Örebro universitet
Hälsoakademin
Röntgensjuksköterskeprogrammet 180p
Medicin C, Examensarbete 15p
VT 2011

Biologiska och Sensoriska effekter på människor och foster orsakade av magnetfält i en MR kamera

en systematisk litteraturstudie

Författare: Christina Boberg

Handledare: Marianne Selim, adjunkt,
Hälsoakademin, Örebro Universitet

SAMMANFATTNING

MR (magnetkamera) har sedan början av 1980-talet använts mer och mer inom medicinsk bilddiagnostik för funktionella studier och bildtagning av mjukvävnaden i kroppens alla delar. Tekniken innebär att patienter och foster utsätts för det statiska magnetfältet, det varierande magnetfältet som gradienterna skapar samt radiofrekvensvågor.

Syftet med denna litteraturstudie är att undersöka vad som finns beskrivet i litteraturen och vetenskapliga artiklar, vilka effekter magnetfältet som uppkommer i en magnetkamera (MR) har på människor och foster.

Metod: Artiklarna till litteraturstudien söktes med hjälp av databaserna Elin@dalarna och Wiley InterSience. Sökorden som användes var följande: magnetic resonance, exposure, effects, pregnancy, MRI, biological effects, fetus, human.

Resultat: Människor i studierna upplever yrsel, metallsmak i munnen och koncentrationsproblem av att vistas i ett starkt magnetfält. Cellerna påverkas av att utsättas för ett starkt magnetfält. Det framkommer att exponerade celler bland annat har en annan form och är signifikant mindre än icke exponerade celler, samt att kalciumkoncentrationen i cellen påverkas liksom cellens funktion. Det framkommer att foster eller fosterceller inte påverkas av att utsättas för ett magnetfält. I en uppföljningsstudie på barn som blivit exponerade i fosterstadiet upptäcktes inga bestående skador.

Slutsats: Det statiska magnetfältet ger upphov till sensoriska effekter hos dem som vistas i det. Det förekommer att magnetfältet ger upphov till biologiska effekter på vissa celltyper och cellfunktioner. Hos barn som utsätts för magnetfält i fosterstadiet har ännu inte några biverkningar setts än. Men om dessa barn påverkats kan det visa sig senare i livet och fortsatt uppföljning krävs, då det står klart att vissa celler påverkas vid exponering för ett magnetfält.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning……...…… **1**

2. Definition av centrala begrepp…...…….. **2**

3. Bakgrund…….....**2**

3.1 MR – Fysik……... **2**

3.2 Det statiska magnetfältet…….....……...…….**3**

3.3 Varierande magnetfältet - gradientsystemet……..……..... **3**

3.4 Rf (radiofrekvens)systemet……....……..……... **4**

4. Syfte…… **4**

5. Metod…… **4**

6. Resultat…… **5**

6.1 Resultatsammanfattning……..... **5**

6.2 Studier som undersöker vuxna människors upplevelser och effekter av exponering för ett statiskt magnetfält……. **6**

6.3 Studier som är utförda på mänskliga celler och syftar till att framställa hur eller om cellen påverkades av exponeringen……... **8**

6.4 Studier som anger hur foster och fosterceller påverkas av ett magnetfält…… **11**

7. Diskussion…….…… **13**

7.1 Metoddiskussion……... **13**

7.2 Resultatdiskussion……...…. **13**

7.2.1 Studier som undersöker vuxna människors upplevelser och effekter av exponering för ett statiskt magnetfält.....**13**

7.2.2 Studier utförda på mänskliga celler och syftar till att framställa hur eller om cellen påverkades av exponeringen……...**15**

7.2.3 Studier som anger hur foster och fosterceller påverkas av ett magnetfält…….. **17**

8. Slutsats…….…..... **18**

9. Referenser……**19**

10. Bilaga 1. tabell 1, redovisning av litteratursökningens tillvägagångssätt…….. **21**

10. Bilaga 1. tabell 2, redovisning av litteratursökningens tillvägagångssätt…… **21**

1. Inledning

MR (magnetkamera) har sedan början av 1980-talet använts mer och mer inom medicinsk bilddiagnostik för funktionella studier och bildtagning av mjukvävnaden i kroppens alla delar (Aspelin & Petterson, 2008). Tekniken innebär att patienter och foster utsätts för en kombination av tre olika typer av elektromagnetiska fält som har varierad styrka och frekvens, det statiska magnetfältet, det varierande magnetfältet som gradienterna skapar samt radiofrekvensvågor (Berglund & Jönsson, 2007; De Wilde, Rivers & Price, 2005).

Shellock (1992) uppger i en studie att om en person utsätts för höga nivåer av någon av dessa elektromagnetiska fält så kan de ge biologiska effekter i kroppen. De biologiska effekterna orsakas enligt Seiyama, Seki, Iwamoto och Yanagida (2005) av fältstyrkan och gradienterna, arean och tiden som exponeringen för magnetfältet sker och de statiska eller dynamiska egenskaperna hos det magnetiska fältet.

Uppsatsförfattaren till denna litteraturstudie ville fördjupa sig i det som framkommit och sammanställa vad tidigare forskning kommit fram till om magnetfältet och magnetkamerans (MR) effekter på människa och foster. Uppsatsförfattaren anser att det är viktigt som röntgensjuksköterska att känna till vad den senaste forskningen visar inom ämnet för att kunna ge en god och trygg vård som beskrivs i SOSFS hälso- och sjukvårdslagen 1982:763.

Starka magnetiska fält över en Tesla (T) ger en induktion av elektriska fält i kroppen när patienten rör sig i det magnetiska fältet. Enligt Statens strålsäkerhetsmyndighet, SSI rapport (2008) har det framkommit studier som visar att personer som befinner sig i eller omkring starka magnetiska fält (>1T) upplever sensoriska effekter som illamående, yrsel och syneffekter vid huvudrörelser, dessa symtom skiljer sig dock åt mellan individerna.

I en artikel av Reddy, Filly, och Copel (2008) skriver artikelförfattarna att få studier är utförda på fosters utveckling efter exponering av statiskt magnetfält. Resultaten som framkommit av dessa studier är inte konsekventa. Det finns inga indikationer på att klinisk användning av MR undersökningar ger ogynnsamma effekter för fostret, men det har inte säkert bevisats än, menar Reddy et al. (2008). Artikelförfattarna uppger även att studier gjorda på möss, råttor och kycklingar har framlagt bevis för vissa deformationer och att utvecklingsdefekter har uppkommit efter exponering av statiskt magnetfält (a.a).

2. Definition av centrala begrepp

Biologiska effekter: Uppsatsförtattaren definierar detta i sin studie som hur dessa effekter påverkar livsfunktionerna på cellerna hos människor och foster.

Sensoriska effekter: I denna litteraturstudie avses människors egna känslor av att vistas i ett magnetfält.

