan radiografer kan håndtere disse. For å sikre best mulig pasientsikkerhet gjennomføres en litteraturstudie.

### 1.5 Forskning

Erhardt *et al.* (2018) rapporterer at MR er betraktet som godt egnet for diagnose av neurodegenerative sykdommer og postoperativ overvåking av pasienter med denne type sykdommen. Vekselvirkninger mellom det statiske magnetfeltet, radiofrekvens-feltet (RF), gradientfeltet og implantater kan føre til helseisiko. For mange pasienter kan det likevel være god indikasjon for at en MR undersøkelsen bør gjennomføres.

Boutet *et al.* (2020a) rapporterer at omtrent 150 000 pasienter har gjennomgått kirurgiske inngrep for DBS over hele verden. 10 år etter implantasjonen kommer ca. 70% av disse til å trenge en MR-undersøkelse. MR-relaterte uønskede hendelser har ført til imidlertid strengere implantatleverandørens retningslinjer, noe som begrenser tilgangen til MR for pasienter med DBS. I tillegg til å begrense den diagnostiske nytten av MR for DBS pasienter, hindrer implantat retningslinjenes forskrifter tilgang til MR betydelig. Erhardt *et al.* (2018)

rapporterer 300 000 pasienter med CI fikk ikke MR-undersøkelse. Pasienter med CI som har større plager enn smerten de får fra MR-undersøkelse kan få MR-avbildning.

Hovedutfordringene som er kjent per nå er det kraftige statiske magnetfeltet som tiltrekker ferromagnetiske gjenstander. Dette vil påvirke innopererte aktive medisinske implantater og annet utstyr som ikke er MR-tilpasset (Norsk radiografforbund, 2022).

Wichemeyer, Sharon og Weireich (2020) deler utstyr inn i tre kategorier for MR-kompatibilitet. Dette gjelder også nevrostimulator implantater (DBS/CI). Kategoriene er MR-sikker (MR safe), MR-tilpasset (MR conditional), MR-kontraindisert (MR unsafe). MR-sikker vil si at implantatet er godkjent for MR-undersøkelse, mens MR-tilpasset vil si at implantatet er godkjent for MR under gitte betingelser. MR-kontraindisert betyr at implantatet er ikke godkjent for MR.

De moderne DBS-komponenter av MR-tilpasset nevrostimulatorer er ikke ferromagnetiske eller diamagnetiske. Eldre IPG modeller inneholdte magnetisk komponenter. Dette er minimalisert i moderne IPG modeller siden elektroder og elektrodeforlengere er ikke ferromagnetiske. Fordi det statiske magnetfeltet er mer homogent i isosenteret kan IPG-komponenter, som er lokalisert på siden være mer følsomme for mekaniske krefter (Boutet *et al.*, 2020a).

De siste årene har det kommet CI som er godkjent for MR. Wichemeyer *et al.* nevner også noen potensielle farer med CI som smerter, mulig bevegelse og funksjonsfeil. Disse mulige farene er avhengig av implantattype. (Wickemeyer, Sharon og Weinreich, 2020)

## 1.6 Avgrensning

Vi velger å kun fokusere på DBS -og CI-implantat, som begge er lokalisert i hoderegionen. Oppgaven blir videre avgrenset til MR sikkerhetsutfordringer som oppstår på grunn av statisk magnetfeltet, RF feltet og gradientfeltet som benyttes ved MR-avbildningen (Norsk Radiografforbund, 2022).

## **1.7 Oppgavens oppbygning**

Under teorikapittelet skal relevant teori belyses og presenteres. I metodekapittelet vil valg av litteraturstudie begrunnes og datainnsamling presenteres. En beskrivelse av måten materialet er hentet inn og analysert, og den brukte søkestrategi skal presenteres. I resultatkapittelet skal funnene i de utvalgte studiene fremstilles i form av tabeller og tekst. Diskusjonskapittelet tar for seg resultatdiskusjon og metodekritikk. I resultatdiskusjonen skal funnene diskuteres mot den valgte problemstilling og teori. I metodekritikken skal egen oppgave diskuteres. På slutten av oppgaven skal en konklusjon gjøres som kan gi forslag til videre oppfølging av temaet.



## 2.0 Teori

I dette kapittelet er de relevante punktene forklart før analysering av data.

### 2.1 Nevrostimulator

#### 2.1.1 Dyp hjernestimulator

DBS er en nevrostimulator som stimulerer strukturer i hjernen med små elektriske impulser, og er en lindrende behandling av for eksempel bevegelsesforstyrrelse og andre tilstander som depresjon. Bevegelsesforstyrrelser er sykdommer som Parkinsons, dystoni, epilepsi, essensiell tremor osv. (Dietrichs, 2019). Avhengig av sykdommen blir DBS plassert i en av de tre mest brukte målområdene; thalamus, globus pallidus internus (GPi), nucleus subthalamicus (STN). DBS-systemet kan brukes som enten unilateral og/eller bilateral i en av de hjerne strukturene (National Institute of Neurological Disorders and Stroke, 2023).

DBS-systemet består av elektroder (*leads*), en implanterbar pulsgenerator (*IPG*) og elektrodeforlengere (*extension cables*). DBS-elektroder er tynne ledninger som føres inn via en liten åpning i skallen/cortexen og implanteres i hjernen hvor de sender små elektriske impulser til hjernestrukturene. IPG leverer elektrisk stimulering til spesifikke områder i hjerne som kontrollerer bevegelse. Elektrodeforlengerne er en isolert ledning som føres under huden på hodet, nakken og skulderen, og kobler elektrodene til IPG-enheten (National Institute of Neurological Disorders and Stroke, 2023).

#### 2.1.2 Cochlea implantat

CI er et apparat dannet av elektroder, som opereres inn i cochlea og en ekstern del som kobles til elektroden. CI er et apparat som viderefører lyder til hørselsnerven, og gjør at en person med betydelig hørselstap eller som er døv kan oppfatte lyd. En CI er laget slik at en person kan få tilgang til de lydene som er avgjørende for å oppfatte tale. (FDA, 2018) En CI består av eksterne og interne komponenter. Disse er ekstern mikrofon, taleprosessor og en signaloverføringsenhet som plasseres bak øret. Den interne delen består av mottaker og elektrode som stimulerer nervene i cochlea. Den interne og eksterne komponenten inneholder en magnet som tillater at signalene fra eksterne lyd kan sendes til cochlea nerven (Naples og Ruckenstein, 2020).

CI brukes av pasienter med nedsatt hørsel som ikke har utbyttet høreapparat, fordi de har nedsatt hørsel i et område som høreapparat ikke er egnet til. Barn som er født døv eller med betydelig hørselstap kan få CI. Med utvikling av kirurgi er det nå mulig å tilby barn under 12 måneder CI (DeSaSouza, 2022, s.19).

## **2.2 MR-avbildning**

### **2.2.1 Magnetisk Resonans**

MR brukes til å avbilde kroppens indre organer og strukturer (Borthne, 2019 og NHS, 2022). For å danne et bilde bruker MR-maskinen elektromagnetiske felt, som kan vekselvirke med aktive medisinske implantat. Disse elektromagnetiske feltene er det statiske magnetfeltet ( $B_0$ ), radiofrekvensfeltet ( $B_1$ ) og gradientfeltet. Alle disse tre elektromagnetiske feltene er viktige for å danne et MR-bilde (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.4 og Sherlock, 2014 s. 356).

### **2.2.2 Statisk magnetfelt ( $B_0$ )**

Det kraftige statiske magnetfeltet har to krefter på ferromagnetiske objekter; rotasjonskraft og translasjonskraft. Rotasjonskraften (torque) vil rotere ferromagnetiske objekter i samme retning som hovedmagnetfeltet ( $B_0$ ). Rotasjonskraften er sterkest i isosenteret til magneten, fordi der er feltstyrken størst. Translasjonskraften gjør at ferromagnetiske objekter trekkes mot isosenteret til magneten. Den er nær null ved isosenteret. Magnetfeltstyrken blir økende og sterkere fra MR-døren til MR-maskinen. Derfor øker magnetfeltstyrken raskere og raskere når man nærmer seg magneten. Når magnetfeltstyrken øker, vil også den tiltrekkende kraften på ferromagnetiske objekter øke (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.5). Styrken for det statiske magnetfeltet måles i tesla (T) (Smith og Gjesdal, 2000).

MR-maskinen er alltid “på” selv om det ikke er noen som avbildes med unntak av når MR-maskinen skal utblåses (quenches) så er den “av” (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.5). Dermed må radiografer alltid være oppmerksomme på hva pasienten eller personellet har på kroppen eller tar med seg inn på MR-rommet.

### 2.2.3 Radiofrekvensfelt (RF)

RF-feltet er kun “på” ved MR-avbildning. RF-feltet oppstår ved at en RF-sendespole sender inn en radiobølge. RF sin rolle er å stimulere spinnene (protonene) og skape et MR-signal som kan oppdages av en mottakerspole. RF-energi mengden er avhengig av flere faktorer; størrelsen og typen RF-spole som brukes til overføring (transmission), avstanden til spolen fra pasienten, magnetfeltstyrken, antall og type av RF-pulser i bildesekvensen. For eksempel krever en 180° refokuseringspuls fire ganger mer RF-energi, enn 90° eksitasjonspuls. (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018, s.6-7)

RF-sendespolen kan enten være en helkroppspole eller en sende/mottakerspole tilpasset en kroppsdel, for eksempel hode eller kne. Det bør kun brukes sende-/mottakshodespoler, siden RF-sendespolen kan eksponere mer RF-energi på nevrostimulatorens ledningssystemet (for eksempel DBS-elektrode). Dermed øker risikoen for ekstrem oppvarming og termiske lesjoner som kan resultere i koma, lammelse og død. (Shellock, 2014, s. 356)

### 2.2.4 Gradientfelt

Gradientfeltet genereres av spoler, som er plassert inne i MR-maskinen og er brukt for å lokalisere MR-signalene. Ved MR-avbildningen slås strømmen i gradientspolene raskt “på” og “av” som fører til raske endringer i amplitude og polaritet til gradientfeltet. (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.6) Det er fire ulike kjennetegn for et gradientfelt; hvor fort man kan kjøre en gradient til en bestemt amplitude (dB/dt, stigehastighet), maksimal amplitude, avstanden fra isosenter gradientfeltet når før den avtar og hvor ofte gradienten kan kjøres uten feil. Høy stigehastighet gir kortere ekkotid (TEs), ekko avstand og forbedrer bildekvaliteten (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.6)

### 2.2.5 Sekvens

Ved MR kan man få frem ulik vevskontrast med ulike sekvenser; spinn ekko, fast spinn ekko, gradient ekko sekvens og inversion recovery. De ulike sekvensene er bygd opp ulikt og har ulik energiavsetning. Energiavsetning måles i SAR og/eller  $B_1+rms$ .

