

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24790601

研究課題名(和文)磁界と動作のリアルタイム検出システムを用いた職業磁界ばく露の低減に関する研究

研究課題名(英文)Studies on the reduction of occupational exposure to magnetic fields using real-time motion and magnetic field recording system

研究代表者

山口 さち子(Yamaguchi-Sekino, Sachiko)

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・健康障害予防研究グループ・主任研究員

研究者番号：30548954

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：磁気共鳴画像装置(MR装置)周辺では漏洩磁界により作業者に一時的なめまい等の感覚機能変化が生じるが、現状で推奨される回避アクションは装置周辺での体動制御のみである。本研究ではより遵守が容易な磁界ばく露低減手段の提案としてMR装置近傍に30 cmの立ち入り制限区間を設け、磁界センサによるばく露静磁界レベル計測やモーションキャプチャによる作業能率への影響評価を行った。その結果、頭部MR検査時の最大ばく露磁界値は対策によって25%低下したものの、速度、滞在時間、移動距離等に有意な変化が観察されなかった。これらの結果により、本対策は作業能率に影響させることなくばく露低減に有効であることが示された。

研究成果の概要(英文)：Health effects due to the exposure to stray fields from magnetic resonance imaging (MRI) system are concerning problem in MR workers. However, the only recommended action to prevent these effects is to control body motions around the scanner. The present study focused on the setting of 30 cm approach restricted area in 3 T MRI system room as an action for the reduction of occupational static magnetic fields (SMFs) exposure. Subjects were requested to perform the mock motion of head MR examination with or without keeping this action. Exposed fields and motions were analyzed using real-time motion and magnetic field recording system. The maximum exposed SMFs were decreased in 25% by this action and motion analysis indicated that work performances such as velocity, sojourn time, and moving distance have not changed significantly. These results suggest that this action is applicative for MR workers to reduce occupational SMF exposure without remarkable changes in work performances.

研究分野：社会医学

科研費の分科・細目：衛生学

キーワード：MRI 静磁界 モーションキャプチャ

1. 研究開始当初の背景

磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging: 以下、MRI) は数テスラ (地磁気の数十万倍) の高い静磁界を利用した検査手法で、医学被ばくのない検査であることから、国内千台以上の導入実績のある身近な医学検査である。しかしながら、撮影時以外にも装置から磁界が発生しており、MR 検査を請け負う MR 業務従事者 (主に診療放射線技師、放射線科医など) は検査準備のたびに漏洩磁界にばく露される。このような磁気共鳴画像装置 (MR 装置) の特性のため、MR 装置近傍で作業を行うと、不均一な漏洩磁界中での導電体である人体移動は体内に活動電位を超える誘導電流が生じることとなり (ファラデーの法則)、一時的な眩暈、吐気、頭痛などの神経症状が報告されている [1] [2]。

MR 装置の磁界は、撮影を行うボア中心部で最も高く、ボア末端付近でアクティブシールド (撮像に必要な静磁界と逆極性のキャンセルコイル) の作用により大幅に減衰される。したがって、MR 検査業務従事者の作業環境としては、ガントリ (装置本体) 付近には局所的に強い漏洩磁界が存在するが数メートルで地磁気の数倍程度まで減衰することとなる。過去の研究で、このガントリ周辺の局所的な漏洩磁界 (磁界のホットスポット) での作業者の体動が眩暈、吐気等の感覚機能変化の原因となっていることが知られている [2]。

MR 装置は高額医療機器のため、漏洩磁界低減のための装置置き換えなどの発生源対策は不可能である。したがって、現実的にはこの磁界のホットスポットでの作業者の体動制御が唯一の磁界ばく露による感覚機能変化の防止手段であるが、労働衛生の視点からはこのような作業者の体動制御の遵守状況を管理することが容易でない。このため、作業者の遵守が容易であり、かつ、磁界ばく露の低減に効果的な作業動線やばく露低減手段を検証が必要である。また、MR 検査業務従事者の職業磁界ばく露の状況自体も不明な点が多いため、実態調査が待たれている。

[1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS. Health Physics Society 2009; 96:504-514

[2] F. de Vocht, et al., "J. Magnetic Resonance Imaging, vol. 23, pp. 197-204, 2006