3. Bakgrund

Här nedan följer en beskrivning av MR – fysikens grunder samt magnetkamerans uppbyggnad och hur de tre olika elektromagnetiska fälten fungerar i en magnetkamera.

3.1 MR – Fysik

Kroppen består hos en kvinna av cirka 55 % vatten och hos en man är motsvarande siffra cirka 60 % vatten. I vatten finns väteatomer som även återfinns i proteiner och fetter i kroppen. En bild från magnetkameran framställs med hjälp av signalen som kommer från väteatomens kärna. Väteatomkärnan består av en proton. Protonen innehåller massa som är positivt elektrisk laddad och spinner runt sin egen axel (Berglund & Jönsson, 2007).

Att protonen spinner och är elektriskt laddad gör att det bildas ett magnetfält runt protonen som kallas för ”det magnetiska dipolmomentet”. När det tillförs ett externt magnetfält så vill magnetfältet runt protonen rikta in sig efter det externa magnetfältet. Det sker antingen parallellt med magnetfältet och spinnen befinner sig då i det lägre energitillståndet eller mot magnetfältet och då är spinnen i det högre energitillståndet. Att atomkärnan kan inta två lägen kallas i MR fysiken för ”Zeeman – effekten”. För att kunna förändra protonernas energinivåer så de kan gå från den lägre energinivån till det högre behövs ett oscillerande magnetfält med en viss frekvens. Frekvens kallas för ”Larmorfrekvensen” och är beroende på storleken på det externa magnetfältet. Vid 1 Tesla är Larmorfrekvensen 42.57 Megahertz (MHz).

Summan av alla individuella magnetiska dipolmoment (det vill säga summan av alla individuella protoners spinn) bildar det så kallade makroskopiska magnetiseringsvektorn (M) som befinner sig parallellt med det externa magnetfältet. När M - vektorn vinklas ned 90^0 uppstår magnetisk resonans och inducerar en signal som tas upp av RF (radiofrekvens) – mottagaren och som framställer bilderna i MR kameran. RF- vågen som skickas ut är elektromagnetisk strålning och består av både ett magnetiskt och ett elektriskt fält. Det magnetiska fältet i RF – vågen är det som gör att magnetisk resonans uppstår och M – vektorn

kan vinklas ned 90^0. Därför behöver RF – sändaren skicka ut en pulsvåg med samma frekvens som Larmorfrekvensen för då uppstår magnetisk resonans som är en förutsättning för att MR – tekniken skall fungera (Wolbarst, 2005).

3.2 Det statiska magnetfältet

MR kameran består av en stark magnet som ger uppkomst till det statiska magnetfältet. Magneterna som används kliniskt är mellan 0.3 till 3 T (Tesla). Idag används för det mesta styrkan 1.5 T på de kameror som används kliniskt idag (Aspelin & Petterson, 2008). Men användandet av starkare magneter från 1.5 T till upp mot 7 T väntas förekomma i framtiden. Starkare magnetfält ger förbättrad spatiell (detaljskärpa i bilden) upplösning och högre SNR (signal - to – noise ratio = signal till brusförhållande) det vill säga den signalen som har bildinformationen jämfört med bakgrundsbruset (Seiyama et al., 2005). Bakgrundsbruset orsakas av rörelser från molekyler i kroppen, spolstorlekarna som används och bandbredden (frekvensintervallet) som används (Thelander, 2000). Ju högre SNR desto mer och bättre information som kommer fram och skapar bilden och inte störs av bakgrundsbruset. (Seiyama et al., 2005).

Magnetfältet i en MR kamera bildas genom en strömgenomfluten tunnel. Med hjälp av supraledande material som är lindat runt tunneln skapas ett magnetiskt fält. Det supraledande materialet kyls ned av flytande Helium till under -253^0 C för att det inte ska finnas något elektriskt motstånd i ledaren. Detta ger ett horisontellt magnetfält som har en stabilitet på mer än 0.1 parts per million (ppm) och timme. Magnetfältets likformighet (homogenitet) kan dock variera lite, det har att göra med magnetens design och fältstyrka. Är inte det statiska magnetfältet likformigt kan det leda till distorsion (förvrängning eller felaktigt återgiven signal) och förminskad spatiell upplösning i bilden. När ström skickats in och det bildats ett magnetfält så finns inget behov av fortsatt strömtillförsel, det finns då inte något motstånd eller värmeutveckling i ledaren så magnetfältet är konstant kvar så länge ledaren fortsätter att vara nedkyld vill säga. Supraledande material används för magneter med fältstyrkor över 0,6 T (Wolbarst, 2005).

3.3 Varierande magnetfält – gradientsystemet

Magnetkameran består vidare av tre strömgenomflutna spolar som skapar linjära variationer i det statiska huvudmagnetfältet i tre olika riktningar, x, y och z riktning. De kallas för snittvalsgradient, faskodningsgradient och frekvensgradient. De behövs för att kunna skapa bilder av olika snitt och tjocklekar av kroppen. Storleksmässigt så bildar de ett magnetfält som

ligger på ca 40 millitesla/meter (mT/M) när de slås på (Wolbarst, 2005). En dator används för att styra när gradienterna ska slås av och på under ett bildtagningsprogram och även för i och urkopplingen. Gradienterna orsakar ett kraftigt ljud vid i - och urkopplingen (Shellock, 2004) i samband med undersökningen som uppgår till ca 100 decibel och som kan upplevas obehaglig om undersökningen tar lång tid. Snabba variationer i magnetfältet påverkar nervcellerna i kroppen då de är känsliga för strömmar och kan upplevas som ljusblixtar och en stickande känsla i kroppen (Berglund & Jönsson, 2007).

3.4 RF (Radiofrekvens) systemet

Det finns en radiofrekvensspole som sänder och tar emot radiovågor i magnetkameran. Radiovågornas frekvens beror på hur många Tesla huvudmagneten är på. RF pulsen har både ett elektriskt och ett magnetiskt fält då den består av elektromagnetisk strålning. En förutsättning för att det ska kunna bli bilder är att man skickar in en RF puls så att det uppstår magnetisk resonans samt att det finns en mottagare som tar emot MR signalen eller ekot som kommer från kroppen (Aspelin & Pettersson, 2008). RF pulsen ger uppkomst till värmeökning i vävnaden liknande som fås när en mikrovågsugn används. Men enligt Berglund och Jönsson, (2007) blir värmeökningen svag ($<1^0$C) eftersom pulsarna är kortvariga, samt att värmeökningen kan styras med förlängda pulsrepetitionstider som bidrar till att energin i RF - pulsen sprids till omgivningen. Exponeringen i vävnaden av RF – pulsen innebär att energi deponeras i vävnaden, det kallas för SAR (specific absorption rate) och mäts i Watt/kilo.

4. Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att undersöka vad som finns beskrivet i litteraturen och vetenskapliga artiklar för att ta reda på hur magnetfältet som uppkommer i en magnetkamera påverkar människor och foster.

5. Metod

Studien har genomförts som en systematisk litteraturstudie där relevanta vetenskapliga artiklar i ämnet har granskats. Till studien användes litteratur från Mora lasarett och kurslitteratur från röntgensjuksköterskeprogrammet 2009 – 2010 samt vetenskapliga artiklar och Internetsidor. Ett krav på artiklarna var att dessa är originalartiklar och sammansatta efter en vetenskaplig metod samt är skrivna på svenska eller engelska. För att begränsa urvalet av

artiklarna skulle dessa vara max tio år gamla och publicerade mellan åren 2000 – 2010. Artiklarna till resultat delen har sökts vid två tillfällen via databaserna Elin@dalarna samt Wiley InterSience. Sökord som användes vid den första sökningen var: magnetic resonance, exposure, effects, pregnancy i olika konstellationer (Tabell 1, Bilaga 1). Vid det andra söktillfället användes följande MRI, biological effects, fetus, human i olika konstellationer (Tabell 2, Bilaga 1). Inklusionskriterier för studierna var att de skulle tangera frågeställningarna och syftet, samt att studierna skulle vara gjorda på människor eller människoceller eller foster. Exklusionskriterier var artiklar där studierna var gjorda på fantomdockor, djur eller andra organismer som t.ex. bakterier, samt review artiklar. Vid en första genomgång valdes 15 artiklar ut till studien. En första granskning gjordes genom att läsa artikelns titel och abstract och om det verkade stämma mot uppsatsförfattarens syfte och frågeställning lästes hela artikeln. Vid en närmare granskning av dessa 15 studier valdes tio ut som bearbetades till litteraturstudiens resultat då fem inte klarade inklusionskriterierna som var ställda på studien.

6. Resultat

6.1 Resultatsammanfattning

Totalt ingick tio artiklar i litteraturstudiens resultat. De tre första artiklarna som inkluderades i studien tangerar frågeställningarna om vuxna människors upplevelser och effekter av exponering för ett statiskt magnetfält (Chakeres, Kangarul, Boudoulas & Young, 2003; De Vocht, Van Drogge, Engels & Kromhout, 2006; Weintraub, Khoury & Cole 2007). Fyra studier var utförda på mänskliga celler och syftade till att framställa hur eller om cellen påverkades av exponeringen (Aldinucci et.al., 2003; Monzen et.al., 2009; Pacini et.al., 2003; Sakurai, Terashima & Miyakoshi, 2009). Två artikelstudier anger hur foster och fosterceller påverkades av ett magnetfält (Kok, De Vries, Heerschap & Van den Berg, 2004; Rodegerdts et.al., 2000). Den sista artikeln i litteraturstudiens analys tar upp om huruvida fostercellstillväxten påverkades vid ett varierande magnetfält som gradienterna skapar i en MR kamera (Vadeyar et.al., 2000).

6.2 Studier som undersöker vuxna människors upplevelser och effekter av exponering för ett statiskt magnetfält.

Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department (De Vocht, Van Drogge, Engels & Kromhout, 2006).

Syfte: Att fastställa känsloupplevelser och andra hälsoklagomål hos systemarbetare som testade och jobbade nära magnetkameror.

Metod: Klagomål från systemarbetare (N = 18) som jobbade på MR avdelningen var registrerade. En referensgrupp (N = 20) som jobbade i samma fabrik men på avdelningen för röntgen kardiovaskulär systemutveckling togs ut. Båda grupperna var jämförbara i ålder, antalet utbildningsår och grad av utbildning. Exponeringen av det magnetiska fältet utfördes vid 1.0 T samt vid 1.5 T under åtta timmar och videoinspelades.

Slutsats: Resultatet av enkätsvaren visade att klagomål på koncentrationsproblem, yrsel och metallsmak i munnen var signifikant mer frekvent förekommande hos gruppen som arbetade på MR avdelningen än hos referensgruppen. Resultatet visade att inga kognitiva effekter kvarstår efter exponeringen utan är snabbt övergående. Författarna till studien anger också att det inte fanns någon statistiskt signifikans för att klagomålen skulle öka med magnetfältstyrkan. En studie visade däremot att antalen totala klagomål ökade med tiden för exponeringen av magnetfältet och att de individer som rörde sig snabbt i magnetfältet upplevde mer besvär än individer som rörde sig långsammare, detta fann de statistiskt signifikant. Koncentrationen av kvicksilver i urinen påverkades inte av exponeringen.

Effect of static magnetic field exposure of up to 8 Tesla on sequential human vital sign measurments (Chakeres, Kangarul, Boudoulas & Young, 2003).

Syfte: Att fastställa om exponeringen för magnetfältstyrkor upp till 8 T påverkar livsdugliga funktioner, de så kallade vitalparametrarna, hjärtfrekvens, temperatur, blodtryck, andningsfrekvens, saturation eller elektrokardiogram (EKG).

Metod: Studien omfattade 25 människor, 19 män och sex kvinnor mellan 24-53 år medelåldern var 35 år. EKG och deras vitala parametrar undersöktes vid 14 mättillfällen inuti och utanför magnetfältet. Det som mättes var hjärtfrekvensen, andningsfrekvensen, systoliskt

och diastoliskt blodtryck, saturation och kroppstemperatur. Mättillfällen av de vitala tecknen gjordes var femte minut vid fältstyrkorna 8, 6, 4.5, 3 och 1.5 T den totala tiden blev 25 minuters exponering för magnetfältet.

Slutsats: Ingen av deltagarna uttryckte något signifikant symtom associerat med det omedelbara höga magnetfältet. Av 25 deltagare var det 23 som uttryckte att de kände sig bra avslappnade, att de inte kände någonting eller att det kändes normalt. En del symtom var yrsel hos nio deltagare, två stycken uppgav metallsmak i munnen när de lagt sig i MR kameran och en deltagare nämnde ögondarrning, nystagmus. Vid uppföljningen tre månader senare fanns inga ogynnsamma kommentarer. Författarna till studien anger att normalt fungerande människor som blir exponerade för ett varierande magnetfält upp till 8 T, inte uppvisar kliniskt signifikanta avvikande vitalparametrar avseende hjärtfrekvens, saturation, kroppstemperatur eller det diastoliska blodtrycket. Men de fann en statistisk signifikans för att det systoliska blodtrycket ökade med ökad fältstyrka till 8 T som gav ett ökat blodtryck med max 3.6mmHg.

Biologic effects of 3 Tesla (T) MR imaging comparing traditional 1.5 T and 0.6 T in 1023 consecutive outpatients (Weintraub, Khoury & Cole, 2007).

Syfte: Klargöra vilka de biologiska effekterna är hos människor som undersökts i MR kamera med fältstyrkan 3 T jämfört med 0.6 T, 1.5 T MR kamera.