#### Spinn ekko og fast spinn ekko sekvens

Spinn ekko sekvens (SE) bruker  $180^\circ$  puls for å refokusere spinnene (protonene) og danner ekko som vi måler. Hvert ekko er en linje i k-space. SE-sekvensen benytter lengre tid enn fast spinn ekko på grunn av at SE har mye færre ekko per TE enn fast spinn ekko. SE sekvensen gir de beste bildene, fordi kontrast og signal-støy forhold blir fremstilt godt i et SE sekvens. Ulempen med SE er at det benytter lengre skannetid og dette kan føre til pasientbevegelse. Dette kan fikses ved bruk av fast spinn ekko. SE sekvensen brukes til å ta T2 vektet bilder (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.74-75).

Fast spinn ekko (FSE eller turbo spinn-ekko) sekvens benytter mange  $180^\circ$  pulser etter hverandre. Dette fører til at den transversale magnetiseringen refokuseres flere ganger. Ved FSE måler man ekko etter hver  $180^\circ$  puls, derfor vil k-space bli fylt raskere. FSE bruker raskere skannetid (Runge, Nitz og Heverhagen, 2018 s.76-78).

#### Gradient ekko sekvens

Gradient ekko sekvens (GRE/GE) benytter  $90^\circ$ eksitasjonspuls, men bruker en gradient for å refokusere protonene og danne et ekko. Den benytter flippvinkler mellom 0 grader og 90 grader, oftest lavere enn  $90^\circ$ . En flippvinkel mindre en  $90^\circ$  gir kortere TR, og kortere TR gir kortere opptakstid. Dermed avsetter GRE-sekvensen mindre varme i vevet, siden den benytter færre RF-pulser. GRE-sekvensen er raskere og har kortere TE. Ulempen med GRE er at den ikke eliminerer makroskopiske magnet-inhomogeniteter og lokal susceptibilitets variasjoner slik som  $180^\circ$  pulsen. GRE kan brukes til å ta T1 vektet bilder (Runge *et al.*,2018 s.86-87, 122-123).

## **Inversion recovery sekvens**

Inversion recovery sekvens (IR) baserer seg på SE sekvens og benytter enten T1, T2 eller proton tetthet (PD) vektning. IR benytter inversjonspuls slik at signal fra vannmolekyler eller fettmolekyler kan undertrykkes. Inversjonspulsen sendes før 90° puls. Det er to typer IR sekvenser short tau inversion recovery (STIR) og fluid attenuation inversion recovery (FLAIR). STIR-sekvens brukes for å undertrykke signalet fra fettmolekyler. FLAIR-sekvens benyttes for å undertrykke signal fra vannmolekyler. IR-sekvensen kan kombineres med SE, GRE og andre. Ventetiden fra inversjonspulsen til eksitasjonspulsen kalles inversjonstid (TI) (Runge *et al.*, 2018 s. 92-95).

## **Spesifikk absorpsjonshastighet og B<sub>1</sub>+ rms**

Spesifikk absorpsjonshastighet (SAR) er et mål for vevsoppvarming. RF-energien som avsettes i vevet ved MR-avbildning kan føre til vevsoppvarming. SAR beregner på hvor mye energi som er absorbert per tidsenhet. Enheten for SAR er W/kg (watt/kilogram). Metabolsk aktivitet i menneskekroppen har en effekt på omtrent 1 w/kg i hvilefase, mens ved kraftig fysisk aktivitet er den mer enn 10 W/kg. Når energiavsetningen er høyere enn dette kan det føre til at vev varmes opp og alvorlig vevskade opptrer. (Vistnes, 2020) B<sub>1</sub>+ rms også måler energiabsorpsjonen i et vev og benyttes lik som SAR. Enheten for B<sub>1</sub>+rms er mikrotesla (μT) og den skal være <2 μT.

U.S Food and Drug Administration (FDA) retningslinjer beregner SAR til 4 W/kg i gjennomsnitt over 15 minutter for helekroppen, 3 W/kg over 10 minutter for hodet, 8 W/kg over 5 minutter per gram vev for hodet eller overkroppen, og 12 W/kg over 5 minutter per gram vev for ekstremitetene. Kroppens kjernetemperatur skal ikke øke over 1°C. Det International Electrotechnical Commission (IEC) avviker litt fra dette (Runge *et al.*, 2018, s.6-7).

Dette gjelder for DBS implantat. SAR bør være ≤ 0,1 W/kg ved MR-avbildning. Dette forhindrer oppvarming av DBS-systemet (spesielt elektrodespissene) og potensiell hjerneskade. SAR kan reduseres ved å redusere antall snitt, antall ekko og øke TR. Dette kan forlenge innhentingstiden. Reduksjon av antall snitt krever veiledning av radiolog for å sikre at den aktuelle anatomien avbildes (FOV) (Boutet *et al.*, 2020a).

## **2.3 Faktorer som har betydning for sikkerheten ved avbildning av DBS og CI fra tidligere forskning**

### **2.3.1 DBS-elektrode, elektrodeforlengere og stimulator**

Boston Scientific Neuromodulation Corporation (2023) rapporterer pasienter med full DBS-systemet (elektrode, elektrodeforlengere og IPG) ikke skal avbildes med MR. Dette er i motsetning til andre studier der det vises at pasienter med full implantert DBS-systemet kan få MR-undersøkelse under spesielle implantatleverandørenes retningslinjer. Studien som ble gjort av Rahimpour *et al.* (2021) viser at det statiske magnetfeltet kan forårsake forskyvnings- og rotasjonskrefter på DBS-enheter. Forskyvningskraften oppstår på grunn av prosjektilbevegelse av ferromagnetiske objekt i nærvær av et magnetfelt. Rotasjonskraften er DBS tendens til å rotere og rette opp med magnetfeltet (Rahimpour *et al.*, 2021). RF-felt kan påføre oppvarming av DBS-implantat og eventuell skade på vevet. Erturk *et al.* (2020) rapporterer at gradientfeltet kan indusere elektriske felt (E-felt) og strømflyt i menneskekroppen, som kan forårsake vevsstimulering og ødeleggelse av DBS-enheten. Dermed kan gradientfelt induserte E-felt generere eksternt spenningspotensial mellom DBS-elektroder og elektrodeforlengere. (Erturk *et al.*, 2020). Ulike implantatleverandører har ulike retningslinjer om hvordan innstillingene for DBS skal være ved MR-avbildning. For eksempel, om IPG skal være av eller på ved MR-avbildning. Implantatleverandører som Medtronic, Boston Scientific og Abbott har MR-tilpasset DBS.

### **2.3.2 Cochlea implantat**

I følge Todt *et al.* (2018) er CI et implantat med intern magnet, som kan skape utfordring ved MR-avbildning. Forskyvning av CI kan oppstå som følge av den interne magneten (ferromagneten) (Todt *et al.*, 2018). Den interne magneten vekselvirker med det statiske magnetfeltet. På grunn av dette oppstår rotasjonskraft i den interne magneten. Det vil si den interne magneten vil rette seg opp etter  $B_0$ -feltet. Dette fører til pasientsmerte og ødeleggelse av vevet, og ikke minst forekommer dysfunksjon av implantatet. For å fikse dette må pasienten få replaseringsoperasjon av implantatet (Erhardt *et al.*, 2018). Den interne magneten kan skape artefakter, som gjør det vanskelig å se viktige anatomiske strukturer på MR-bilder. Avhengig av CI-posisjonering og pasientposisjonering kan bildekvaliteten bli

bedre. CI pasienter kan få høyere forekomst av smerte uten at det er forskyvning i implantatet. Dermed blir ofte MR-undersøkelser av CI pasienter ikke utført som følge av smerten (Todt *et al.*, 2018).

## **2.4 Radiografens rolle**

Radiografens rolle er å passe på pasientsikkerheten. Dette innebærer både å avvise pasienter, som ikke kan få MR, men også å kunne tilby en tilpasset undersøkelse til de pasienter med aktive medisinske implantat, som trenger MR-undersøkelse. Radiografene går gjennom sjekklisten til pasienten for å utelukke sikkerhetsrisikoer. Dette er utført før pasienten kommer inne i MR-skanningsrommet, slik at uønskede hendelser ikke oppstår. For eksempel skal radiografene overvåke alt utstyr, som kommer inn med pasienten, fordi utstyret kan være ferromagnetiske og utløser prosjektilhendelser. Radiografene skal ha kunnskap om implantater, som kan være kontraindikasjon. I tillegg må radiografene kommunisere godt med pasienten slik at pasienten sier ifra hvis det oppstår smerteopplevelse ved MR-avbildningen. Ved bruk av MR-tilpasset implantat skal vilkårene bli passet av radiografen. Radiografene passer på SAR slik at det ikke oppstår oppvarming i implantatet (Thomas og Peter, 2022).

### **3.0 Metode**

Den delen inneholder begrunnelse av metodevalg, fremgangsmåte, datainnsamling og analysemetode for å finne svar på problemstillingen. Metode defineres som fremgangsmåten som bidrar til å løse et problem, og kommer til ny kunnskap. Metoden hjelper med hvordan kunnskap hentes og etterprøves (Dalland, 2017, s.52).

### **3.1 Litteraturstudie**

Vi har utført en litteraturstudie for å besvare problemstillingen. Det er brukt vitenskapelige studier for å finne ut hva som er viktig for at radiografer skal kunne tilby best mulig MR-undersøkelser til flest mulig pasienter med DBS/CI. Støren (2013, s 39) beskriver litteraturstudier som systematisering av informasjon ved å søke, samle, vurdere og sammenfatte litteraturen. Data som er samlet inn i denne oppgaven er sekundærdata. Jacobsen (2015, s 53-54) beskriver sekundærdata som data som ble samlet inn av andre og finnes for eksempel i tidsskrifter eller i eksisterende databaser. Det ble gjennomført systematisert litteratursøk i ulike databaser for å finne de mest relevante vitenskapelige studiene. Det ble inkludert studier som brukte både kvalitative og/eller kvantitative metoder, noe som bidro med å finne relevant og viktig informasjon som hjalp oss med å forstå materialet enda bedre og ga en helhetlig forståelse.

#### **3.1.2 Begrunnelse av metode**

Litteraturstudie er godt egnet til å svare på problemstillingen, fordi det samles inn informasjon fra undersøkelser som allerede er gjennomført enten på fantom/-avdøde-pasienter med implantat eller levende pasienter med implantat (DBS/CI). En litteraturstudie gir muligheten til å se sammenhenger mellom erfaringer og uønskede hendelser, som har oppstått i forbindelse med DBS og CI fra ulike studier. Målet er å samle og analysere data fra flere studier slik at flere pasienter med DBS og CI implantat kan tilbys gode MR-undersøkelser.



### 3.1.3 Fremgangsmåte

Vi gjorde noen usystematisk søk på PubMed for å sikre at det fantes litteratur innen temaet. Samtidig bidro søkene også til å finne mulige søkeord. Databasene som ble brukt for å hente informasjon og vitenskapsartikler er PubMed og SCOPUS. Språket som ble brukt under søkeprosessen var engelsk, for å få et bredere søk med flere relevante treff. Det ble benyttet PICO-skjema for å formulere problemstillingen.

