

## Portabel LF MRI

En litteraturöversikt om portabel LF MRI

Simon Vestlund

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

Utbildning: Röntgenskötare (YH)

Vasa 2023

## EXAMENSARBETE

Författare: Simon Vestlund

Utbildning och ort: Röntgenskötare, Vasa

Handledare: Katarina Vironen

Titel: Portabel LF MRI

---

Datum: 27.11.2023    Sidantal: 28    Bilagor: 0

---

### Abstrakt

I detta arbete kommer respondenten att berätta om portabel low field strength MRI. Syftet med detta arbete var att få en överblick i vad portabel LF MRI innebär och att förbättra kunskapsläget. Förutom syftet har arbetet fyra frågeställningar. Frågorna som respondenten svarat på i detta arbete är: Vad är användningsområdet för portabel LF MRI, fördelar och nackdelar för portabel LF MRI samt hur säkerheten skiljer sig mellan LF och HF MRI.

För att svara på dessa frågor har respondenten samlat information om hur en "vanlig" magnetkamera fungerar. För att förstå hur en portabel LF magnetkamera fungerar måste man även veta hur fysiken samt komponenterna fungerar vid en HF magnetkamera. Respondenten tar även upp säkerheten vid både LF och HF MRI eftersom säkerheten är en väldigt viktig del av MRI.

Förutom den mobila magnetkameran som presenteras i detta arbete blir mobila lösningar inom bilddiagnostiken vanligare och vanligare med tiden. På grund av detta har respondenten valt att samla lite material om flera olika typer av mobila lösningar.

Metoden som användes i detta arbete var scoping review. Respondenten valde scoping review som metod eftersom ämnet är relativt nytt. För att svara på syfte och frågeställningar har respondenten använt sig av vetenskapliga artiklar, böcker, webbsidor samt material från föreläsningar.

Resultatet blev ett arbete var respondenten har samlat material som förbättrar kunskapsläget samt beskriver vad portabel LF MRI innebär. Frågorna som respondenten ställde besvarades men eftersom ämnet är relativt nytt krävs mera forskning kring dessa frågor.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: MRI, låg fältstyrka, portabel, mobila lösningar

## BACHELOR'S THESIS

Author: Simon Vestlund

Degree Programme: Radiographer, Vaasa

Supervisor: Katarina Vironen

Title: Portable LF MRI

---

Date: 27.11.2023    Number of pages: 28    Appendices: 0

---

### Abstract

In this work the respondent will explain what portable low field strength MRI is. The purpose of this work is to get an overview of what portable LF MRI implies and to improve the knowledge on this topic. Additionally, the respondent will answer four questions. The questions the respondent have answered are: What is the area of use for portable LF MRI, pros and cons with portable LF MRI and how patient safety differs between LF and HF MRI.

To answer these questions the respondent has collected information about how a "regular" MRI machine works. To understand how a portable LF MRI machine works you also need to know how the physics and the components work in a "regular" MRI machine. The respondent has also written about the safety at both LF and HF MRI's due to the importance of safety in MRI.

The portable MRI machine is not the only portable solution within radiology. Portable solutions within radiology are becoming increasingly more common. Because of this the respondent have chosen to collect some information about different types of portable solutions.

The method used for this work is scoping review. The respondent chose scoping review as the method because the topic of this work is relatively new. To answer the purpose and questions the respondent collected material from scientific articles, books, websites, and material from lectures.

The result of this work is a paper in which the respondent has collected material which improves the knowledge on this topic and explains what portable LF MRI implies. The questions the respondent wanted to answer have been answered but because this is a new topic more research must be conducted to fully answer the questions.

---

Language: Swedish

Key words: MRI, low fieldstrength, portable, portable solutions

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
2	Syfte och frågeställning.....	2
3	Teoretisk bakgrund .....	2
3.1	Fysiken vid MRI.....	2
3.2	Komponenter vid en magnetkamera .....	3
3.2.1	Magneten.....	4
3.2.2	RF spolar .....	4
3.2.3	Gradientspolar .....	4
3.2.4	Datorer och bildbehandling.....	5
3.3	Faraday's bur .....	5
3.4	Säkerhet vid HF MRI.....	5
3.4.1	Magnetfältet .....	6
3.4.2	Graviditet.....	6
3.4.3	Projektiler .....	6
3.4.4	Implantat mm. ....	7
3.4.5	Quench.....	7
3.4.6	Oljud .....	7
3.4.7	Säker användning av RF spolar .....	8
3.5	Skillnader mellan magnetstyrkor.....	8
3.5.1	Bildkvalitet .....	9
4	Portabel LF MRI.....	10
4.1	Användningsområden för portabel LF MRI .....	11
4.2	Fördelar med portabel LF MRI .....	12
4.3	Nackdelar med portabel LF MRI .....	12
4.4	Säkerhet .....	13
4.5	Bildsekvenser .....	13
4.5.1	T1, Longitudinell relaxtion .....	13
4.5.2	T2, Transversell relaxtion.....	14
4.5.3	FLAIR.....	14
4.5.4	Diffusion, DWI.....	14
4.6	Artificiell intelligens.....	14
4.6.1	K - space.....	15
4.6.2	Signal to noise ratio, SNR.....	15
4.7	Bildkvalitet .....	15
5	Fler portabla lösningar .....	16

5.1	Portabel slätröntgen .....	16
5.2	Ultraljud.....	17
5.3	Portabel CT.....	17
5.4	Magnetbuss.....	18
6	Resultat.....	19
7	Metod .....	21
8	Diskussion.....	22
9	Etik .....	24
10	Vad innebär kritisk granskning?.....	25
10.1	Kritisk granskning .....	25
11	Litteraturförteckning .....	26

## 1 Inledning

När det gäller medicinsk bilddiagnostik är undersökning med magnetkamera ofta den bästa modaliteten för att se vad som händer i hjärnan. Tyvärr är det en stor del av världens befolkning som inte har tillgång till en magnetkamera. Detta till stor del på grund av hur mycket det kostar att köpa en magnetkamera och otillräcklig infrastruktur. Med en portable Low Field (LF) magnetkamera behövs ingen skild infrastrukturer och kostnaderna är betydligt lägre. Detta gör det i praktiken möjligt att göra en magnetkamera undersökning var som helst. Det enda man behöver är tillgång till ett vanligt eluttag eller en generator. (Deoni et al., 2022)

Det finns alltid en risk med transport av kritiskt sjuka patienter. Enligt C. Waydhas kan ogynnsamma effekter uppstå vid 70% av fallen då man transporterar en kritiskt sjuk patient (Waydhas, 1999). Transport av kritiskt sjuka patienter till radiologiska enheter kunde undvikas med mobila röntgenenheter till exempel en mobil LF magnetkamera. I stället för att patienten flyttas till den radiologiska enheten för en magnetkameraundersökning kommer magnetkameran till patientens rum på exempelvis intensivvården eller akuten.

Swoop Portable MR Imaging System är för tillfället den enda mobila LF magnetkameran på marknaden. Denna magnetkamera fokuserar på magnetundersökningar av huvudet. (Hyperfine, Neurocritical care and point-of-care MR imaging., u.å.) I Finland drabbas cirka 25,000 människor per år av någon typ av stroke (Aivoliitto, 2023). Sjukhus i Finland kunde använda en mobil magnetkamera för att snabbt diagnostisera patienter och undvika transport till den radiologiska enheten. Detta kunde spara tid för alla involverade. Eftersom detta skulle spara tid hinner man göra flera undersökningar på den radiologiska enheten, en mer effektiv användning av resurser.

