

# **Svårbehandlad epilepsi: Hur 7-Tesla magnetundersökning spelar en viktig roll i diagnosprocessen**

Emma Forsman

Examensarbete för (YH)-examen inom social- och häsovård

Röntgenskötare (YH)

Vasa 2023

## EXAMENSARBETE

Författare: Emma Forsman

Utbildning och ort: Röntgenskötare, Vasa

Handledare: Katarina Vironen

Titel: Svårbehandlad epilepsi: Hur 7-Tesla magnetundersökning spelar en viktig roll i diagnosprocessen

---

Datum: 02.12.2023 Sidantal: 23

Bilagor: 0

---

### Abstrakt

Detta examensarbete handlar om ett av de mest utmanande neurologiska tillstånden, svårbehandlad epilepsi, samt 7-Tesla magnetapparat. Det kommer att analyseras och utforskas hur modern medicinsk bildbehandling, särskilt 7-Tesla magnettekniken kan bidra till en förbättrad diagnos och förståelse av epilepsin. För vissa patienter är epilepsin svår att behandla med traditionella metoder. I det här arbete kommer det att fördjupas i frågor som rör svårbehandlad epilepsi. Det kommer också att undersökas hur denna högteknologiska bildbehandlingsteknik fungerar samt vilka fördelar den kan erbjuda när det gäller att upptäcka och kritisera epileptiska förändringar i hjärnan samt skillnaderna mellan de olika magnetfältstyrkorna i magnetapparater, hur de påverkar diagnostiska möjligheter.

Examensarbetets syfte är att utreda 7-Tesla magnetundersökningens roll vid diagnostisering av svårbehandlad epilepsi och frågeställningarna i arbetet är: Varför undersöka med en 7-Tesla magnetapparat, vilka säkerhetsaspekter skall beaktas vid en 7-Tesla apparat samt vad är svårbehandlad epilepsi.

Idén bakom detta arbete uppstår från respondentens intresse för magnetundersökningar och särskilt en önskan att sätta sig i 7-Tesla magnettekniken. Målet med detta arbete är att förstå varför 7-Tesla magnetundersökning är ett bra alternativ till att diagnostisera svårbehandlad epilepsi.

Examensarbetet är en kvalitativ studie som använder sig av metoden scoping review. Denna metod möjliggör granskning av både vetenskaplig och grå litteratur. Respondenten har genomfört litteratursökningen på olika databaser för att identifiera användbara artiklar inom ämnet. Informationen från olika källorna så som artiklar, tidskrifter, webbsidor samt böcker

Resultatet av undersökningen visar att en 7-Tesla magnet-apparat är bättre till att avbilda hjärnan vid utredning av svårbehandlad epilepsi. Apparaten med en högre fältstyrka ger ett bättre resultat. Säkerhetsaspekterna vid apparaten är annorlunda, speciellt riskerna med proteserna, pacemaker och andra metaller i kroppen.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: 7Tesla, MRI, epilepsi, svårbehandlad epilepsi

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Emma Forsman

Koulutus ja paikkakunta: Röntgenhoitaja, Vaasa

Ohjaaja: Katarina Vironen

Nimike: Vaikeahoitoinen epilepsia: 7- Tesla magneettitutkimuksen keskeinen rooli diagnosoimisprosessissa

---

Päivämäärä: 02.12.2023 Sivumäärä: 23

Liitteet: 0

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö käsittelee yhtä haastavimmista neurologisista tiloista, vaikeahoitoista epilepsiaa, sekä 7-Tesla magneettikoneesta. Työssä analysoidaan ja tutkitaan, miten nykyaikainen lääketieteellinen kuvantaminen, erityisesti 7-Teslan magneettitekniikka, voi edistää epilepsian diagnosointia ja ymmärrystä. Epilepsia on neurologinen sairaus, joka vaikuttaa miljooniin ihmisiin ympäri maailmaa. Jollekin potilaille epilepsian hoitaminen on vaikeaa perinteisillä menetelmillä. Tässä työssä keskitytään vaikeahoitoiseen epilepsian kysymyksiin. Lisäksi tutkitaan, miten tämä korkean teknologian kuvantamistekniikka toimii ja mitä etuja se voi tarjota epileptisten muutosten havaitsemisessa ja arvioinnissa aivoissa, myös eri tehoisten magneettilaitteiden magneettikenttien vahvuudessa ja niiden vaikutus diagnostisiin mahdollisuuksiin.

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia 7-Tesla magneetti tutkimuksen käyttöä vaikeahoitoiseen epilepsian diagnosoinnissa, ja työn tutkimuskysymykset ovat: Miksi tutkia 7-Teslan magneettilaitteella? Mitä turvallisuusnäkökohtia on otettava huomioon 7-Tesla-laitteessa? Ja mikä on vaikeahoitoinen epilepsia?

Työn idea syntyy vastaajan kiinnostuksesta magneettitutkimuksiin, erityisesti halusta perehtyä 7-Tesla MRI tekniikkaan. Työn tavoitteena on ymmärtää, miksi 7-Tesla magneettitutkimus on hyvä vaihtoehto vaikeahoitoiseen epilepsian diagnosoinnissa.

Opinnäytetyö on laadullinen tutkimus, joka hyödyntää scoping review -menetelmää. Tämä menetelmä mahdollistaa tieteellisen ja harmaan kirjallisuuden kattavan tarkastelun. Tarkastelun ja tieteellisen tiedon tiivistämisen kautta eri lähteistä, kuten aikakauslehdet, artikkelit, luotettavat verkkosivut ja kirjat.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että 7-Teslan magneettilaitte on parempi aivojen kuvantamiseen vaikeasti hoidettavan epilepsian tutkimuksessa. Suurempi kenttävoima parantaa tuloksia. Turvallisuusnäkökohdat laitteessa ovat erilaiset, erityisesti riskit proteeseista, sydämentahdistimesta ja muista kehon metalleista.

---

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: 7Tesla, MRI, epilepsia, vaikeahoitoinen epilepsia

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Emma Forsman

Degree Programme: Radiographer, Vaasa

Supervisor: Katarina Vironen

Title: Intractable epilepsy: The crucial role of 7-Tesla magnetic resonance imaging in the diagnosis process

---

Date: 02.12.2023    Number of pages: 23

Appendices: 0

---

### **Abstract**

This thesis is about one of the most challenging neurological conditions, treatment-resistant epilepsy, and 7-Tesla MRI. It will be analyzed and explore how modern medical imaging, especially the 7-Tesla MRI technology can contribute to an improved diagnosis and understanding of epilepsy. Epilepsy is a neurological disorder that affects millions of people worldwide. For some patients, epilepsy is difficult to treat with traditional methods. This work will delve into issues related to treatment-resistant epilepsy. It will also investigate how this high-tech imaging technique works and the advantages it can offer in detecting and assessing epileptic changes in the brain, as well as the differences in magnetic field strengths in MRI machines and how they affect diagnostic possibilities.

The purpose of the thesis is to investigate the role of the 7-Tesla magnetic resonance imaging in diagnosing refractory epilepsy. The questions addressed in the thesis include: Why examine with a 7-Tesla magnetic resonance imaging machine? What safety aspects need to be considered with a 7-Tesla apparatus? And what constitutes refractory epilepsy?

The idea behind this work arises from the respondent's interest in MRI and a desire to delve into the 7-Tesla MRI technology. The goal of this work is to comprehend why a 7-Tesla magnetic resonance imaging is a viable alternative for diagnosing refractory epilepsy.