### 3.2 PICO-Skjema

Population-Intervention-Comparison-Outcome (PICO) benyttes for å formulere problemstillingen i en systematisk oversikt. I PICO-skjemaet skal det settes inn nøkkelord utarbeidet for litteratursøk. PICO deler opp et tema av interesse til punkter for å lage en problemstilling. P representerer *“hvilke målgrupper oppgaven omhandler”*. I står for *“hva som skal undersøkes”*, og C er *“hva som skal sammenlignes”*, og O representerer *“hva som ønskes å oppnås”*. PICO-skjemaet skal bidra med å begrense søket, slik at det ikke forekommer for mye irrelevante informasjon, men kun det som er relevant. (Malterud, 2017, s.48-49). Pasientproblem (P) representerer i denne sammenheng MR. Intervensjon (I) er hvilke implantat som kan avbildes, og den representeres av DBS og/eller CI. Grunnen til at DBS og CI ligger i samme linje er for å få treff på artikler som enten omhandler DBS eller CI og/eller muligens om begge. Utfall (O) representerer pasientsikkerhet. Vi har valgt å ikke ta med sammenligning (C), fordi vi ikke skal sammenligne utfordringene til de ulike implantatene. PICO-skjemaet ga muligheten til å gjennomføre et avansert litteratursøk. Dette bidro til forbedring av søkestrategien, slik at vi kunne finne artikler av god kvalitet, som svarte på problemstillingen..

	Norsk ord	MeSH	Tekstord
P-Patient/problem (Pasient)	MR	MR, Magnetic resonance imaging	MRI Magnetic resonance imaging
I- Intervensjon	Implantater (dyphjernestimulato r og cochlea implantat)	Deep brain stimulation, Cochlear implants	Deep brain stimulation Cochlear implants

C- comparison (sammenligning)	-----	-----	-----
O- outcome (resultat)	Pasientsikkerhet	Patient safety	Patient safety

Tabell1: PICO-skjema som fremstiller søkeord som ble benyttet i søkeprosessen.

### 3.3 Inklusjons og eksklusjonskriterier

Inklusjon og eksklusjonskriterier begrenser litteratur og tar bort studier som ikke er relevante for problemstillingen. Dette gjennomføres ved å sette kriterier, som skal avgrense oppgaven (Malterud, 2017, s.57). Det er valgt å avgrense årstall fra 2010 til 2023 for begge implantatene, fordi det har skjedd mye innen utvikling av implantat og kunnskap om MR sikkerhet i nyere tid. I tillegg er det mange pasienter, som fikk implantat tidligere som nå er eldre og har sykdommer som øker etterspørsel av MR, og derfor er det mer utfordrende å avvise (Boutet *et al.*, 2020a). Ifølge Eshraghi *et al.* har det vært konstant utvikling i signal prosesseringsteknikken som har påvirket CI enheter i pasienter (Eshraghi *et al.*, 2012). Ved å avgrense tidsperioden fra 2010 til 2023 blir nyere implantat inkludert i inklusjonskriteriene.

Engelskspråket ble satt som krav, siden engelsk brukes ved publisering i anerkjente internasjonale tidsskrift. MR-avbildningsparametere, som det statiske magnetfeltet, RF-feltet og gradientfeltet er inkludert i inklusjonskriteriene for å unngå studier som handler om prosjektilhendelser. DBS og CI er inkludert i inklusjonskriterien, mens andre implantater som ikke omhandler om DBS/CI er ekskludert. MR er den modaliteten vi er interessert i dermed er den i inklusjonskriterien. Artikler uten fulltekst var også ekskludert, siden resultatkapitlet er viktig i samling av data for diskusjonen. Det ble også passet på valg av kilder for å ha med pålitelig vitenskapelig litteratur, som har blitt godkjent av etisk komité. Etter abstraktene ble gjennomlest oppdaget vi at noen artikler ikke var fulltekster, dermed ble disse artiklene ekskludert.

Inklusjon kriterier	Eksklusjonskriterier
DBS og CI	Andre implantater
Engelsk språk	

Statisk magnetfelt, RF-felt, gradientfelt	Prosjektilhendelser i MR
Magnetisk resonans modalitet	
Fulltekst artikler	Artikler med kun abstrakt
Studier fra 2010-2023	Studier tidligere enn 2010

*Tabell 2: En tabell som fremstiller inklusjon og eksklusjonskriterier som er brukt for valg av studier brukt i oppgaven.*

### **3.4 Avansert søk og utvalg**

Først startet vi å gjøre et usystematisk søk i PubMed deretter ble det gjort et avansert systematisk søk i databasene PubMed og Scopus i tidsperioden fra januar til 10.mars 2023. Medical Headline Subject (MESH) er et system som brukes til å finne emneord for helse relatert litteratur og medisin som kan brukes i Pubmed og andre databaser (Holck, 2022).

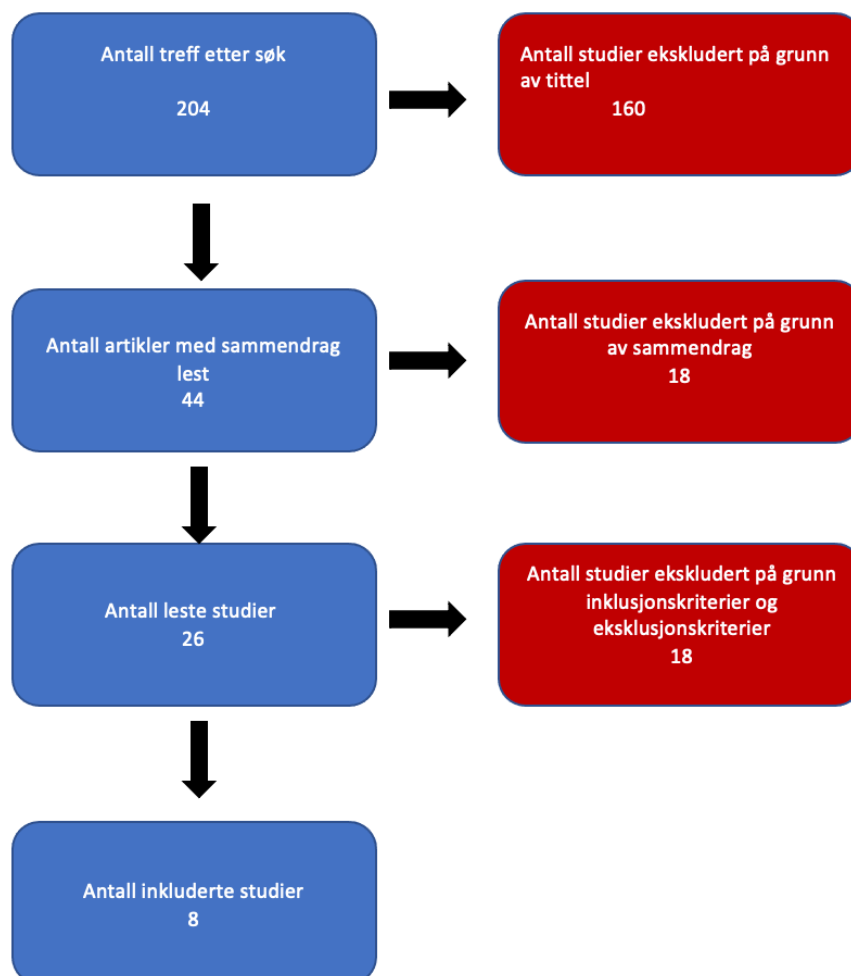
Søkeord under dette er; MRI, magnetic resonance imaging, cochlear implants, deep brain stimulation og patient safety. Disse søkeordene ble kombinert med AND eller OR for å finne artikler for begge implantattypene. Forkortelser ble også brukt for å fange relevant og viktig informasjon. Et søkeskjema ble laget, som ga oversikt over kombinasjoner av søkeord, søkedato, database, antall treff og benyttet litteratur (se vedlegg 1). Første ble tittelen av artiklene vurdert. Ved å lese tittelen var relevansen vurdert med tanke på problemstillingen. Abstraktet ble deretter lest for å skille mellom studiene som kunne inkluderes og ekskluderes. Etter det ble studiene grundig lest gjennom og vurdert ved bruk av inklusjons- og eksklusjonskriterier. Antall treff ved alle databaser var totalt 204 artikler.

Søkeordene som ble benyttet i Scopus er MRI, Magnetic Resonance Imaging Cochlear Implants Deep Brain Stimulation og Patient Safety. Disse søkeordene ble kombinert med AND og OR. Forkortelsen av MRI og hele ordet ble kombinert med OR, og ble bindet med AND til implantatene, mens mellom Cochlear Implants og Deep Brain Stimulation ble det brukt OR til slutt ble AND brukt for å kombinere Patient Safety. Det er brukt anførselstegn på for eksempel “deep brain stimulation”, fordi databasen deler dem opp som ulike ord. Søkeord som inneholder mer enn ett ord må ha anførselstegn. Antall artikler på Scopus var 179. Etter å ha lest abstrakt og artiklene ble 6 av dem brukt.

I PubMed ble det brukt samme søkeord, men i søkeprosessen ble det benyttet MESH Terms eller Tekstord for eksempel (magnetic resonance imaging[MeSH Terms]) OR (magnetic resonance imaging[Text Word]). Litteratursøket ga 25 artikler ved bruk av disse søkeordene. Etter å ha lest abstrakt og artiklene ble 2 av dem brukt.

### 3.5 Flytskjema

Det ble benyttet et flytskjema som fremstiller søkeprosessen ved hjelp av inklusjon og eksklusjonskriterier. Flytskjemaet som er under, gjelder kun for PubMed og scopus. Totalt ble 44 sammendrag lest, og 18 ble ekskludert fordi de var irrelevante for temaet. Videre ble 26 artikler lest grundig. 8 av de 26 artikler ble inkludert på bakgrunn av inklusjon og eksklusjonskriteriene. 5 artikler handlet om DBS, mens 3 artikler handlet om CI.



*Tabell 3: Et flytskjema som fremstiller eksklusjon og inklusjon av studier i oppgaven.*

### **3.6 Kritisk vurdering av valgte studiene**

Ifølge Helsebiblioteket (2018) er kritisk vurdering av forskningslitteratur hensiktsmessig for vurdering av gyldigheten av informasjonen i artiklene. I tillegg hjelper kritisk vurdering med å si hvor god en artikkel er. Busch (2021, s.20) forklarer dette slik; viktige spørsmål må besvares: “gis for eksempel et riktig bilde av fenomenet som skal studeres? Er forskningsmetoden god nok? Kan vi stole på resultatene?”. For å avgjøre om studiene var relevante og av god kvalitet, ble disse spørsmålene stilt til hver potensiell artikkel. Dersom det var store mangler i evne til å svare på spørsmålene, kunne det tyde på at studien måtte ekskluderes. Det var noen artikler som ble ekskludert på grunn av mangel på MR-avbildning. NTNU vitenskapelige databaser er brukt for å finne gode artikler som er fagfellevurdert.

### **3.7 Begrensninger**

Begrensninger i denne oppgaven er at det ikke ble utført egen primærundersøkelse, og resultatene baserte seg kun på tidligere forskning som har blitt publisert. Vi gjør en litteraturstudie for å se helheten av hva slags forskning som har blitt gjort innen tema. Oppgaven er en litteraturstudie og derfor bruker den kun tidligere forskning.

