

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22790555

研究課題名（和文） 携帯型磁気センサとモーションキャプチャーによる強磁場環境下の神経刺激リスク評価

研究課題名（英文） Risk assessment of magnetically induced neuronal stimulation by using portable magnetosensor and motion capture 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

研究者番号：30548954

研究成果の概要（和文）：本研究では、高磁界存在下でも撮像が可能となるよう改良したカメラシステムと、頭部、胸部、腹部に携帯型磁界センサを装着できる実験衣からなる実験系を用いて、磁気共鳴画像装置（MR 装置）付近で働く MR 検査作業者のばく露磁場の実態調査を行った。頭部検査の疑似動作では体幹部は磁界ばく露は低く変動幅も少ないが、頭部については磁界ばく露も高く、変動幅が大きく神経刺激リスクが高いことが示された。

研究成果の概要（英文）：Risk assessment of magnetically induced neuronal stimulation in MR scanner room was performed using magnetic-compatible camera system and multipoint (head, chest, and stomach) measurements of the exposed magnetic fields by portable magnetometers. Subjects were asked to do “head MR examination” processes. Results showed that the higher risk of magnetically induced neuronal stimulation was expected at head position.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会医学、衛生学

キーワード：産業衛生

1. 研究開始当初の背景

近年、数テスラ以上の高磁界利用が拡大するにつれて、高磁界環境下での体動が原因で体内の神経が刺激されるリスクが懸念されるようになった。医療診断装置として広く普及している MRI (magnetic resonance imaging: 以下 MR 装置と記載) は撮像に高磁界を利用しており、装置が設置されている MR 検査室は MR 装置から発生する局所的、かつ不均一な漏洩磁界が存在する特殊な作業環境である。

MR 装置から発生する漏洩磁界は、ミリテスラ～テスラオーダーの不均一磁界であり、その中で人間移動すると、体を受ける磁界が時間的に変化する。この時ファラデーの法則によって体内に電流が誘起され、その結果、活動電位の閾値を超過した場合、めまい、金属味感といった神経刺激症状が生じる。具体的には、検査室内で作業を行う MR 作業従事者（主に、MR 装置の扱いに習熟した診療放射線技師など）は、患者の介助や撮像準備を行う際に、最大で数テスラ（地磁気の数万倍

の強さ)の漏洩磁場にばく露され、一時的なめまい、吐気、頭痛などの神経症状が生じる場合があるとの報告がある。

国内では労働者を対象とした磁界ばく露規制はないが、欧州では近年労働者の電磁界ばく露規制(Directive 2004/40/EC)が採択されるなど職業的電磁界ばく露の関心は高い。MR作業従事者は患者よりもばく露頻度が高まるかに高いことから安全性評価が非常に重要である。これまでMR検査業務の労働環境は殆ど目が向けられてこなかったが、安心してMR作業従事者が業務を遂行するためにも、作業環境調査や、高磁界環境下での磁界ばく露に関するリスク評価を行い、ばく露対策の提案が求められている。

高磁界存在下での作業による神経刺激症状は、漏洩磁界の分布と作業者の動作内容に依存するため、神経刺激リスクの検討には磁界測定と動作内容の記録が同時に必要となる。本研究では、携帯型磁界センサとモーションキャプチャーを使用した、動作解析と磁界ばく露の調査を提案する。

2. 研究の目的

本研究では、高磁界存在下での作業の例としてMR検査業務に注目し、携帯型磁界センサとカメラシステムを利用した、動作解析と磁界ばく露の調査を行い、神経刺激リスク評価を行う。

また、今後の磁界ばく露対策を検討するために必要となるMR検査の作業内容や作業環境についても併せて検討を行う。

3. 研究の方法

(1) MR検査業務の作業環境の調査

予備検討として、MR検査室で想定される作業内容に関するアンケート調査を行った。続いて、臨床検査業務における具体的な作業内容を記録し、同時に聞き取り調査を行った。

(2) 装置の構築

①携帯型磁界センサ

ホール素子型磁界センサ(THM1176:metrolab社)を使用した。センサは事前に3Tで校正されており、本研究での使用レンジに適している。測定条件は、サンプリングレート:1024 Hz、周波数レンジDC1~kHz、分解能0.3-3 mTであった。

この磁界センサ3台を頭部、胸部、腹部に装着し(図1)、各センサの端子をPCのUSB端子に接続し、付属のソフトウェアで磁界の記録を行った。

②カメラシステムの構築

動作の記録にはカメラ間の同期を可能とするカメラシステム(ギガネットカメラシステムGE60W:ライブラリー社製)を使用し

た。カメラシステムは2台のモノクロカメラ(最大120 fps)から構成され、各カメラは光源が併設されている。カメラ間は外部システムにより同期されており、得られたデータはパソコン上で記録を行った。

