

令和 5 年 6 月 1 7 日現在

機関番号： 8 2 6 3 6

研究種目： 基盤研究(C)（一般）

研究期間： 2017 ~ 2022

課題番号： 1 7 K 0 6 3 3 5

研究課題名（和文）MRI撮像における胎児内SARと温度上昇の高精度評価

研究課題名（英文）High-precision assessment of fetus SAR and temperature rise in MRI imaging.

研究代表者

長岡 智明（Nagaoka, Tomoaki）

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波標準研究センター・主任研究員

研究者番号： 0 0 3 8 1 6 7 4

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000 円

研究成果の概要（和文）：近年、磁気共鳴画像（MRI）の高画質化や撮像法の高速化に伴って、妊娠中の胎児異常などの胎児評価に対するMRIの有用性が高く評価されるようになってきている。その一方で、MRI撮像時の妊娠女性および胎児を評価に対する電波ばく露量等を高精度に評価した報告は少ないことから、胎児を含む妊娠女性の解剖学的な構造を有した数値人体モデルを用いた電磁界シミュレーション（FDTD法）により、現在、臨床で利用されている1.5 Tおよび3 T MRI撮像時の胎児内の電波ばく露量等を明らかにした。また、妊娠初期から後期までを模擬した胎児の発育を考慮した妊娠女性モデルの開発法について取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで明らかにされていなかった、胎児MRI検査における胎児内の電波ばく露量を高精度に推定することである。MRI検査時の胎児の健康影響を考察するための必要不可欠な指標である高精度な電波ばく露量を示すことは、胎児MRI検査の安全性に担保につながることから、本研究ではMRI撮像時の胎児に電波ばく露量を明らかにした。本研究成果は医師や患者に胎児MRI検査の安全、安心を与えることにつながり、これまで以上に胎児MRIによる画像診断の進歩、発展に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：In recent years, the usefulness of magnetic resonance imaging (MRI) for assessing fetal conditions, such as anomalies, during pregnancy has been increasingly recognised due to improvements in MRI image quality and faster imaging techniques. However, there are few reports on the accurate assessment of electromagnetic energy absorption and other factors in pregnant women and fetuses during MRI scans. Therefore, using computational models of pregnant women with the anatomical structure including the fetus, electromagnetic field simulations (using the FDTD method) were performed to investigate the electromagnetic energy absorption in the fetus during 1.5T and 3T MRI scans commonly used in clinical settings. In addition, efforts have been made to develop a pregnancy model that considers fetal development from early to late stages.

研究分野： 生体電磁環境

キーワード： MRI 胎児 SAR FDTD法

1．研究開始当初の背景

一世代前の医療用磁気共鳴画像（MRI）は、撮像時間が長く、撮像画像も必ずしも高画質とは言えなかった。しかし、近年のMRIは高速撮像や高分解能撮像が可能になり、妊娠中の胎児異常などの胎児評価に対するMRIの有用性が高く評価されるようになってきている。

MRI撮像の際には、被写体にパルス状の電磁波が照射される。電磁波の周波数は、現在普及している1.5T MRIでは64 MHz、3T MRIでは128 MHzである。MRI撮像時の電磁波が胎児に与える影響についてはあまり知られていない。MRI撮像時の電磁波の影響に対しては、生体に対する熱作用の指標である比吸収率（SAR[W/kg]）や温度上昇を評価することが求められる。しかしながら、先行研究においては、申請者が2007年に開発、公開した妊娠26週モデルを用いた1.5T MRIや3T MRIでの撮像時のSARと温度上昇について、数件の報告しかない。

胎児は発育、成長に伴って胎児の解剖構造や羊水量も大きく変化する。また、母体の腹部形状も大きく変化していく。したがって、胎児の成長とSARおよび温度上昇の関係を明らかにすることは、非常に重要な課題であるが、これまで関連する研究報告はない。研究が進まなかった大きな要因は、定量評価が可能な高精度な胎児および妊娠女性モデルが近年になるまで、利用できなかったことにある。