För tillfället finns det som sagt endast en typ av LF magnetkamera på marknaden men det finns flera företag som håller på att utveckla och bygga LF magnetkameror. Ännu finns det inte så mycket forskning om detta ämne men det kommer med stor sannolikhet att ändras i framtiden. Mobila LF magnetkameror kommer att vara till stor nytta i framtiden då tekniken förbättras och rekonstruktionen av bilderna förbättras med hjälp av artificiell intelligens.

## 2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta arbete är att få en överblick i vad portabel LF MRI innebär samt att förbättra kunskapsläget. Att samla information om ämnet som framtida röntgenskötarstuderande möjligtvis kunde använda i studierna.

### Frågeställningarna i detta arbete:

1. Vilka är användningsområden för portabel LF MRI?
2. Vilka fördelar finns det med portabel LF MRI?
3. Vilka nackdelar finns det med portabel LF MRI?
4. Hur skiljer sig säkerheten vid användning av LF MRI och HF MRI?

## 3 Teoretisk bakgrund

I detta kapitel kommer respondenten att ta upp teorin bakom magnetisk resonanstomografi (MRT) eller magnetic resonance imaging (MRI) på Engelska. Hur fysiken fungerar vid en "vanlig" MRI, (inte portabel). Hur ser tekniken ut och hur man får fram bilder. Förutom detta kommer respondenten även att ta upp säkerheten vid en high field strength (HF) MRI. Med high field strength syftar respondenten på magneter med styrkan 1,5 – 7 tesla.

### 3.1 Fysiken vid MRI

Av alla olika atomer som förekommer i människokroppen är väteatomen den vanligaste. Avbildningstekniken bygger vid magnetundersökningar på väteatomen och dess fysiska egenskaper. I väteatomen finns det en atomkärna och i atomkärnan finns det neutroner och protoner. När det kommer till MRI är väteprotonerna viktigast.

Protoner är små partiklar med en positiv laddning och dessa partiklar snurrar hela tiden runt sin egen axel vilket kallas protonernas spinn. Eftersom väteprotonerna har en positiv

laddning och spinnar bildas ström och var det finns ström bildas ett magnetiskt fält. Då man lägger till ett yttre magnetfält börjar väteprotonerna åka i en cirkelformad bana runt det yttre magnetfältet vilket kallas protonernas precession. Det är denna rörelse (precession) av protonerna som används vid MRI.

Frekvensen på precessionen beror på styrkan av det yttre magnetfältet. Frekvensen på precessionen kallas för Larmor frekvens. Larmor frekvensen är 42,57 MHz/tesla vilket betyder att vid en 1 tesla magnet är Larmor frekvensen 42,57 MHz. Detta betyder att protonerna snurrar 42,57 miljoner varv på en sekund. Ifall man vill ta reda på vad Larmor frekvensen är vid en viss typ av magnet multiplicerar man 42,57 MHz med styrkan av magneten, exempelvis  $42,57 \text{ MHz} \times 1,5 \text{ tesla} = 63,86 \text{ MHz}$ . (Westbrook & Kaut, 1998)

När patienten kommer i kontakt med ett yttre magnetfält kommer patientens protoner bilda ett litet magnetfält, patienten själv blir en liten magnet. Patientens protoner kommer att peka i samma riktning som det yttre magnetfältet. Då båda magnetfälten ligger parallellt med varandra kan de inte mätas därför behöver man något som kan ändra riktningen på väteprotonerna. Då skickar man in en elektromagnetisk våg även kallat RF puls. RF pulsen skickas in för att överföra energi till protonerna. För att detta ska vara möjligt måste RF pulsen ha samma frekvens som protonerna precesserar (Larmor frekvens).

Då protonerna ändrar riktning kan man mäta dem. Då protonerna ändrar riktning bildas en elektromagnetisk signal och denna signal fångas upp av en antenn. Vid magnetundersökningar använder man sig av olika typer av spolar beroende på vilket område man undersöker. Dessa spolar agerar som antenn och deras uppgift är att översätta de magnetiska signalerna som protonerna ger ut. Detta gör det möjligt för alla datorer som finns i magnetsystemet att samla in data och rekonstruera denna data för att få fram bilder. (Lind, 2021)

## 3.2 Komponenter vid en magnetkamera

Att producera bilder vid magneten är en process. För att denna process ska kunna ske behövs hårdvara såsom en magnet, ett sändar- och mottagarsystem för radiofrekvenser,

ett gradientsystem, bildprocessorer och ett datorsystem. (Aspelin & Petterson, 2009; Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.2.1 Magneten

Det finns tre olika typer av magneter: resistiva, permanenta och supraledande. I dagens läge använder man sig endast av supraledande magneter eftersom de ger en bättre bildkvalitet. Nackdelen med supraledande magneter är ett högt inköpspris. En supraledande magnet består av en trådlindad spole. Tråden som lindas runt spolen är av materialet Niobium Titanium (NbTi) och för att NbTi ska bli supraledande måste man kyla ner materialet till cirka 4 Kelvin. Detta åstadkommer man genom att sänka ner hela spolen i flytande helium som har en temperatur på 4,2 Kelvin eller -269 grader celsius. Då man har en supraledande spole kan man skicka in en ström. Denna ström försvinner aldrig eftersom man har eliminerat resistansen genom att kyla ner spolen. På detta sätt bildas ett magnetfält. (Lind, 2021; Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.2.2 RF spolar

Det finns flera olika typer av RF spolar. RF spolarna kan placeras på eller runt patienten beroende på vad man undersöker. RF spolarna fungerar som mottagare av RF signalen och kan i vissa fall även vara sändare av RF signalen. Ett exempel på en RF spolen som kan både sända och ta emot RF signaler är en volymspole. Det finns en typ av volymspole som kallas body coil. Body coil används som sändare av RF signalen i de flesta undersökningar och den finns inne i magnettrumman. (Lind, 2021)

### 3.2.3 Gradientspolar

Gradientsystemet består av tre olika gradientspolar, X, Y och Z. Gradientsystemets funktion är att skapa kontrollerade variationer i huvudmagnetfältet i tre olika riktningar, X, Y och Z. Gradientspolarna kan slås på och av väldigt snabbt genom att skicka ström till gradientspolen med hjälp av en gradient förstärkare. Då man skickar in en ström i gradientspolen bildas ett svagt magnetfält vilket skapar variationer i huvudmagnetfältet.

Starkare gradienter möjliggör snabbare bildtagning och bättre bildkvalitet. (Aspelin & Pettersson, 2009; Lind, 2021; Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.2.4 Datorer och bildbehandling

Det finns många datorer i ett MR-system. Datorerna används för att styra RF- och gradientpulser och för att kunna registrera, lagra och bearbeta mottagna signaler till en bild. Datorsystemen kan variera beroende på vem som tillverkat magneten. (Aspelin & Pettersson, 2009; Westbrook & Kaut, 1998)

## 3.3 Faraday's bur

I magnetrummets väggar, golv och tak ska det finnas metallskivor vilket bildar en s.k. Faradays bur. Magnetrummet bör avskärmas för att undvika störningar i bilderna. Större metallföremål utanför magnetrummet kunde störa det magnetiska fältet. Yttre RF-signaler kan störa de små signaler som plockas upp av spolarna. Andra orsaker till avskärmningen av magnetrummet är att magnetfältet och RF pulserna från magneten skulle störa omgivningen. (Lind, 2021)

## 3.4 Säkerhet vid HF MRI

Säkerheten är en väldigt stor och viktig del vid magnetundersökningar. Det är bra att veta att magnetfältet är på hela tiden, det stängs aldrig av. Före en patient kommer på en magnetundersökning ska patienten fylla i ett frågeformulär. På frågeformuläret finns frågor som är viktiga för patientens säkerhet. Före undersökningen går röntgeskötaren igenom frågeformuläret med patienten. Vid behov ställer röntgenskötaren flera frågor för att vara säker på att patienten kan stiga in i magnetfältet utan att riskera patientsäkerheten.