金属体の持ち込みが原則禁忌のMR室内での撮影を行うために、カメラと光源、ケーブル以外の部品について、アクリルや塩化ビニル素材による非磁性化を行った。

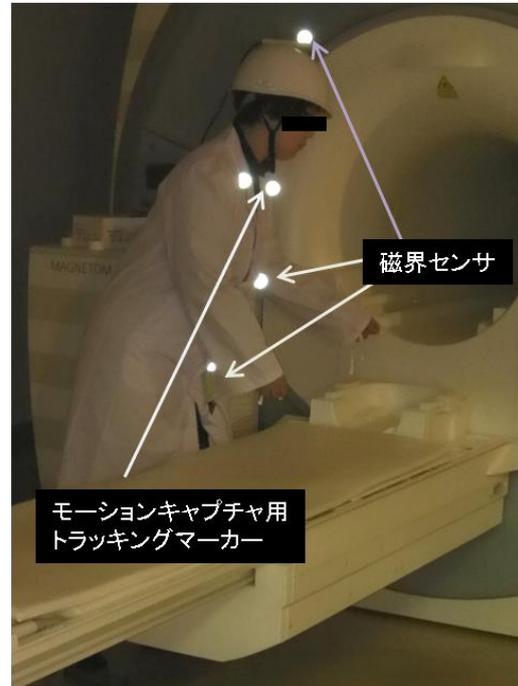


図1 磁界の多点計測とモーションキャプチャーの実施。頭部、胸部、腹部に磁界センサを装着し、その上に動作解析用のトラッキングマーカーが付けられている。

③磁界センサとカメラシステムの同期

磁界センサとカメラについて、外部スイッチによる同期システムを作製した。これにより、磁界センサ間、カメラ間の同期だけでなく、磁界センサ-カメラ間の時間的同期が可能となった。

(3) 携帯型磁界センサとカメラシステムを利用した、動作解析と磁界ばく露の調査

作製した装置を3テスラMR装置を保有する協力研究機関に設置した(図2)。検査室の形状から、装置右側と検査室入口にカメラを設置したため、装置左側の撮像域で被験者に動作を依頼した。

動作解析を行うために、光学トラッキングマーカーを使用した。マーカーは磁界センサの上に装着され、磁界の検出位置と記録ポイントが一致する。解析は動作解析ソフトウェア(Move-tr/3D:ライブラリー社製)で行った。



図2：カメラシステムの構築

4. 研究成果

(1) MR 検査業務の作業環境の調査

予備検討として、MR 検査室で想定される作業内容に関するアンケート調査 (N=36) を行った (表 1)。この結果を参考に、本研究では臨床検査のみを解析対象とした。

続いて、3 テスラ MR 装置を有する国内 2 施設において、臨床検査業務における具体的な作業内容を記録し、同時に聞き取り調査を行った (N=76 件)。行動内容は主に、「説明」、「コイルセットアップ (患者誘導前)」、「患者誘導」、「寝台への臥床補助」、「コイルセットアップ、ポジショニング」、「寝台送りこみ」、「コイルセットアップ (患者誘導後)」に分類された。検査室への入退室ごとに記録を行ったところ、出現頻度の高いのは「患者誘導 (69 件/76 件)」「コイルセットアップ (36 件/76 件)」「ポジショニング (36 件/76 件)」であった。寝台への臥床補助は介助の必要な患者のみであった (29 件/76 件)。これらのことから、寝台送りこみとコイルセットアップ・ポジショニングが行われる MR 装置近傍での動作について重点的に解析できるよう、カメラ配置の参考とした。

撮像前	臨床検査のための物品搬入、設置 (例: 患者にかける毛布、ヘッドホン)	88.9%
	研究目的の物品搬入、設置 (ファントム設置、計測機設置)	72.2%
	検査台の準備 (例: 枕、クッション)	97.2%
	検査台までの患者の介助	94.4%
	患者への説明	94.4%
	床の配線等の整理	47.2%
撮像準備	物品をとり検査室内を移動	97.2%
	緊急用ブザーを渡す	94.4%
	患者への物品受け渡し (ヘッドホン、耳栓を渡す、又は設置する)	94.4%
	固定ベルトの設置	91.7%
	コイル設置	97.2%
	MR装置の操作	97.2%
	患者への施術 (造影剤の投与など)	63.9%
撮像後	検査台の清掃	80.6%
その他	打ち合わせ・討議	30.6%