2. 研究の目的

本研究では、磁界と動作のリアルタイム検出システムを用いて、高い職業磁界ばく露を受ける集団である MR 検査業務従事者の職業磁界ばく露の実態解明と、作業者の遵守が容易であり、かつ、磁界ばく露の低減に効果的

な作業動線やばく露低減手段の検証を行う。

3. 研究の方法

本研究では、MR 装置より 1メートルに存在する高い漏洩磁界に着目し、この磁界のホットスポット内のばく露を低減する作業動線及びばく露磁界について検討を行った。

具体的には、磁界と動作のリアルタイム検出システムの構築、作業環境及び検査技法ごとの職業磁界ばく露量の調査、ばく露磁界低減策の提案と、実施時のばく露磁界の変化及びモーションキャプチャによる作業能率 (移動距離、移動速度、平均滞在時間など) 変化の検討、を行った。

本研究の被験者実験は、独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 (承認番号: H22007) 及び独立行政法人 国立帳医療研究センター (承認番号: 530-2) の承認のもと実施した。

磁界と動作のリアルタイム検出システムの構築

カメラシステムは、モノクロ反射式カメラ GE60 (株式会社 Library 社製) を用いた。その他の仕様としては、記録インターバル: 30 fps、分解能: 640 × 480 pixel、測定範囲: 170 cm × 70 cm × 180 cm (X, Y, Z) であり、キャプチャーソフトは Capture-Ex (株式会社 Library 社製)、動作解析ソフトは MoveTr3D (株式会社 Library 社製) を使用した。カメラは最終的に MR 検査室内で図 1 のように設置した。キャプチャー範囲にカーボンファイバー製測量ポールを設置し、キャリブレーションを行った (図 1)。

磁界測定は、3 軸ホール素子磁界計測器 (THM1176、Metrolab 社製) を使用した。測定装置は 3 T まででキャリブレーション済みのものを使用した。記録インターバルは 0.07 - 0.1 s、磁界分解能は磁界強度に依存し (Up to 100 mT (0.3 mT)、Up to 500 mT (0.5 mT)、Up to 3.0 T (3 mT)) オートレンジで使用した。

カメラシステム及び磁界計測器は外部トリガによって同期させた。



図 1 カメラシステム

作業環境及び検査技法ごとの職業磁界ばく露量の調査

本研究では、独立行政法人 国立長寿医療研究センターの 3 TMR 装置 (Siemens 社製) を使用した。

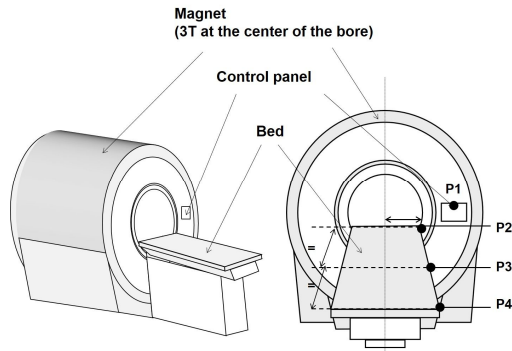


図2 MR装置の漏洩磁界の測定箇所

作業環境調査として、装置周辺の作業領域の漏洩磁界マップを作製した。測定範囲を図2に示す。P1は装置本体付属のコントロールパネル部分、P2は寝台末端（装置側）、P4は寝台末端（検査室出口側）、P3はP2及びP4の中間地点とした。P1については1点、P2-4については、それぞれ寝台縁部分と縁より30 cm離れた部分について各2点測定を行った。漏洩磁界の測定条件は、サンプリングレート100 Hz、100回平均（1秒間）を60秒ずつ実施し、平均値を算出した。

事前の聞き取り調査より、被験者に依頼する作業内容を、1) 頭部検査、2) 体幹・四肢検査、3) 患者誘導の3種類とした。MR検査業務従事者（診療放射線技師）から被験者を選定し、頭部、胸部及び腹部の3点に磁界測定器を装着してもらい、上記3種類の作業内容について模擬動作を依頼した。各動作について、被験者一人当たり最低4回依頼した。磁界測定のサンプリングレートは100 Hzとした。