The thesis employs a qualitative study approach utilizing the scoping review method. This method enables the examination of both scientific and grey literature. The respondent conducted a literature search across various databases to identify relevant articles on the subject. Information from diverse sources such as articles, journals, websites, and books was incorporated

---

Language: Swedish

Key words: 7Tesla, MRI, epilepsy, intractable epilepsy

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
2	Syfte och frågeställningar.....	2
3	MRI.....	3
3.1	Allmänt MRI.....	3
3.2	MRI fysik.....	4
3.2.1	Quench.....	7
3.2.2	RF-spolar och puls.....	7
3.2.3	Gradientspolar.....	8
3.2.4	Faradays bur.....	8
3.3	7-Tesla MRI.....	8
4	Säkerhet vid MRI.....	10
4.1	Röntgenskötarens roll .....	12
5	Epilepsi.....	13
5.1	Svårbehandlad epilepsi .....	13
5.2	Utredning av epilepsi.....	14
5.3	Behandling.....	15
6	Metod .....	16
7	Etik och granskning .....	17
8	Diskussion & resultat.....	19
9	Litteraturförteckning .....	21
	Figur 1. MRI tekniken i bild (egen bild).....	6
	Figur 2. (Mark E. Ladd, 2018).....	9
	Figur 3. Utsträckning av magnetfältet (egen bild).....	12

# 1 Inledning

I detta examensarbete kommer respondenten att sätta sig i 7-Tesla magnetresonanstomografi (MR) samt hur denna bildteknik används vid diagnostisering av epilepsi med hjälp av 7-Tesla MR-apparat. I detta arbete kommer förkortningen MRI, som står för de engelska orden magnetic resonance imaging, att användas i stället för svenska förkortningen MR. Här efter används begreppet 7T i stället för 7-Tesla.

MRI är en bilddiagnostisk undersökningsmetod som består av en kraftig magnet, RF sändare samt mottagarsystem och ett gradientsystem. MRI undersökningar är bättre att diagnosticera mjukdelar av kroppen då apparaten har högre upplösning som bättre avbildar till exempel hjärnans mjuka partier. MRI är en bra undersökningsmetod eftersom det inte används strålning vid denna sorts undersökning. I en MRI undersökning tas det tvärsnittsbilder av kroppens olika delar. Det finns olika fältstyrkor på apparaterna så som 1,5T, 3T som används i kliniskdrift samt 7T som detta arbete handlar om. 7T MRI undersökning är med en ultrahög fältstyrka som ger mycket mer högupplösta bilder än vad de apparaterna med lägre fältstyrka. Desto högre fältstyrka desto skarpare och noggrannare bilder blir det. Om man skulle göra en undersökning av hjärnan med hjälp av en 3T MRI så kan det vara att förändringarna inte syns eftersom man får mindre noggranna bilder från den apparaten med den styrkan. Om man undersöker med en apparat som har styrkan 7T så kan det vara större chans att förändringarna syns, eftersom den maskinen får mycket bättre och noggrannare bilder. Säkerheten är en grundläggande aspekt när det gäller medicinsk bildbehandling. I detta arbete kommer det att gås igenom säkerhetsaspekter och riktlinjer för patientsäkerheten

Svårbehandlad epilepsi handlar om patienter som inte fått någon hjälp av de medicinerna som de har blivit givna för att hjälpa till att minska de epileptiska anfallen, samt att de inte hittat orsaken till epilepsin. Med hjälp av en 7T MRI undersöknings apparat kan man forska samt undersöka patienter med svårbehandlad epilepsi för att se om man hittar orsaken till anfallen som inte hittats på tidigare undersökningar med en apparat med lägre styrka.

Respondenten har använt sig av vetenskapliga artiklar, webbsidor samt faktabaserade böcker som sökmotiv i detta examensarbete. Idén med detta arbete är att respondenten är intresserad av MRI och vill fördjupa sig i 7-Tesla MRI. Med detta arbete vill respondenten föra fram de betydande skillnaderna mellan de olika apparater samt att fördjupa sig i svårbehandlad epilepsi.

## 2 Syfte och frågeställningar

Examensarbetets syfte är att utreda 7T MRI undersökningens roll vid diagnostisering av svårbehandlad epilepsi

Frågeställningarna är:

- Varför undersöka med en 7T MRI?
- Vilka säkerhetsaspekter skall beaktas vid en 7T MRI-apparat?
- Vad är svårbehandlad epilepsi?

## 3 MRI

I det här kapitlet kommer respondenten att berätta allmänt om MRI, fysiken, varför 7T-apparaten är ett bättre alternativ till att diagnostisera epilepsi samt säkerhetsaspekter och riktlinjer för patientsäkerheten.

Respondenten använder det engelska förkortningen MRI från magnetic resonance imaging i stället för den svenska förkortningen MR eftersom det används vid den arbetsplats var respondenten arbetar.

### 3.1 Allmänt MRI

1940-talet upptäcktes kärnspinnresonans av *Felix Bloch* och *Edward Purcell*. (Eva Berglund, 2007) Efter det har MRI apparaten utvecklats och idag är det en mycket användbar undersökningsmetod. MRI är en bilddiagnostisk undersökningsmetod som består av en kraftig magnet, RF sändare samt mottagarsystem och ett gradientsystem. (Ronnie Wirestam, 2020) I en MRI undersökning tas det tvärsnittsbilder av kroppens olika delar, dessa tvärsnittsbilder kan tas i axial, coronal samt sagittal riktning.

Man kan undersöka alla vävnader och kroppsdelar så som organ, mjukdelar, senor samt nerver med hjälp av magnetfält och radiovågor, så kallade RF- pulser som sänds mot patienten. Magnetfältet gör så att protonerna i väteatomens kärna i kroppen ställer sig mot magnetfältet. Då man skickar in RF- pulser ändrar de riktning på protonerna och då pulsen stängs av så återgår de till samma jämvikt som tidigare. Frekvensen på radiovågen ställs in så att den stämmer in med protonernas frekvens. Resonans innebär att väteprotonerna roterar i takt med radiovågens frekvens och därför tar upp energin från radiovågen. Relaxionstid och återgång tar olik tid för protonen beroende på olika typer av vävnader. Det är den skillnaden man mäter och skapar bild utifrån. Vid undersökningarna används olika spolar som hjälper till att uppta signalerna bättre. (Eva Berglund, 2007, ss. 96-130)

Det finns olika styrkor på olika MRI apparater så som 1,5T och 3T som används i klinisk drift. Vid MRI används tesla som enhet för styrkan, förkortningen på detta är (T). Utvecklingen har gått mot mycket högre fältstyrkor så som en ultra high field 7T MRI. 7T apparaten har en mycket högre upplösning samt kvalitet på bilderna. (Ronnie Wirestam, 2020)