### 3.4.1 Magnetfältet

Det huvudsakliga magnetfältet, även kallat statiskt magnetfält, har inte visats ha några långsiktigt negativa biologiska effekter på människan. Det statiska magnetfältet är väldigt starkt och sträcker sig utanför magnetrummet, detta magnetfält kallas för "fringe fields". För att magnetfältet ska hållas innanför magnetrummet placeras magneten i ett rum som skyddas med hjälp av matellskivor, faradays bur.

Ett fåtal kortsiktiga biologiska effekter har observerats vid statiska magnetfält över 2 tesla. Detta kan till exempel vara huvudvärk eller trötthet. (Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.4.2 Graviditet

I dagens läge är det vanligt att göra magnetundersökningar på gravida patienter eftersom MRI inte har några bevisade biologiska effekter på fostret. Det kan potentiellt uppstå ogynnsamma effekter för fostret under de tre första månaderna av graviditeten. Om möjligt görs inte magnetundersökning under de tre första månaderna av graviditeten.

Gravida röntgenskötare kan göra sitt jobb som vanligt. Det rekommenderas att gravida röntgenskötare inte befinner sig i magnetrummet under undersökningen men förutom det så kan den gravida röntgenskötaren sköta sitt jobb som vanligt. (Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.4.3 Projektiler

Det är väldigt viktigt att man inte tar med sig metallföremål in i magnetrummet eftersom dessa föremål kan bli projektiler när de kommer i kontakt med det starka magnetfältet. Vid en 1,5 tesla magnet kan ett hårspänne dras mot magneten i cirka 65 km/h. Ju större det magnetiska objektet är desto starkare dras det till magneten. Detta kan skada eller till och med vara livsfarligt för de som befinner sig i magnetrummet. (Westbrook & Kaut, 1998)

#### 3.4.4 Implantat mm.

Kontraindikationer till en magnetundersökning kan vara pacemaker, aneurysmklips och metallsplitter i kroppen. Det finns väldigt många olika implantat med olika funktioner som kan finnas i människokroppen. Före man gör en magnetundersökning bör det redas ut ifall implantatet är kompatibelt med magneten. Vissa implantat är inte kompatibla med magneten vilket betyder att man inte kan göra magnetundersökningen. Vissa implantat kan läggas i MRI-läge vilket gör det möjligt att göra undersökningen fastän patienten har ett implantat. Till exempel så är nästan alla pacemaker som tillverkas idag kompatibel med magneten men före undersökningen ska pacemakern sättas i MRI-läge och efter magnetundersökningen sättas tillbaka till det vanliga läget.

Metall föremål i kroppen såsom proteser eller metallsplitter kan under en magnetundersökning värmas upp och ibland även bränna patienten. Alla metallföremål orskar dessutom artefakter i bilden.

Om man inte är säker på hur olika metallföremål i kroppen beter sig under en magnetundersökning ska man inte göra undersökningen. Till exempel kan ett aneurysmklips i hjärnan röra på sig under undersökningen vilket kan orsaka en hjärnblödning och leda till döden. (Westbrook & Kaut, 1998)

#### 3.4.5 Quench

Quench är en process var helium ändras från flytande form till gas form på grund av ökad temperatur. Detta fenomen har ett väldigt högt ljud. En röntgenskötare kan vid nödfall trycka på en knapp för att utföra en quench vilket stänger av magnetfältet. Alla magnetsystem borde ha ett ventilationssystem för helium vilket leder heliumgasen utomhus. Alla personer som befinner sig i magnetrummet när man utför en quench ska omedelbart evakueras. (Westbrook & Kaut, 1998)

#### 3.4.6 Oljud

Magnetten har väldigt mycket oljud. Detta ljud kommer från gradientpolarna. Då gradient förstärkaren sänder en ström till gradientspolen hörs ett högt knackande ljud. Öronproppar

och hörlurar används vid magnetundersökningen för att skydda patientens hörsel. (Westbrook & Kaut, 1998)

#### 3.4.7 Säker användning av RF spolar

Det finns några saker man ska komma ihåg vid användning av RF spolar. RF spolarna kan bli varma och till och med bränna patienter. För att undvika detta ska man komma ihåg att aldrig snurra kablarna och att kablarna aldrig ska komma i direkt kontakt med patienten. Detta är lätt att undvika med hjälp av små dynor som kan placeras mellan patienten och kablarna. (Westbrook & Kaut, 1998)

### 3.5 Skillnader mellan magnetstyrkor

Det finns olika styrkor av magneter som används vid MRI. Beroende på vilken kroppsdel man undersöker och vad man vill få ut av bilderna kan man bestämma vilken typ av magnet som bäst lämpar sig för detta. Bildkvaliten blir betydligt bättre vid användning av en starkare magnet. Bildkvaliten blir bättre med en starkare magnet eftersom signalstyrkan som kommer från kroppen ökar. Starkare signal betyder bättre resolution på bilderna. Utan denna signal får man inga bilder.

En nackdel med en starkare magnet är att artefakter i bilderna som kommer från implantat eller proteser blir värre vid ett starkare magnetfält. Om patienten har implantat eller proteser i kroppen runt undersökningsområdet kommer det att finnas artefakter i bilderna oavsett vilken styrka magnetfältet har. Ifall man kunde välja mellan en 1,5T och 3T magnet skulle det bli mindre artefakter i bilden som blev tagen av en 1,5T magnet. Därför görs magnetundersökningar av dessa patienter vanligtvis inte med en magnet som har en styrka på 3T eller högre.

Vid en magnetundersökning precesserar väteprotonen i en viss frekvens. Denna frekvens kan variera en aning beroende på vilken typ av vävnad det är. Skillnaden i frekvensen kan orsaka artefakter i bilderna vid en 3T magnet. Skillnaden i frekvensen orsakar valigtvis inga artefakter i bilderna vid en 1,5T magnet. Vid en 3T magnet blir skillnaden i frekvensen

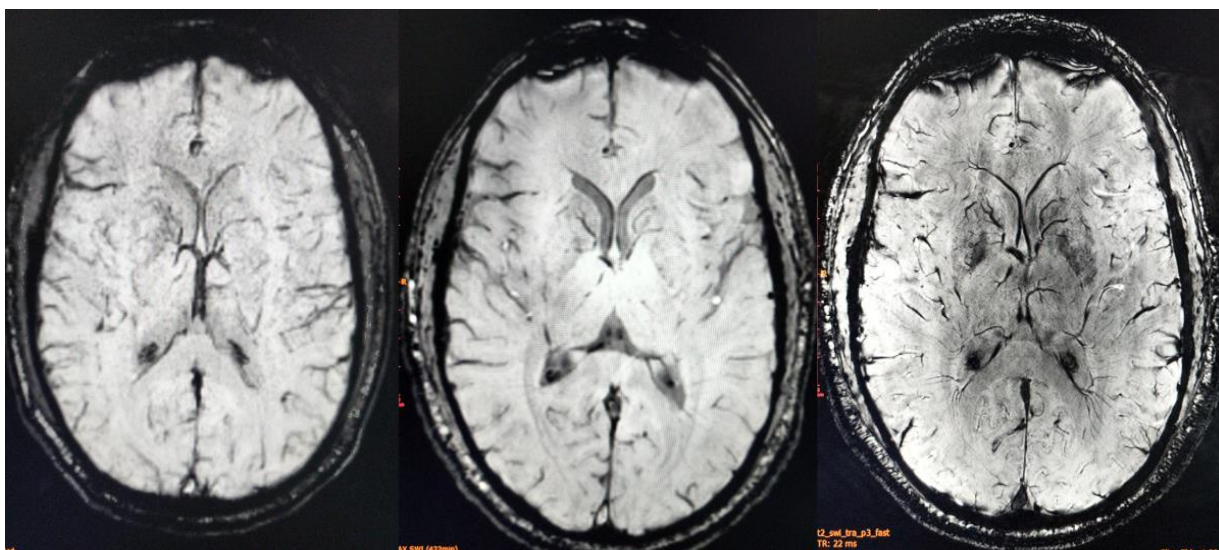
dubbelt jämfört med 1,5T vilket kan orsaka artefakter. På grund av detta passar magnetundersökning av bröst, hjärta och mag- tarmkanalen bättre med en 1,5T magnet. (ScanMed, 2017)