ばく露磁界低減策の提案と、実施時のばく露磁界の変化及びモーションキャプチャによる作業能率変化の検討

の結果より、装置より30 cmの立ち入り禁止区間を設定することによる、ばく露磁界低減策を提案した（図3A）。

と同様に被験者を選定し、最も磁界ばく露が高くなる頭部MR検査について、頭部に磁界計測器を装着してもらい計測を行った（図3B）。被験者には、1) 頭部MR検査（通常）2) 頭部MR検査（低減策実施）の二通りの模擬動作を依頼した。各動作について、被験者一人当たり5回依頼した。被験者は磁界計測器を装着した状態で、のカメラシステム中で模擬動作を行ってもらい、実施時のばく露磁界の変化及びモーションキャプチャによる作業能率（移動距離、移動速度、平均滞在時間など）変化を検討した。磁界測定のサンプリングレートは100 Hzとした。

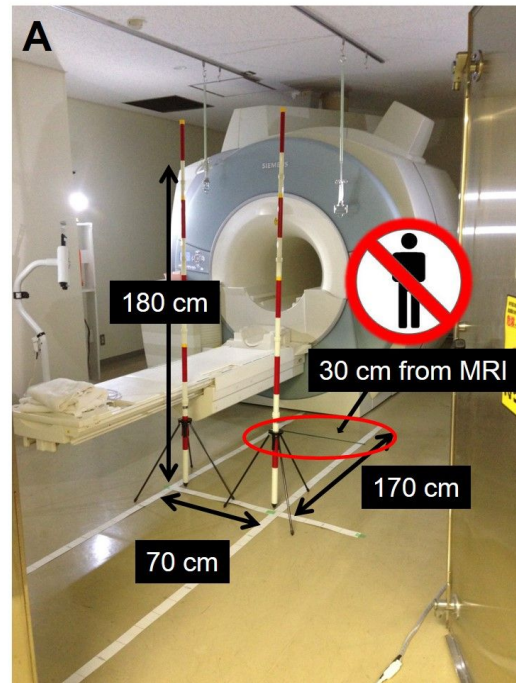


図3 A：磁界低減策の概要、B：被験者実験

4. 研究成果

表1にMR装置からの漏洩磁界の値を示す。今回の作業環境では検査ベッド先端から0 cmで最も高い漏洩磁界（ 373 ± 2 mT）を記録した。

表1 本研究のMR装置からの漏洩磁界

	edge of the bed	30 cm away from the bed
P1	169±6	
P2	373±2	132±4
P3	49	33
P4	9	7

検査技法ごとの職業磁界ばく露量について、頭部、胸部、腹部の3点に磁界計測装置を装着した状態で測定を行った。1) 頭部検査、2) 体幹・四肢検査、3) 患者誘導の模擬検査動作時のばく露磁界を計測したところ、ばく露磁界の最大値平均は、頭部検査における頭部部位で最も大きく(651±145 mT、N=13)、体幹・四肢検査の腹部で最も低かった(162±67 mT、N=8)。

続いて、上記結果を元に装置より30 cmの立ち入り禁止区間を設定することによる、ばく露磁界低減策を提案した。最もばく露磁界の高い頭部に磁界計測器を装着した状態で、最もばく露磁界の高くなる検査技法である頭部MR検査の模擬動作を依頼し、磁界計測とモーションキャプチャによる動作追跡を行った。その結果、1) 頭部MR検査(通常)、2) 頭部MR検査(低減策実施)のばく露磁界は、予想通りいずれの被験者においても、30 cmの立ち入り制限区域を設けることで、頭部MR検査時における頭部磁界ばく露の最大値は、約25%低減した。(図4)。また、頭部の移動範囲がMR装置から100 cm以内について、動作解析を行った。モーションキャプチャの結果では、その際の移動速度、移動距離、滞在時間(100 cm以内)など、作業能率に影響を与えると考えられる因子には変化は観察されなかった。(表2)。

また、ICNIRP(国際非電離放射線防護委員会)の2009年静磁界ばく露ガイドラインや2010年低周波ばく露ガイドラインのように、ばく露対象について管理あり(専門知識があり、ばく露による生体機能変化や体動制御などばく露対策について知識がある集団)と、それ以外の集団(ただし、公衆は除く)で異なるばく露制限値が設けられているものがある。そこで関連研究として、MR検査の安全に関する認知度について、診療放射線技師以外の医療職の集団を対象として調査した。その結果、MR装置が磁界を利用していることについては知識があるものの、スキャン中以外にも常に漏洩磁界が存在していることについては認知度が十分でなかったことから、このような認知状況を理解した上でガイドライン適用を考慮すべきであると考えられる。