## 3.2 MRI fysik

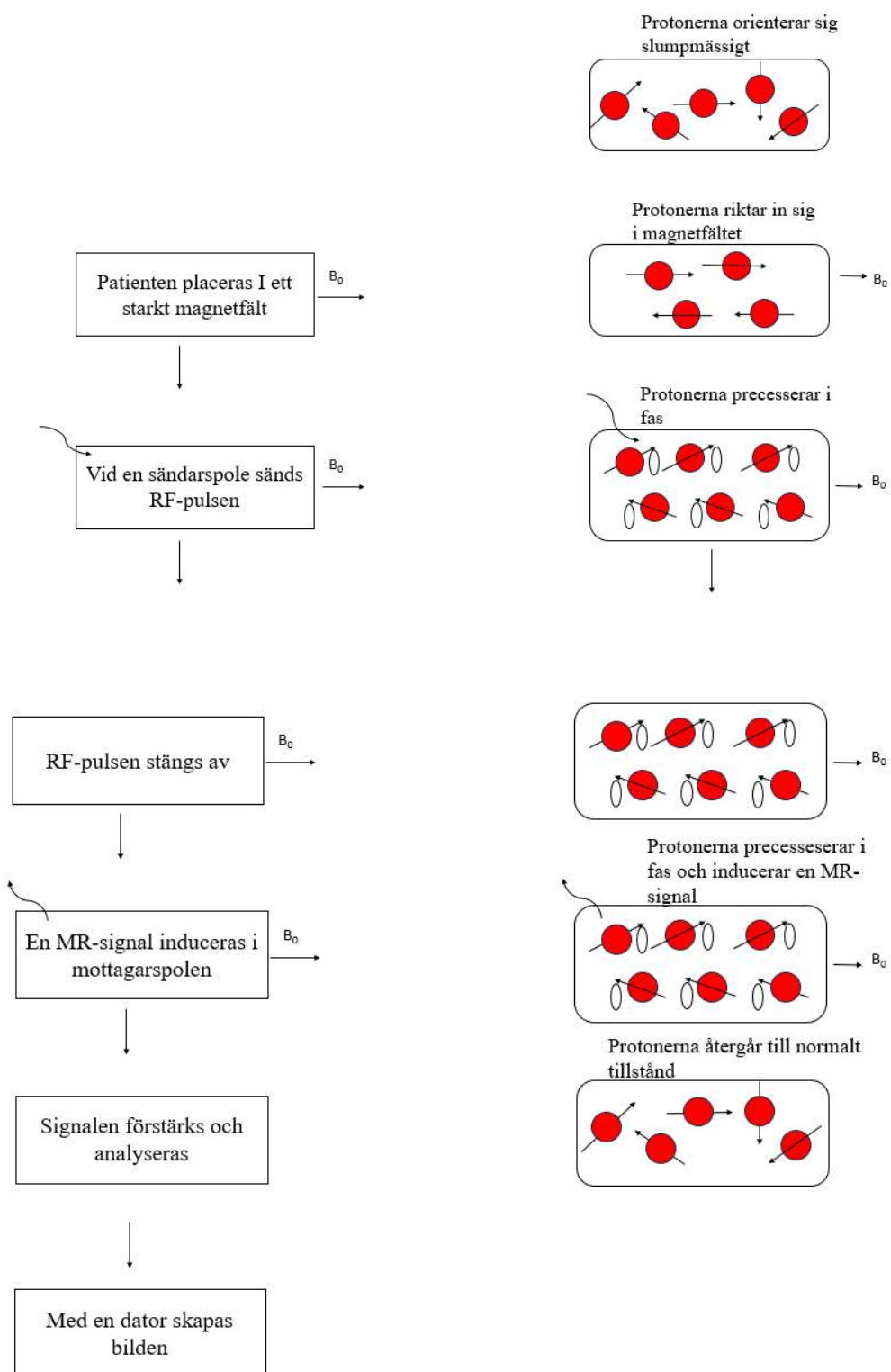
Protonerna i väteatomen används som avbildningsteknik som det finns massor av i människokroppen. Protonerna är små partiklar med en positiv laddning. Inne i atomkärnan är protonerna inte stilla utan roterar ständigt runt sin egna axel, vilket kallas för protonernas spinn. När en positivt laddad partikel roterar uppstår det man kallar ström. Där det finns ström skapas även ett magnetiskt fält. Således har protonerna ett magnetiskt moment och är utrustade med en magnetisk sydpol och en nordpol. De magnetiska momenten representerar en specifik kraft i en bestämd riktning. När protonerna inte påverkas av något yttre magnetfält är deras magnetiska moment slumpmässigt riktat och har ingen specifik orientering men när det placeras i ett yttre magnetfält kommer protonerna att ordna sig. De riktas antingen mot den sydliga polen av det yttremagnetfältet eller mot den nordliga polen. Dessa riktningar indikerar olika energinivåer. Det kräver mer energi för protonerna att riktas mot den sydliga polen. Skillnaden i antalet protoner som riktas mot den norra respektive södra polen är mycket liten. Protonerna precesserar med så kallat Larmor frekvens som är beroende av det yttre magnetfältet. (Ronnie Wirestam, 2020) (Eva Berglund, 2007, ss. 96-130)

Protonerna blir med ett magnetiskt moment magnetiska. Protonernas magnetiska moment är inriktade parallellt med det yttre magnetfältet som kallas longitudinal magnetisering. Genom att använda en radiofrekvenspuls med Larmor frekvens kan man ändra riktning på protonernas magnetiska moment, sedan då man har stängt av pulsen så återgår protonerna till samma läge före pulsen. (Kaut, 1998)

Den relaxionstid samt återgång tar olik tid för protonerna i olika typer av vävnader. Bilden skapas av dessa skillnader. Larmor frekvensen för till exempel 1 Tesla är 42,5 MHz så alltså protonerna cirkulerar 42,5 miljoner varv på en sekund. På en 7 Tesla så är det då 297,5 MHz. (Kaut, 1998) Inom MRI-undersökningar är mätningsbruset oftast dominerat av patienten. För detta är resonansfrekvensen upp till cirka 63.86MHz vid 1,5T så kan vi förvänta oss en linjär ökning av SNR alltså signal- till-brusförhållande. (Tanja Platt, 2021) Vid mycket höga magnetfältstyrkor såsom 7-Tesla och därmed högre protonresonansfrekvenser kan man dock i vissa fall observera en ännu större ökning av SNR. Därför ger 7-Tesla maskin en märkbar signal jämfört med de maskinerna med 1,5 T och 3T. Denna signalökning kan användas för att uppnå högre upplösning inom samma mättid. (Ronnie Wirestam, 2020)

I MRI-apparaten används en superledande magnet. I apparaten finns det en trådlindad spole. De som lindas runt spolen är av materialet Niobium Titanium (NbTi). Spolen ligger i flytande helium som är -269 grader Celsius för att kyla ner den och för att MRI apparaterna skall kunna skifta friktionsfritt samt spara energi och inte överhettas. Denna låga temperatur gör tråden supraledande vilket leder till att man kan sätta in en ström, då fortsätter strömmen att gå runt i spolen utan förluster. Strömmen i spolen ger magnetstyrkan. Superledande är samma sak som ingen resistans. (Doreen Pfeiffer, 2021) Det finns något som kallas för quench, som menas med att heliumet blir till gasform som leder till att apparaten tappar sin magnetstyrka.

**Figur 1** nedan visar MRI tekniken i korthet med hjälp av figurer. Lådorna till höger presenterar liggande människokroppar. Enheten  $B_0$  är en förkortning av statiskt magnetfält.



Figur 1. MRI tekniken i bild (egen bild)

### 3.2.1 Quench

Quench menas med att det flytande heliumet snabbt frigörs från MRI apparaten. När det flytande heliumet kommer i kontakt med luften så blir det flytande heliumet till gas, alltså att de förångas. Då detta frigörs så minskar magnetfältet radikalt. (Kaut, 1998) Då gasen bildas så blir det ett hårt tryck som en explosion. Maskinen är byggd på ett sådant läge så att gasen slipper ut. Det finns ovanpå maskinen uppbyggt ett rör med glas luckor som sedan går sönder när det exploderas och gasen åker ut där. Gasen kan leda till låg syrenivå, frostsador, kvävning samt hörselsador av den hårda smällen. (Kaut, 1998) Det finns en nød stop knapp som släpper ut heliumet. Detta kan till exempel göras ifall om en patient är fast klämt mellan maskinen och ett föremål som man ej har fåttts bort samt om det börjar brinna. Detta kan också ske av sig själv ifall om det händer något som att det till exempel blir jordbävning. Efter quenching är hela maskinen ur funktion väldigt länge och är dyrt att få den till funktion tillbaka. Vid rummen skall det finnas en syremätare som alarmerar ifall om syrenivån går under en viss gräns. (Magnet Quench, 2023)

Vid 7T MRI behövs det inte fyllas på helium som det ibland behövs göras på de MRI apparat med lägre fältstyrka eftersom det slipper och förångas då det sker temperatur förluster. 7T apparaten har en så kallad Zero helium boil-off som menas med att det flytande heliumet inte förångas så det behövs inte fyllas på. (Siemens Healthineers, u.å)

### 3.2.2 RF-spolar och puls

Så kallade radiofrekvensspolarna har två huvudsakliga uppgifter såsom att sända ut RF-pulsen för att vrida magnetiseringsvektorerna samt att ta emot signaler från patienten. Oftast kan samma spole användas för båda dessa funktioner. Med RF-pulsen ändrar man riktning på de magnetiska momenten. Pulsen kan ändra riktningen med 90 och 180 grader. Beroende på längden och styrkan hos RF-pulsen kan den ändra riktningen på det magnetiska momentet i olika utsträckningar. En spole som används för mottagning är formad för att passa kroppens anatomi på den plats som ska avbildas, till exempel en huvudspole eller vristspole. Den utformningen gör det möjligt för spolen att omge och fokusera på den specifika kroppsdel som ska undersökas. Dessa spolar ger en mycket skarpare och mer precisa MRI-bilder. RF-pulsen kan orsaka temperaturökning i vävnaderna någon grad. (Eva Berglund, 2007)

### 3.2.3 Gradientspolar

Gradienter är trådspolar som befinner sig inne i magnetröret där strömmen åker igenom som genererar olika gradientfält för att lokalisera signaler. När strömmen passerar genom en gradientpole bildas ett magnetiskt fält omkring som antingen adderar eller subtraherar till de statiska huvudmagnetfältstyrkan. (Kaut, 1998) Gradientfältet är lite svagare än huvudmagnetfältet. Gradientspolarerna genererar gradientfälten i x, - y- samt z- riktning. Fälten kopplas ur och in i snabb takt enligt de schema som ges i en pulssekvens. De hårda ljuden som hörs under en undersökning är på grund av dessa på och av stängningar. (Eva Berglund, 2007) Det är en kraftfull dator som används för styrningen av gradientpulserna samt RF-pulserna och för mottagning av ekon till bild. (Ronnie Wirestam, 2020)

### 3.2.4 Faradays bur

Undersökningsrummet vid en MRI så måste uppbyggas på ett speciellt sätt. Man använder sig av en så kallad Faradays bur som använd för att av skärma oönskad elektromagnetisk störning både in och ut ur rummet. Väggarna i MRI rummet är uppbyggt av flera lager av olika material som begränsar så kallade fringe field (magnetiska fält), akustisk dämpning för att begränsa ljudet till kontrollrummet och andra rum samt radiofrekvensavskärmning, för att förhindra elektriska- och elektromagnetiskt fält (EMI/RF-signaler). RF-skydd måste omsluta hela rummet så som tak, väggar och golv Det vanligaste materialet som används av är koppar. Detta används för att inte störa annan elektronisk apparatur som finns nära till. Dörrarna intill undersökningsrummet är tjocka och tunga och innehåller koppar som skydd. Fönsterna in till undersökningsrummet bör också vara RF-skyddade. S70-71 (Lipton, 2008)

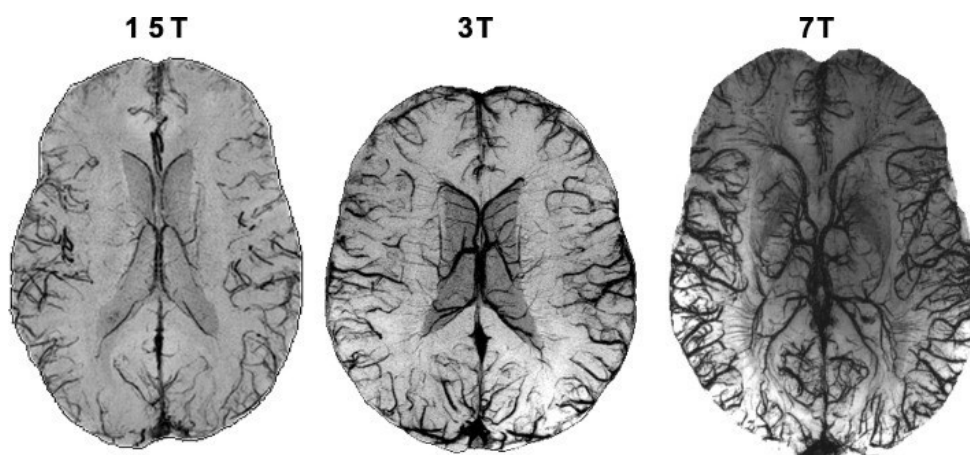
## 3.3 7-Tesla MRI

En 7T MRI apparat har ett kraftfullt magnetfält, kraftigare än till exempel 1,5T eller 3T som används vid sjukhus till kliniska undersökningar. Vid en magnetundersökning får man noggranna snittbilder. Med 7T MRI kan man undersöka hjärnan med en mycket hög upplösning som ger betydligt skarpare och mer detaljerade bilder än 1,5T- eller 3T-apparaterna som är mer vanlig styrka på magnetfältet. 7T apparaten har högre signal till brus (SNR) samt kontrast till brusförhållande (CNR) än de med lägre fältstyrka (Tomohisa Okada, 2022).

Desto högre fältstyrka en apparat har desto bättre blir bildupplösningen, små detaljer syns bättre. 7T MRI används ännu som ett forskningsprojekt i Sverige sedan 2016 i Lund. Denna apparat finns inte i Finland. Maskinen används av forskare runt om i Sverige på patienter med många olika sjukdomar. Inom forskningen av epilepsi vill de undersöka om 7T MRI kan visa förändringar i hjärnan som kan kopplas till epilepsi som inte syns med en maskin med lägre fältstyrka. (Zampeli, 2022) 7T MRI används mest för att undersöka hjärnan och sjukdomarna inom de område.

Förutom det kraftfulla magnetfältet har 7T MRI apparaten flera andra fördelar jämfört med de andra modellerna (1,5T & 3T). Apparaten är utrustad med avancerade antenner som förbättrat bildkvaliteten mycket och den använder sig av artificiell intelligens, även känd som "Deep Learning". Detta resulterar i snabbare undersökningsprocess, högre bildupplösning och minskat brus i bilderna. Denna 7T MRI apparat spelar en särskilt viktig roll vid diagnos och uppföljningar av sjukdomar som epilepsi. Med hjälp av denna apparat med betydligt bättre bilder så kan man nu hitta förändringar som inte sågs med svagare apparater. På grund av bättre bilder var förändringar syns så förbättras möjligheterna av operation. Som tidigare nämnt så används 7T MRI apparaten mest inom forskning men karolinska universitetssjukhus har skaffat en 7T MRI apparat för att användas i klinisk drift som hjälper patienter till att få rätt diagnos i ett tidigare skede samt optimera behandlingen. (Karolinska Universitetssjukhus, 2023)

**Figur 2** nedan visar tre olika bildvariationer med de tre olika styrkorna, 1,5-3-7 T. Det syns klara skillnader. Detaljupplösningen är betydligt bättre med 7T jämfört med 1,5T och 3T



**Figur 2.** (Mark E. Ladd, 2018)

## 4 Säkerhet vid MRI

Det finns några säkerhetsaspekter som måste tas noggrant i beaktan. MRI-undersökningar utnyttjar mycket kraftfulla magnetfält, tillsammans med radiofrekvenspulser. Detta kräver noggranna förberedelser och kontroller för att säkerställa patientens säkerhet före undersökningen. Det är viktigt att notera att det inte har påvisats några långsiktiga risker för biologiska effekter av statiska magnetfält vid ultrahöga magnetfält. Den mest påtagliga säkerhetsrisken under en MRI-undersökning är att ett ferromagnetiskt föremål kan bli livshotande för patienten om den kommer in i magnetens område om patienten ligger på bordet samt om patienten har någon sorts metall i kroppen. Det måste finnas strikta restriktioner mot metallföremål i närheten maskinen, även när ingen undersökning pågår, eftersom magnetfälten i MRI-apparaten aldrig stängs av. Detta är nödvändigt för att säkerställa patienternas säkerhet. Patienten kan lämna i kläm mellan föremålet och maskinen, eller så kommer föremålet med så stora krafter att patienten kan bli skadad av det. (Eva Berglund, 2007, ss. 96-130)

Det har visats sig att metall rör på sig när de placeras i närheten av ett magnetiskt fält, där med kan rörelsen göra så att patienten får skador om de har till exempel metall splitter i kroppen. Medan icke magnetiska föremål visar liten eller ingen rörelse av magnetfältet, däremot kan de hettas och skada patienten. Implantat eller proteser som inte visar någon märkbar uppvärmning eller rörelse vid användning av 1,5 tesla så kan det ge upphov till farlig uppvärmning av föremålet med en 7T MRI. Det pågår fortfarande forskning och utveckling för att säkerställa deras säkerhet och kompatibilitet med olika typer av implantat och proteser vid en 7T apparat. (Kaut, 1998) Om patienten har EKG lappar på sig så kan de leda till att de börjar bränna, eftersom de leder värme så de är viktigt att alltid ta bort dessa lappar från kroppen.