Med en 3T magnet går undersökningstiden ner vilket gör att man kan göra flera undersökningar per dag. Hjärnan, blodkärl och muskler är undersökningar som fungerar bra med en 3T magnet. Patienten uppskattar troligtvis kortare undersökningstider men värmen och oljudet är något som blir värre vid användning av 3T magnet jämfört med 1,5T. (scan.com, 2022)

Magnetundersökningar med en 7T magnet är något som man nyligen har börjat använda inom rutinsjukvården. Det starkare magnetfältet ger betydligt bättre bildkvalitet vilket gör det möjligt att få rätt diagnos snabbare. Eftersom bilderna är betydligt mer detaljerade kan man nu hitta förändringar som man inte kunde se tidigare med en svagare magnet. Magnetundersökningar med 7T magnet passer väldigt bra till undersökning av hjärnan. (Hagström, 2023)

### 3.5.1 Bildkvalitet

Bildkvalitén blir bättre med starkare magnetfält. Nedan i (Figur 1) ser man skillnaden på bildkvalitén.



Figur 1, 1,5T (vänster), 3T (mitten), 7T (höger) (Kurtzweil, 2023)

## 4 Portabel LF MRI

I detta kapitel kommer respondenten att berätta om portabel low field strength (LF) magnetkamera. Eftersom definitionen av low field strength varierar mellan artiklar kommer respondenten i detta arbete för enkelhetens skull hänvisa till low field strength som allt under 0,3 tesla (Arnold, Freeman, Litt, & Stein, 2022). I dagens läge finns endast en portabel LF magnetkamera på marknaden. Denna magnetkamera heter Swoop portable MR imaging system. Respondenten kommer berätta hur och var man kan använda sig av en portabel LF magnetkamera, Fördelar, nackdelar, säkerhet, bildkvalitet och artificiell intelligens.

Nedan i (Figur 2) kan man se ett exempel på hur en portabel LF magnetkamera kan se ut.



Figur 2, Swoop Portable MR Imaging System. (Hyperfine, Bring MR imaging to your patient's bedside, u.å.)

#### 4.1 Användningsområden för portabel LF MRI

En magnetkamera med starkare magnet ger bättre bildkvalitet. Användningen av en starkare magnet kräver även förbättrad hårdvara, till exempel gradienter. På grund av detta har magnetkameror blivit större och större med tiden. Nackdelarna med den förbättrade teknologin är priset att köpa och underhålla magnetkameran samt infrastrukturen som behövs för användning av denna teknologi. Dessa förbättringar i teknologin minskar tillgängligheten till MRI för en stor del av världens befolkning.

Med en portabel LF magnetkamera behövs ingen skild infrastruktur vilket gör att man kan använda den var som helst. Patienter som av någon orsak inte kan ta sig till sjukhuset för en magnetundersökning kan vänta hemma på att magnetkameran kommer till dem. I denna studie bevisade man att en portabel LF magnetkamera kan placeras i en modifierad skåpbil som kör runt till patienterna var de befinner sig för att utföra en magnetundersökning. Det enda som behövs för användningen av magnetkameran är tillgång till el. En portabel generator, batterier eller ett vanligt eluttag går att använda för detta. (Deoni et al., 2022)

Priset på en portabel LF magnetkamera ligger på cirka \$250 000 vilket är relativt billigt jämfört med en HF magnetkamera vars pris ligger på cirka \$1 miljon /tesla. En HF magnetkamera är så pass dyr att 70% av världens befolkning inte har råd att köpa en. På grund av den ökade portabiliteten och det lägre priset ökar tillgängligheten till MRI för fattigare länder som för tillfället inte har tillgång eller väldigt begränsad tillgång till MRI. (Cho, 2023; Deoni et al., 2022)

Food and Drug Administration (FDA) godkände år 2020 Hyperfines Swoop portable MR imaging system för magnetundersökningar av huvudet. Andra LF MRI system finns och dessa system kan undersöka extremiteter men har fortfarande inte fått godkännande av myndigheterna för användning på patienter. (Cho, 2023; Guallart-Naval et al., 2022)

Tillverkaren av Swoop är ett företag som heter Hyperfine och de nämner på sin hemsida några potentiella orsaker till användningen av deras mobila LF MRI enhet. Några exempel på de potentiella orsaker till användning av portabel LF MRI är: Akut ändring av mental

status på intensivvården, olika typer av blödningar, vid stroke och vid uppföljning av en stroke. Det finns många fler potentiella orsaker till användningen av en portabel LF magnetkamera än dessa exempel. (Arlinghaus & Knopp, u.å.)

## 4.2 Fördelar med portabel LF MRI

Strokepatienter kommer vanligtvis till den radiologiska enheten för en CT undersökning. Med en LF portabel magnetkamera kan man från röntgenavdelningen komma ner till exempelvis intensivvården eller akuten för att utföra en magnetundersökning. En av fördelarna med detta är ingen användning av strålning. (Mazurek et al., 2021) Förutom strålningen undviker man även patienttransport. Transport av svårt sjuka patienter är något som man inte gör i första hand eftersom det kan uppstå negativa komplikationer under transporten. (Waydhas, 1999) Genom detta minskar även väntetiderna till CT och HF MRI. (Islam, Lin & Bharatha, 2023)

Priset på en LF portabel magnetkamera samt underhållet av magnetkameran är relativt billigt. Med en LF magnetkamera är artefakter från till exempel en protes inte lika tydliga som vid en HF magnetkamera. (Guallart-Naval et al., 2022)

En LF magnetkamera är säkrare för patienten jämfört med en HF magnetkamera. Ljudnivån vid en LF magnetkamera är väldigt låg jämfört med en HF magnetkamera. Eftersom patienten inte behöver åka in i en tunnel som vid HF MRI är klaustrofobi inte ett lika stort problem. (Arnold, Freeman, Litt & Stein, 2022)

## 4.3 Nackdelar med portabel LF MRI

Några nackdelar med en portabel LF magnetkamera är lägre SNR, minskad resolution, minskat field of view (FOV) och gadolinium (kontrastmedel) har mindre påverkan på bilden. Dessa nackdelar har alla att göra med bildkvaliteten. Förutom sämre bildkvalitet är undersökningstiden längre jämfört med HF MRI. (Arnold et al., 2022) En till nackdel är att man för tillfället endast kan göra magnetundersökningar av hjärnan.

## 4.4 Säkerhet

Forskning som finns tillgängligt om säkerheten vid en low field strength magnetkamera är begränsad. Detta är ett område var det borde göras mera forskning.