### **3.8 Analysering**

Denne oppgaven er kvalitativ, og vi analyserer data fra publiserte forskningsartikler. Det empiriske materialet er vurdert for å se om det er tilstrekkelig informasjon, for å bruke til en systematisk analyse (Malterud, 2017, s.71).

Modell for tematisk analyse brukes mye i helsesektoren og passer for personer med lite erfaring med litteraturstudier. Aveyards (2014) skriver at tematisk analyse benyttes som en simplifisert tilnærming til å oppsummere litteratur. Tematiske analyser bruker tre trinn for å analysere datamateriale. Første trinn er samling av informasjon for å ha en oversikt over de ulike artiklene. Herunder har vi laget en oppsummering av artiklene i denne oppgaven for å få

en helhetlig forståelse av artiklens innhold. Videre har vi presentert artiklens metode, relevans og hensikt. Det andre trinnet er tolking av informasjon, for å finne tema ved bruk av resultatdelen av artiklene. I det andre trinnet ble de ulike funnene kategorisert i hovedkategorier når det gjelder sikkerhetsutfordringene ved MR-avbildning. Det siste trinnet er å fremstille likheter og forskjeller i de ulike studiene for å sammenligne de. Dermed er målet med tematisk analyse å oppsummere og identifisere felles tema som finnes i utvalgt litteratur (Aveyard, 2014, s.143-148).

I denne oppgaven vil det siste trinnet i den tematiske analysen være å oppsummere erfaringene forskerne har gjort seg, og hva radiografene må passe på for å kunne tilby en trygg undersøkelse av DBS/CI pasienter.

### **3.9 Godkjenninger og etiske utfordringer**

Temaet vårt skal skrives i form av en litteraturstudie, som baserer seg på tidligere forskning, og dermed kreves det ikke godkjenninger, siden ingen pasientdata skal hentes. Oppgaven er viktig for pasientsikkerheten, og derfor etisk viktig. Alle de inkluderte artiklene er godkjent av etisk komité. Studienes metodekapitler er vurdert, for å sikre at studiene er utført på en etisk forsvarlig måte. Alle artiklene er godkjent av etisk komiteer og personopplysninger ble anonymisert, og samtykke om deltagelse ble gitt.

## 4.0 Resultater

Her skal det presenteres tema og viktige funn fra de utvalgte studiene. En kort oppsummeringstabell over de valgte studiene for DBS og CI presenteres i 4.1 for å gi en oversikt over studiene. I 4.2 vil MR-avbildning fremheves fra de utvalgte studiene og dette har mye å si om nevrostimulatorimplantatet (DBS og CI) pasienter skal avbildes eller ikke.

### 4.1 Presentasjon av de utvalgte studier

Vi vil formidle landet som står i oppsummeringstabellen er hvor studien er gjennomført.

<b>Artikkel 1</b>	Improving Safety of MRI in Patients with Deep Brain Stimulation Devices
<b>Fornavn</b>	Boutet <i>et al</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	Radiology, 2020 (A)
<b>Land</b>	Canada
<b>Databaser</b>	PubMed, Scopus
<b>Type implantat</b>	DBS
<b>Hensikt</b>	Studien identifiserte risikoene som oppstår ved MR-avbildning for DBS, og lister opp de vanlige energiavsetningsmålingene (SAR og B <sub>1</sub> +rms) som brukes til å estimere implantatoppvarming og diskutere SAR og B <sub>1</sub> +rms begrensninger. Videre identifiserte studien teknikker og sekvenser for å forbedre MR-sikkerheten for pasienter med DBS implantater.
<b>Metode</b>	Studien er en retrospektiv litteraturstudie som baserer seg på tidligere forskning for å finne ut av MR-relaterte risikoer med DBS implantater.
<b>Resultat</b>	Boutet <i>et al.</i> fant ut at 1.5 T og sender/mottaker hodespole gir mindre DBS-oppvarming enn 3 T og en helkropp sendespole. Nyere fantomstudier viser at oppvarmingen er mye mindre

	<p>enn antydnet av eldre studier. Moderne studier indikerer at IPG-funksjonsforstyrrelse og mekaniske krefter medfører mindre risiko. Dette er på grunn av fremskrittet innenfor DBS teknologien. Boutet <i>et al.</i> formidler at implantatenes retningslinjer for MR-avbildning trenger modifikasjoner. Dette innebærer å redusere antall snitt, flippvinkel, antall ekko og øke TR. Reduksjon av antall snitt, krever veiledning av radiolog for å sikre at det aktuelle området forblir i FOV-feltet (field of view). Pulssekvenser med høye flippvinkler og raskere RF-pulser gir høyere SAR og/eller <math>B_1+rms</math>. For eksempel SE-sekvens (FLAIR) bruker høye flippvinkler og FSE-sekvens (T2-vektet) benytter raskere RF-pulser. Disse sekvensene avsetter mye energi, noe som forårsaker høyere oppvarming (SAR). Løsningen her kan være å bruke GRE-sekvens. GRE benytter lavere flippvinkler og raskere RF-pulser og dermed anses den for å være tryggere for pasienter med DBS-implantat.</p>
<b>Konklusjon</b>	<p>Hovedrisikoen er oppvarming. Potensielle tiltak for dette er å bruke sender/mottaker hodespole istedenfor å bruke helkropp sendespole. Andre tiltak er å endre MR-parametere. En annen risiko er DBS-dysfunksjon og dette gjelder hovedsakelig de eldre DBS-modeller.</p>
<b>Relevans av studien</b>	<p>Studien diskuterer forskjellige MR-relaterte risikoer og hvordan MR-sikkerheten kan forbedres for pasienter med DBS. Derfor var studien relevant for problemstillingen.</p>

<b>Artikkel 2</b>	<p>Effect of field strength on RF power deposition near conductive leads: A simulation study of SAR in DBS lead models during MRI at 1.5 T—10.5 T</p>
<b>Fornavn</b>	<p>Kazemivalipour <i>et al</i></p>



<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	Plos one, 2023
<b>Land</b>	USA
<b>Databaser</b>	PubMed og Scopus
<b>Type implantat</b>	DBS
<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å sammenligne RF-energiavsetning nær DBS-elektrodespissene ved å bruke vanlige kliniske og ultrahøye MR-feltstyrker; 1.5, 3.0, 7.0 og 10.5T. Studien undersøker også effekten av ulike energiavsetningens målinger (SAR/B <sub>1</sub> +rms) ved å begrense enten B <sub>1</sub> +rms eller global hodespesifikk absorpsjonshastighet (GHSAR) ettersom disse to målingene brukes i MR implantatleverandørenes retningslinjer.
<b>Metode</b>	Studien simulerte 33 DBS-elektrodesmodeller med en realistisk ledningsplassering basert på postoperative CT-bilder av 20 pasienter som hadde DBS. Elektrodene var 40cm lange. Elektrodesmodellene ble innlagt i en homogen menneskelig hodemodell. Studien fokuserer kun på DBS-elektrodesmodeller, dermed ble IPG og elektrodeforlengere ikke tatt med i studien.
<b>Resultat</b>	RF spoler ved høyere feltstyrker genererer lavere SAR rundt DBS-elektrodespissene når den gjennomsnittlig hode SAR var begrenset på 3 W/kg. Dette har blitt forandret når B <sub>1</sub> +rms ble begrenset til 2 μT, altså SAR-økte betydelig ved høyere feltstyrker enn ved 1.5T.
<b>Konklusjon</b>	Artikkelen påpeker at høyere feltstyrke i MR er ikke nødvendigvis mer farlig enn lavere feltstyrker.
<b>Relevans</b>	Artikkelen er relevant for problemstillingen på grunn av at den sammenligner RF-energiavsetning på DBS-elektrodespissene. Dette bidrar med å forstå om ulike feltstyrker skaper utfordringer for pasienter med DBS.

<b>Artikkel 3</b>	Safety assessment of spine MRI in deep brain stimulation patients
<b>Fornavn</b>	Boutet <i>et al</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	JNS journal of neurosurgery, 2020 (B)
<b>Land</b>	Canada
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Type implantat</b>	DBS
<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å undersøke sikkerheten til DBS-pasienter som gjennomgår MR av ryggen (cervikal (C) og torakal (TH) og –lumbalcolumna (L)).
<b>Metode</b>	Studien brukte et fantom for å teste DBS-enhetsoppvarming ved en undersøkelse av MR-rygg i 1.5T. IPG var slått av ved MR-avbildning. Fantomet ble plassert med hodet først og i ryggleie i MR-isosenteret. Det ble brukt en helkropp sendespole for C- og TH-L-columna. Denne sikre fantombaserte protokollen ble deretter brukt til å kjøre 67 MR av rygg sekvenser på 9 DBS-pasienter som trenger en klinisk MR-avbildning.
<b>Resultat</b>	Den høyeste økningen i temperatur ble målt ved avbildning av cervikalcolumna, mens den laveste ble målt ved avbildning av lumbalcolumna. Dette er på grunn av RF-pulser og DBS-komponentene som er med i avbildning. Det ble reduisering av oppvarmingen ved elektrodespissene til $< 2^{\circ}\text{C}$ for alle sekvenser ved å endre 3D- til 2D og når antall snitt ble redusert opptil 66% - 77% i henholdsvis C- og TH-columna. Allikevel var det fortsatt flere snitt enn det som var tillatt av implantatleverandørens retningslinjer. Det ble ingen funn av akutt eller langvarig bivirkninger. Ingen signifikante forskjeller ble funnet mellom pre- og post- MR induisert strøm

	på grunn av RF pulsene. Studien avdekket større temperatur økning på høyre side for elektrodespissene på grunn av heterogenoppvarming rundt elektrodespissen. Studien foreslår at dette er relatert til vekselvirkninger mellom MR-maskinen og DBS-maskinvaren.
<b>konklusjon</b>	Studien konkluderer med at pasienter med DBS kan trygt gjennomføre MR av rygg ved å bruke færre snitt enn rutinemessige MR-protokoller.
<b>Relevans</b>	Studien er relevant fordi den undersøker DBS-implantatoppvarming som kan være en utfordring. Artikkelen presenterer noen tiltak for pasienter med DBS.

<b>Artikkel 4</b>	Clinical Safety of Brain Magnetic Resonance Imaging with Implanted Deep Brain Stimulation Hardware: Large Case Series and Review of the Literature
<b>Forfattere</b>	Zrinzo <i>et al</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	World Neurosurgery, 2011
<b>Land</b>	Storbritannia
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Type implantat</b>	DBS
<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å undersøke MR-sikkerhet i en stor gruppe pasienter med DBS-enheter og undersøke litteraturen for kliniske rapporter.
<b>Metode</b>	Registreringen og analyseringen ble gjort mellom november 2002 og juni 2010 ved den funksjonelle nevrokirurgiske avdelingen. MR-akkvisisjons protokollene var spesielt designet for å forhindre at gjennomsnittlig hode SAR overstiger 0,4 W/kg samtidig som den gir tilstrekkelig visualisering av FOV-

	feltet. 262 MR-undersøkelser ble utført hos 223 pasienter med intrakraniell DBS-enhet. 45 av 223 pasienter hadde IPG.
<b>Resultat</b>	Kun en uønsket hendelse oppsto, og trolig kunne dette være relatert til pasientbevegelse av hodet under avbildningen. I litteraturen ble det rapportert over 4000 MR-undersøkelser som ble gjennomført for pasienter med DBS-enhet. Kun 4 uønsket hendelser forekom; 2 enhetsfeil, 1 midlertidig og 1 permanent neurologisk lesjon. Gradient stige-hastigheten (dB/dt) var mindre enn 20T/s for alle akkvisisjoner.
<b>Konklusjon</b>	Studien foreslår at det er betydelig lav risiko å avbilde pasienter med DBS når det er påsatt MR tiltak.
<b>Relevans</b>	Studien tar opp hva som kan føre til temperaturendring i DBS-systemet som følge av RF-feltet.