*”Running the 7T protocol at 3T would result in an unacceptably increased scan time at 3T which would preclude clinical implementation. Furthermore, the increase in specific-absorption-rates (SAR) escalating magnetization would result in local tissue heating, thereby posing a severe health risk to those scanned.”* (Bethany R. Isaacs, 2020)

Det är viktigt att patienten klär av sig alla slags metallföremål från kroppen eftersom de kan ge störning i bilderna så att de inte kan avläsas samt så kan maskinen dra åt sig sakerna. Patienter med pacemaker får inte undersökas med en 7T apparat som det går att göra med en maskin med lägre styrka. (Alexander McKinney, 2019)

Det finns några bioeffekter som har uppkommit för patienter då de har gjort en undersökning med en 7T MRI apparat. Effekterna är inte långsiktigt farliga faktorer som händer i kroppen. Några av de biologiska effekterna som inte uppkommit vid en undersökning med en apparat med lägre fältstyrka men kan uppkomma vid en 7T apparat. De symtom som kan uppkomma är till exempel metallisk smak i munnen, nervkänningar som kan ge upphov till stickande känsla, det kan förekomma ljuseffekter i ögonen, illamående samt hörselproblem. (Alexander McKinney, 2019)

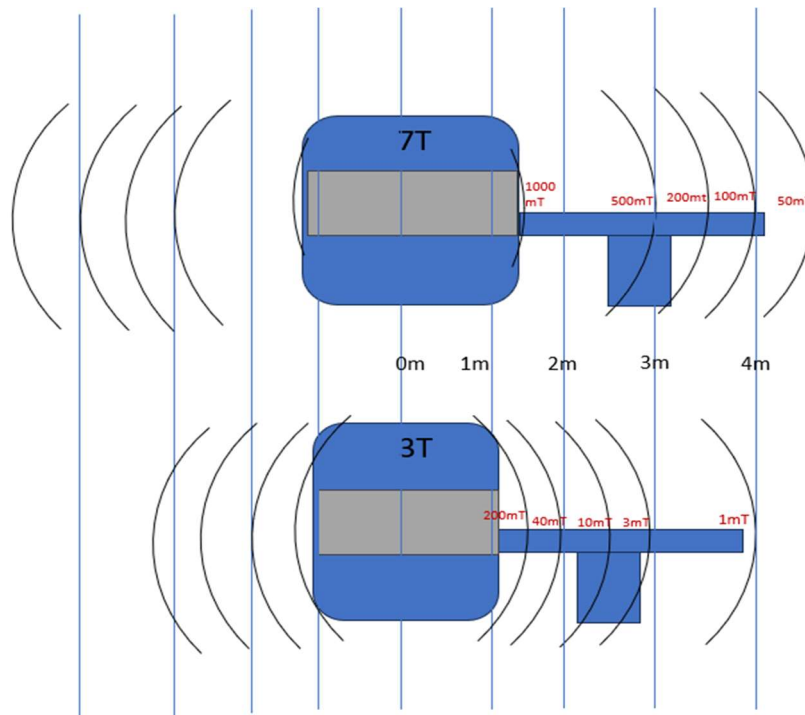
Vid en MRI undersökning så måste hörseln skyddas, efter som det hörs mycket höga ljud under undersökningen som kommer från gradientpolarna. Detta kan skyddas med hörselskydd samt öronproppar. Vid en 7T maskin så är ljudet från gradientspolarna betydligt mycket högre än vad det är på en 3T maskin. Detta ljud kan gå över 100db. (Tomohisa Okada, 2022) Jämfört med 7T och 3T var det en ökning på 6,3dB i genomsnitt. (Alexander McKinney, 2019)

(Brian J. Burkett, 2020) beskriver om Vestibulopati är en orolighetsfaktor vid 7T MRI. Vestibulopati är en nedsatt funktion i båda inneröronen som kan orsaka svårigheter med balans och visuell suddighet. (Bilateral Vestibulopathy, u.å.) Lorentzkrafter som verkar på labyrintens jonflöde kan orsaka yrseln. Patienterna kan känna sig vingliga när de åker in i maskinen. Man kan minska yrselkänslan med att föra patienten långsamt in och ut ur röret och inte för snabbt. När undersökningen är färdig så används det en rullstol för att föra ut patienterna ur undersökningsrummet eftersom det kan finnas en risk att patienterna faller på grund av yrseln som kan hålla i några minuter efter undersökningen. Yrseln kan dock hålla i en längre tid för en liten del av patienterna. Rörelsestörningar samt illamående är också en av de biologiska effekterna som kan uppkomma. MRI skötaren och andra arbetare kan också få samma symptom samt om de rör sig för snabbt nära maskinen. (Brian J. Burkett, 2020)

Säkerhetsavstånden och utrymmena i undersökningsrummet ökar vid en 7T MRI apparat eftersom magneten är så mycket starkare än vad en 3T MRI apparat. (Eva Berglund, 2007, ss. 96-130)

**Figur 3** nedan visar skillnaderna i magnetstyrka mellan en 3T MRI apparat och 7T MRI apparat. I en 3T MRI apparat är magnetstyrkan nära öppningen 200mT jämfört med 1000mT i en 7T MRI apparat. Vid 4 meters avstånd från 3T apparatens öppning så är styrkan 1mT. Från 7T apparaten är styrkan 4 meter från öppningen 50mT. Här märker man hur mycket längre magnetfältet sträcker sig mellan de olika maskinerna. Så därför blir säkerhetsavstånden mycket längre desto starkare magnet styrka en apparat har. För att få den rätta uppfattningen om hur mycket milliTesla motsvarar så är 1000millitesla = 1tesla.





Figur 3 Utsträckning av magnetfältet (egen bild)

#### 4.1 Röntgenskötarens roll

Röntgenskötarens roll är en avgörande betydelse när det kommer till att säkerställa patientens trygghet och välmående under en MRI-undersökning. Det innefattar en noggrann bedömning av varje patient innan undersökningen på börjas. Att säkerställa patientens trygghet samt välmående krävs det också en empatisk och en bra kommunikationsförmåga. Genom att skapa tillit till patienten kan det ge en trygg atmosfär och minska eventuell oro inför undersökningen samt att anpassa undersökningsmiljön för att undvika eventuella risker eller obehag för patienten. Röntgenskötaren är även ansvarig för att säkerställa medarbetarnas säkerhet som innefattar att följa strikta protokoll och säkerhetsrutiner för att minimera riskerna för både patient och personal. För att upprätthålla en bra säkerhet för varje patient innan undersökningen börjas använder röntgenskötarna en checklista som patienterna har fyllt i var det finns frågor som till exempel om patienten har en pacemaker eller metallsplitter i kroppen. Detta går igenom tillsammans med röntgenskötare och patient.

## 5 Epilepsi

Epilepsi är en av de vanligaste kroniska sjukdom i centrala nervsystemet hos människor. Det är cirka 60 000 personer som har epilepsi i Finland, av dem är det cirka 5000 barn som har epilepsi. Av ungefär en tredjedel av de som har epilepsi fortsätter epilepsianfallen trots att de får behandling med läkemedel. (Epilepsialiitto, u.å.)