表 1：MR 検査室で想定される作業内容

(2) 携帯型磁界センサとカメラシステムを利用した、動作解析と磁界ばく露の調査

3 テスラ MR 装置を有する協力研究機関において、被験者に頭部検査の疑似動作を依頼した。被験者に実験衣を着用してもらい、患者が脇にいと仮定し、一般的な頭部検査に必要なとなる手技を依頼した。この時の頭部、胸部、腹部の最大磁界強度は、頭部：368.37-661.02 mT (平均±S.D.: 499.54±148.66)、胸部：222.15-252.01 mT (平均±S.D.: 235.22±15.28)、腹部：128.31-187.85 mT (平均±S.D.: 160.88±30.16) であった (図 3)。体幹部の磁界ばく露は低く変動幅も少ないが、頭部については磁界ばく露も高く、変動幅が大きいことが実証された。

また、含まれる動作は、患者の誘導、寝台への臥床、コイルの設置と固定、耳栓の受け渡し、安全確認、寝台送り込みであった。磁界ばく露の測定と動作の記録が外部スイッチで同期していることから、最大点を示す動作を時間軸上で追跡していくと、頭部において最大磁界ばく露が観察されたのは、いずれもコイルの設置と固定の際であった (図 4)。詳細な動作との関連は現在解析中である。また、頭部検査以外についても今後実施を行っていく予定である。

2012年2月に国際非電離放射線防護委員会より、MR 検査従事者が対象となる静磁界中での動作を伴う場合のガイドラインの草案が提出され、草案の根拠に頭部ばく露があったが、本研究はそれを支持するものであると考えられる。

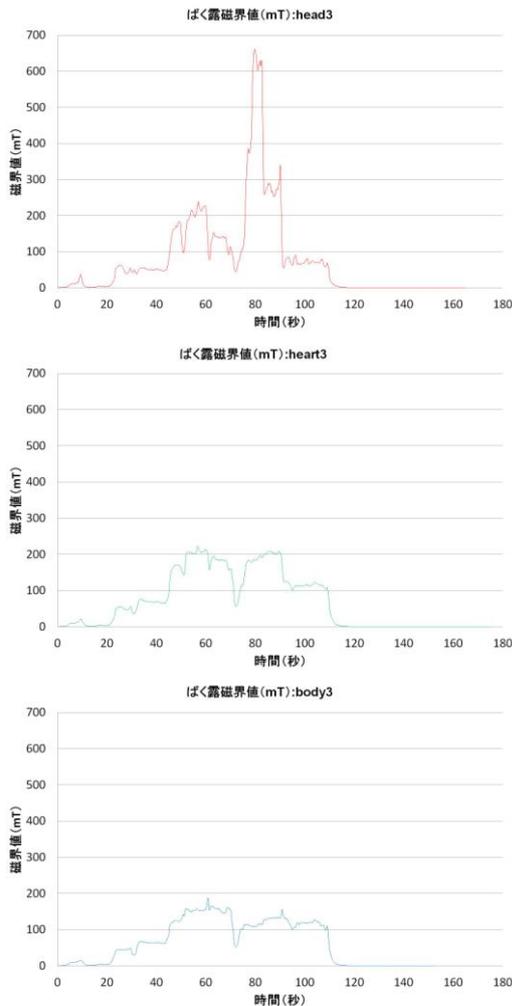


図3 頭部検査中のばく露磁界の例。上から頭部、胸部、腹部のセンサーの磁界の時間的変化を示す。最大ばく露磁界は、頭部の661.02 mTであった。

本研究では、高磁界ばく露による神経刺激影響のリスクを調査するために、MR装置とその操作者であるMR作業従事者に着目した。

第一にこれまで作業環境が明らかでなかったMR検査室での動作の調査を行い、臨床検査で多く行われる作業内容について明らかにした。

続いて、動画記録用カメラシステムと、多点（頭部、胸部、腹部）磁界計測を外部スイッチで同期させることで、動作と磁界記録の同期を可能とするシステムを構築した。頭部検査の疑似動作では体幹部は磁界ばく露は低く変動幅も少ないが、頭部については磁界ばく露も高く、変動幅が大きく神経刺激リスクが高いことが示された。これら結果は、2012年2月に国際非電離放射線防護委員会より提出された、MR検査従事者が対象となる静磁界中での動作を伴う場合のガイドラインの草案をサポートするものと考えられる。