<b>Artikkel 5</b>	Postoperative MRI examinations in patients treated by deep brain stimulation using a non-standard protocol
<b>Forfattere</b>	Weise <i>et al</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	Acta Neurochirurgica, 2010
<b>Land</b>	Tyskland
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Type implantat</b>	DBS
<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å evaluere en postoperativ MR-protokoll ved bruk av høyere SAR-verdi, og undersøke forekomsten av kliniske eller subkliniske bivirkninger i en eller flere MR-undersøkelser i oppfølgingsperioden etter DBS-elektrodeimplantasjon.
<b>Metode</b>	Studien inkluderer 211 pasienter med implantert DBS-IPG. Det ble tatt 243 MR-undersøkelser. Det ble ikke observert noen

	uønskede hendelser under eller etter MR-undersøkelsen. Det ble brukt sender/mottaker hodespole. T2-vektet FSE sekvens og IR-FSE ble brukt både i transversel og coronal planer. Den lokale SAR-verdien som er brukt er 0,9 W/kg istedenfor implantatleverandørens anbefaling på 0,1 W/kg.
<b>Resultat</b>	Det ble ikke observert cerebrale forandringer eller lesjoner selv om SAR-verdien var høyere, enn anbefalt av implantatleverandørens retningslinjer.
<b>Konklusjon</b>	Studien observerer ingen komplikasjoner ved denne protokollen. Studien påpeker høyere SAR-verdi innenfor denne innstillingen kan være mulig å bruke for DBS-pasienter istedenfor implantatleverandørens retningslinjer.
<b>Relevans</b>	Denne studien viser oss at vi kan bruke høyere SAR (mener 0,9 W/kg istedenfor 0,1 W/kg (implantatleverandørens retningslinjer)) uten å få noen uønskede hendelser.

<b>Studie 6</b>	Magnetic resonance imaging with cochlear implants and auditory brainstem implants: Are we truly practicing MRI safety?
<b>Forfattere</b>	Shew <i>et al.</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	The Laryngoscope, 2018
<b>Land</b>	USA
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Type implantat</b>	CI

<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å vurdere MR-sikkerhet for CI og auditorisk hjernestammeimplantat (ABI) ved avbildning på 1.5T. I tillegg ønsker studien å gi et økt fokus på MR-sikkerhet.
<b>Metode</b>	Det er en retrospektiv studie fra 2006 til 2018. Totalt var 18 pasienter med i undersøkelsen. 17 pasienter hadde implantert CI, mens 1 pasient med ABI.
<b>Resultat</b>	15 pasienter med CI gjennomførte MR-avbildning med den interne magneten inne og 2 fjernet magneten før avbildningen. 5 av de 15 pasientene som hadde den interne magneten i CI fikk komplikasjoner ved MR-avbildning. 4 av de pasientene hadde bandasje over implantatet. 3 av komplikasjonene oppsto på grunn av forskyvning i den interne magneten. 2 av pasientene kunne ikke gjennomføre undersøkelsen på grunn av smerte rundt CI. Ingen komplikasjoner oppstår i pasientene som fjernet den interne magneten.
<b>Konklusjon</b>	Studien påpeker problemer når det kommer til CI og pasientsikkerhet. Ca. en 1/3 av pasienter opplevde uønskede hendelser ved MR-avbildning. Studien diskuterer mulige årsaker for forskjellige uønskede hendelser når CI og ABI er utsatt for det elektromagnetiske feltet. Ifølge studien var rotasjonskraft er den største utfordring ved CI og ABI.
<b>Relevans av studien</b>	Studien er relevant for problemstillingen fordi den tar opp ulike årsaker ved MR-sikkerhetsutfordring når det kommer til CI.

<b>Studie 7</b>	Should patients with brain implants undergo MRI?
-----------------	--------------------------------------------------

<b>Forfattere</b>	Erhardt <i>et al.</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	Journal of Neural Engineering, 2018
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Land</b>	Tyskland
<b>Type implantat</b>	CI
<b>Hensikt</b>	Hensikten med studien er å undersøke MR-sikkerhetsutfordringene med CI og DBS for forbedring av sikkerheten ved MR-undersøkelser. Studien diskuterer også mulige tiltak for å gjennomføre en sikker MR-undersøkelse.
<b>Metode</b>	Studien er en litteraturstudie hvor den undersøker sikkerheten for pasienter med implantat.
<b>Resultat</b>	De største utfordringene som ble funnet er magnet forskyvning, smerte og ubehagsfølelse. Tiltakene som ble diskutert er bandasjering, kunnskap om produsentens retningslinjer og implantat modell.
<b>Konklusjon</b>	Hovedutfordringen med CI var forskyvning av den interne magneten som kunne medføre behov for kirurgi. Ved å følge tiltak, som bandasjering, kunne sannsynligheten for uønskede hendelser reduseres.
<b>Relevans av studien</b>	Studien er relevant for forskningsoppgaven, fordi den tar for seg sikkerhetsutfordringene og mulige tiltak for pasienter med CI kunne få en trygg MR-undersøkelse.

<b>Studie 8</b>	Adverse events and discomfort during magnetic resonance imaging in cochlear implant recipients.
<b>Forfattere</b>	Kim <i>et al.</i>
<b>Tidsskrift og publikasjonsår</b>	Jama Network, 2015
<b>Land</b>	Sør-korea
<b>Databaser</b>	Scopus
<b>Type implantat</b>	CI
<b>Hensikt</b>	Målet med studien er å vurdere uønskede hendelser ved MR-avbildning for pasienter med CI og undersøke sikkerhet og diagnostisk effektivitet av MR for pasienter med CI som har den interne magneter.
<b>Metode</b>	18 pasienter med CI ble undersøkt med MR. Dette var fra 2003 til 2014. 16 pasienter gjennomgikk 1.5T, mens 2 pasienter ble undersøkt med 3T. Videre oppfølging var gjennomført ved bruk av medisinsk journal eller intervjuer med pasientene.
<b>Resultat</b>	13 av 18 pasienter klarte å gjennomføre MR-undersøkelsen. 2 av de ble undersøkt med en 3T uten bandasjering og det ble observert litt uønskede hendelse. En av de to pasientene som fikk undersøkelse av MR skulder rapporterte ubehagsfølelse. Den andre pasienten som hadde kne MR-undersøkelse fikk ingen utfordring. 5 pasienter kunne ikke fullføre undersøkelsen på grunn av sterk smerte selv om alle hadde bandasjer over implantatet. En av de pasientene som ikke gjennomførte alle undersøkelsene klarte å gjennomføre en del. Pasienten fikk alvorlig smerte når pasienten kom nærmere MR-maskinen.



	Pasienten fikk kirurgi for replassering av implantatet. En annen pasient opplevde endring i polarisering.
<b>Konklusjon</b>	Forskyvning av den interne magneten var den største grunnen for replassering av implantatet. Ubefølelse og smerte førte til at flere av pasientene kunne ikke gjennomføre undersøkelsene.
<b>Relevans av studien</b>	Denne studien er relevant for oppgaven fordi den tar for seg uønskede hendelser som oppstår ved MR-avbildning med CI.

## 4.2 Sammenfatning av resultater

I denne delen er utfordringene med DBS/CI hos pasienter på MR presentert i en tabell, og det er angitt hvilke artikler som inneholder hvilke utfordringer.

Utfordringer med DBS/CI	Artikler som inneholder utfordringene
Implantatoppvarming av DBS	1,2, 3, 4, 5
Dysfunksjon (spontan aktivering av IPG)	1, 3
Forskyvning av den interne magneten	6,7,8
Smerte eller ubehag	6,7,8

Tabell 4: Tabellen viser de hoved sikkerhetsutfordringene og artikler som inkluderer utfordringene.

### 4.2.1 Implantatoppvarming av DBS

Boutet *et al.* (2020a) påpeker 1.5T og sender/mottaker hodespole gir mindre DBS-oppvarming enn 3T og en helkropp sendespole. Kazemivalipour *et al.* (2023) rapporterer RF-spoler ved høyere feltstyrker genererer lavere SAR rundt DBS-elektrodespissene når den

lokal SAR var begrenset på 3 W/kg. Dette har blitt forandret når B<sub>1</sub>+rms ble begrenset til 2 μT, altså SAR-økte betydelig ved høyere feltstyrker enn ved 1.5T.

Boutet *et al.* (2020b) klarte å redusere oppvarmingen ved elektrodespissene til < 2°C ved å endre 3D- til 2D akkvisisjon og redusere antall snitt opptil 77% i henholdsvis cervikal og torakal- columna. Studien avdekket større temperatur økning til høyre for elektrodespissen på grunn av heterogenoppvarming rundt elektrodespissen. Studien foreslår at dette er relatert til vekselvirkninger mellom MR-maskinen og DBS-maskinvaren. Studien viser også at det var en klar forskjell i oppvarming mellom cervikal og lumbalcolumna som er antagelig relatert til forholdet mellom RF-pulser og DBS-komponentene som er med i avbildning. Ingen signifikante forskjeller ble funnet mellom pre- og post-MR induisert strøm på grunn av RF-pulsene.

Weise *et al.* (2010) observerte ingen cerebrale forandringer selv om SAR-verdien var høyere enn anbefalt av implantatleverandørens retningslinjer.

Boutet *et al.* (2020a) rapporterer pulssekvenser med høyere flippvinkler og raskere RF-pulser gir høyere SAR og/eller B<sub>1</sub>+rms. SE sekvens (FLAIR) brukte høye flippvinkler og FSE-sekvens (T2-vektet) benytter raskere RF-pulser. Disse sekvensene avsetter mer energi noe som forårsaker høyere oppvarming. Boutet *et al.* (2020a) kom også med løsning for dette. Boutet *et al.* (2020a) viste at GRE-sekvens, som bruker lavere flippvinkler og raskere RF-pulser, kan anses for å være tryggere for pasienter med DBS-implantat.

### 4.2.3 Dysfunksjon

Boutet *et al.* (2020a) rapporterer at det kraftige statiske magnetfeltstyrken kan påvirke IPG-funksjon. Eldre IPG-modeller er avhengig av magnetisk tungelementkontakt (magnetic reed switch) for å slå enheten av eller på. Utfra pasientposisjon i forhold til det statiske magnetfeltet kan den magnetiske tungelementkontakten aktiveres spontant ved MR-avbildning. Dette kan påføre skade på pasienten, ødeleggelse av DBS-komponenter og endre DBS-innstillinger. I studien av Boutet *et al.* (2020b) der MR-rygg ble gjennomført ble det valgt å slå av IPG under avbildningen.

Zrinzo *et al.* (2011) rapporterer at det oppsto kun en uønsket hendelse, som er relatert til pasientbevegelse av hodet under avbildningen. Videre sier Zrinzo *et al.* i litteraturen er det rapportert over 4000 MR-undersøkelser av pasienter med DBS-enhet er gjennomført, og kun 4 uønsket hendelser har forekommet. Hvor 2 uønsket hendelsene var DBS-enhetsfeil, 1 var midlertidig nevrologisk lesjon og 1 var permanent nevrologisk lesjon (Zrinzo *et al.*, 2011).

#### **4.2.4 Forskyvning av den interne magneten CI**

Shew *et al.* (2018) rapporterer den største utfordringen er forskyvning av den interne magneten som oppstår når den interne magneten er inne i CI. 3 av 5 pasienter fikk uønskede hendelser relatert til forskyvning av den interne magneten. Disse tre pasientene fikk alvorlig smerte og klarte ikke gjennomføre undersøkelsen. Noen av dem trengte kirurgisk replasering av implantatet. Ifølge Erhardt *et al.* (2018) viser rotasjonskraften (dreiemoment) fører til implantatbevegelse ved MR-avbildning. Kim *et al.* (2015) rapporterer en pasient klagde over smerte på veien til MR-maskinen. Videre rapporterer Kim *et al.* det ble påvist forskyvning av den interne magneten på laterale bilder av hodet (skallen).

Studien til shew *et al.* (2018) benytter ulike modeller av CI. MED-EL synchrony modellen viser ingen utfordring og inneholder en fritt roterende og diametrisk magnet og bruk av bandasjering er ikke nødvendig. Artikkelen til Erhardt *et al.* (2018) påpeker også at bruk av MED-EL implantat i MR med magneten inne er MR-sikker. Dermed har utviklingen av MED-EL gitt mulighet for at CI blir mer MR-sikker. Kim *et al.* (2015) rapporterer ingen uønskede hendelser oppsto ved bruk av MED-EL CI.

#### **4.2.5 Smerte og ubehag**

Shew *et al.* (2018) påpeker smerte og ubehag som en utfordring pasienter opplever ved MR-avbildning med CI. 5 av de 15 pasienter i studien kunne ikke gjennomføre undersøkelsen, fordi de opplevde smerter i CI-området. Kim *et al.* (2015) rapporterte 5 av 18 pasienter som ble avbildet i 1.5T opplevde alvorlige smerter og kunne ikke fullføre undersøkelsen. Alle disse pasientene fikk en bandasje over implantatet.

Erhardt *et al.* (2018) nevner også smerte og ubehag som uønskede hendelser. Erhardt *et al.* rapporterer at mulige tiltak kan være å gi bedøvelse for disse pasienter som opplever smerte.

Kim *et al.* (2015) benytter bedøvelse til 5 pasienter hvor en av disse pasientene ikke klarer å fullføre undersøkelsen.

I en av de inkluderte studiene av Erhardt *et al.* (2018) ble det rapportert at smerte og ubehag oppsto hos en de fem pasientene når de nærmet seg MR-maskinen, og klarte ikke å gjennomføre undersøkelsen. Erhardt *et al.* referer her til studien som er gjennomført av Kim *et al.* (2015) som vi benytter i denne oppgaven.

Erhardt *et al.* (2018) påpeker at CI skal undersøkes med feltstyrke over 0.3T, mens feltstyrke som over 3T er MR-kontraindisert. 1.5T er kontraindisert hvis ikke indikasjonen oppveier mot risikoen. Videre sier Erhardt *et al.* at disse utsagnene er ikke gyldig lenger, på grunn av endring i teknologien. Erhardt *et al.* foreslår noen CI er MR-tilpasset, og dermed kan CI-pasienter som har den interne magneten avbildes ved 1.5T. På 3T skal pasienter med CI avbildes uten den interne magneten (Erhardt *et al.*, 2018). Shew *et al.* (2018) viser pasienter som gjennomgikk MR på 1.5T fikk uønskede hendelser. Kim *et al.* (2015) rapporterer at en av de to pasienten som ble avbildet på 3T opplevde ubehag, men pasienten klarte å gjennomføre undersøkelsen. 5 av de 16 pasienter som ble avbildet på 1.5T klarte ikke å gjennomføre undersøkelsen på grunn alvorlig smerte.

I Studien til Kim *et al.* (2015) opplevde en pasient endring i polarisering av den interne magneten. Pasienten hadde bandasjering og følte smerte og ubehag. I studien til Shew *et al.* (2018) klarte ikke en pasient med bandasjering å gjennomføre undersøkelsen og klagde på smerte og ubehag. Årsaken var endring i polarisering av magneten.

## 5.0 Diskusjon

MR er god til å fremstille nevrologiske endringer og er derfor en viktig undersøkelse, også for pasienter med nevrostimulatorer (DBS/CI). Vekselvirkninger mellom de elektromagnetiske feltene til MR-maskinen og nevrostimulatorer kan resultere alvorlige nevrologiske funksjonshemminger eller død. De elektromagnetiske feltene i MR består av det statiske magnetfeltet, RF-felte og gradientfelt. Disse elektromagnetiske feltene kan indukere bevegelse, oppvarming og elektrisk strøm inne i nevrostimulatorer (Zrinzo *et al.*, 2011).

Fantommodeller kan hjelpe med å utforske vekselvirkninger mellom MR og implantat. Ulempen med fantommodeller er manglende blodgjennomstrømning, som et levende menneske har. Dette medfører at fantomer ikke vil ha samme varmespredning og termoregulerende effekt, og dermed kan de målte SAR-verdiene være annerledes eller urealistisk i forhold undersøkelser av et levende menneske (Zrinzo *et al.*, 2011; Boutet *et al.*, 2020a).

Boutet *et al.* (2020a) rapporterer at det på verdensbasis lever omtrent 150 000 pasienter med DBS. Dette er pasienter som trolig vil trenge MR-undersøkelse i løpet av livet. MR-relaterte uønskede hendelser har imidlertid ført til strengere implantats retningslinjer som begrenser tilgangen til MR for pasienter med DBS. I tillegg til å begrense MR til diagnostikk i DBS-pasienter, hindrer retningslinjenes forskrifter også forskning innen MR betydelig. Alle studiene som er inkludert for DBS bruker Medtronic DBS som er MR-tilpasset.

For at radiografen skal kunne tilby en trygg MR-undersøkelse for pasienter med DBS/CI er det noen tiltak radiografene bør følge.

### 5.1 Implantatoppvarming og tiltak

Boutet *et al.* (2020a) rapporterer 1.5 T gir mindre oppvarming enn 3.0T og sender/mottaker hodespole gir mindre oppvarming enn å bruke kroppsspole, som sendespole i kombinasjon med en mottakerspole. Nyere fantomstudier viser at den økende oppvarmingen er mye mindre enn antydning av eldre studier. Moderne studier viser at IPG-funksjonsforstyrrelser og mekaniske krefter er mindre bekymringsfulle nå enn før, på grunn av betydelige fremskritt innenfor DBS-teknologien.

Boutet *et al.* (2020b) undersøkte sikkerheten for pasienter med DBS som gjennomgikk MR av rygg. Studien viser en helkropp sendespole utsetter DBS-systemet for høyere RF, og derfor genererer den mer implantatoppvarming. Studien avdekket større temperatur økning til høyre side for elektrodespissene på grunn av heterogenoppvarming rundt elektrodespissen. Studien foreslår at dette er relatert til vekselvirkninger mellom MR-maskinen og DBS-enheten. Det ble også vist at det var en klar forskjell i oppvarming mellom cervikal- og lumbalcolumna, som er antagelig relatert til forholdet mellom RF-pulser og DBS-komponentene. Boutet *et al.* (2020b) sin studie klarte å redusere oppvarmingen ved elektrodespissene til  $< 2^{\circ}\text{C}$  for alle sekvenser ved å endre 3D- til 2D akkvisisjon, og redusere antall snitt opptil 66% - 77% i henholdsvis cervikal og torakalcolumna. Dette gjør det mulig å sette opp tilpassede MR-protokoller for pasientene med DBS.

En litteraturstudie av Boutet *et al.* (2020a) og et eksperiment av Boutet *et al.* (2020b) formidler implantatenes retningslinje for MR-avbildning trenger modifikasjoner. Dette innebærer å redusere antall snitt, flippvinkel, antall ekko og øke TR. Reduksjon av antall snitt krever veiledning av radiolog for å sikre at det aktuelle området forblir i FOV-feltet. Ulempen med reduksjon av SAR er at SAR påvirker romopløsningen, signal-støy-forholdet og bildekontrasten. Høy SAR og  $B_1+rms$  er en utfordring ved MR-avbildning med implantat. Weise *et al.* (2010) brukte spesielle sekvenser som ikke påførte nevrologiske lesjoner for pasienter med DBS, selv om studien benyttet høyere SAR enn anbefalt av implantatenes retningslinjer. Denne studien viser oss at vi kan bruke høyere SAR (0,9 W/kg istedenfor 0,1 W/kg (implantatenes anbefalte SAR)) uten å få uønskede hendelser.

Boutet *et al.* (2020a) skriver at fantomstudier som undersøkte IPG-output i 1.5T og 3T fant at gradientene kan indusere en strøm på opptil 1.5V i DBS-systemet. Denne verdien er lavere i forhold til det DBS-enhetene avgir. Pasienter med DBS mottar mellom 3-5V og opptil 5-7V fra DBS-enhetene sine. Dermed kan de lave spenningene som induseres av gradientene skape i noen tilfeller føre til pasientubehag ellers forårsaker de ikke større utfordringer. RF-eksitasjonspulser som induserer de høyeste strømmene (7.0V) utløser ikke nevronale aktiviteter, fordi deres frekvens er i megahertz-området (Boutet *et al.*, 2020a). Zrinzo *et al.* (2011) anbefaler at gradientene ikke endres raskere enn 20T/s (dB/dT, slew rate).

## 5.2 IPG-dysfunksjon og tiltak

Boutet *et al.* (2020a) påpeker at spontan aktivering av IPG ved MR-avbildning var en del av utfordringen for de eldre IPG modellene. Noen moderne IPG-modeller har ikke den magnetisk tungelementkontakt. Dermed må radiografer følge nøye med på implantatleverandørens retningslinjer og IPG-status må sjekkes rutinemessig etter MR-avbildning. Boutet *et al.* (2020b) foreslår å slå av IPG ved undersøkelse av MR-rygg. Det var ingen IPG spontan aktivering i Boutet *et al.* (2020b) sin studie.

## 5.3 Pulssekvenser og tiltak

I litteraturstudien til Boutet *et al.* (2020a) blir det foreslått at SE- og FSE-sekvenser avsetter mye energi, noe som forårsaker høyere oppvarming (SAR). Løsningen her kan være å bruke GRE-sekvens, fordi GRE benytter lavere flippvinkler og raskere RF-pulser. Dermed anses den for å være tryggere for pasienter med DBS-implantat.