Hjärnan är uppbyggt av stora mängder med nervceller som arbetar med elektriska signaler. De kommunicerar med varandra genom att det frigörs kemiska ämnen som kallas signalämnen. Detta signalämne frigörs när en nervcell får en elektrisk impuls. Signalämnet påverkar specifika mottagare som kallas receptorer på närliggande nervceller. Den elektriska aktiviteten förändras i de cellerna. En del skapar elektrisk aktivitet medan andra har en motsatt effekt. Då hjärnan fungerar normalt så ska de finnas en balans mellan att nervcellerna stimuleras samt att de hålls tillbaka. Det är den balansen som är rubbad ifall man har epilepsi. Vid ett epileptiskt anfall så blir nervcellerna överaktiva och tappar kontrollen över det. (1177, 2022)

Vem som helst kan insjunkna i epilepsi. Anfallen man får av epilepsin beror på att det är onormala aktiviteter i nervcellerna. (Alsherhri, 2022) Symtomen en epileptiker kan ha är ganska varierande. Det finns partiell- och generaliserad epilepsi och man har lite olika symtom beroende på vilken det är man har. Vid partiell epilepsi kan det förekomma sådana symtom som lukt-, smak-, syn eller hörselhallucinationer innan det egentliga epileptiska anfallet. Vid ett anfall kan medvetande försämrats så att de inte kan reagera på yttre faktorer och så brukar de inte minnas händelsen efteråt. Under anfallet kan det också förekomma oavsiktliga rörelser så som handrörelser eller sväljningar. Vid generaliserad epilepsi kan symtomen vara mer våldsamma så som att patienten förlorar medvetande och hela kroppen krampar. I samband med krampen kan de bita sig i tungan och släppa urin. Kramperna går oftast om efter några minuter men kan dock vara farligt om krampen håller i en längre tid, då behövs det läkemedel för att avbryta anfallet. (Epilepsialiitto, u.å.)

### 5.1 Svårbehandlad epilepsi

Ungefär 9000 individer i Finland lider av en allvarlig form av epilepsi, vilket utgör cirka 20–25 procent av alla som drabbas av epilepsi. Denna typ av epilepsi kan börja vid vilken ålder som helst, men de flesta fall uppstår under barndomen. Allvarlig och ovanlig epilepsi är ofta associerad med anfall, men kan även medföra utmaningar gällande funktionsförmåga och mentala förmågor, vilka kan ibland vara mer störande än själva epileptiska anfallen. (Epilepsialiitto, u.å.)

Ovanliga former av epilepsi har en tendens att vara svåra att hantera. Svår epilepsi är ett medicinskt tillstånd där trots en tillräcklig behandling med läkemedel ges, så kvarstår betydande symtom relaterade till epilepsi som tydligt påverkar vardagen. Dessa symtom kan inkludera upprepande anfall, kognitiva utmaningar, beteendeproblem, stagnerande utveckling eller biverkningar från behandlingen. (Epilepsialiitto, u.å.)

Det finns flera faktorer som ligger bakom svåra och ovanliga epilepsier. Vissa av dessa orsaker är välkända och utforskade i detalj, medan andra endast kan identifieras utifrån typiska kännetecken, såsom anfallsmönster, hjärnavbildning och ålder när symtomen börjar. Några av de orsakerna inkluderar utvecklingsstörningar i hjärnan, skador på hjärnan av olika ursprung och kromosom- och genetiska avvikelser. Diagnostiken blir bättre i takt med framsteg inom genforskning och radiologiska undersökningar av hjärnan som möjliggör en alltmer precisa och exakta identifieringar av dessa orsaker. (Epilepsialiitto, u.å.)

Det finns några exempel på sällsynta epilepsier och epilepsisyndrom. Det finns *progressiv myoklonusepilepsi typ 1 (ULD-EMP1)*, *infantilspasmsyndrom*, *dravets syndrom*, *lennox-gastus epilepsi*, (CSWS) epilepsi med kontinuerliga anfall i sömnen, *rasmussens encefalit*, *landau-kleffners*. Det finns även en mängd epilepsier som är förknippade med sällsynta *kromosomavvikelser* och gen fel. (Epilepsialiitto, u.å.)

## 5.2 Utredning av epilepsi

Utredningar som relaterar till sällsynta och svårbehandlade typer av epilepsi genomförs inom specialiserad sjukvård. Neurologen är den som planerar de undersökningar som behövs för varje enskild patient i en individuell plan. I fall epilepsi misstänks är de grundläggande undersökningarna en elektroencefalografi som kallas EEG-undersökning. Med denna undersökning avläser man aktiviteten i hjärnans nervceller. (Hälsobyn.fi, 2023) Det finns en kombinerad undersökning var EEG-undersökningen slås samman med en videospelning som kallas för uni-EEG-undersökning, detta ger mer exakt information om anfallssymtomen. Elektroencefalografi EEG-undersökning mäter den elektriska aktiviteten i hjärnan. Det kan avslöja orsakerna till ett symtom även man inte har några symtom vid undersökningen. Det görs också en magnetundersökning som är ytterst viktigt om man misstänker att det är epilepsi eller till exempel om det finns någon tumör i hjärnan som skulle ge liknande symtom. I vissa fall kan vara svårt att diagnostisera epilepsi, alla undersökningar och prover kan vara normala. (Hälsobyn.fi, 2023)

De vanligaste fynden man hittar vid en MRI undersökning hos epileptiker är *mesial skleros* samt *kortikal dysplasi*. *Mesial skleros* är som en sorts ärrvävnad i en del av tinningloben som kan leda till tinninglobsepilepsi. Det finns en missbildning i hjärnbarken som man redan fått i fosterlivet som kallas *kortikal dysplasi*. Det menas med att nervcellerna i hjärnbarken inte hamnat på rätt ställe. *Kortikal dysplasi* kan vara svårt att se och kan ligga lite var som helst. Eftersom *kortikal dysplasi* kan finnas på många olika ställen i hjärnan så kan det orsaka flera olika anfallstyper. Det är *mesial skleros* och *kortikal dysplasi* som man kan hitta lättare med en 7T MRI undersökning eftersom det ger noggrannare och tydligare bilder. (Zampeli, 2022)

### 5.3 Behandling

Epilepsi kan behandlas med läkemedel. Man försöker hitta den lägsta möjliga dosen som håller epilepsianfallen borta. Oftast får man medicinen om man har haft två epileptiskanafall om inte de första anfallet har varit längre än fem minuter. Det beror också på om det är någon sorts skada i hjärnan som en tumör eller liknande eller om det finns en förändring i EEG undersökningen som görs som tyder på epilepsi. Om första medicineringen inte hjälper mot anfallen så provas det ännu ett annat läkemedel. Om inget av detta har hjälpt så kan det kombineras flera olika läkemedel. Medicinen för man oftast äta resten av livet om man hör till den gruppen med hög riska att få ett återfall. (Kirsi Tarnanen, 2020)

Det finns även en operativ behandling som kan hjälpa till att man blir anfallsfri, dock så kan det hända att man behöver fortsätta med medicinen. Målet med operation är att ta bort det hjärnområde som orsakar de epileptiska anfallen om möjligt. De områden kan vara till exempel liten del av hjärnloben men kan också vara hela ena hjärnhalvan. Om det är på ett svårt ställe så det inte går att ta bort så kan man lindra anfallen genom att kapa de banor som anfallen finns på. (HUS, 2023) (Feldman, 2019)

Om inte man inte får botat svårbehandlad epilepsi med att operera patienten är ett annat alternativ att ge Vagusnervstimulering (VNS). VNS är en metod som påverkar hjärnan genom att stimulera en nerv på halsen med elektriska impulser. Stimulationen ges av en liten pacemaker som opereras in nedanför nyckelbenet. Pacemakern fungerar med batteri. Den elektriska impulsen som ges av pacemakern förs igenom en sladd, under huden till vänstra sida om halsen. Amplituden och frekvensen på elektriska impulserna kan ställas in vid behov av en läkare. (1177, 2022)

## 6 Metod

Examensarbetet är en kvalitativ studie som använder sig av metoden scoping review. Denna metod möjliggör granskning av både vetenskaplig och grå litteratur. Respondenten har genomfört litteratursökningen på olika databaser för att identifiera användbara artiklar inom ämnet. Informationen från olika källorna så som artiklar, tidskrifter, webbsidor samt böcker. Respondenten har använt sig av tidigare forskning för att öka förståelsen för svårbehandlad epilepsi och 7T MRI tekniken.

En scoping review utgör en form av litteraturgenomgång som strävar efter att erbjuda en omfattande översikt över den tillgängliga forskningslitteraturen inom ett specifikt ämnesområde. En scoping review involverar användningen av både vetenskapliga artiklar och en så kallad grå litteratur som inkluderar rapporter kliniska riktlinjer samt avhandlingar. Respondenten valde denna metod eftersom det saknas tillräcklig information om ämnet i fråga, där forskningen ännu inte har utforskats tillräckligt. Scoping review är väldigt användbart när man vill forska i ett ämne var det är bristande eller obefintlig forskning. (Mai T Pham, 2014)

Till en början var det att hitta de artiklar som var passande till detta ämne, hitta pålitliga webbsidor samt läsa igenom böcker. De databaser respondenten använde för att hitta artiklar var Ebsco academic search elite, Google scholar samt Google search. För att hitta passande artiklar eller information använde respondenten av sökorden *magnetic reconance imaging, mri, 7Tesla, epilepsy, svårbehandlad epilepsi, safety, 3tesla versus 7tesla mri*. Kriterierna på artiklarna fick inte vara äldre än 5 år samt så försökte respondenten ha samma kriterier på annan information som söktes med det lyckades inte alltid.

När respondenten använde Ebsco och specificerade kriterierna "full text" med sökorden *magnetic resonance imaging, 7 tesla and epilepsy* så gav det tre träffar. Där efter granskade respondenten rubrikerna för att välja den mest relevanta artikeln. En artikel valdes ut från dessa sökord. Vid en ändring av sökorden genom att ersätta *epilepsy* med *safety* fick respondenten två träffar, och en artikel valdes ut från dessa. När respondenten försökte söka med sökorden *MRI, 7 tesla, room design/faraday cage* gav det inga resultat.

När man använder Google Scholar, är typen av kriterier inte tillräcklig för att få ett tillräckligt exakt resultat. Detta leder till att denna databas oftast ger över tusentals träffar. Där med lästes bara rubrikerna från några sidor. På Google Scholar söktes artiklar med sökordet *7 tesla MRI* som gav över 49 000 träffar, respondenten bläddrade igenom några sidor och hittade en artikel som hade en passande rubrik. Den kunde inkluderas enligt innehåll. Respondenten lade till ordet *safety* så gav det 17 000 resultat, hittade bland de första träffarna fyra artiklar som passade ämnet.

Respondenten har använd sig mycket av Google search, var det kom artiklar emot. Där användes sökorden så som *3 tesla versus 7 tesla MRI*, *7 tesla MRI*, *MRI epilepsy mm*. Har även använd artiklar som blivit tipsade.

## 7 Etik och granskning

Forskningsetik innebär att man noga överväger etiska aspekter i samband med ett forskningsarbete. För att göra sådana överväganden krävs en förståelse för de principer, värderingar samt normer som har utarbetats av forskarsamhället, riksdagen, regeringen samt internationella organisationer. Den främsta etiska utmaningen i en avhandling är att man inte ska skada, sårar eller utnyttja människor. Om man skulle arbeta med berättare så är det viktigt att respektera deras beslut om de vill förbli anonyma eller inte samt om de inte vill vara med. Dessa etiska principer är bra att tänka på ifall om man i sitt arbete har med personer som blir intervjuade. Det finns etiska överväganden genom hela arbetet från val av ämne, frågeställning, till genomförande samt därefter resultat. (Kjellström, *Forskningsetik*, 2012, ss. 70-71) När man använder sig av datainsamling är det viktigt att genomföra insamlingen på ett sådant sätt som garanterar att de som påverkas inte utsätts för skada eller kränkningar. Detta är från grundläggande principer om respekt för individer och att undvika att orsaka skada. Då man använder sig av artiklar så är det viktigt att man inte skadar eller ändrar på resultatet för sitt eget arbete. Att översätta texter från ett främmande språk kan vara utmanande för att hitta de rätta översättningarna utan att ändra helheten eller slutliga resultatet. (Kjellström, *Forskningsetik*, 2012, ss. 85-86)

Vid ett examensarbete är det viktigt att inkludera en kritisk granskning av arbetet. Det är viktigt att klargöra att en kritisk granskning inte syftar till att enbart identifiera fel utan snarare genomförs på ett konstruktivt och sakligt sätt. Granskningen som görs skall utföras på ett logiskt samt kommunikativt sätt. I en logisk granskning går man igenom forskningsprocessen för att förstå hur arbetet är uppbyggt och hur dess olika delar samverkar för att skapa en sammanhängande röd tråd. (Henricson, 2012, ss. 544-545)

Under den kommunikativa granskningen, fokuserar man på att kontrollera aspekter som abstraktet, titeln samt referenserna för att säkerställa att dessa element är tydliga och korrekta. (Henricson, 2012, ss. 544-545)

När man skriver ett examensarbete är det viktigt att ta i beaktan de etiska principerna. Med detta menas att man har ett etiskt tänkande igenom hela arbete. Ansvar för etiskt tänkande ligger på respondenten både vid val av ämne samt formulering av forskningsfrågor och i framtagande av det slutliga resultatet med etiska normer, värderingar samt principer. Att ha ett etiskt tankesätt under hela examensarbetets gång är avgörande för att säkerställa integritet och trovärdighet i forskningen. Genom att vara medveten om etiska riktlinjer bidrar respondenten till skapande av en forskningsmiljö som präglas av respekt samt ansvar gentemot forskningsdeltagare samt ämnet.

Respondenten har refererat källorna enligt APA samt källhänvisats in i texterna för att få en bättre förståelse varifrån man hittat informationen. Viktigt att ta fram ifall bilder man använt är kopierade av någon annans verk så måste det hänvisas i bilden.

## 8 Diskussion & resultat

Syftet med diskussion är att man skall tolka sina egna resultat och kunna förklara dess konsekvenser för vetenskapen. Examensarbetets syfte var att fördjupa sig in i svårbehandlad epilepsi vad det betyder och innebär samt hur viktig 7 tesla MRI undersökning är för de som har svårbehandlad epilepsi och om att fördjupa sig in lite på säkerheten vid apparaten

Respondentens frågeställningar i examensarbetet är följande:

- 1. Varför undersöka med en 7T MRI?**
- 2. Vilka säkerhetsaspekter skall beaktas vid en 7T MRI-apparat?**
- 3. Vad är svårbehandlad epilepsi?**

Respondenten kommer att gå igenom frågorna här nedan i sin helhet. Utgående från dessa frågeställningar använde respondenten scoping review som datasamlingsmetod. Informationen samlades in från vetenskapliga artiklar, olika databaser, böcker samt pålitliga webbsidor.

Respondenten fick svar på sin fråga från artiklar som förklarade varför det är bättre med en apparat med en högre fältstyrka för att utreda svårbehandlad epilepsi.

Resultatet respondenten kom fram till var att med en 7T MRI apparat är mycket bättre vid fotografering av hjärnan än de apparater med lägre fältstyrka eftersom det ger en så mycket högre upplösning som ger mycket mer detaljrikare och skarpere bilder. Detta är på grund av att 7T apparaten har högre signal till brus samt kontrast till brusförhållandet. Så desto högre fältstyrka en apparat har så desto bättre bilder fås det.

Säkerheten mellan de olika styrkornas apparater är olika. Vid en 7-Teslas apparat ändrar säkerhetsavstånden, det är lite olika säkerhetsaspekter mellan de olika fältstyrkorna. Patienter som skall undersökas med en 7-T apparat får inte ha metall splitter, pacemaker eller proteser i kroppen eftersom det kan vara livshotande. Det kan uppkomma några effekter från undersökningen men detta anses inte vara en farlig faktor.

När respondenten påbörjade sitt examensarbete, reflekterades det över syftet och de frågeställningar som skulle vägleda arbetet, detta fungerade som en utgångspunkt. Där efter var tanken att formulera passande rubriker som skulle hjälpa inriktningen i arbetet. Processen med att skapa rubrikerna utvecklades över tiden, då nya insikter och idéer väcktes under arbetets gång. Att få en sammanhängande helhet i arbetet har varit en utmaning för att säkerställa enhetlig och genomgången struktur och sammanhang i arbetet.



I början förväntades respondenten sig att det skulle vara intressant och relativt enkelt. Trots dessa förväntningar stötte respondenten på utmaningar när det gällde att hitta den önskade informationen och att förenkla skrivprocessen, särskilt när det gällde till exempel fysiken vid MRI. Det blev uppenbart att arbetet var mer krävande och det var nödvändigt att hantera detaljer på ett sätt som inte var för djupgående för att behålla en övergripande förståelse. Respondenten stötte också på hur svårt det var att hitta helt vanlig information om själva apparaten i sig samt mer information om skillnaderna mellan apparaterna. Respondenten fann det lättare att skriva om epilepsi-delen eftersom det fanns tillräckligt med information tillgängligt om ämnet som underlättar skrivprocessen och gav respondenten möjligheten att utforska och presentera ämnet mer djupgående.

Respondenten valde att fokusera på ämnet 7T MRI och epilepsi av några skäl. 7T MRI är en intressant undersökningsmetod som för närvarande inte är tillgänglig i Finland och huvudsakligen används inom forskning för att studera olika sjukdomar. Den unika tekniken och dess höga upplösning gör den särskilt intressant för att utforska och förstå olika sjukdomar.

Valet av epilepsin som specifik sjukdom att undersökas, motiverades av den forskning inom området som bidrar till att öka förståelsen och diagnostiska möjligheter för epilepsin som inte har varit möjligt tidigare.

## 9 Litteraturförteckning

1177. (den 29 08 2022). *Epilepsi*. Hämtat från 1177:  
<https://www.1177.se/sjukdomar--besvar/hjarna-och-nerver/yrsel-svimning-och-kramper/epilepsi/> den 22 Oktober 2023
- Alexander McKinney, T. G. (2019). Safety Considerations of 7-T MRI in Clinical Practice. *Radiology*, ss. 509-518. doi:10.1148/radiol.2019182742
- Alsherhri, F. (den 16 8 2022). Magnetic resonance imaging and intractable epilepsy: A systematic review. *IJHS*, ss. 64-69. Hämtat den 21 Oktober 2023
- Bethany R. Isaacs, M. J. (den 24 11 2020). 3 versus 7 Tesla magnetic resonance imaging for paracellations of subcortical brain structures in clinical settings. *PLOS ONE*, ss. 1-21. doi:10.1371/journal.pone.0236208
- Bilateral Vestibulopathy*. (u.å.). Hämtat från Karolinska Institutet:  
<https://mesh.kib.ki.se/term/D000071699/bilateral-vestibulopathy> den 21 Oktober 2023
- Brian J. Burkett, A. J. (2020). Clinical 7-T MRI for neuroradiology: Strengths, Weaknesses, and ongoing challenges. *Ebsco*, 167-177. Hämtat den 17 Oktober 2023
- Doreen Pfeiffer. (den 4 3 2021). *The liquid gold of MRI*. Hämtat från Siemens Healthineers: <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/mso-helium-and-mri-technology> den 1 November 2023
- Epilepsialiitto. (u.å.). *Om epilepsi*. Hämtat från epilepsia:  
<https://www.epilepsia.fi/sv/om-epilepsi/> den 20 Oktober 2023
- Epilepsialiitto. (u.å.). *Sällsynt epilepsi*. Hämtat från Epilepsia:  
<https://www.epilepsia.fi/sv/om-epilepsi/sallsynt-epilepsi/> den 20 Oktober 2023
- Eva Berglund, B. A. (2007). Magnetresonans. i B.-A. J. Berglund, *Medicinsk fysik* (ss. 96-130). Lund: Studentlitteratur.
- Feldman, R. (2019). 7T MRI in epilepsy patients with previously normal clinical MRI exams compared against healthy controls. *EBSCO*, 1-24. Hämtat den 16 September 2023
- Henricson, M. (2012). Opponentskap och försvar. i *Vetenskaplig teori och metod* (ss. 544-545). Studentlitteratur AB.
- HUS. (2023). *Epilepsikirurgi*. Hämtat från HUS:  
<https://www.hus.fi/sv/patienten/behandlingar-och-undersokningar/epilepsikirurgi#planering-av-operativ-behandli> den 20 Oktober 2023
- Hälsobyn.fi. (den 29 5 2023). *EEG-undersökning, elektroencefalografi*. Hämtat från Hälsobyn.fi: <https://www.terveyskyla.fi/tutkimukseen/sv/om-diagnostiska-unders%C3%B6kningar/unders%C3%B6kningar-av-nervsystemet/eeg-unders%C3%B6kning-elektroencefalografi> den 22 Oktober 2023

- Hälsobyn.fi. (den 13 2 2023). *Undersöknigar vid sällsynta epilepsier*. Hämtat från Hälsobyn:  
<https://www.terveyskyla.fi/genetiikkajaharvinaiset/sv/sjukdomsgrupper/s%C3%A4llsynta-epilepsier/unders%C3%B6kning-vid-s%C3%A4llsynta-epilepsier> den 20 Oktober 2023
- Karolinska Universitetssjukhus. (den 07 09 2023). *Första sjukhuset i världen med en ny generations magnetkamera i klinisk drift*. Hämtat från Karolinska Universitetssjukhus: <https://www.karolinska.se/om-oss/centrala-nyheter/2023/09/forsta-sjukhuset-i-varlden-med-en-ny-generations-magnetkamera-i-klinisk-drift/> den 20 Oktober 2023
- Kaut, C. W. (1998). *MRI IN PRACTICE*. Blackwell Science.
- Kirsi Tarnanen, R. K. (2020). *Epilepsi hos vuxna*. Hämtat från Kaypahoito: <https://www.kaypahoito.fi/sv/khr00096> den 15 September 2023
- Kjellström, S. (2012). Forskningsetik. i *Vetenskaplig teori och metod* (ss. 85-86). Studentlitteratur AB.
- Kjellström, S. (2012). Forskningsetik. i M. Henricson, *Vetenskaplig teori och metod* (ss. 70-71). Studentlitteratur.
- Lipton, M. L. (2008). *Totally Accessible MRI*. Springer Science+Business Media. Hämtat från [https://books.google.fi/books?id=39tDf449i4kC&pg=PA70&redir\\_esc=y#v=onepage&q=quench&f=false](https://books.google.fi/books?id=39tDf449i4kC&pg=PA70&redir_esc=y#v=onepage&q=quench&f=false)
- Magnet Quench*. (2023). Hämtat från Department of radiology & biomedical imaging: <https://radiology.ucsf.edu/patient-care/patient-safety/mri/quench> den 1 November 2023
- Mai T Pham, A. R. (den 24 7 2014). A scoping review of scoping reviews: advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods*, ss. 371-385. doi:10.1002/jrsm.1123
- Mark E. Ladd, M. M. (12 2018). Pros and cons of ultra-high-field MRI/MRS for human application. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*, ss. 1-50. doi:10.1016/j.pnmrs.2018.06.001
- Ronnie Wirestam, F. S. (2020). Magnetresonanstomografi. i S. Z. Lennart Blomqvist, *Radiologi* (ss. 85-91). Lund: Lundsuniversitet.
- Siemens Healthineers. (u.å). *Magnetom Terra*. Hämtat från Siemens Healthineers: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/7t-mri-scanner/magnetom-terra> den 1 November 2023
- Tanja Platt, M. E. (11 2021). 7 Tesla and Beyond. *Investigative radiology*, ss. 705-725. doi:10.1097/RLI.0000000000000820
- Tomohisa Okada, K. F. (den 12 Juni 2022). Neuroimaging at 7 Tesla: a pictorial narrative review. *Quant Imaging Med Surg*, ss. 3406-3435. doi:10.21037/qims-21-696

Zampeli, A. (2022). Svårbehandlad epilepsi på bild med 7 tesla MR. *Epilepsia*, s. 11.  
Hämtat den 20 Juli 2023