Metod: Observationsstudie med ett frågeformulär om de 15 vanligaste symptomen som finns beskrivet i litteraturen. Deltagarna fick kvantifiera dessa med hjälp av en smärtskala, Visuell Analog Skala (VAS skala 1-10) före och efter att MR undersökning utförts. Studien utfördes vid tre olika inrättningar med fem olika MR kameror en med fältstyrkan 3 T, tre 1.5 T och en 0.6 T kamera användes för att ta reda på vilka symtomen var. Nio tekniker roterade runt och utförde MR undersökningarna på modaliteterna och de olika inrättningarna.

Slutsats: Inga skadliga effekter hittades hos de 1023 deltagarna, men 14 % av individerna upplevde sensorisk stimulering i både 3 T och 1.5 T kameran. Författarna till studien anger att kvinnor verkade vara mer magnetiskt känsliga.

Av de 1023 deltagarna som studerades utvecklade 69 deltagare (6.7 %) symtom som de inte haft tidigare under MR undersökningen. Studien visade att det fanns ett statistiskt signifikant samband mellan styrkan på magnetfältet och symtomen. När författarna gjorde en analys av

vilket kön hos deltagarna som upplevde symtomen fann dem att i 52 fall av de 69 fallen med symtom var 75 % kvinnor.

När varje symtom analyserades separat fann de att magnetfältstyrkan var statistiskt signifikant med ny yrsel (n=28): 0.0% utvecklade yrsel vid 0.6 T men 1.9 % vid 1.5 T och 5.6 % vid 3 T. Av de 28 deltagarna som utvecklade yrsel hade 13 (46 %) genomgått en MR hjärnundersökning, detsamma gällde de fyra deltagarna som upplevde metallsmak i munnen.

Symtom som yrsel, huvudvärk, magnetofosfen (ljusblixtar) och metallsmak i munnen var mer förekommande hos de som genomgick MR hjärnundersökning jämfört men andra undersökningsformer som också var representerade. Om det förekom en inverkan på yrsel genom rörelser av ögon och kropp samt extremiteter i magnetfältet kunde författarna inte ange i sin studie.

6.3 Studier som är utförda på mänskliga celler och syftar till att framställa hur eller om cellen påverkades av exponeringen.

Effects of 0.2 T static magnetic field on human skin fibroblast (Pacini et al., 2003).

Syfte: Avsikten med studien var att utvärdera de biologiska effekterna av statiska magnetfält som frekvent används inom praktisk medicin.

Metod: Bindvävsceller från människan användes i studien. Cellerna exponerades för en MR kamera som användes i Italien under klinisk praktik och med det statiska magnetfältet på 0.2 T. En timmes exponering användes i studien, detta baserat på att enligt författarna, det finns bevis för att en diagnostisk undersökning varar cirka en timme. De använde en kontrollgrupp av bindvävsceller som fick vara i ett angränsande rum men med samma temperatur och fuktighet i rummet som den exponerade gruppen.

Slutsats: De fann en minskad aktivitet hos lektinproteinet, som medverkar vid bildandet av plasmamembranen i bindvävscellen. När cellerna exponerades för 0.2 T statiskt magnetfält jämfört med kontrollgruppen som inte blev exponerad för magnetfältet. Exponerade celler var mindre och uppvisade en signifikant annan form jämfört med de icke exponerade cellerna. De fann också att ett antal funktioner i cellerna som startar aktiveringen för att mobilisera calcium i cellen var signifikant nedsatt för de celler som exponerats för magnetfältet. Celldelnings-funktionen visade sig vara signifikant nedsatt vilket matchade den nedsatta

aktiveringen för att mobilisera calcium, men de fann ingen signifikant skillnad i antalet cellkolonier mellan exponerade och icke exponerade cellplattor.

Effects of strong static magnetic fields (SMF) used in magnetic resonance image on insulin – secreting cells (Sakurai, Terashima & Miyakoshi, 2009).

Syfte: Att utvärdera effekterna av ett starkt magnetfält på biologiska system genom att exponera insulinproducerande celler för ett starkt varierande magnetfält mellan 3-10 T i en halvtimme eller timme och magnetfältsgradient mellan 0-41.7 T/m.

Metod: I studien utsattes insulinproducerande celler både för ett falskt magnetfält samt ett riktigt magnetfält.

Slutsats: Insulinsekretion vid exponering i en timme ökade signifikant sekretionen vid 6 T. Vid 3 T var den lätt men inte signifikant förhöjd vid en timmes exponering. Vid ett statiskt magnetfält (SMF) på 10 T påverkades inte insulinsekretionen alls. Exponering i 30 minuter visade liknande tendenser att insulinproduktionen inte påverkades. En lätt ökning vid 6 T och ingen ökning vid 10 T. En signifikant ökning i insulin 1 (ins1) messenger - RNA (mRNA) upptäcktes efter exponering i en timme med SMF 6 T. En lätt men inte signifikant ökning i insulin 2 (ins2) mRNA sågs efter exponering i en timme för 6 T.

Insulinproducerande celler sparar insulin i cellen för ett snabbt frisättande vid en glukosstimulering. För att testa funktionen i cellen stimulerades den med glukosstimulator för att se om insulinmängden förändrade sig efter den magnetiska exponeringen . Det visade sig att exponering för SMF under 0.5 till 1 timme inte hade någon effekt på insulinhalten i cellen. Vidare fann de i studien att cellens funktioner som celldelning och antalet celler inte påverkades av SMF vid något tillfälle. Insulinproducerande celler släpper insulin till cellkulturen när den dör. Om detta skulle ske samtidigt som cellen exponeras för ett statiskt magnetfält när insulinsekretionen är förhöjd kanske detta kan leda till att insulinproducerande celler dör enligt författarna till studien. Men resultatet pekade mot att en ökad insulinsekretion under inflyttande av ett statiskt magnetfält inte bidrog till någon celldöd.

The effect of exposure to high flux density static and pulsed magnetic fields on lymphocyte function (Aldinucci et al., 2003).

Syfte: Att undersöka om en timmes exponering för ett statiskt magnetfält på 4.75 T och med ett pulsat elektromagnetiskt fält på 0.7 T kan främja rörelse hos kalcium (Ca^{2+}), celldelning

och eventuell produktion av proinflammatoriska cytokiner i mänskliga lymfocytceller så väl som i Jurkat celler.

Metod: Blod från den lokala blodbanken togs där lymfocytceller separerades ut och Jurkat cellerna som är T-celler togs från en ung man med akut leukemi och placerades på labbplattor. Exponeringen för det statiska magnetfältet och det varierande magnetfältet skedde vid 37^0 C i en timme. En kontrollgrupp på celler som inte blev exponerade för magnetfältet fanns också.

Slutsats: Ca^{2+} nivån i mänskliga lymfocytceller var signifikant högre jämfört med kontrollgruppen som inte exponerades för magnetfältet. Celldelningen mättes efter 24, 48 och 72 timmar efter exponeringen, den visade sig vara oförändrad jämfört med icke exponerade celler. De fann inga signifikant förändrade proinflammatoriska koncentrationer av cytokiner hos de exponerade cellerna jämfört med kontrollgruppen som inte blev exponerade för magnetfältet. Studien visade att Jurkat celler som blev exponerade för både ett statiskt och ett varierande magnetfält uppvisade en signifikant lägre nivå av Ca^{2+} och en signifikant lägre celldelning jämfört med icke exponerade celler efter en timmes exponering.

Exposure to a MRI type high-strength static magnetic field stimulates megakaryocytic/erythroid hematopoiesis in $CD34^+$ cells from human placental and umbilical cord blood (Monzen et al., 2009).

Syfte: Studiens syfte var att utvärdera hur celldelning och celldifferentiering hos mänskliga hematopoetiska stamceller, CD 34 celler påverkas av att utsättas för ett statiskt magnetfält.

Metod: CD 34 celler från mänsklig placenta och navelsträngsblod samlades in. Dessa cellplattor utsattes för 5 T med magnetfältsgradient på 41.7 T/m och 10 T utan magnetfältsgradienter vid 37^0 C i fyra eller 16 timmar. En jämförande kontrollgrupp användes som inte exponerades för ett statiskt magnetfält.

Slutsats: Efter exponering för fem samt 10 T i fyra och 16 timmar fanns inga signifikanta skillnader i livsdugligheten hos cellerna, mellan de som exponerats för SMF och de som inte exponerats. Hos cellerna som exponerats för 10 T under 16 timmar fann de en signifikant ökning av antalet colony-forming unit megakaryocyt (CFU-Meg) och burst forming unit erythroid (BFU-E). Dessa producerade 1.72 och 1.77 gånger mer kolonier än de som inte blivit exponerade för SMF. Men ingen påverkan kunde upptäckas vid exponering för 10 T

under fyra timmar eller vid 5 T oavsett antalet timmar. Studien visade att tidiga hematopoetiska relaterade gener och gener som har med cellcykeln att göra visade sig vara signifikant högre i cellerna som blev utsatta för ett magnetfält på 10 T i 16 timmar jämfört med kontrollgruppen som inte blivit utsatt för något magnetfält. Men det fanns också andra hematopoetiska cellcykelgener som inte visade någon signifikant skillnad.

6.4 Studier som anger hur foster och fosterceller påverkas av ett magnetfält.

Effect of fetal magnetic resonance imaging on fetal heart rate patterns (Vadeyar et al., 2000).

Syfte: Att spela in fostrets hjärtslag före och under MR undersökning för att observera effekterna hos fostrets hjärtfrekvens vid en MR undersökning.

Metod: Fosters hjärtfrekvens spelades in hos tio frivilliga kvinnor. Alla tio gravida kvinnor var mellan graviditetsvecka 37 – 41 bärandes ett foster var. En magnetkamera på 0.5 T användes och hjärtfrekvensen spelades in med hjälp av en ultraljudsapparat. Inspelningen gjordes under 15 minuter utanför magneten och under 15 minuter i magneten.

Slutsats: Resultaten i studien visade att inga signifikanta förändringar fanns. Varken fostrets hjärtfrekvens eller hjärtrytm förändrades hos de gravida kvinnorna när de befann sig i magnetkameran jämfört med när de befann sig utanför magnetkameran.

Absence of harmful effects of magnetic resonance exposure at 1.5 T in utero during the third trimester of pregnancy: a follow – up study (Kok, De Vries, Heerschap & Van den Berg, 2004).

Syfte: Att undersöka eventuella ogynnsamma effekter av att ett foster i livmodern blivit exponerad för en magnetkamera undersökning på 1.5 T.

Metod: I studien deltog 35 kvinnor med ett barn var som var mellan ett och tre års ålder genomgick en MR undersökning av fostrens hjärnor. Samt nio kvinnor med ett barn var i åtta och nio års ålder som genomgick en likadan MR undersökning i fosterstadiet ingick i denna uppföljningsstudie. Exponeringen skedde när fostren var i den tredje trimestern i graviditeten.

Alla foster hade en normal utveckling innan de exponerades för 1.5 T mellan 45 och 70 minuter första gången. Uppföljning gjordes genom att samla in data från graviditeten, födseln samt en neurologisk undersökning som utfördes vid tre månaders ålder. Ögats och hörselns funktioner testades vid 14 månaders ålder, även den generella hälsostatusen relaterad till den åldern undersöktes. Tre kvinnor föll bort ur studien på grund av att de inte svarade på frågeformuläret. Totalt ingick 33 kvinnor i den korta uppföljningsstudien på barnen mellan ett till tre års ålder och i den långa uppföljningsgruppen ingick till slut åtta kvinnor som hade barn mellan åtta och nio års ålder.

Slutsats: Utvärderingen av rörelserna hos barnen vid tre månaders ålder gjordes endast i den korta uppföljningsgruppen, detta fann de vara normalt hos 32 av barnen. Hos ett barn fanns det ett lite avvikande rörelsemönster och en mindre neurologisk dysfunktion. Detta barn är nu tre år och har utvecklats helt normalt i både grov- och finmotorik samt kommunikation. De medicinska dokumenten visade god hälsa hos alla 41 barn. Trettio barn utvecklades normalt efter deras individuella tillväxtkurva. Hos sex av barnen såg de en ökande tillväxt och hos fem av barnen sågs en minskande tillväxt.

Neurologisk, social och motorisk utveckling bedömdes vara normal hos alla barnen utom två. Ögonfunktionen var normal hos alla utom ett barn. En reducerad synförmåga fanns i ett öga hos det barnet, ögat vred sig inåt (esotropia). Två barn hade inte normala testresultat på hörseltesten och skickades till öron- näsa- hals klinik. I ett fall ansågs frekventa öroninflammationer vara orsaken till problemen. Hos det andra barnet fann de att hörseln var normal.

In vitro evaluation of teratogenic effects by time – varying MR gradient fields on fetal human fibroblasts (Rodegerdts et al., 2009).

Syfte: I denna studie ville författarna utvärdera effekterna på fostercellstillväxten in vitro (provrör) av snabbt förändrade magnetfältsgradienter som förekommer i en MR kamera.

Metod: Kommersiellt tillgängliga fibroblastceller från fosters lungor användes. Cellerna hölls i en temperatur av 37^0 **C**, > 98 % relativ luftfuktighet och 7 % CO2 atmosfär. Två plexiglasbehållare byggdes som cellplattorna förvarades i och för att upprätthålla ovanstående tre parametrar; för cellerna som blev exponerad för magnetfältet och en för kontrollgruppen som inte blev exponerad för magnetfältet utan stod utanför MR rummet. MR kameran som

användes programmerades för en enkel sekvens där en magnetfältsgradient användes utan radiofrekvenspulsar. Gradienten hade ett toppvärde på 10 mT/meter med två olika vågformer 500 Hz och 75 Hz. Cellerna exponerades under 2 eller 24 timmar.