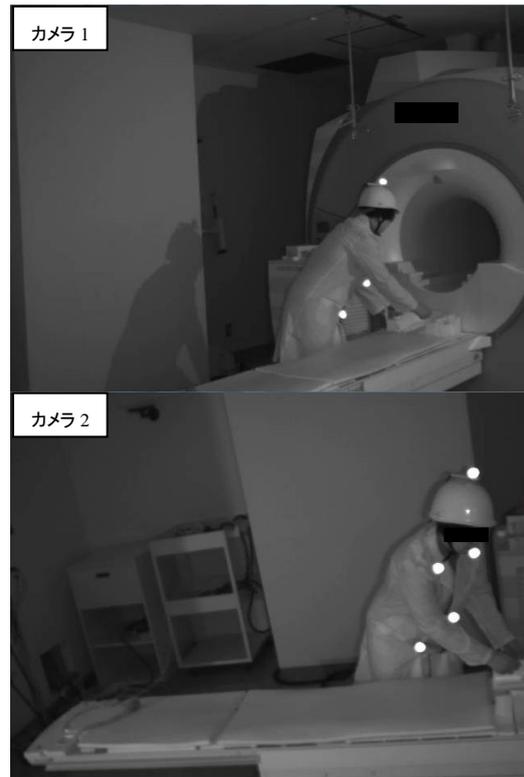


図4 頭部検査中の動画記録の例。

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）

[1] Sachiko Yamaguchi-Sekino, Masaki Sekino, Shoogo Ueno. "Biological Effects of Electromagnetic Fields and Recently Updated Safety Guidelines for Strong Static Magnetic Fields." *Magn Reson Med Sci*, Vol. 10., pp. 1-10 (2011), 査読有り.

[2] 山口さち子, 中井敏晴, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 黒田輝, 鎮西清行, 吉川典子, 川光秀昭, 原田潤太, 森川茂廣, 吉川宏起. 「MR検査の安全性についてのアンケート実施報告書」, *日本磁気共鳴医学会雑誌*, 31(3), 151-166, (2011), 査読有り.

〔学会発表〕（計11件）

[1] 山口さち子, 「MR検査室での作業者の磁場ばく露の調査－研究紹介」, *日本学術会議電気電子工学委員会 URSI 分科会 医用生体電磁気学小委員会*, 2010年5月, 東京.

[2] Sachiko Yamaguchi-Sekino, Masaki Sekino, Denis Le Bihan, "Measurement of actual exposed magnetic field to MR staffs in MR scanner room." *第38回日本磁気共鳴医学会大会*, 2010年10月, 横浜.

[3] 山口さち子, 関野正樹, 「パルス電磁場ばく露の骨盤内磁場・電流密度分布の推定」,

第 23 回バイオメディカル・ファジイ・システム学会, 2010 年 10 月, 北九州.

[4] 山口さち子, 佐々木毅, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 中井敏晴, 「MR 検査業務従事者が有するインプラントの認識動向に関する検討」, 第 39 回日本磁気共鳴医学会大会, 2011 年 9 月, 北九州.

[5] 山口さち子, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 中井敏晴, 「MR 検査の安全性についてのアンケート実施報告書」, 第 39 回日本磁気共鳴医学会大会, 2011 年 9 月, 北九州.

[6] 村中博幸, 土橋俊男, 山口さち子, 山田直明, 中井敏晴, 「MR 検査におけるインプラントに起因する問題とその対応」, 第 39 回日本磁気共鳴医学会大会, 2011 年 9 月, 北九州.

[7] 神谷直樹, 山口さち子, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 「MR 検査に由来する聴覚症状の訴えや防護措置に関する検討」, 第 39 回日本磁気共鳴医学会大会, 2011 年 9 月, 北九州.

[8] 神谷直樹, 山口さち子, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 中井敏晴, 「MR 検査に由来する聴覚症状の発生とその関連因子の研究」, 平成 23 年度日本生体医工学会東海支部大会, 2011 年 10 月, 名古屋.

[9] 山口さち子, 今井信也, 奥野 勉, 「不均一な高磁界における作業者の磁界ばく露の調査研究」, 第 51 回日本労働衛生工学会, 第 32 回作業環境測定研究発表会, 2011 年 11 月, 宇都宮.

[10] 中井敏晴, 山口さち子, 「東日本大震災における MR 装置の被災と MR 装置の安全管理」, (社) 日本工学アカデミー安全知の共有作業部会, 2011 年 2 月, 東京.

[11] 山口さち子, 今井信也, 井澤修平, 奥野勉, 「MR 作業従事者の職業的磁界ばく露」, 第 4 回医用生体電磁気学シンポジウム, 2011 年 3 月, 東京.

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