## 5.4 Forskyvning av intern magnet og tiltak

Forskyvning av den interne magneten er en sikkerhetsutfordring som kan oppstå ved MR-avbildning. Når CI blir utsatt for et sterkt magnetfelt kan det oppstå rotasjonskraft. Ertardt *et al.* (2018) formidler rotasjonskraften kan være sterkt nok til å endre CI fra sin opprinnelige posisjon. Erhardt *et al.* (2018) diskuterer at et tiltak som kan brukes for å motvirke forskyvning av den interne magneten. Tiltaket går ut på god bandasjering over implantatet slik at den interne magneten ikke beveger seg. Likevel er Erhardt *et al.* skeptisk mot bruk av bandasjeringen, fordi funksjonaliteten ikke er vitenskapelig bevist nok. Studien til Kim *et al.* (2015) forsterker dette påstanden ved at hele 5 av 18 pasienter som hadde bandasjering opplevde uønskede hendelser. Shew *et al.* (2018) rapporterer også at 4 av de 5 pasienter, som hadde bandasjering over implantatet, opplevde uønskede hendelser.

Det er magnetåpningen som gi størst kraft, og ikke selve MR-maskinen. Det er området hvor romlig gradient er kraftigst, og dermed er magnetåpningen der mest rotasjonskraft er påført magneten. Pasienter skal unngå reposisjonering i magnetåpningen for å unngå rotasjonskraft på magneten i implantatet (Srinivasan *et al.*, 2019). Ifølge Kim *et al.* (2015) opplevde en pasient dette når pasienten kom nærmere MR-maskinen, og klarte ikke å gjennomføre

undersøkelsen. Shew *et al.* (2018) diskuterer at en mulig løsning for dette er at pasienter blir satt i supinertstilling (ryggleie) utenfor rommet og blir hentet inn til MR-rommet der den blir flyttet over til bordet. Pasienten burde være liggende helt til den kommer ut av MR-rommet.

### **5.5 Smerte/ubehag og tiltak**

Ifølge Kim *et al.* (2015) var smerte en stor utfordring, som er viktig å ta hensyn til. Pasientene med smerte og ubehag skal passes på for å unngå uønskede hendelser. For at pasientene skal kunne gjennomføre MR-undersøkelsen kan de få bedøvelse.

Ifølge Shew *et al.* (2018) hadde MED-EL CI-modellen ingen komplikasjoner. Den inneholder en roterende magnet som minker rotasjonskraft. Ved magneten som kan fjernes anbefaler Shew *et al.* (2018) å ta ut magneten, men sansynligheten får at infeksjon oppstår senere er øker. MR-sikkerhet har utviklet seg betydelig, de siste årene, og det er også en økning i utvikling av CI med fritt roterende magnet (Srinivasan *et al.*, 2019). MED-EL er en modell av CI som er nyere og mer MR-sikkert enn eldre modeller (Erhardt *et al.*, 2018). Ulike CI-leverandører har ulike retningslinjer for at de skal kunne undersøkes CI med MR. Det er radiografens oppgave å sjekke dette for å unngå uønskede hendelser.

Kim *et al.* (2015) og Shew *et al.* (2018) har rapportert at endringer i polarisering av den interne magneten er en av uønskede hendelse som kan oppstå ved MR-avbildning. I en tidligere studie foreslår Jeon *et al.* (2012) to mulige årsaker til endring i polarisering av magneten. Den første mulige årsaken kunne være det statiske magnetfeltet, som endret polariseringen av den interne magneten. Den andre mulige årsaken kunne være at den interne magneten ble fysisk rettet opp på nytt, mens den vekselvirket med MR. Studien antar at den andre muligheten er mer pålitelig. En mulig til tiltak for å løse denne uønskede hendelsen er å passe på magnet polariteten av MR-maskinen, slik at den er paralell med den interne magneten.



## 5.6 Metodekritikk

Oppgaven er en litteraturstudie som benytter seg av forskning som allerede er utført. Den metoden var godt egnet til å besvare problemstillingen, siden den samler nyttig informasjon og gir en oversikt av hva som har blitt forsket på. Artikkene benytter metoder som observasjonsstudier eller litteraturstudie. Ved at artikkene bruker ulike metoder kan dette bidra med å opplyse om ulike synspunkt og aspekt innen tema. Det er flere artikler i oppgaven som bruker liknende informasjon og inneholder data som kan kvantifiseres. Flere av de inkluderte artikkene bruker hverandres studier som støtte. Dette øker troverdigheten til artikkene. Likevel kan data som kan kvantifiseres også feiltolkes. Artikkene ble lest flere ganger for å få bedre forståelse og for å unngå misforståelser.

Det ble benyttet to databasene Pubmed og Scopus for å hente data. Andre databaser som ikke er med i søket kunne ha hjulpet med å finne andre relevante artikler som de to brukte databasene ikke fant.

Ved å benytte databasesøk var søkeordene tilpasset til å finne artikler som handler om problemstillingen. Noen som kunne ha ført til at relevante artikler ble mistet ved begrensning. Vi kunne ha mistet relevante artikler ved ekskludering etter tittel og abstrakt. Det kan hende at artikkene hadde blitt sett på som relevant hvis hele artikkelen hadde blitt lest. Artikler som ikke var fritekster eller fulltekster kunne også inneholde relevant informasjon. Bruk av artikler på engelsk kunne skape en utfordring ettersom det kunne mistolkes. Viktige begreper eller terminologi kunne mistes ved å oversette. For å unngå dette ble ukjente ordtak søkt på nettet og diskutert med veileder for å oversette til riktig terminologisk ord. Artikler fra andre land som ble oversatt til engelsk kunne også føre informasjonskutt.

Artikkene som er brukt er fra 2010-2023 for å inkludere nyere forskning. Dette kan føre til utelukkelse av eldre relevante artikler.

Shew *et al.* (2018) og Kim *et al.* (2015) benytter en kvantitativ studiemetode. De observerte pasienter som skulle gjennom MR-avbildning med CI. Sikkerhetsutfordringer er diskutert i forhold til det som oppstår fra studiedeltakerens opplevelser. Disse to studiene om CI begrenser utfordringene som er i resultatet, og har ikke nevnt en del andre potensielle utfordringer. Begge artikler utfører forskningen på en liten testgruppe, som kan gi mindre

pålitelige resultat. Ved å bare undersøke et fåtall av mulige utfordringer kan vi gå glipp av andre utfordringer som kunne diskuteres. For å unngå glip av viktige utfordringer kan den tredje artikkelen hjelpe oss, fordi den benytter litteraturstudie med flere ulike artikler.

Ifølge Dalland (2017, s.40) skal metoden bidra til kunnskap som er troverdig. Dette er gjennomført ved at validitet og reliabilitet skal oppnås. Validitet handler om relevans og gyldighet, det vil si at det som skal måles må være relevant og gyldig for problemstillingen som skal undersøkes. Det var vanskelig å finne artikler som tok for seg alle aspekter, og dermed ble det bestemt å inkludere 8 artikler slik at mange aspekter innen tema kunne dekkes. Det ble inkludert studier fra ulike land, også utenfor Europa, noe som kunne medføre ulike og usikre resultat i forhold til norske eller europeiske protokoller.

Dalland (2017, s.40) definerer reliabilitet som pålitelighet, noe som blant annet går ut på at målinger er gjennomført og gjort på riktig måte. Dette kan gjøres ved vurdering av metode i forhold til resultatet som ble funnet. Ved å finne forskjeller eller sammenhenger mellom disse påvirke reliabilitetene i oppgaven. Vi samlet inn konsistente resultater fra ulike studien. Dette bidrar til å gjøre studien våre pålitelig.

Ifølge Svartdal, F. (2020) brukes reliabilitet om konsistens eller stabilitet i målinger. Videre skriver Svartdal at dersom man gjør en undersøkelse og finner en forskjell eller sammenheng som er signifikant, betyr det at funnet er reliabelt. Vi har bare hentet ut resultater som er beskrevet som signifikante fra de undersøkte studiene. Dette vil gi reliabilitet til våre resultater

## 6.0 konklusjon

Denne oppgaven bruker vitenskapsartikler for å oppsummere hva som er viktig for at radiografer skal kunne tilby best og tryggest mulig undersøkelser til flest mulig pasienter med DBS/CI. Resultatene til DBS og CI er ulike og er fremstilt separert, fordi oppgaven ikke er opptatt av å sammenligne implantatene. Det er mange ulike utfordringer når det kommer til DBS og CI. Noen av utfordringene med DBS er at det kan oppstå implantatoppvarming og dysfunksjon ved MR-avbildning. Utfordringene med CI er forskyvning av den interne magneten, smerte og ubehag.

Potensielle tiltak for DBS-implantatoppvarming innebærer å bruke pulssekvenser som avsetter mindre energi på implantatet. Det vil si pulssekvenser som benytter mindre flippvinkler og raskere RF-pulser, som for eksempel GRE-sekvenser. Andre tiltak for implantatoppvarming er å benytte 1.5T som gir mindre implantatoppvarming enn ultrahøye feltstyrker. I tillegg er det viktig å bruke sender/mottaker hodespole som gir mindre oppvarming, enn bruk av kroppsspole som sendespole i kombinasjon med en mottakerspole. Helkopp sendespole utsetter DBS-systemet for høyere RF, og derfor genererer den mer implantatoppvarming.

SAR og  $B_1+rms$  gir også utfordringer når det gjelder MR-avbildning av pasienter med DBS. SAR-verdien varierer i ulike DBS-modeller. SAR-verdien kan reduseres ved å redusere antall snitt, flippvinkel, antall ekko og øke TR. Reduksjon av antall snitt krever veiledning av radiolog for å sikre at det aktuelle området forblir i FOV-feltet. Det er viktig å være klar over at SAR også påvirker romopløsningen, signal-støy-forholdet og bildekontrasten. IPG-innstillinger varierer mellom ulike implantatleverandører. Noen foreslår å slå av IPG før MR-undersøkelsen og under undersøkelsen.

Tiltak som radiografer kan utføre for å unngå forskyvning av den interne magneten i CI er bedre pasient posisjonering på veien til MR-maskinen. Det vil si, at pasienten kommer i liggende inne i rommet og blir flyttet over til MR-maskinen. Dette er for å unngå rotasjonskraftens påvirkninger. Reposisjonering skal unngås ved magnetåpning. For å unngå smerte og ubehag kan bedøvelse vurderes. Kunnskap for de ulike implantattyper er også viktig, slik at riktig implantat retningslinjer blir fulgt av radiografene.

Shew *et al.* (2018) og Kim *et al.* (2015) viser et stort antall pasienter som rapporterte smerte og/eller ubehagsfølelse ved MR-undersøkelsen. En grunn til dette kan antageligvis være at implantatene er ansett som trygg og dermed kan utfordringer oversees. Videre forskning burde utføres av smerte og/eller ubehagsfølelse hos pasienter med CI, siden dette er den største utfordringen som er blitt rapportert.