2．研究の目的

MRI撮像時の胎児への電磁波エネルギー吸収量やそのエネルギー吸収に起因する胎児内の温度上昇を高精細な胎児を含む妊娠女性の数値人体モデルを用いて、電磁界シミュレーションおよび生体熱輸送方程式を解くことにより、胎児の発育、成長とばく露量の関係を明らかにすることである。また、既存の数値モデルを応用し、妊娠初期から後期までの胎児の発育、成長過程を模擬した胎児モデルおよび妊娠女性モデルの生成を開発することである。

3．研究の方法

胎児の大きさや胎児組織を含む妊娠時の固有組織の解剖学的構造は妊娠中の胎児の成長によって変化する。また、妊娠中の母体の腹部形状も胎児の成長によって変化する。そこで、MRIのRFコイルから放射した電磁エネルギーによる妊娠中の胎児の電波ばく露量（比吸収率：SAR[W/kg]）を高精度に評価するため、日本人女性モデルと健康な性情妊産女性ボランティアの胎児MRIデータに基づいて構築した胎児モデルを組み合わせ、解剖学的に精度の高い胎児と妊娠固有組織を有する妊娠女性モデル（図1）を本研究に利用した。利用したモデルは妊娠20週、26週、29週であり、モデルは2 mm × 2 mm × 2 mmのボクセルから構成されており、70種類以上の組織臓器から構成されている。

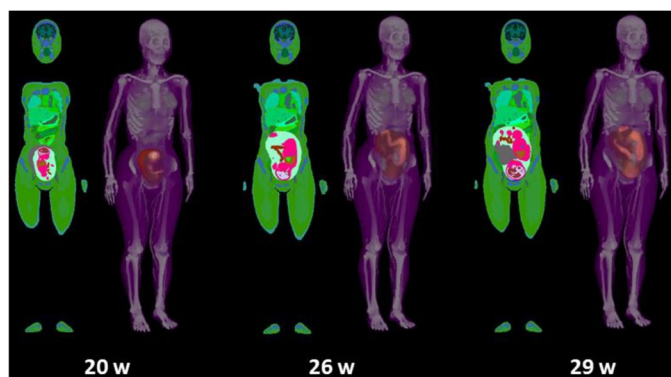


図1 妊娠女性モデル

本研究では、現在普及している1.5Tおよび3TのMRIを対象とした。これらのMRIのRF周波数はそれぞれ64 MHz、128 MHzである。MRIのRFコイルとして最も基本的なバードケージコイルを採用した。バードケージコイルはRFパルスの送信とNMR信号の受信両方に用いられることが多く、ハイパス型バードケージとローパス型バードケージコイルに分類される。ここでは、ハイパス型バードケージコイルを採用し、作成したバードケージコイルは図2に示すように2つのエンドリングと8本のエレメントで支持する構造です。このケージは直径600 mm、長さ700 mmとした。また、バードケージコイルの外側へのRFエネルギーの放射を抑えるため、コイルは完全な電気伝導体としてモデル化した直径740 mm、長さ1260 mmのRFシールドで囲んだ。64 MHzのバードケージコイルのコンデンサーは15.27 pF、128 MHzでは3.87 pFとした。さらに、この解析においては、2つの給電点を設定し、2つのポート間の位相差は90度とした。なお

このバードゲージモデルは、電磁界解析ソフトウェア XFDTD 7.6 を用いて作成した。このコイル内に妊娠女性を配置し、XFDTD を用いて、SAR を算出した。