Swoop portabel MR imaging system har en magnet med en styrka på endast 0,064 tesla. På grund av det svagare magnetfältet behöver man inte ta bort metallföremål före man går in i rummet var magnetkameran befinner sig. Vid en studie var de undersökte patienter på intensivvården kom man fram till att patienten kan vara kopplad till I.V. slangar och andra nödvändig övervakningsapparater under undersökningen. Magnetfältet och RF pulsarna störde inte den medicinska utrustningen. (Mazurek et al., 2021)

Det har även gjorts en studie på tre patienter var man ville kolla ifall LF MRI är säkert för patienter som stöds av VA-ECMO (veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation) och IABP (intra-aortic balloon pump). Resultatet på studien var att man på ett säkert sätt kan utföra en LF magnetundersökning på patienter som stöds av VA-ECMO och IABP. (Wilcox et al., 2022)

Swoop portable MR imaging system som har en magnetstyrka på 0,064 tesla har en fältstyrka på 640 Gauss eftersom 1 tesla = 10 000 Gauss. Magnetfält med en styrka på 5 Gauss kan orsaka störningar för en pacemaker så trots det svaga magnetfältet är pacemaker en kontraindikation till magnetundersökning. (Westbrook & Kaut, 1998)

## 4.5 Bildsekvenser

Med Swoop kan man för tillfället endast använda sig av några få bildsekvenser. Bildsekvenserna man kan använda är T1, T2, FLAIR och DWI även kallat diffusion. (Hyperfine, Meet Swoop Portable MR Imaging system, u.å.)

### 4.5.1 T1, Longitudinell relaxation

Vid en T1 viktad bildserie mäter man hur länge det tar innan väteprotonerna intar sina ursprungliga positioner efter att RF pulsen slutat. Väteprotonerna får energi av RF pulsen

som senare ska skickas bort som värme. Detta tar olika lång tid beroende på väteprotonens omgivning och hur lätt den kan överföra värme. Detta brukar ta cirka 0,3 – 2 sekunder. (Lind, 2021)

#### 4.5.2 T2, Transversell relaxation

Vid en T2 viktad bildserie synkroniseras väteprotonerna med hjälp av en RF puls. En T2 viktad bildserie är alltså den tid det tar för väteprotonerna att falla ur fas. Detta brukar ta cirka 0,03 – 0,15 sekunder. Tiden det tar för väteprotonerna att falla ur fas beror på vilken typ av molekyler som finns i omgivningen. (Lind, 2021)

#### 4.5.3 FLAIR

FLAIR eller Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery är en bildserie som används för att ta bort vätskor från bilden. FLAIR kan vara både T1 och T2 viktad. (Lind, 2021)

#### 4.5.4 Diffusion, DWI

En diffusion viktad bildserie visar vattenmolekylernas rörelse och funktion. Till exempel vid en stroke kan cellerna svälla upp på grund av att de absorberar vatten från det extracellulära utrymmet. Timingen av en diffusionviktad bildserie är viktig eftersom absorptionen av vatten i cellen minskar med tiden. Diffusion serien är känslig för rörelse så det är viktigt för patienten att ligga väldigt stilla. (Westbrook & Kaut, 1998)

### 4.6 Artificiell intelligens

Swoop portable MR imaging system använder sig av artificiell intelligens för rekonstruktion av bilderna. Artificiell intelligens används för två olika saker. Artificiell intelligens används för att översätta k-space data till en bild på ett mera optimalt sätt. Artificiell intelligens används även för att ta bort ljud från signalen, förbättra SNR. Elektromagnetiska störningar är något som kan störa bilderna. Artificiell intelligens kan identifiera och korrigera dessa störningar. Bildkvaliteten blir betydligt bättre med hjälp av artificiell intelligens. (Hyperfine, Advanced Image Reconstruction, u.å.)

#### 4.6.1 K - space

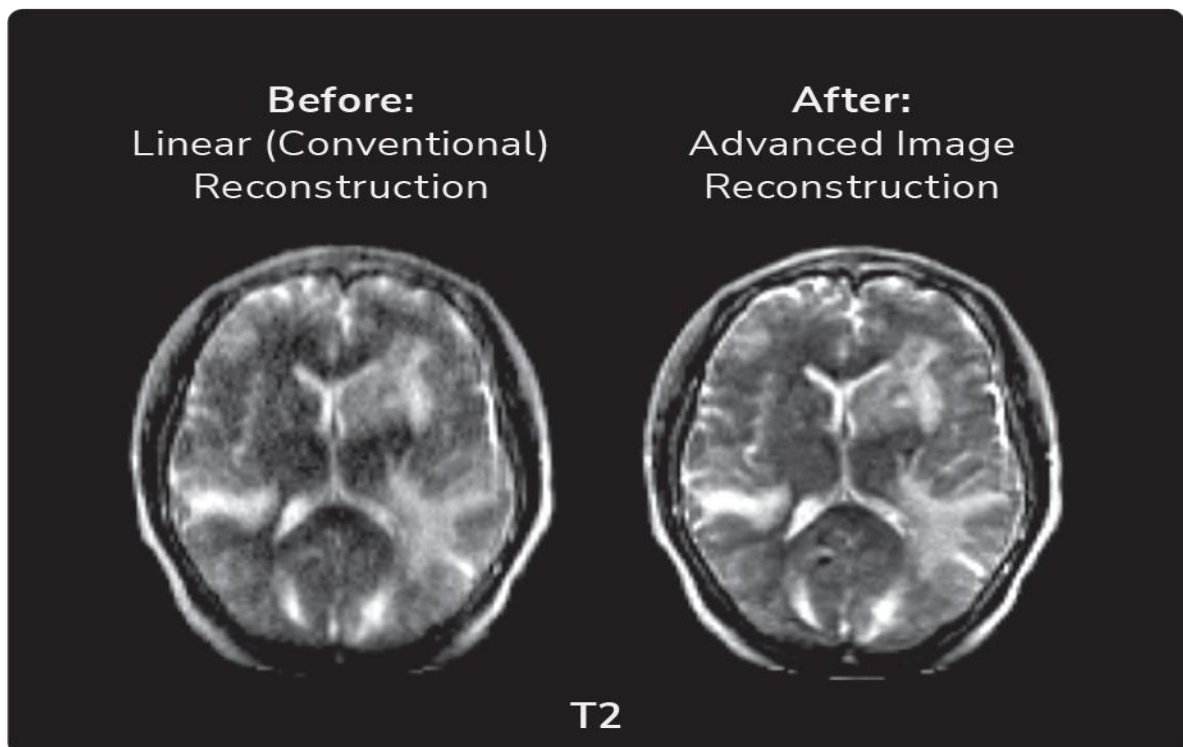
För att få fram bilder vid magneten måste spolarna fånga upp signaler från väteprotonerna. Dessa signaler sparas i k – space för att senare producera en bild. Informationen som sparas i k – space är var i kroppen signalen kommer ifrån och vilken frekvens signalen har. (Westbrook & Kaut, 1998)

#### 4.6.2 Signal to noise ratio, SNR

SNR innebär förhållandet mellan styrkan på signalen från kroppen och genomsnittet på ljudvolymen. Ljudet kommer från patienten och magnetsystemet. Signalen beror på flera saker och kan ändras. Dålig SNR innebär sämre bildkvalitet. (Westbrook & Kaut, 1998)

### 4.7 Bildkvalitet

Som man kan se i (Figur 3) är det stor skillnad på bildkvaliteten då man jämför bilder som blivit rekonstruerade utan artificiell intelligens med bilder som blivit rekonstruerade med artificiell intelligens. Dessa bilder blev tagna av en portabel LF magnetkamera.



Figur 3. (Hyperfine, Advanced Image Reconstruction, u.å.)

## 5 Fler portabla lösningar

Förutom portabel LF MRI som är relativt nytt finns det även andra portabla lösningar inom bilddiagnostiken. Det finns mobila slätröntgenapparater, ultraljud och även mobila CT (Computer Tomography) enheter. Det finns även magnetbussar som kan åka runt till olika ställen för att utföra magnetundersökningar. Mobila röntgenenheter betyder att man kan åka från den radiologiska enheten på sjukhuset till andra avdelningar på sjukhuset. Förutom mobilröntgen innanför sjukhusets väggar kan man även åka runt till andra ställen för att göra röntgenundersökningar, till exempel ett ålderdomshem.