## 7.0 Litteraturliste

### Studiene inkludert i oppgaven

Boutet, *et al.* (2020a) Improving Safety of MRI in Patients with Deep Brain Stimulation Devices. *Radiology*, 269(2), s.250-262. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020192291> (Hentet: 10.mars 2023)

Boutet *et al.* (2020b) Safety assessment of spine MRI in deep brain stimulation patients. *Journal of neurosurgery*, 32(6), s.973-983. doi: <https://doi.org/10.3171/2019.12.SPINE191241> (Hentet: 9. mars 2023)

Erhardt *et al* (2018) Should patients with brain implants undergo MRI? *Journal of neural engineering*, 15 (4), s.1-26. doi: <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aab4e4> (Hentet: 9. mars 2023)

Kazemivalipour, *et al.* (2023) Effect of field strength on RF power deposition near conductive leads: A simulation study of SAR in DBS lead models during MRI at 1.5 T—10.5 T, *PLOS ONE*, 18(1), s.1-14. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280655> (Hentet:10. mars 2023)

Kim *et al.* (2015) Adverse Events and Discomfort During Magnetic Resonance Imaging in Cochlear Implant Recipients, *JAMA Network*, 141(1), s.45-52. doi: [10.1001/jamaoto.2014.2926](https://doi.org/10.1001/jamaoto.2014.2926) (Hentet: 10.mars 2023)

Shew *et al.* (2018) Magnetic resonance imaging with cochlear implants and auditory brainstem implants: Are we truly practicing MRI safety?, *The laryngoscope*, 129 (2), s.482-489. doi: <https://doi.org/10.1002/lary.27516> (Hentet:8. mars 2023)

Weise *et al.* (2010) Postoperative MRI examinations in patients treated by deep brain stimulation using a non-standard protocol, *Acta Neurochir*, 152(12), s.2021-2027. doi: <https://doi.org/10.1007/s00701-010-0738-y> (Hentet: 10. mars 2023)

Zrino *et al.* (2011) Clinical Safety of Brain Magnetic Resonance Imaging with Implanted Deep Brain Stimulation Hardware: Large Case Series and Review of the Literature, *World*

*neurosurgery*, 76(1-2), s.164-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.02.029> (Hentet: 10. mars 2023)

### **Andre kilder i oppgaven**

Aissani, S., Laistler, E. og Felblinger, J. (2019) MR safety assessment of active implantable medical devices, *Die radiologe*, 59 (1), s.40-45. doi: <https://doi.org/10.1007/s00117-019-0541-6> (Hentet 03.Februar 2023)

Aveyard, H. (2014) *Doing a Literature Review in Health and Social Care, a practical guide*. 3. utg. Maidenhead: Open University Press.

Busch, T. (2021) *Akademisk skriving for bachelor og masterstudenter*. 2.utg. Bergen: Fagbokforlaget.

Boston Scientific Advancing for life (2022) *Vercise™ Deep Brain stimulation system information for prescribers*. Tilgjengelig fra: [https://www.bostonscientific.com/content/dam/elabeling/nm/92328649-02\\_Rev\\_D\\_DB\\_S\\_Info\\_Pres\\_multi-OUS\\_s.pdf](https://www.bostonscientific.com/content/dam/elabeling/nm/92328649-02_Rev_D_DB_S_Info_Pres_multi-OUS_s.pdf) (Hentet 20. Mai 2023)

Borthne, A. (2019) *MR-maskin*. Tilgjengelig fra <https://sml.snl.no/MR-maskin> (hentet 15.mai 2023)

Dalland, O. (2017) *Metode og oppgave skriving*. 6.utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.

Erturk, *et al* (2020) Predicting *in vivo* MRI Gradient-Field Induced Voltage Levels on Implanted Deep Brain Stimulation Systems Using Neural Networks, *Frontiers in Human Neuroscience*, 14 (34), s.1-8. doi: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00034> (Hentet 25. April 2023)

Eshraghi, *et al.* (2012) The Cochlear Implant: Historical Aspects and Future Prospects, *The anatomical Record*, 295 (11), s.1967-1980. doi: <https://doi.org/10.1002/ar.22580> (Hentet 25.april 2023)

Holck, P. (2022) *Medical Subject Headings (MeSH)* Tilgjengelig fra: [https://sml.snl.no/Medical\\_Subject\\_Headings\\_\(MeSH\)](https://sml.snl.no/Medical_Subject_Headings_(MeSH)) (Hentet 04. mai 2023)

Helsebiblioteket(2020) *kritisk vurdering*.Tilgjengelig fra: <https://www.helsebiblioteket.no/innhold/artikler/kunnskapsbasert-praksis/kunnskapsbasertpraksis.no#4kritisk-vurdering-41-sjekklister> (Hentet: 04. Mai 2023)

Dietrichs, E. (2019) *Bevegelsesforstyrrelser*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/bevegelsesforstyrrelser> ( Hentet: 25. April 2023)

DeSaSouza, S.(2022) *Cochlear Implants New and Future Directions*. Mumbai: Springer Nature Singapore.

FDA (2018) *What is a Cochlear Implant?* Tilgjengelig fra: <https://www.fda.gov/medical-devices/cochlear-implants/what-cochlear-implant> (Hentet 24.mai 2023)

Jacobsen, D.I (2015) *Forståelse Beskrivelse og Forklaring: Innføring i metode for helse- og sosialfagene*. Kristiansand: Høyskoleforlaget.

Jeon *et al.* (2012) Reversing the polarity of a cochlear implant magnet after magnetic resonance imaging, *Auris Nasus Larynx*, 39(4), s.415-417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anl.2011.04.018> (Hentet 24. Mai 2023)

Keevil, S. (2016). SAFETY IN MAGNETIC RESONANCE IMAGING. *MEDICAL PHYSICS INTERNATIONAL Journal*, 4(1), s.26-34. Tilgjengelig fra: <http://mpijournal.org/pdf/2016-01/MPI-2016-01-p026.pdf> (Hentet 03.desember 2022)

Malterud, K. (2017) *Kvalitativ metasyntese som forskningsmetode i medisin og helsefag*. Oslo: Universitetsforlaget

Naples, J.G og Ruckenstein, M.J. (2020) Cochlear implant. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(1), s.87-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.09.004> (hentet: 29. April 2023)

National Institute of Neurological Disorders and Stroke (2023) *Deep brain stimulation for movement disorders*. Tilgjengelig fra: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/disorders/deep-brain-stimulation-movement-disorders#toc-what-is-deep-brain-stimulation-for-movement-disorders-> (Hentet: 20.mai 2023)

NHS (2022) *MRI scan*. Tilgjengelig fra: <https://www.nhs.uk/conditions/mri-scan/> (Hentet 25. April 2023)

Norsk Radiograf forbund. (2022) *MR-SIKKERHET Status og utfordringer*. Tilgjengelig fra: [https://www.radiograf.no/files/2022/06/17/MR\\_rapport\\_juni\\_2022.pdf](https://www.radiograf.no/files/2022/06/17/MR_rapport_juni_2022.pdf) (Hentet 03. desember 2022)

Rahimpour, *et al* (2021) Deep brain stimulation and electromagnetic interference, *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 203, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106577> (Hentet 15. Mai 2023)

Runge, V.M, Nitz, W. R. og Heverhagen, J.T. (2018) *The physics of Clinical MR Taught Through Images*. 4.utg. USA: Them medical publisher.

Shellock, F.G (2014) *Reference Manual for Magnetic Resonance Safety, Implants, and Devices*: Los Angeles: Biomedical research publishing group.

Smith, H.J. Og Gjesdal K.I. (2000) Magnetisk resonans – historikk og teoretisk grunnlag, *Den norske legeforening*, 120, s.931-935. Tilgjengelig fra: <https://tidsskriftet.no/2000/03/tema/magnetisk-resonans-historikk-og-teoretisk-grunnlag>(10.mai 2023)



Srinivasan *et al.* (2019) A review of the safety of MRI in cochlear implant patients with retained magnets, *Clinical radiology*, 74(12), s.972. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.06.011> (20.mai 2023)

Støren, I (2013) BARE SØK!: Praktisk veiledning i å gjennomføre en litteraturstudie. Oslo: Cappelen Damm AS.

Thomas, H. og Peter, Y. (2022) A practical guide for radiographers focussing on safety during magnetic resonance imaging. *Journal of medical imaging and radiation sciences*. 53(4), s.714-719. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2022.09.014> (Hentet: 25. April 2023)

Todt *et al.* (2018) Cochlear implants and 1.5 T MRI scans: the effect of diametrically bipolar magnets and screw fixation on pain, *Journal of Otolaryngology- head and neck surgery*, 47 (11) s.1-4. doi: <https://doi.org/10.1186/s40463-017-0252-9>

Vistnes, A.I. (2020) SAR (spesifikk absorpsjonsrate) Tilgjengelig fra: [https://snl.no/SAR\\_-\\_spesifikk\\_absorpsjonsrate](https://snl.no/SAR_-_spesifikk_absorpsjonsrate)(Hentet 11. mai 2023)

Vu, J. *et al.* (2022) A comparative study of RF heating of deep brain stimulation devices in vertical vs. horizontal MRI systems. *PLOS ONE*, 17(12), s,1-16. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278187> (Hentet: 03.februar 2023)

Wickemeyer. J.L., Sharon. J.D. og Weinreich, H.M. (2020) Special Considerations in Patients with Cranial Neurostimulatory Implants, *Otolaryngologic Clinics of North America*, 53(1), s.57-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.09.013> (Hentet 06.februar 2023)

## Vedlegg 1 søkehistorikk

Søkeord	Database	Dato	Antall treff	Leste abstrakt artikler	Inkluderte artikler
<p>(((((magnetic resonance imaging[MeSH Terms]) OR (magnetic resonance imaging[Text Word])) OR (mri[Text Word])) AND (((cochlear implants[MeSH Terms]) OR (cochlear implants[Text Word])) OR (deep brain stimulation[MeSH Terms])) OR (deep brain stimulation[Text Word]))) AND ((patient safety[MeSH Terms]) OR (patient safety[Text Word]))</p>	PubMed	10.03.23	25	17	<p>“Improving Safety of MRI in Patients with Deep Brain Stimulation Devices”</p> <p>“Effect of field strength on RF power deposition near conductive leads: A simulation study of SAR in DBs lead models during MRI at 1.5 T - 10.5 T”</p>

<p>(Mri OR "magnetic resonance imaging")  AND ("cochlear implants" OR "deep brain stimulation")  AND "patient safety"</p>	<p>Scopus</p>	<p>10.03.23</p>	<p>179</p>	<p>27</p>	<p>Safety assessment of spine MRI in deep brain stimulation patients.</p> <p>Clinical Safety of Brain Magnetic Resonance Imaging with Implanted Deep Brain Stimulation Hardware: Large Case Series and Review of the Literature.</p> <p>Postoperative MRI examinations in patients treated by deep brain stimulation using a non-standard protocol.</p> <p>Magnetic resonance imaging with cochlear implants and auditory brainstem implants:  Are we truly practicing MRI safety?</p> <p>Should patients with brain implants undergo MRI?</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-----------------	------------	-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

					Adverse events and discomfort during magnetic resonance imaging in cochlear implant recipients.
--	--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------