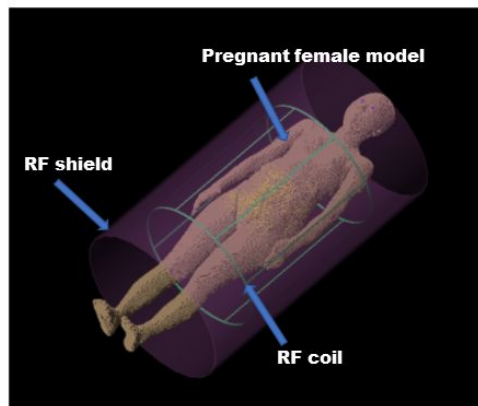


図 2 解析モデル

4 . 研究成果

図 3(a) , (b)に 64 MHz と 128 MHz の妊娠女性モデルの全身平均 SAR と胎児平均 SAR を示す。この結果はバードゲージコイルからの放射電力を 1 W として SAR を算出している。この結果から、両周波数、すべての妊娠週で胎児平均 SAR は妊娠女性の全身平均 SAR を超えないことを確認した。また、64 MHz では全身平均 SAR および胎児平均 SAR は妊娠週が進むにつれて増加する傾向を示したが、128 MHz では全身平均 SAR は逆に少なからず減少傾向を示した。さらに 64 MHz の SAR は 128 MHz と比較して 1/10 以下であることも確認した。本研究では、これまで明らかにされていなかった、胎児 MRI 検査における胎児内の電波ばく露量を高精度に推定した。MRI 検査時の胎児の健康影響を考察するための必要不可欠な指標である高精度な電波ばく露量を示すことは、胎児 MRI 検査の安全性に担保につながり、本成果は医師や患者に胎児 MRI 検査の安全、安心を与えることにつながり、これまで以上に胎児 MRI による画像診断の進歩、発展に寄与した。

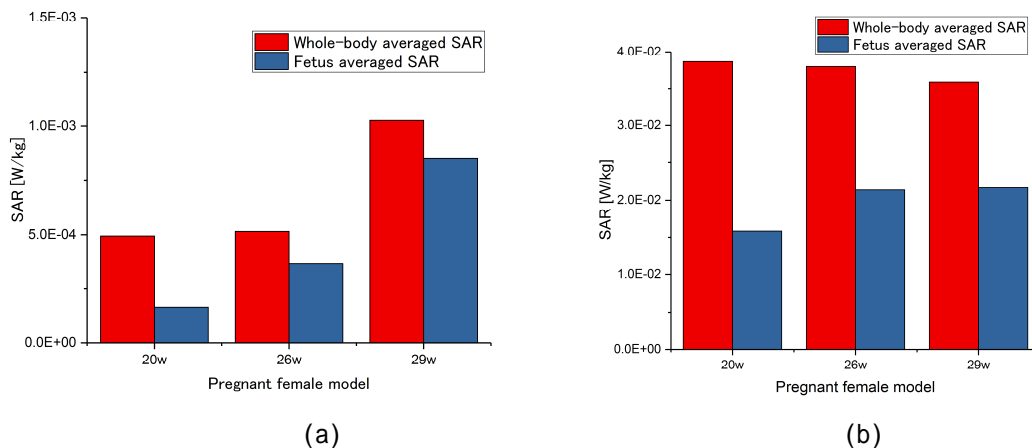


図 3 妊娠女性モデルの全身平均 SAR および胎児平均 SAR. (a) 64 MHz、(b) 128 MHz.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1 . 発表者名 長岡 智明
2 . 発表標題 GPU Acceleration of Largescale Multiphysics Simulation Coupled Electromagnetic and Thermal Fields
3 . 学会等名 23rd International Conference on Applied Electromagnetics and Communications (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 長岡 智明
2 . 発表標題 Temperature Rises in Human Fetuses in Second and Third Trimesters of Pregnancy during MRI
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 長岡 智明
2 . 発表標題 SAR Calculation in Human Fetuses in the Second and Third Trimester of Pregnancy during MRI
3 . 学会等名 2nd URSI Atlantic Radio Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	-------------------------------	-------------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------