### 5.1 Portabel slätröntgen

Slätröntgen är den vanligaste modaliteten inom bilddiagnostiken. Det som undersöks med slätröntgen är främst skelettet och lungor. Vid bildtagningen använder man sig av joniserande strålning för att ta bilder. Strålningen skjuts genom patienten och träffar en detektor. Detektorn tar emot strålningen och producerar en bild. (Hypocampus, u.å.)

Med en mobil slätröntgenapparat kan man åka runt till olika avdelningar på sjukhuset för att ta bilder på patienter som är svårt sjuka och har svårt att ta sig till den radiologiska enheten. Nedan i (Figur 4) ser man exempel på hur en mobil slätröntgenapparat kan se ut.



Figur 4, Samsung GM85. (Samsung, 2016)

## 5.2 Ultraljud

Vid en ultraljudsundersökning använder man sig av ljud som har en frekvens mellan 2 och 20 MHz. Det är ofta bättre att använda lite högre frekvenser eftersom bildkvaliteten blir bättre. För att producera bilder med ultraljud använder man sig av en givare som skickar in ljudvågor i kroppen. Ljudvågorna träffar olika organ inne i kroppen. Ljudvågorna studsar då tillbaka och fångas upp av givaren vilket gör att vi får fram en bild. (Aspelin & Pettersson, 2009)

Ultraljud är en modalitet inom bilddiagnostiken som är väldigt lätt att transportera. Ultraljuds apparaten kan transporteras till patienten både på sjukhus och utanför sjukhus på ett lätt sätt. Vid trauma kan patienter komma till akuten och i vissa fall kan man göra en snabb bedömning med hjälp av ultraljud. Traumapatienter kan undersöks med ultraljud om man misstänker problem med blodcirkulationen (interna blödningar). (Savoia, Jayanthi & Chammas, 2023)

Stora delar av världen har inte tillräckligt med medicinsk utrustning. Vilket gör att befolkningen går sjuka utan diagnoser. Mobila röntgenenheter som är lätta att transportera såsom ultraljud kan vara en lösning till detta. (Onweni et al., 2021)

## 5.3 Portabel CT

CT eller computed tomography är en modalitet inom bildiagnostiken var man använder joniserande strålning för att ta bilder. Antalet CT undersökningar som görs ökar hela tiden eftersom man får mera information från bilderna jämfört med slätröntgen. För att få fram bilder med en CT apparat lägger sig patienten på undersökningsbordet. Undersökningsbordet rör sig fram och tillbaka under undersökningen. Strålkällan och detektorn som fångar upp strålningen befinner sig inne i gantryt mitt emot varandra. Då undersökningsbordet rör på sig snurrar strålkällan och detektorn runt patienten och samlar information. Detektorn skickar informationen till datorn som rekonstruerar informationen till bilder. Man kan undersöka stora delar av kroppen med en CT apparat. (Bioengineering, 2022)

Med en mobil CT enhet kan man göra undersökningar på intensivvården eller akuten för att undersöka svårt sjuka patienter eller strokepatienter. Eftersom den mobila CT enheten inte har ett undersökningsbord kan man endast göra CT undersökningar av huvudet. Det finns flera fördelar med en mobil CT enhet, till exempel så undviker man transport av svårt sjuka patienter och kortare tid till diagnos och behandling. En nackdel med en mobil CT enhet är användningen av joniserande strålning. (Healthcare, u.å.)

I (Figur 5) ser ni hur en mobil CT enhet kan se ut. CT enheten så visas nedan används endast för undersökning av huvudet.



Figur 5, SOMATOM On.site (Healthcare, u.å.)

#### 5.4 Magnetbuss

I Finland finns det lastbilar som har en magnetkamera på släpet. Magnetbussar finns till för att minska avståndet mellan patient och magnetkamera. Magnetkameran kommer till patienten i stället för att patienten måste resa långa vägar för att göra en magnetundersökning. Undersökningen går till på samma sätt som vid ett sjukhus. Bildkvalitén och komforten är också på samma nivå som vid ett sjukhus.

Det finns flera utmaningar med en magnetbuss i Finland. Vädret är den största utmaningen. Bussen måste klara av alla sorters väder och temperaturer. Golv, väggar och tak är isolerade och man kan justera temperaturen inne i vagnen. Förutom vädret måste man även beakta vibrationer vid planeringen av bussen. (HealthCare, 2020)

## 6 Resultat

### **Vilka är användningsområden för portabel LF MRI?**

Med portabel LF MRI kan man utföra magnetundersökningar av hjärnan var man vill så länge man har tillgång till ett eluttag. På sjukhus kommer man främst använda portabel LF MRI vid intensivvård och akuten. Utanför sjukhuset kan man med hjälp av en modifierad skåpbil på ett lätt och säkert sätt transportera magnetkameran vart den behövs. Magnetkameran kan exempelvis transporteras till ett ålderdomshem, skola, sportevent eller till och med hem till patienten.

Priset på en portabel LF magnetkamera jämfört med en HF magnetkamera ökar tillgängligheten till MRI för stora delar av världens befolkning. För tillfället har 70% av världens befolkning inte råd med en HF magnetkamera.

### **Vilka fördelar finns det med portabel LF MRI?**

Det finns många fördelar med en portabel LF magnetkamera:

- Ingen strålning
- Undviker transport av svårt sjuka patienter
- Väntetiden till CT eller HF MRI blir kortare
- Relativt billig
- Artefakter av proteser inte lika tydliga vid magnetfält av låg styrka
- Lägre ljudnivå
- Mindre risk för klaustrofobi
- Säkrare för patienten

### **Vilka nackdelar finns det med portabel LF MRI?**

Några nackdelar med en portabel LF magnetkamera är lägre SNR, minskad resolution, minskat field of view (FOV) och gadolinium (kontrastmedel) har mindre påverkan på bilden. Dessa nackdelar har alla att göra med bildkvalitén. Förutom sämre bildkvalitet är undersökningstiden längre jämfört med HF MRI. En till nackdel är att man för tillfället endast kan göra magnetundersökningar av hjärnan.

### **Hur skiljer sig säkerheten vid användning av LF MRI och HF MRI?**

När man tänker på säkerheten vid LF och HF MRI skiljer de sig ganska lite åt. Skillnaden mellan LF och HF MRI är risken att något som riskerar patientsäkerheten är lägre vid LF MRI. Detta tack vare användningen av en 0,064 tesla magnet som är nästan 25 gånger svagare än magneten som används vid en standard HF MRI (1,5 tesla). Mera forskning kring detta ämne krävs!

Vid HF MRI:

- Risk för projektiler
- Magnetfält kan förstöra implantat
- Mycket oljud under undersökningen
- Risk för quench
- Metallföremål inne i kroppen kan röra på sig
- Metallföremål bör tas bort före man går in i magnetrummet
- Specialtillverkade övervakningsapparater som är kompatibel med magneten finns

Vid LF MRI:

- Mycket lägre risk för projektiler
- Lägre risk att magnetfältet förstör implantat
- Inget oljud
- Ingen risk för quench
- Mindre risk att metallföremål i kroppen rör på sig, till exempel aneurysmklips i hjärnan.
- Metallföremål bör inte tas bort före man går in i magnetrummet
- Vanliga övervakningsapparater kan användas, ger inga störningar.
- Säkerhetsavstånd dryga 1,5 meter från magnetkamera (5 Gauss)

Mindre risk för att något ska hända betyder inte att man inte behöver bry sig i säkerheten. Fastän risken att något skulle hända vid LF MRI är betydligt mindre så finns det fortfarande en risk.

## 7 Metod

Planen för examensarbetet var att använda systematisk litteraturoversikt som metod. Respondenten bytte metod för arbetet eftersom scoping review passar bättre med tanke på arbetets syfte. Systematisk litteraturoversikt passar bättre till arbeten var man vill besvara specifika frågor. Scoping review som metod passar bäst för detta arbete eftersom syftet med scoping review är att ge en överblick över all litteratur om ett ämne. (Weill Cornell Medicine, 2023)

För att skapa en överblick om portabel LF MRI har respondenten använt sig av böcker, webbsidor, vetenskapliga artiklar och material från föreläsningar som källor. För att hitta lämpliga vetenskapliga artiklar till examensarbetet har respondenten använt sig av en

databas som heter PubMed. Sökord som respondenten har använt är: radiology och portable. Sökkriterier som användes:

- Abstract
- free full text
- full text
- clinical trial
- meta – analysis
- review
- systematic review
- publicerad år 1984 – 2023

Med dessa sökkriterier fick respondenten 154 träffar. Respondenten valde att använda 3 av dessa vetenskapliga artiklar i sitt examensarbete. Förutom detta har respondenten hittat flera vetenskapliga artiklar via Google och med hjälp av snöbollseffekten hittat fler lämpliga vetenskapliga artiklar för examensarbetet. Eftersom ämnet är relativt nytt så finns det ett begränsat antal vetenskapliga artiklar om ämnet. Många av artiklarna om ämnet handlar om samma kliniska studie vilket gjorde det svårare att hitta tillräckligt med vetenskapliga artiklar.

## 8 Diskussion

I detta examensarbete har respondenten främst använt böcker, webbsidor och annan litteratur som källor. Det har gjorts få studier var man testar LF MRI på patienter, de artiklar som respondenten hittade skrev till stor del om samma studie. Detta gjorde det svårt för respondenten att hitta tillräckligt med vetenskapliga artiklar.

Den största skillnaden mellan LF och HF MRI är vilken typ av magnet man använder. Vid HF MRI använder man sig av en supraledande magnet och vid LF MRI använder man sig av en

permanent magnet. Detta betyder att man vid LF MRI inte behöver kyla ner magneten med flytande helium för att skapa ett magnetfält. Det är även stor skillnad på styrkan på magneten. Vid LF MRI är styrkan på magneten cirka 0,064 tesla och vid HF MRI är styrkan på magneten 1,5 – 7 tesla. Dessa faktorer gör det möjligt att transportera magnetkameran.

Mobila lösningar inom bilddiagnostiken har blivit vanligare med tiden. Mobila lösningar används för att undvika transport av svårt sjuka patienter samt för att kunna diagnostisera patienter för att snabbare kunna behandla dem. Den vanligaste typen av de mobila lösningarna är slätröntgen. Mobil slätröntgen används främst för thoraxbilder. Ultraljud kan användas för att diagnostisera eller för att göra åtgärder. Mobil CT och MRI används båda för att undersöka hjärnan. En nackdel med mobil CT är användningen av joniserande strålning och en nackdel med mobil MRI är att implantat och metallföremål i kroppen kan möjligtvis vara kontraindikationer till en magnetundersökning. Bildkvalitén vid mobil CT och MRI är sämre jämfört med icke – mobila CT och MRI apparater.

Centraliseringen av vårdcentraler i Finland öppnar upp för användningen av portabel LF MRI och andra mobila lösningar i större utsträckning. Eftersom många mindre vårdcentraler stängs ner kan avståndet för patienter till en vårdcentral bli längre. På grund av de långa avstånden kan det bli problematiskt för vissa personer att ta sig från och till en vårdcentral. Med en portabel LF magnetkamera eller andra mobila lösningar kunde man åka till patienten för att utföra en undersökning i stället för att patienten kommer till vårdcentralen.

För tillfället finns det ingen portabel LF magnetkamera i Finland men det kommer med stor sannolikhet att komma i framtiden. Den största nackdelen med en portabel LF magnetkamera är bildkvalitén. Teknologin som används vid portabel LF MRI utvecklas och blir bättre hela tiden. Då teknologin utvecklas blir även bildkvalitén bättre.

År 2021 gjordes en studie i USA var man undersökte ifall man får tillräckligt bra bilder för att kunna diagnostisera patienter trots sämre bildkvalitet. Studien gjordes vid akuten och på intensivvården. Sammanlagt utförde man 36 magnetundersökningar på hjärnan utan kontrastmedel. Av dessa 36 undersökningar hittade man något betydelsefullt på 14 av undersökningarna. Vid 10/36 undersökningar blev bilderna inte diagnostiserbara eftersom patienterna rörde på sig. Vid 12/36 undersökningar blev resultaten negativa. Man jämförde också 23 diagnostiserbara LF MRI bilder med CT bilder. Vid 3/23 undersökningar hittade

man en infarkt på LF MRI bilderna som inte hittades på CT bilderna. I studien jämförde man även sju LF magnetundersökningar med HF magnetundersökningar. Vid fem av sju undersökningar hittade man samma sak på både LF och HF MRI. Vid de två sista undersökningarna hittade man infarkter i HF bilderna som man inte hittade på LF bilderna. (Kuoy et al., 2022)

MRI är ett väldigt brett område och portabel LF MRI kommer med stor sannolikhet att göra området ännu bredare i framtiden. Mera forskning kring detta ämne behövs, speciellt med tanke på säkerheten. Säkerheten är en väldigt viktig del av MRI och för tillfället finns det för lite forskning kring detta. Mera forskning på patienter behövs också för att bestämma kriterier för magnetundersökning med en portabel LF magnetkamera.

## 9 Etik

Ett examensarbete bör följa etiska riktlinjer och principer. Detta för att försvara människors värde och rättigheter. Alla personer som berörs av examensarbetet skyddas av forskningsetiken. (Henricson, 2017)

Metoden för detta examensarbete är scoping review. Respondenten har valt att använda sig av litteratur från böcker, webbsidor och vetenskapliga artiklar för insamling av information. Inga enkäter eller intervjuer gjordes för att samla information till detta examensarbete. Syftet med detta examensarbete är att samla information om ett relativt nytt ämne inom bilddiagnostiken. Respondenten har gjort detta genom att följa de etiska riktlinjer och principer som bör följas. Respondenten har inte plagierat text. Eftersom respondenten har valt att göra detta examensarbete utan användning av enkät eller intervju för insamling av information så finns inga deltagare man behöver beakta i examensarbetet.

## 10 Vad innebär kritisk granskning?

Kritisk granskning av ett examensarbete är något som görs för att förbättra kvalitén på arbetet före publikation av arbetet. Examensarbetet är inte klart förrän en utomstående person (opponent) har granskat arbetet på ett sakligt och konstruktivt sätt. Examensarbetet granskas av en opponent för att hjälpa författaren (respondenten) förbättra texten samt korrigera möjliga misstag före publikation av arbetet.

Opponenten ska granska examensarbetet både logiskt och kommunikativt. Att granska examensarbetet logiskt innebär att opponenten granskar hur examensarbetet hänger samman. I den kommunikativa delen granskas titel, abstrakt, referenser samt behovet att förtydliga något i arbetet. (Henricson, 2017)

### 10.1 Kritisk granskning

Metoden som användes för detta arbete (scoping review) gjorde det lättare att hitta material som handlade om ämnet. Respondenten har använt sig av källor som hjälper till att besvara examensarbetets frågeställningar. Källorna som respondenten har använt är pålitliga. Eftersom scoping review användes som metod kunde respondenten på ett lättare sätt hålla sig till syftet för examensarbetet.

## 11 Litteraturförteckning

- Aivoliitto. (2023). *Finnish Brain Association*. Hämtat från Aivoliitto:  
<https://www.aivoliitto.fi/english/stroke/#5a429247>
- Arlinghaus, L. R., & Knopp, E. A. (u.d.). *Hyperfine*. Hämtat från Clinical Use Cases for the Hyperfine Swoop Portable MR Imaging System:  
[https://hyperfine.io/assets/pdfs/Swoop%20System%20Clinical%20Use%20Case%20White%20Paper%20-%20LBL-000922%20v2.pdf?utm\\_source=Website&utm\\_medium=Link&utm\\_campaign=Swoop-System-Clinical-Use-Case-White-Paper-LBL-000922-v2](https://hyperfine.io/assets/pdfs/Swoop%20System%20Clinical%20Use%20Case%20White%20Paper%20-%20LBL-000922%20v2.pdf?utm_source=Website&utm_medium=Link&utm_campaign=Swoop-System-Clinical-Use-Case-White-Paper-LBL-000922-v2)
- Arnold, T. C., Freeman, C. W., Litt, B., & Stein, J. M. (2022). Low-field MRI: Clinical promise and challenges. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 25 - 44.  
 doi:<https://doi.org/10.1002/jmri.28408>
- Aspelin, P., & Pettersson, H. (2009). *Radiologi*. Studentlitteratur.
- Bioengineering, N. I. (2022). *National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering*. Hämtat från National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering:  
<https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computed-tomography-ct>
- Cho, A. (den 23 Februari 2023). MRI FOR ALL. *Science*. doi:10.1126/science.adh2739
- Deoni, S. C., Medeiros, P., Deoni, A. T., Burton, P., Beauchemin, J., D'sa, V., . . . Huentelman, M. (2022). Development of a mobile low-field MRI scanner. *Scientific Reports*. doi:10.1038/s41598-022-09760-2
- Guallart-Naval, T., Algarín, J. M., Pellicer-Guridi, R., Galve, F., Vives-Gilabert, Y., Bosch, R., . . . Alonso, J. (2022). Portable magnetic resonance imaging of patients indoors, outdoors and at home. *Scientific reports*. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-022-17472-w>
- Hagström, M. (2023). *Första sjukhuset i världen med en ny generations magnetkamera i klinisk drift*. Hämtat från Karolinska Universitetssjukhuset:  
<https://www.karolinska.se/om-oss/centrala-nyheter/2023/09/forsta-sjukhuset-i-varlden-med-en-ny-generations-magnetkamera-i-klinisk-drift/>
- HealthCare, G. (den 29 December 2020). *GE HealthCare*. Hämtat från GE HealthCare:  
<https://www.gehealthcare.fi/insights/article/magneettikuvausrekka-terhi-palvelee-potilaita-ymp%C3%A4ri-oulun-seutua>
- Healthcare, S. (u.d.). *Siemens Healthineer*. Hämtat från Siemens Healthineer:  
<https://www.siemens-healthineers.com/fi/computed-tomography/mobile-head-ct/somatom-on-site>
- Henricson, M. (2017). *Vetenskaplig teori och metod, från idé till examination inom omvårdnad*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hyperfine. (u.d.). *Advanced Image Reconstruction*. Hämtat från Hyperfine:  
<https://hyperfine.io/assets/pdfs/Hyperfine%2C%20Inc.%20DL%20Image%20Reconstruction%20Brochure%20-%20LBL->

001363%20v1.pdf?utm\_source=Website&utm\_medium=Link&utm\_campaign=Hyperfine-Inc-DL-Image-Reconstruction-Brochure-LBL-001363-v1

Hyperfine. (u.d.). *Bring MR imaging to your patient's bedside*. Hämtat från Hyperfine: <https://hyperfine.io/>

Hyperfine. (u.d.). *Meet Swoop Portable MR Imaging system*. Hämtat från Hyperfine: [https://hyperfine.io/assets/pdfs/Swoop%20System%20Brochure%20-%20LBL-001459%20v1.pdf?utm\\_source=Website&utm\\_medium=Link&utm\\_campaign=Swoop-System-Brochure-LBL-001459-v1](https://hyperfine.io/assets/pdfs/Swoop%20System%20Brochure%20-%20LBL-001459%20v1.pdf?utm_source=Website&utm_medium=Link&utm_campaign=Swoop-System-Brochure-LBL-001459-v1)

Hyperfine. (u.d.). *Neurocritical care and point-of-care MR imaging*. Hämtat från Hyperfine: <https://hyperfine.io/specialties/neurocritical-care>

Hypocampus. (u.d.). *Hypocampus*. Hämtat från Hypocampus: [https://www.hypocampus.se/smapi/Radiologi/Radiologi/Radiologiska\\_avbildnings\\_tekniker/Slatrontgen/Metod.html](https://www.hypocampus.se/smapi/Radiologi/Radiologi/Radiologiska_avbildnings_tekniker/Slatrontgen/Metod.html)

Islam, O., Lin, A. W., & Baratha, A. (den 21 September 2023). Potential application of ultra-low field portable MRI in the ICU to improve CT and MRI access in Canadian hospitals: a multi-center retrospective analysis. doi:10.3389/fneur.2023.1220091

Kuoy, E., Glavis-Bloom, J., Hovis, G., Yep, B., Biswas, A., Masudathaya, L.-A., . . . Chow, D. S. (2022). Point-of-Care Brain MRI: Preliminary Results from a Single-Center Retrospective Study. *Radiology*. doi:10.1148/radiol.211721

Kurtzweil, J. (den 31 Maj 2023). *Beckman Institute*. Hämtat från UNIVERSITY OF ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN: <https://beckman.illinois.edu/about/news/article/2023/05/31/seven-things-to-know-about-the-7-tesla-mri-scanner>

Lind, B. (den 30 September 2021). Magnetic Resonance Imaging.

Mazurek, M. H., Cahn, B. A., Yuen, M. M., Prabhat, A. M., Chavva, I. R., Shah, J. T., . . . Sheth, K. N. (2021). Portable, bedside, low-field magnetic resonance imaging for evaluation of intracerebral hemorrhage. *Nature Communications*. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-021-25441-6>

Onweni, C. L., Venegas-Borsellino, C. P., Treece, J., Turnbull, M. T., Ritchie, C., & Freeman, W. D. (den 23 April 2021). The Power of Mobile Health: The Girl With the Gadgets in Uganda. *Mayo Foundation for Medical Education and Research*. doi:10.1016/j.mayocpiqo.2021.01.001

Samsung. (den 20 Oktober 2016). *Samsung*. Hämtat från Samsung Newsroom: <https://news.samsung.com/global/samsung-unveils-next-generation-mobile-digital-x-ray-gm85-at-the-19th-world-congress-of-international-society-of-radiographers-and-radiological-technologists>

Savoia, P., Jayanthi, S. K., & Chammas, M. C. (2023). Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST). *Journal of Medical Ultrasound*. doi:10.4103/jmu.jmu\_12\_23

- scan.com. (den 8 Februari 2022). *scan.com*. Hämtat från scan.com:  
<https://uk.scan.com/news/mri-scans-what-is-the-difference-between-a-3-tesla-and-1-5-tesla-scanner>
- ScanMed. (den 27 April 2017). *ScanMed*. Hämtat från ScanMed:  
<https://www.scanmed.com/single-post/2017/04/27/15t-versus-3t-mri>
- Waydhas, C. (1999). Intrahospital transport of critically ill patients. doi:doi:10.1186/cc362
- Weill Cornell Medicine, S. J. (den 15 November 2023). *Weill Cornell Medicine, Samuel J. Wood Library*. Hämtat från Systematic Reviews: Scoping Reviews:  
<https://med.cornell.libguides.com/systematicreviews/scopingreviews>
- Westbrook, C., & Kaut, C. (1998). *MRI In Practice second edition*. u.o.: Blackwell Science.
- Wilcox, C., Action, M., Rando, H., Keller, S., Sair, H. I., Chinedozi, I., . . . Cho, S. (2022). Safety of Bedside Portable Low-Field Brain MRI in ECMO Patients Supported on Intra-Aortic Balloon Pump. doi:doi: 10.3390/diagnostics12112871.