Slutsats: Resultatet visade vid cellcykelanalysen att ingen signifikant skillnad fanns mellan exponerade och icke exponerade i cellutveckling varken vid 75 Hz eller vid 500 Hz gradient sekvensen. Eventuella långsiktiga effekter av gradientfältsexponeringen som förökning genom celldelning, proliferation mättes. Ingen skillnad upptäcktes mellan grupperna oavsett vilken frekvens som användes utan antalet celler var lika mellan den exponerade och den icke exponerade gruppen. För att utesluta att några effekter kan förekomma utökade de tiden för exponeringen till 24 timmar. Men ingen signifikant skillnad mellan exponerade och icke exponerade celler fanns.

7. Diskussion

7.1 Metoddiskussion

Uppsatsförfattaren till denna litteraturstudie menar att antalet artiklar som inkluderas i denna studie är tillräcklig med tanke på den begränsade tiden som funnits till förfogande. Artiklarna söktes i två olika databaser genom att kombinera ett antal sökord som motsvarade syftet och frågeställningarna med studien. För att begränsa litteraturstudiens omfattning samt använda den senast publicerade forskningen inom ämnet, bestämdes att artiklarna skulle vara publicerade mellan åren 2000 – 2010. En del artiklar exkluderades på grund av att de inte motsvarade syftet och frågeställningarna, eller var utförda på fantomdockor, djur, bakterier samt review artiklar. Uppsatsförfattaren anser att detta inte inverkat negativ på resultatet då frågeställningarna rör effekten av ett statiskt magnetfält på människor och foster. Alla vetenskapliga artiklar som användes i studien är skrivna på engelska och har efter bästa förmåga översatts till svenska av uppsatsförfattaren.

7.2 Resultatdiskussion

7.2.1 Studier som undersöker vuxna människors upplevelser och effekter av exponering för ett statiskt magnetfält.

I alla tre studier av De Vocht et al. 2006; Weintraub et al. 2007 och Chakerers et al. 2003 som analyserats beskriver författarna hur människor upplever det att vistas i ett statiskt magnetfält. I studierna nämns yrsel, svindel och metallsmak i munnen som några av de mest förkommande symtomen i ett starkt magnetfält. I studien skriven av De Vocht et al. (2006) fann de att koncentrationsproblem, yrsel och metallsmak i munnen var signifikant mer frekvent hos de som arbetade på MR avdelningen än hos referensgruppen. En slutsats som De Vocht et al. (2006) drar i sin studie är att det inte fanns någon signifikans för att klagomålen skulle öka med ökad magnetfältstyrka. Något som motsägs av Weintraub et al. (2007) som i sin studie fann en statistisk signifikans för att det fanns ett samband mellan styrkan på magnetfältet och nya symtom. Skillnaden mellan dessa studier som uppsatsförfattaren kanske tror kan påverka resultatet är att De Vocht et al (2006) gjort en liten studie med få deltagare (N =18) i sin studie, medan Weintraub et al. (2007) använder sig av ett större deltagarantal (N=1023) i sin studie. Däremot säger De Vocht et al. (2006) i sin studie att antalen klagomål skulle ökade med tiden för exponeringen av magnetfältet, samt om individen rörde sig snabbt i magnetfältet så upplevde de mer besvär än individer som rörde sig långsamt. Detta styrks av Bergström & Jönsson (2007) som i sin bok anger att snabba variationer i ett magnetfält påverkar nervcellerna i kroppen och kan ge upphov till att individer ser ljusblixtar (magnetofosfen) något som även Weintraub et al. (2007) beskriver förekommer hos deltagarna i deras studie. Uppsatsförfattaren drar slutsatsen att fenomenen är oberoende av om det är magnetfältet som ändras kraftigt, eller om individen rör sig hastigt i magnetfältet för att dessa besvär ska uppkomma. Men De Vocht et al. (2006) studie är den enda av de tre studier som tog upp hur rörelsers hastighet påverkar individen i ett magnetfält.

I studien av Weintraub et al. (2007) analyserades om det fanns skillnader mellan män och kvinnor och symtomen. De fann att 56 % av totala antal fall med nya symtom var kvinnor och detta var oberoende av magnetfältsstyrkan. I sin studie drar författarna slutsatsen att kvinnor är mer magnetiskt känsliga än män. Uppsatsförfattaren har inte hittat någon mer litteratur under denna litteraturstudies arbetsgång som stödjer detta påstående.

Chakerers et al. (2003) har i sin studie gjort mätningar på män och kvinnor när dessa befunnit sig i och utanför ett magnetfält och jämfört resultaten. Mätningarna gjordes på deltagarnas vitalparametrar i magnetfältstyrka från 1.5 T till 8 T. De fann i sin studie inga signifikant avvikande vitalparametrar avseende på hjärtfrekvens, saturation, kroppstemperatur, eller diastoliskt blodtryck. Men Chakerers et al. (2003) fann en statistik signifikans för att det systoliska blodtrycket ökade med max 3.6 mmHg vid fältstyrkan 8 T. En jämförelse till detta, som de själva gör i sin studie, är att denna ökning är hälften så stor som när en individ satte sig upp från en tidigare liggande position.

Enligt Chakerers et al. (2003) gjorde de en uppföljningsstudie tre månader efter att deltagarna exponerats för magnetfältet för att se om symtom som yrsel, metallsmak i munnen och ögondarrningar fanns kvar, men de fick inga ofördelaktiga kommentarer om kvarstående symtom. I De Vocht et al. (2006) finner de inte heller några kvarstående symtom efter att deltagarna i studien exponerats för ett statiskt magnetfält. Weintraub et al. (2007) fann i sin undersökning att 86 % av deltagarna i studien inte upplevde några förändringar av att vistas i ett starkt magnetiskt fält.

7.2.2 Studier utförda på mänskliga celler och syftar till att framställa hur eller om cellen påverkades av exponeringen.

Uppsatsförfattaren fann i sin litteratursökning fyra studier (Pacini et al. 2003; Sakurai et al. 2009; Aldinucci et al. 2003; Monzen et al. 2009) som undersöker vad som händer på cellnivå hos mänskliga celler när de utsätts för ett magnetfält. Olika celler från kroppen användes i dessa studier, uppsatsförfattaren till denna studie fann inga studier som utförts på samma typ av celler vid litteratursökningen skede. Det kanske vore lättare att från ett sådant resultat kunna jämföra studierna och dra slutsatser utifrån detta.

Pacini et al. (2009) utförde sin studie på bindvävsceller som utsattes för ett statiskt magnetfält i en timme. Enligt författarna till studien användes en timmes exponering för att det enligt dem fanns bevis för att en diagnostisk undersökning pågår ungefär en timme. En timmes exponering var vad andra typer av celler i två andra studier också utsattes för (Sakurai et al. 2009; Aldinucci et al. 2003).

Pacini et al. (2009) fann i sin studie att cellen blev påverkad av exponeringen för magnetfältet. Exponerade celler hade en annan form och var signifikant mindre än icke exponerade celler. De fann också att vissa funktioner i cellen som medverkar till att mobilisera kalcium i cellen var signifikant nedsatt. Som ett resultat av den låga kalciumhalten fann författarna till denna studie att celldelningen var signifikant nedsatt, vilket då får sin förklaring menar författarna (a.a). En annan studie av Aldinucci et al. (2003) visade att Jurkat celler som blev exponerade för ett statiskt och varierande magnetfält hade lägre nivåer av kalcium i cellen och en signifikant lägre celldelningsförmåga efter en timmes exponering jämfört med kontrollgruppen.

Aldinucci et al. (2003) uppger vidare i sin studie däremot att deras magnetiskt exponerade lymfocytceller hade en kalciumnivå i cellerna som var signifikant högre jämfört med den jämförande icke exponerade kontrollgruppen. Här mättes celldelningen 24, 48 och 72 timmar

efter att cellerna blivit exponerade och ingen förändring sågs jämfört med kontrollgruppen. I Pacini et al. (2009) studie anger författarna att celldelningsförmågan hos bindvävsceller är betydligt nedsatt, något som även ses hos Jurkat cellerna som även hade låga koncentrationer av kalcium i cellen uppger Aldinucci et al. (2003) i sin studie. Men enligt författarna Pacini et al. (2009) kan den minskade celldelningen som framkom i studien förklaras av att mätningarna på DNA syntesen gjordes direkt efter att cellerna blivit exponerade och att denna nedsatta celldelning var tillfällig och uppkom på grund av nedsatta cellfunktioner. En ny mätning gjordes på cellerna sju dagar efter exponeringen och då fanns indikeringar att magnetfältets effekter på DNA syntesen var övergående och inte bistod med några permanenta skador på cellens livsduglighet (a.a). I Aldinucci et al. Studie (2003) finns inga uppgifter i deras studie som anger att de gjorde nya mätningar vid ett senare tillfälle.

Sakurai et al. (2009) studerade hur insulinproducerande celler påverkades av ett magnetfält. De fann i sin studie att vid 6 T ökade insulin 1 mRNA produktionen signifikant efter en timme och vid 30 minuters exponering var insulinproduktionen lätt förhöjd, men vid 10 T påverkades inte insulinproduktionen. Uppsatsförfattaren fann att förklaringen till detta kanske finns att finna i cellens kalciumnivå som framkommit i tidigare forskning. I två studier I.B. Leibiger, B. Leibiger, Moede och Berggren (1998) samt B. Leibiger, Moede, Uhles, Berggren och IB. Leibiger (2002) citerad i Sakurai et al. (2009) säger de att insulin mRNA produktionen regleras av den intracellullära kalciumkoncentrationen i cellen. Därför anser de att exponering för SMF kan öka kalciumkoncentrationen vilket i sin tur ökar insulin produktionen och insulin mRNA. Men cellens livsduglighet som vid celldelning och antalet celler påverkades inte av exponeringen. Enligt Sakurai et al. (2009) så frisätter cellen insulin till cellkulturen när den dör. Därför ville de ta reda på om en ökad insulinproduktion under inflytande av ett starkt magnetfält leder till att cellen dör, men fann i sin studie att detta inte bidrog till cellens död.

Monzen et al. (2009) utsatte sina hematopoetiska celler för längre tid 4 respektive 16 timmar vid 5 respektive 10 Tesla. Här fann författarna att de celler som exponerats för 10 Tesla under 16 timmar bildade signifikant fler kolonier av celler än de som inte blivit exponerade. De fann också att vissa gener fanns i signifikant högre nivåer än de som icke exponerats. Detta var den enda studien som testade hur cellerna påverkades av en långvarig inverkan av ett statiskt magnetfält.

7.2.3 Studier som anger hur foster och fosterceller påverkas av ett magnetfält.

Vadeyar et al. (2000) gjorde en liten studie där gravida kvinnors fosterljud spelades in. De fann i sin studie att fostrens hjärtfrekvens eller hjärtrytm inte förändrades under exponeringen från magnetfältet. Uppsatsförfattaren finner en begränsning i denna studie på grund av att den endast utfördes på tio kvinnor samt att styrkan på magnetfältet som användes vid försöket endast var 0.5 T. Styrkan på de magnetfält som används kliniskt idag och som författaren till denna litteraturstudie kommit i kontakt med på röntgenavdelningarna verkar vara från 1.5 T och uppåt. Så frågan är hur en sådan magnetfältstyrka skulle ha påverkat fostret.

En större uppföljningsstudie gjordes av Kok, De Vries, Heerschap & Van den Berg (2004) där 41 barn undersöktes efter att blivit exponerade för ett statiskt magnetfält på 1.5 T under fosterstadiet. Exponeringen skedde när fostren var i tredje trimestern och alla barnen hade innan exponeringen skett haft en normal fosterutveckling. Det man fann var att den medicinska dokumentationen visade att alla 41 barn var vid god hälsa. Neurologiska tester och den sociala och motoriska utvecklingen ansågs normal hos alla barnen utom två. Hos ett av dessa barn sågs en försämrad artikulation vid 2 ½ års ålder, men den motoriska utvecklingen var normal. De säger i sin studie att med ökad träning verkar en bestående försämring inte vara trolig. Hos det andra barnet fanns ett avvikande gångmönster och detta ansågs bero på platta fötter och extremt vinklade knän. Barnet låg även efter i sin språkutveckling vid 2 års ålder. Ingen orsak till språkproblemen har hittats utan barnet har fortsatt utvecklat sitt språk men ligger lite efter jämnåriga barn.

Uppsatsförfattaren anser att det är svårt att dra några slutsatser av dessa två studier och sannolik behövs det göras fler studier. Eventuella biverkningar som kan visa sig i vuxen ålder är något som också borde tas med i beräkning och som är svårt att säga något om nu. Då behövs fler studier under längre tid för att se eventuella effekter av magnetfältets påverkan på foster.

Uppsatsförfattaren till denna studie fann en studie av Rodegerdts et al. (2009) där de ville utvärdera effekterna på fostercellstillväxten av ett snabbt förändrat magnetfält. Här sågs ingen signifikant skillnad i celldelning eller antalet celler mellan den exponerade och den icke exponerade gruppen av celler. Dessa är liknande resultat som framkommit i Sakurai, Terashima och Miyakoshi (2009) studie som de gjorde på insulinceller.

Rodegerdts et al. (2009) provade i sin studie om en utökad exponeringstid kan påverka effekterna hos cellerna. Så de utökade exponeringstiden till 24 tim. Inte heller här fann de att det var någon skillnad mellan exponerade och icke exponerade celler. Inte heller Monzen et al. (2009) som utförde tester vid 5 T såg någon påverkan oavsett antalet timmar, utan här sågs en påverkan på vissa generna när de kom upp i 10 T och exponeringstid 16 timmar.

8. Slutsats

Vanligaste symtomen är yrsel, svindel och metallsmak i munnen av att vistas i ett magnetfält och även hur snabbt människorna rör sig i ett magnetfält kan inverka på hur mycket symtom de upplever. I en studie kom de till slutsatsen att kvinnor är mer magnetiskt känsliga än män var i samma studie. Det är ett intressant resultat som bör analyseras mer i fler och större studier vad anledningen till detta kan bero på. Magnetfältet påverkar även cellerna, olika typer av celler blev påverkade på olika sätt av att vistas i ett magnetfält. Nästa fråga för forskningen att ta reda på är om det är en tillfällig övergående påverkan som är helt ofarlig för cellen och människan, eller om det finns en risk för att permanenta skador kan visa sig på cellens funktion och på individen med tiden. Hos barn som utsätts för magnetfält i fosterstadiet har ännu inte några biverkningar setts än. Men om dessa barn påverkats kan det visa sig senare i livet och fortsatt uppföljning krävs, då det står klart att vissa celler påverkas vid exponering för ett magnetfält.

9. Referenser

Aldinucci, C., Garcia, J.B., Palmi, M., Sgaragli, G., Benocci, A., Meini, A.,…Pessina, G.P. (2003). The effect of exposure to high flux density static and pulsed magnetic fields on lymphocyte funktion. *Bioelectromagnetics, 24,* 373-379.

Aspelin, P., & Petersson, H. (2008). *Radiologi.* Lund: Studentlitteratur..

Berglund, E., & Jönsson, B-A. (2007). *Medicinsk Fysik.* Lund: Studentlitteratur.

Chakeres, D. W., Kangarul, A., Boudoulas, H., & Young, D.C. (2003). Effect of static magnetic field exposure of up to 8 Tesla on sequential human vital sign measurements. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 18,* 346 – 352.

De Vocht, F., Van Drogge, H., Engels, H., & Kromhout, H. (2006). Exposure, Health complanints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 23,* 197 – 204.

De Wilde, J. P., Rivers, A. W., & Price, D. L. (2005). A review of the current use of magnetic resonance imaging in pregnancy and safety implications for the fetus. *Progress in Biophysics and Molecular Biology, 87,* 335-353.

Kok, R. D., de Vries, M.M., Heerschap, A., & van den Berg, P. P. (2004). Absence of harmful effects of magnetic resonance exposure at 1.5 T in utero during the third trimester of pregnancy: a follow – up study. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 22,* 851 – 854.

Leibiger, IB., Leibiger, B., Moede, T., & Berggren P.O. (1998). Exocytosis of insulin promotes insulin gene transcription via the insulin receptor/PI-3 kinase/p70s6 kinase and CaM kinase pathway. *Molecular Cell, 1,* 933 – 938.

Leibiger, B., Moede, S., Uhles, S., Berggren, P.O., & Leibiger, IB. (2002). Short – term regulation of insulin gene transcription. *Biochemical Society Transaction, 30,* 312 -317.

Monzen, S., Takahashi, K., Toki, T., Ito, E., Sakurai, T., Miyakoshi, J., & Kashiwakura, I. (2009). *Bioelectromagnetics, 30,* 280 – 285.

Pacini, S., Gulisano, M., Peruzzi, B., Sgambati, E., Gheri, G., Bryk, S.G.,…Ruggiero, M. (2003). Effects of 0.2 T static magnetic field on human skin fibroblasts. *Cancer Detection and Prevention, 27,* 327 – 332.

Raadu, G. (2006). SOSFS hälso- och sjukvårdslagen 1982:763. *Författningshandboken, 2006.* Stockholm: Liber.

Rodegerdts, E. A., Grönewäller, E. F., Kehlbach, R., Roth, P., Wiskirchen, J., Gebert, R., Claussen, C. D., & Duda, S. H. (2000). In vitro evaluation of teratogenic effects by time – varying MR gradient fields on fetal human fibroblasts. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 12,* 150 – 156.

Sakurai, T., Terashima, S., & Miyakoshi, J. (2009). Effects of strong static magnetic fields used in magnetic resonance imaging on insulin – secreting cells. *Bioelectromagnetics, 30,* 1 – 8.

Shellock, F.G. (1992). Thermal responses in human subjects exposed to magnetic resonance imaging. *Ann NY Acad. Sci. Mar, 31(*649*),* 260-272.

Shellock, F.G. (2004). MR Procedures: Biologic Effects, Safety, and Patient Care. *Radiology, 232,* 635-652.

Thelander. E. (2000). *Grundläggande MR – Fysik.* Sverige.

Reddy, U.M., Filly, R.A., & Copel, J.A. (2008). Prenatal Imaging: Ultrasonography and Magnetic Resonance Imaging. *American Journal of Obstetrics and Gynecology, 112, (*1*),* 145-157.

Vadeyar, S. H., Moore, R. J., Strachan, B. K., Gowland, P. A., Shakespeare, S. A., James, D.,…Baker, P. N. (2000). Effect of fetal magnetic resonance imaging on fetal heart rate patterns. *American Journal of Obstetrics and Gynecology, 182,* 666 – 669.

Weintraub, M. I., Khoury, A., & Cole, S.P. (2007). Biologic effects of 3 Tesla (T) MR imaging comparing traditional 1.5 T and 0.6 T in 1023 consecutive outpatients. *Journal of Neuroimaging, 17,* 241 – 245.

Wolbarst, A.B. (2005). *Physics of Radiology, Second edition.* Madison: Medical Physics Publishing.

Övriga källor

http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2008/ssi-rapp-2008-12.pdf

Bilaga 1. Tabell 1. Redovisning av litteratursökningens tillvägagångssätt.

Datum för sökning	**Databas**	**Sökord**	**Träffar**	**Antal lästa abstract**	**Urval**
090125	Elin@dalarna	Magnetic resonance	932	0	0

		and exposure			
090125	Elin@dalarna	Magnetic resonance and exposure and effects	235	10	2
090125	Elin@dalarna	Magnetic resonance and exposure and effects and pregnancy	9	4	3

Bilaga 1. Tabell 2. Redovisning av litteratursökningens tillvägagångssätt.

090128	Wiley InterScience	MRI and biological effects	703	20	2
090128	Wiley InterScience	MRI + biological effects + fetus	72	10	2
090128	Wiley InterScience	MRI + biological effects + human	545	18	1