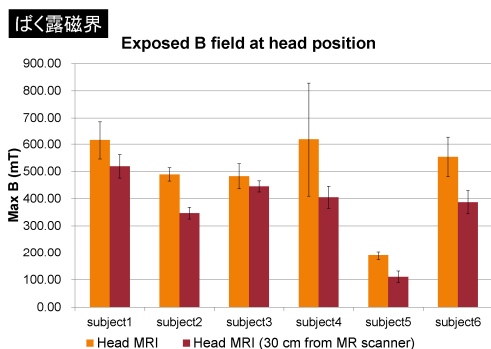


図4 頭部MR検査(通常)頭部MR検査(低減策実施)のばく露磁界

表2 頭部MR検査(通常)頭部MR検査(低減策実施)の、作業能率の変化

* 通常の頭部MR検査

** 30 cmの立ち入り制限区間ありの技法

*** MR装置より1メートル以内の滞在時間

		Head MRI(1) *(N=18)	Head MRI(2)** (N=17)
X-axis (cm)	Max	10.2	18.9
	Min	100	100
Y-axis (cm)	Max	-26	-23.2
	Min	57.7	32.4
Z-axis (cm)	Max	136.7	134.9
	Min	178.7	181.4
Moving distance (cm)	Max	78.9	78.3
	Min	628.1	596.5
Velocity (cm/s)	Max	0	0
	Min	151.3	149
	Ave.	11.6	10
Sojourn time (s)	Max	25	20.7
	Min	36.1	33.9
	Ave.	29.3	26.8

本研究では、MR検査業務従事者の職業磁界ばく露の状況を明らかにし、頭部MR検査時の頭部磁界ばく露が最も職業磁界ばく露が高いことを示した。また、発生源対策が実質不可能であり、作業者の体動制御が唯一の磁界ばく露による感覚機能変化の防止手段であるMR検査準備について、30 cmの立ち入り禁止区間を設定することで最大ばく露磁界を約25%低減可能であることを示した。また、この際の移動速度、移動距離、滞在時間など作業能率には変化がなく、本低減策は作業者の遵守が容易であり、かつ、磁界ばく露の低減に効果的な作業動線やばく露低減手段であると考えられる。ただし、今回は患者のいない実験環境のため、より実務に近い形で再評価する必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Sachiko Yamaguchi-Sekino, Toshiharu Nakai, Shinya Imai, Shuhei Izawa, Tsutomu Okuno (2013) Occupational exposure levels of static magnetic field during routine MRI examination in 3 T MR system. *Bioelectromagnetics*, 35, 70-75.

山口さち子, 中井敏晴 (2014) 医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査. 労働安全衛生研究 7, 39-46.

〔学会発表〕(計7件)

山口さち子 (2012) MR 作業従事者の職業磁界ばく露と, 安全衛生に関する意識調査. 生体電磁界解析・計測に関する公開討論会. (要旨集の配布なし).

山口さち子 (2013). MR の安全性. 社団法人日本磁気共鳴医学会基礎講座. (要旨集の配布なし).

山口さち子 (2013) 生物学的影響. 日本磁気共鳴医学会第 16 回講演会「MRI 安全性の考え方」. (要旨集の配布なし).

山口さち子, 中井敏晴 (2012) 磁気共鳴画像装置 (MRI) の安全に関する意識調査. 第 74 回日本磁気共鳴医学会大会, 日本磁気共鳴医学会雑誌 32 (Suppl.), 306.

Sachiko Yamaguchi-Sekino (2013) Development of measurement system for motion and magnetic field – a potential safety training tool for MRI use, BioEM2013, Proceedings, Book of Abstract, p54-55.

山口さち子 (2014) 電磁界と生体影響. 建築電磁環境に関する研究発表会 2014. 資料集 p23-37.

山口さち子 (2014) 立ち入り禁止区域の設定による MR 検査準備中の職業磁界ばく露の変化について. 電磁界の人体防護に関わる評価技術動向調査専門委員会. (要旨集の配布なし).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口さち子 (YAMAGUCHI-SEKINO, Sachiko)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所
健康障害予防研究グループ

研究者番号: 30548954

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし