

201325010A

厚生労働科学研究費補助金

地域医療基盤開発推進研究事業

大震災におけるMRI装置に起因する
2次災害防止と被害最小化のための
防災基準の策定

平成25年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中井敏晴
平成26(2014)年3月

厚生労働科学研究費補助金

地域医療基盤開発推進研究事業

大震災におけるMRI装置に起因する
2次災害防止と被害最小化のための
防災基準の策定

平成25年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中井敏晴

平成26(2014)年3月

目 次

I. 総括研究報告

- 大震災におけるMR I 装置に起因する2次災害防止と
被害最小化のための防災基準の策定 -----1
中井敏晴

II. 分担研究報告

1. MR検査室における震災対策
- 防災対策と緊急対処のための2指針1提言について -----19
中井敏晴
(資料1) 災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針
(資料2) MR検査室の防災指針
(資料3) MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する調査報告
2. 東日本大震災によるMR装置の被害状況からみた発災後の
MR装置の復帰手順に関する検討 -----65
町田好男
3. 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
-MR装置の安全に関するリスクコミュニケーションと
震災時にすべき事項- -----85
山口さち子
4. 震災時のMR検査室の防災対策について -----103
磯田治夫
(資料1) 東日本大震災における緊急地震速報の調査項目
(資料2) 東南海地区におけるMR検査室の防災対策の現状調査アンケート
5. 超伝導型MR装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための
工学的情報について -----133
野口隆志
(資料1) 超伝導式液体ヘリウム液面計
(資料2) ヘリウム槽内圧確認用圧力計 および内圧放出口周辺の霜着き例
(資料3) 天井裏の屋外放出配管と大量放出時にできる液体空気の様子
(資料4) 屋外放出口形状とクエンチ時の放出ヘリウムの振る舞い例
(資料5) 2013年度実施調査取得情報

I . 総括研究報告

大震災におけるMR I 装置に起因する2次災害防止と被害最小化のための
防災基準の策定

研究代表者 中井 敏晴
独立行政法人国立長寿医療研究センター 神経情報画像開発研究室長

研究要旨

本調査研究では高磁場、低温冷媒、高電圧を扱うMR装置の東日本大震災による被災状況を調査し、MR検査室における安全な避難、MR装置の被害の最小化、二次災害を防止するための緊急的措置についての指針を策定するとともに、効率的なMR検査室の防災対策を立てる上で考慮すべき事項を集約した防災基準を提案する。平成25年度は、前年度に行ったMR検査室の被災調査の結果を基にして、「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」、「MR検査室の防災指針」、「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の2指針1提言を策定し、日本磁気共鳴医学会から公表した。さらには、その策定プロセスを活用して、東南海地区を中心に震災被害の詳細やリスク因子に関する情報提供とMR検査室における防災対策の現状調査を行い、防災に向けた南海地区の地元組織による調査啓蒙活動を支援した。また、指針を補う資料として、被災状況分類に基づいたMR装置の復帰手順を検討し、流れ図としてまとめた。震災時におけるMR検査室への立ち入り制限や関連する安全管理がより徹底するために、医療従事者全般のMRの安全に関する知識の傾向分析を行ない、静磁場の影響については認知度が高い一方で、検査の施行については、過去にMR検査を受けた経験が無い限り認知度は必ずしも高くなく、MR装置のハードウェアについては認知度は低いことが判明した。震災後は安全管理だけでなく、MR装置の復帰を円滑にするためにもマグネットのクエンチリスクを予見する必要がある、特に液体ヘリウムの残量を確認する事が重要である。しかし、停電下でもヘリウムメーターが使えるような設計になっているMR装置は非常に少ないことが判明した。また停電下での液体ヘリウムの減少速度についても十分な情報が行き渡っておらず、MR装置メーカーに対して今後の改良を求めた。今後の防災対策では、①建屋の免震構造化、②緊急地震速報の活用、③患者救出を含めた実地訓練、④設置されているマグネットに関する正確な情報収集、⑤非常電源、非常照明の確認、⑥停電も含めた非常時における電子マニュアル等の利用方法の確認、⑦立ち入り禁止等、現場の安全確保処置の準備、⑧MR装置の再稼働前の十分な点検、などが重要項目と考えられる。MR検査室の防災対策をその医療施設全体の防災対策の中で位置づけることが周囲との円滑な連携に重要である。MR検査室においても可能な限りの減災を実現して医療施設の機能維持を果たすことが、震災後医療を通して地域医療への大きな貢献となる。

研究分担者

町田好男・東北大学大学院・教授

礒田治夫・名古屋大学大学院・教授

野口隆志・独) 物質・材料研究機構・研究員

山口さち子・独) 労働安全衛生総合研究所・研究員

A. 研究目的

本調査研究では高磁場、低温冷媒、高電圧を扱うMR装置の東日本大震災による被災状況を調査し、MR検査室における安全な避難、MR装置の被害の最小化、二次災害を防止するための緊急的措置についての指針を策定するとともに、効率的なMR検査室の防災対策を立てる上で考慮すべき事項を集約した防災基準を提案する。また、これまでの調査研究で判明したMR検査室における震災対策や、安全管理に資する知見を普及させ、特に、東南海地区の医療施設を対象とした啓蒙活動を行うことにより、地域医療への貢献を目指す。

平成23年3月11日に東日本大震災が発生し、多くの犠牲者と被害を出した。医療機関は震災時の救命活動の拠点となるにも関わらず、自らも被災し設備の損傷を免れ得ない。医療従事者自身も震災による犠牲者、被害者の例外ではなく、津波のために殉職した事例も報告されている¹⁾。医療従事者自身が無事であっても、家族、親族に震災の犠牲者、被害者を抱えているケースは少なくない。高台移転と病院の免震化を済ませ、医療施設としてほぼ無傷であった医療機関であっても、その職員は過酷な現実の元で勤務を続けていた事が報告されている²⁾。災害時においても医療従事者は人命救助の使命にあたらねばならないが、それに伴うリスクや負担については、消防や警察など職務の性質上の危険性が当初より明確になっている職種と比べると十分に認知されているとは言え

ない。医療機関は一般の事業所と異なり、震災が起きたとしても業務を中止することはできず、むしろ医療ニーズは増大する。震災発生の有無とは関係なく、疾病は一定数発生する。震災が発生すれば受傷者が多数発生し、さらには震災後の生活環境の悪化のために慢性疾患の悪化が起きる³⁻⁷⁾。このように災害後の医療は、平時とは異なった背景において行われ、「災害後医療」という範疇で理解すべきであろう。

近年は建築技術が進歩し、医療機関の建物もほとんどが耐震・免震化されており、建物の倒壊や崩落による被害は少なくなった。一方で、医療機器も複雑化、電子化が進み、医療職にある者は日常の業務において多くの電子機器の操作している。電子機器は、一定の耐久性を持つように設計、製造されているとはいえ、震災時に発生する強度の振動や、転倒、落下による衝撃、突然の停電による影響は無視できない。震災における医療機器の安全は、大きく2つの視点から捉えることができる。ひとつは、医療器機そのものが震災により周囲にいる患者や職員に危害を与える危険性であり⁸⁾、もうひとつは震災の影響で生じた不具合が事故や致命的な故障の原因となる可能性である。今回の大震災で見られたように震度6や7の強度の影響を受けた場合、医療機器が外見上明らかに破損していなくても想定外の故障が発生していたり、すぐには異常が明らかにならなかつたりする可能性を考慮しなければならない。従って、診療再開の絶対的な必要性という医療機関の立場からは、震災後に医療機器を使用する上での安全性担保が大きな課題となってくる。

MRI装置は国内で6000台近くが稼働し、日常診療でも重要な役割を果たしているが、低温冷媒(-270℃)、高磁場(数テスラ)、高電圧(数千ボルト)

を用いるため、厳重に管理されている⁹⁾。MR装置に起因する2次災害の防止と、災害後医療における病院機能の早期回復のために、医療機関が自ら講じるべき措置を明らかにするために、平成24年度の本調査研究では、MR検査室において発生した被害状況の調査を行った¹⁰⁾。その結果、今回の東日本大震災では従来の想定を越えた被害が発生し、特に震災後のインフラ障害がMR装置の稼働復帰の妨げになるだけでなく新たなリスク要因となりうること、外部からの支援が無い状態で施設のスタッフによる安全点検、復帰作業の試みが不可避となったことが明らかになった。具体的な被害としては、マグネットの移動(10.8%)、チラーや空調の故障(8.5%)、急激なヘリウム量の減少(8.1%)、マグネット装備品の破損(5.8%)などが報告され、平時と比べて有意にクエンチの発生率が高かったことも確認された。また、半数の施設が震災発生後3日以内に検査を再開させているが、MR装置メーカーが3日以内に復旧作業を開始できた施設は3割程度であり、4割の施設でMR装置メーカーによる点検作業を待たないので施設スタッフによる点検で検査を再開させたことが分かった。このような実情も、震災後医療の特徴と言え、MR検査室要員への適切な情報提供と訓練が今後の震災対策の課題と言える。また、人工的なクエンチの発生過程を分析する試験研究を実施し、クエンチを起こしたマグネット周囲で起きる現象を観測して、実際のリスク要因を整理した。

本年度は平成24年度の調査研究の結果に基づき、発災時の緊急対処、平時の防災対策、MR装置の緊急停止ボタンの仕様の統一に関する2指針1提言の策定(分担研究1)、震災発生後におけるMR装置の復帰手順の研究(同2)、医療従事者のMRの安全に関する基礎知識の実情調査(同3)、東南海地区

におけるMR検査室の防災対策に関する詳細調査と東日本大震災の調査から得た情報の普及(同4)、クエンチ発生の予防に関する調査研究(同5)の5課題を実施した。

B. 研究方法

研究体制

平成25年度は以下の体制で調査研究を進めた。研究分担者(コアメンバー)5名に加え、準コアメンバー3名、東北・関東の太平洋沿岸7都県(岩手、宮城、福島、茨木、千葉、東京、埼玉)各2名、中部7県(富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重)各2名、南海3県(和歌山、徳島、高知)4名の研究協力者、超伝導工学グループ(物質材料研究機構、3名)、総計43名で調査研究を実施した。また、策定しようとする指針に対する客観的評価を得るための「MRの防災に関わる専門家会議」の専門委員7名、特別委員2名から貴重な情報とご指摘をいただいた。

研究項目

平成25年度は、MR検査室の震災対策のための指針を整備するだけでなく、東南海地区に震災被害の詳細やリスク因子に関する情報を提供し、防災に向けた活動を支援することも活動の目標とした。そのために以下の5課題の分担研究を行った。また、それぞれの分担研究の中で重点的に検討すべきと考えられる技術的な5テーマを取り上げて調査班内に横断的な分科会を構成し、検討を進めた。

- ① 緊急停止ボタンの規格標準化(分担研究1)
- ② 免震技術・設置上の課題(分担研究1)
- ③ 発災直後の緊急対応訓練(分担研究1)
- ④ 標準的な復帰手順の策定(分担研究2)
- ⑤ 緊急地震速報の活用(分担研究4)

(1)「MR 検査室における震災対策 - 防災対策と緊急対処のための2 指針1 提言について」(国立長寿医療研究センター、中井敏晴)

平成 24 年に行った MR 検査室の震災被害調査¹⁰⁾の結果を基にして、平成 23 年 3 月 15 日に公表した緊急提言(災害時における MR 装置の安全管理に関する提言)を改訂した「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」と、MR 検査室における今後の防災対策で重要と考えられる事項を集成した「MR 検査室の防災指針」の2 指針の原案を作成し、1) 今回の大震災による被害状況について熟知している MR 検査の当事者(調査班員や、その協力組織)、2) 必ずしも大震災による高度の被害を体験していない日本磁気共鳴医学会会員全般、中部、東南海地区(9 県)の本調査研究の協力者、3) 医療、建築、防災等が専門の外部有識者(MR の防災に関わる専門家会議の委員)、4) MR 装置の製造メーカー5 社、の独立した4 体制で指針案を検討した。

磁気共鳴医学会会員全般からの意見募集は第 41 回日本磁気共鳴医学会大会で指針原案を配布し、その内容の説明とパブリックコメントの募集を行うワークショップを開催した。MR 装置メーカー5 社からは、指針に対する意見に加え、マグネットの設置方法、火災への対処、液体ヘリウムの減少特性等、MR 検査室の防災対策に関連する 10 項目についての情報提供を依頼した。MR 装置の緊急停止システムの仕様統一については、MR 装置 5 社が現時点で販売している代表的な MR 装置に装備されている各種緊急ボタンの仕様調査とその比較検討を行なった。MR の防災に関わる専門家会議では、放射線医学、生体計測、電気工学、建築学、防災学、地震観測の各分野の有識者を委員として選任し指針案に対するご意見をいただいた。以上の手順に

より作成された最終案は日本磁気共鳴医学会に報告され、確認された。

(2)「東日本大震災による MR 装置の被害状況からみた発災後の MR 装置の復旧手順に関する検討」(東北大学大学院医学研究科 町田好男)

平成 24 年度に実施された東日本大震災での MR 被害のアンケート調査報告¹⁰⁾とその後実施した宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査(聞き取り調査)結果を基にして、震度と復旧・復旧の関係、復旧や機器装置の安全な保安全管理上で注目される事項、検査の休止期間と診療への影響、安全維持に関する被害施設からの自由意見を詳細に検討した。また、国内の主な MR 装置販売メーカー5 社からのヒアリングを行い、各メーカーのユーザーに対する防災情報発信状況や復旧に対する立場等について検討し、特に復旧手順の作成指針に有用と思われる事項を抽出した。以上の調査結果をもとに、復旧手順作成に関するチェック項目のリストを作成した。

(3)「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-MR 装置の安全に関するリスクコミュニケーションと震災時にすべき事項-」(労働安全衛生総合研究所 山口さち子)

医師、看護師、診療放射線技師を含む医療職 246 人を対象として実施した MR の安全に関する設問への回答を解析対象として、医療職の職種と MR の安全に関する基礎知識の傾向を分析した。この調査は、医療施設の管理者や MR 検査の担当者が MR 検査室を管理する上で、施設に勤務する他の医療従事者にどのようなリスク因子があるかを明らかにし、震災時に MR 検査室で起こりうるリスクの予測に資するものである。

調査票は、回答者の基本属性(年齢、性別、職

種)とMR検査の経験有無、MRIの安全に関する20の質問事項から構成され、「聞いたことがあり内容も理解している」、「聞いたことがある」、「断片的に聞いたことがある」、「知らない/初めて聞いた」の4段階で評価した。一次集計後、職業に関しては、診療放射線技師群とその他医療職群の2群として扱った。また、過去のMR検査の有無に関しては、MR検査の専門知識を有しない集団における影響を検討するために、その他医療職の集団の該当者のみ、経験なし群として取扱った。全回答、職業別、MR検査を受けた経験あり/なしの各集団における尺度得点を算出し、職業及びMR検査を受けた経験あり/なし間の平均得点について、それぞれt-testで有意差検定を行った。続いて、各設問の得点に関与する因子を検討するために、主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。職種(診療放射線技師、その他医療職)又はMR検査を受けた経験(あり、なし)別に下位尺度得点を求めた。下位尺度得点の統計解析は、各集団の因子間の平均得点について、職種(診療放射線技師、その他医療職)又はMR検査を受けた経験(あり、なし)それぞれについて二元配置分散分析を行った。下位検定として、交互作用に有意性が認められた場合、因子ごとの対応についてt-testを行ない、有意な因子の主効果が認められる場合には、Tukey-kramerの検定を行った。

(4)「震災時のMR検査室の防災対策について」(名古屋大学大学院医学系研究科 磯田治夫)

東日本大震災の調査結果から得られた情報¹⁰⁾を活用して、首都直下型や東南海地震を念頭においたMR検査室の防災対策に役立てるために、以下の調査研究を行なった。①パブリックコメント募集：第41回日本磁気共鳴医学会大会(徳島)にお

いてワークショップを開催し、今回策定する指針への意見募集に加えて、開催地周辺の南海地区でのMR検査室に関する防災対策の概況調査を行う。②緊急地震速報(Earthquake Early Warning: EEW)の有効性に関する調査：東日本大震災の発生時に緊急地震速報を受信していた施設を対象として、その設置状況や施設内での利用形態、東日本大震災の発生時において確認できた有用性、緊急地震速報の利用を前提とした防災訓練、小さい地震の受信や誤報への対応状況などについての詳細調査を行う。③東南海地区におけるMR検査室の防災対策の状況調査：中部地区7県(富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重)と南海3県(和歌山、徳島、高知)の10県でMR装置を保有する施設を対象として、MR装置の設置状況、MR検査室の防災計画の状況、緊急地震速報の利用状況に関する調査を行い、津波被害のリスク予測や防災体制の整備を考える上での基礎情報を整備するとともに、調査対象地域に対して東南海地震を念頭においた啓蒙活動を行う。

(5)「超伝導型MR装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための工学的情報について」(物質・材料研究機構 野口隆志)

2012年度のMR検査室の被災調査結果¹⁰⁾で課題として残った「何時クエンチに至るかが分からない不安」や「何を施せばクエンチ発生を回避できるか分からない不安」などのMR検査室担当者が抱える問題の背景要因の分析と、物理工学的な検討、それらの課題を念頭に置いたMR装置撤去作業(強制クエンチ実施)の立会調査を行った。またMR装置製造メーカーの聞き取り調査から得られた情報に対する物理工学的な検討を加え、MR検査室の安全管理に必要な物理工学的な事項を整理し、防災

指針に反映させた。

（倫理面への配慮）

本研究の対象は個人情報や人・動物等の生命体ではなく、何等かの介入を行うことも無い匿名調査であるが、調査票に調査の主旨説明と同意確認を行うための文書を添付し、回答票の提出を持って同意とした。訪問調査は対面調査であり施設の現場調査も含むため、事前に倫理委員会（国立長寿医療研究センター）で承認を受けたプロトコルに従って、個別に書面をもって同意の確認を得た。また、東南海地区のMR装置保有施設の調査については、別途、分担研究者が調査研究に関する倫理審査（名古屋大学）を受け承認を得た。

C. 研究結果

（1）「MR検査室における震災対策 - 防災対策と緊急対処のための2指針1提言について」

「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」と「MR検査室の防災指針」の2指針の最終案は、日本磁気共鳴医学会の安全性評価委員会で審議された後、同理事会での審議に託されて最終確認を行って決定され、平成26年1月15日に同学会ホームページより公知された。

MR装置メーカーからの意見聴取の結果判明した主な事項は以下の通りである。今回の東日本大震災においてMR装置メーカーの視点から見て課題となった事項としては、①インフラ（電源、交通、通信）障害の回答が最も多く、次いで②原発による立ち入り制限や、③津波の影響が指摘された。マグネットの設置方針については、アンカー固定を原則としているとするメーカーと、非固定が原則とするメーカーがあり、前者はアンカー固定による被害拡大の事例の報告は無いとしている。非固定が原則のメーカーは、マグネットの移動によ

り発生した被害回復の負担についてケースバイケースでの判断としている。

火災発生時における「MR装置への対処」については、その対応事項はユーザーや消防等の判断事項であり、装置の取り扱い説明としての範囲を超える部分についてはメーカーとしての関与は行っていないこと、強制クエンチは人命救助や消火活動に必要とユーザーや消防等が判断する事項であること、がMR装置メーカーの共通認識であった。クエンチボタンの動作保証については、点検時に実際にクエンチを発生させない状態での回路の動作確認までは可能であるが、その先については完全に保証できない、自然災害により発生した事項については保証の対象外である、強制クエンチ後の復帰費用は原則ユーザー負担であること、などがMR装置メーカー共通の見解であった。超伝導型マグネットの仕様についての情報開示については、マグネットメーカーが公開している情報以上の情報は出せないが、それぞれのユーザーが所有する装置については一定の情報提供の可能性について検討する余地はあるとの姿勢であった。このように、震災におけるMR装置の使用者責任と装置の品質保証の関係については、ユーザーとメーカーの間に立場の違いがあり、今後の検討が必要と考えられる。

今後予想される東南海地震、首都直下型地震を想定したユーザーへの情報提供の方針は、①MR装置の復帰についてはメーカーのサービスマンとの連携してほしい、②メーカーのホームページを利用した社会全般への啓蒙としての情報発信などに努めている、しかし、③東南海地震、首都直下型地震への具体的な対策については今後の課題も残っている、などの回答が寄せられた。

(2)「東日本大震災による MR 装置の被害状況からみた発災後のMR装置の復帰手順に関する検討」

平成24年度のアンケート調査結果の分析結果¹⁰⁾から、復帰にかかわる重要なポイントをピックアップした。震度と復旧状況との関係については、当日復帰は、震度6で10.4%、震度5で32.5%、震度5未満で45.5%、復旧1週間以上は、震度6以上36.8%、震度5以下9.1%であった(有効回答数371)。メーカーによる復旧作業開始期間、また機器が使用可能となる復旧期間(有効回答471)では、いずれも震度上昇と関連し有意な復帰遅延が認められた(χ 二乗検定 $p<0.001$)。復旧の担い手と震度との関係では、有効回答440件のうち、復旧再稼働の担い手が病院スタッフのみとした回答数は178件で、震度5および震度5未満でその割合が高かった。MR装置メーカーによる再稼働あるいは再稼働不能は、いずれも震度6以上で有意に増加であった(χ 二乗検定 $p<0.001$)。内容として「MR装置メーカーによる再稼働」(31件)、「両者関与するもメーカー主導の再稼働」(82件)、「再稼働不能」(20件)の報告がされた。

「復旧に関して困ったこと」への自由記載では、「メーカー関与の不在、不通」が最多で22件であった。福島県では原発事故、岩手県では停電やインフラ障害などを理由とした割合が高かった。復帰手順に関する意見では、「停電時も磁場があること、MR従事者以外でもわかる管理手順、クエンチへの外部関係者への説明」など、当事者以外にむけた外部に対する情報発信に関した内容についての記載があった。また、「強制クエンチのタイミング、テストスキンの評価」など、判断や行動指針に関するもの、また、「わかりやすいマニュアル、フローチャートでの図式化や暗闇を前提にした判読できるマニュアル、など専門担当以外でも

わかりやすいマニュアル作成様式への意見が寄せられた。

宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査(聞き取り調査)から得られた、今後の様々な災害、被害を想定した自己復帰および安全維持管理から再稼働にむけた復帰手順の手順作成につながる論点についての抽出を行った。その結果、①震度を反映した復帰手順を作る必要があるのではないか、②ユーザーが確認できる震度、酸素濃度計の値、ヘリウム残量、マグネットの内圧など被害時の指標を復帰手順フローにどう活かすべきか、③クエンチ発生リスク指標とするために必要なことは何か、恐れがある場合の優先チェック項目とその後の対応方法は何か、④MR装置の重大被害、稼働してはいけない禁忌項目は具体的に何か、⑤自己復帰対応、サービス関与までの安全装置維持管理の手順としてサービスとユーザーの対応、分担をどのように区別していくか、⑥津波、洪水、高潮、施設配管破断含め防水対策、安全管理として共通する項目はあるか、⑦マニュアル周知と徹底をどうすべきか、等の課題が抽出された。

MR装置メーカー各社からは、復帰に関連した資料がユーザー向けに発信(配布)されていた。これらの資料は、概ね、日本磁気共鳴医学会から公表された緊急提言に沿っており、これを各社の実情に合わせて改定したものが多かった。また、災害時という特殊な環境であっても再稼働については、ユーザーによる自己点検判断の復帰はすすめられないとするメーカーもあった。聞き取り調査において、特に不安であるとの意見が多かったヘリウム残量管理に関する情報提供についても、各社とも、ユーザーとの個別的情報であり普遍的な対応は難しいという立場であった。装置の点検は、サービスマンが行うというのが原則であるという

前提に立った回答となっていた。実際の災害においては、サービスマンとの連絡の遅れが深刻な問題の一つとなっていたことを考えると、何らかの有効な提案が必要と考えられた。

以上の結果をもとに、復帰手順に関するチェック項目のリストを作成した。このリストは、既に震災時の安全確保として引地らによりまとめられた報告書¹¹⁾の中の図「災害時におけるMR装置の安全管理の流れ」を全体の基本フローとして、その中の「2. 被災状況分類」における5つの分類の下位に位置づける形で作成し、被害状況に応じて重要と考えられる事項を集約した。

(3)「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」

MRの安全に関する基礎事項の認知度に関する設問への回答者の職種は、診療放射線技師51名、その他医療職（医師17名、看護師40名、臨床検査技師11名、臨床工学技士104名、その他18名）であった。過去のMR検査の有無:検査経験あり125名（125名中、その他医療職は87名）、検査経験なし83名（同74名）であった。

職種別の得点では、診療放射線技師群がいずれの項目においてもその他医療職群より高得点で、かつ、平均得点は3以上であった。平均得点4（全員が「聞いたことがあり内容も理解している」）も、5項目であった。その他医療職群においても、後半で得点の低下傾向が観察された。いずれの設問においても、診療放射線技師群とその他医療職群の平均得点について、予想通りの統計的有意差が観察された（ t -test、 $p<0.001$ ）。その他、医療職群で過去にMR検査を受けた経験の有無について回答のあった集団を対象に同様に解析したところ、火災発生リスクに関する設問を除いて、いずれも

経験あり群が高得点を示した。特に、MR検査による火傷のリスクについては強固な統計的有意差（ t -test、 $p<0.001$ ）が検出された。

各設問の得点に関与する因子を検討するために、因子分析を行った。2つ以上に負荷する項目や、十分な負荷量を示さなかった項目を除外しながら因子分析を繰り返し3因子が抽出された。これらを設問内容より、Factor1:「検査に関する安全の認知度」、Factor2:「磁界に関する安全の認知度」、Factor3:「MR装置に関する安全の認知度」と命名した。

続いて、各因子の下位尺度に含まれる項目平均値を下位尺度得点とした。まず、各因子の平均得点と職種（診療放射線技師、その他医療職）について二元配置分散分析を行った結果、因子、職種の主効果と交互作用に有意差が観察された（全て $p<0.001$ ）。因子の主効果について下位検定を行ったところ、Factor2が最も高得点を示し、Factor1とFactor3の間で有意差が観察された（Tukey-kramer、 $p<0.05$ 、 $p<0.001$ ）。

職種の主効果については、診療放射線技師の全ての因子得点はその他医療職より有意に高値を示した（Tukey-kramer、 $p<0.001$ ）。MR検査をうけた経験あり/なしについても同様に検討を行ったところ、交互作用は観察されなかった。因子の主効果について検討を行うと、Factor2が最も高得点を示し、Factor2とFactor1及びFactor3の間で有意差が観察された（Tukey-kramer、 $p<0.001$ ）。経験の有無については、図示的には両群の差が小さかったが経験の主効果は観察された（二元配置分散分析、 $p<0.01$ ）。

(4) 「震災時の MR 検査室の防災対策について」

41 回日本磁気共鳴医学会大会の出席者（平成 26 年 9 月 21 日、徳島、1421 名）に対して準備された 1200 部の指針案を配布した。参加者から得られた主な意見としては、指針の周知を徹底するための提案、復帰手順の模式化、被害事象の把握方法の詳説希望、指針の読み方に関する留意事項の周知、MR 装置の緊急停止システムの仕様統一の必要性などが寄せられた。緊急地震速報の有効性に関する調査では、緊急地震速報を活用していた 3 施設のいずれでも、緊急地震速報により本震が到達する前に患者搬出の体制に入ることができた事が報告され、特に、事前訓練を行っていた施設では、訓練通りの行動に入る事ができた事が分かった。東南海地区における MR 検査室の防災対策の状況調査では、緊急地震速報システムを導入している施設は一部であること、1982 年の建築基準法改正以前の建物に設置されている MR 装置が存在すること（一部、耐震改修済み）、過半数の MR 装置で非常電源への切替設定がなされていないこと、ほとんどの施設で停電時に液体ヘリウムのモニタが不可能であること、海岸に極めて近く標高が 10m 位置に設置されている MR 装置が多数存在すること、などが判明した。

(5) 「超伝導型 MR 装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための工学的情報について」

MR 装置の超伝導マグネットは、液体ヘリウムでの十分な冷却状態が常に必要となる。十分な冷却状態は、液位が許容最低液位以上に貯蔵されていることで確認する。ほとんどの MR 装置の超伝導マグネットで使用されている液体ヘリウム液面計は、連続表示型超電導式液面計が用いられており、専用の電源が必要である。しかし、液面計の停電時

の動作について MR 装置メーカーの回答は様々であり、バッテリー駆動が可能な装置はなく、単独電源で駆動可能であるとの明確な回答も無かったので、病院の非常電源の利用も困難な状況である。液面計が稼働できない場合も、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性から、現時点の液位予測はある程度可能である。しかし何らかの異常があった場合には、日頃の液位減少特性は変化するので、液面計の単独動作機能は重要であると考えられる。また平常時の液位推移記録が参考にならない場合の、異常時の液位変化特性についても明確な回答を数値で出せるメーカーは無く、冷凍機停止後、数日は液位がクエンチ発生下限界を下回ることはないなどの表現であった。装置ごとに固有の液位減少速度変化を持つことから、一概に参考データを示すことはできないなど、ユーザーが必要な情報が十分に得られない状況であることが分かった。

被災時の超伝導マグネットの状態診断には液体ヘリウム槽の残留液量(液位)の確認と同時に、液体ヘリウム槽の内圧確認が必要となる。また内圧に何らかの異常が確認されたら、クライオスタットからの内圧放出配管周辺の様子を観察する必要がある。それら圧力計、内圧放出配管類は MR 装置のマグネットカバーの内側にあるタイプの装置が増えているが、各社各様であり、取り付け取り外し要領も異なっている。メーカーが提供するメンテナンスマニュアルにはその手順が記載されているものの、大半は手間のかかる作業であり、液体ヘリウム槽内圧と内圧放出配管周辺を日々安全点検し記録する上での障害となっている事が聞き取り調査の結果、判明した。

D. 考察

大震災においては、それぞれの施設の震源地からの距離、立地条件や建物構造によってさまざまな被害状況が発生する。震災によりMR装置に発生した被害の内容や程度だけでなく、他に優先すべき事項の有無、建物構造やMR装置の仕様など施設固有の条件、発災の時間帯やその時点でのMR検査室における体制、停電やその他のインフラ障害の有無、その他の偶発的な事項などから優先順位づけを含めた総合的な判断が求められる。あらゆる場合を想定して防災手順を組み立てることは困難であることを踏まえて、指針に記載すべき事項を絞り込んだ。

従来の地震対策は建物の耐震化と転倒の可能性のある機器や什器類の固定が中心であったが、今回の東日本大震災のような超大型の震災では、想定を越えた被害が発生した。MR検査室に関しては、震災後のインフラ障害がMR装置の稼働復帰の妨げになるだけでなく新たなリスク要因となりうること、外部からの支援が無い状態で施設のスタッフによる安全点検、復帰作業の試みが不可避となった点が注目される。阪神・淡路大震災の調査報告でも、医療機関のMR担当者から業界への要望事項として「メーカー毎ではなく共通の機器の安全基準、機器設置の安全基準、災害対応マニュアルの作成が強く望まれている」と報告されているが^{12, 13)}、残念ながら東日本大震災が発生するまでの間に具体的な対策がなされるには至らなかった。

今回の指針策定を通して判明した事項のひとつは、一般の事業所と異なり、医療機関は震災による業務休止がもともとありえないどころか、むしろ業務量が増加するという点が、医療分野以外ではあまり認知されていないことであった。医療機関に設置されている機器類は、どれもこれもそれ

なりの必要性があって存在し、その必要性は震災によって増えることはあっても、減る場合は少ない。医療機器のほとんどは何ヶ月も使用を休止することが困難である。また、近年は建築技術が進歩し、特に、免震建築の場合は大震災に見舞われても大きな被害の発生は無く、病院の機能がほぼ保たれる。一方で、耐震構造の施設では建物の大きな破損は無くても、内部に設置されている機器類は一定の損傷を受ける可能性がある。このように、震災による被害の発生状況が多様化しているが、今回のような大震災においては、被災地への全体的なアクセスが広範囲に渡って遮断されたために、MR装置に被害が発生していない施設であっても、メーカーのサービスマンがなかなか来訪できない状態になったものと考えられる。また、MR装置の実数自体が非常に多くなっており、主要都市から離れた地域の中小的医療機関にも多数設置されており、全国津々浦々にMR装置が配置されている状況である。

東日本大震災においては43.9%の施設で「MR装置メーカーによる点検作業を待てないので、病院（施設）スタッフによる点検で再稼働させた」ことが判明している¹⁰⁾。52.7%の施設が3日以内に装置の再稼働を行っているが、メーカーによる復旧作業が発災後3日以内に開始されたのは29.4%の施設であった。東日本大震災のような広範囲に被害を及ぼす大震災では、同時多発的に被害が発生するだけでなくMR装置メーカーの拠点も被災するので、普段のようなサポートの実施が不可能になる。自社社員による復帰が原則であることを強調するメーカーもあるが、このようなMR装置の使用者（医療施設側）とメーカーとで立場が違う事項については、装置導入の段階からよく検討、協議しておくべきであろう。

MR装置の復帰に向けた作業は、単に早急に復帰を必要とする震災後医療のニーズだけでなく、実際には甚大な広域災害が発生した状況において、サービスマンが来られない状況での二次災害防止、被害の拡大阻止にむけた保安全管理と表裏一体のものである。本調査研究では、可能な限り共通の作業プロセスを抽出するべく検討を試みたが、被害状況、施設の体制やMR装置の仕様、MR装置メーカーの考え方などの複数の要素が合わさった結果、最も妥当なプロセスが決まると考えられ、全ての場合に当てはまるフローチャートを作ることは困難であろう。MR装置メーカーとも十分に協議し、各施設において施設の実情を考慮した実践的なフローチャートを作成していただかなくてはならないが、本報告で提示するリストは、そのスターティングポイントと考えていただきたい。さらには、震災後の状況を把握しながら、その場で修正を加える必要が生じる場合もあろう。発災時にまずとるべき緊急的な対処としては、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③二次災害の防止、④MR装置の保全措置の4項目が挙げられるが、③、④の措置を講じるためには被害状況の把握と分類が重要である。MR検査室だけでなく、施設全体の被害や電源、水道、通信等のインフラ障害の状況も把握し考慮に入れなければならない。

MR装置の復帰は、MR装置の使用者（医療施設側）とメーカーとで、立場が違う事に留意すべきであろう。MR装置のメンテナンスはMR装置メーカーによる保守サービスに依存しており、MR装置メーカーは製品が仕様通りの動作をするように品質保証を行う責任があるが、一方で、医療機器としての安全管理の責任は使用者側にある。MR装置にかぎらず、医療機器の使用者がその安全確保の措置を講じる上で必要とする情報は機器メーカー側が持

っているという情報の非対称性がある。従って、ユーザー側が安全管理のために必要とする情報は適切に開示されなければならない。例えば、最近のMR装置はマグネット上部にもエンクロージャ（マグネットの覆い）で覆いをするデザインのものも多く、マグネット上部にある冷却システムや排気管の様子の目視確認ができない。マグネットの表面観察や圧力計の数字も、エンクロージャを開けないと点検できない機種もある。震災後は、マグネットの目視確認を一刻も早く行うべきであるが、実際にメーカーのサービスマンが来訪不可能な状況において、使用者側でエンクロージャの取り外しを行えず、その結果マグネットの状態確認が行えないために、結果として事態を放置することになれば、医療サービスを受ける患者も含めた使用者側にとっての不利益となりうる。あるいは、冷凍機が停止した状態での液体ヘリウムの減少曲線も、クエンチによる被害防止という点からユーザーが安全管理のために必要な情報と言える。保守サービスが円滑に行われている平時と異なり、震災後医療においてはこの情報の非対称性が問題となることに注意すべきであろう。

また、地域の基幹病院、震災拠点病院となっており建物も十分な地震対策がなされている場合は震災後医療を担う必要からMR装置についても早期の復帰要請が強く、これは震災対策における社会的な要請でもある。大規模病院でスタッフの熟練度が高い場合はユーザーによる復帰の潜在的能力が高いと考えられる。ユーザーによる復帰の可能性はそれぞれのユーザーとメーカーの関係によるところが大きいと考えられる。MR装置メーカーからのヒアリングでは、自社社員による復帰が原則であることを強調する回答もあったので、事前にメーカーとよく協議の上で、発災後に何をどこま

で実施するかを検討して、個々の施設で手順を定めるべきであろう。

MR装置そのものについては、決して技術的には難しくないにも関わらず、未だに実装できていない項目として、①停電時にMR装置の冷却系電源を非常電源に自動的に切り替える準備、②停電下でもヘリウムメーターが使用できるような予備電源（バッテリー、非常電源の利用）の設置、③ヘリウム残量を毎日自動的に記録、送信するデータロガー、④緊急地震速報による撮影の自動停止装置、などがあげられた。いずれも技術的には実現困難とは考えられず、早急の対応を期待したい。緊急停止ボタンの仕様統一については、工業規格としての統一までには時間がかかると予想されるので、是非とも標準のシールを制定するという現場での取り組みを進めたい。

震災後にMR装置が原因となる二次災害を防止するために重要な事は、MR検査室の適切な管理と状況のモニタリングであるが、そのためにはMR検査室の担当者や放射線科のスタッフだけでなく、その周囲で勤務する医療スタッフも基礎的な事項を理解しておく必要がある。特に、震災後には怪我人や急病患者、外部からの支援要員だけでなく、医療施設を一時的な避難所と考えて来訪する人も出てくるため、医療施設内は混雑するので、注意が必要である。従って、放射線科スタッフ以外の医療職が、MRの安全に関してどの程度の知識を持っているかが分かれば、危険予測やその対策を考えるうえで有用である。

MR装置で静磁場が利用され、鉄などの金属が磁界によって引き寄せられることがよく知られている。一方で、MR装置は検査時以外でも磁場を発生していることは必ずしも樹分に認識されておらず、吸引事故の原因となっている。このように、MRIの

安全に関しては、認知度の高い事項とそうでない事項が存在することが予想されていた。本調査研究では因子分析の結果から、認知度の背景には3因子が検出された。

Factor1：「検査に関する安全の認知度」にはいくつかの要素があるが、近年は「MR適合性」への関心が特に高い。

Factor2：「磁界に関する安全の認知度」に関しては、高磁場環境における磁性体の吸引事故は非常によく認知されていた。しかし、MR装置への磁性体の吸引事故はしばしば発生しており、診療放射線技師以外の職種が吸引事故の発生者であることが少なくない。

Factor3：「MR装置に関する安全の認知度」については、「検査に関する安全の認知度」と同程度の認知度であった。

この中で、Factor2とFactor1及びFactor3間で大きな認知度の差異が表面化した。当初の予想通り「磁界に関する安全の認知度」に関連する事項はどの集団においても最も得点が高いが、一方で電気設備やクエンチといった「MR装置に関する安全の認知度」と実際の検査に関連する「検査に関する安全の認知度」の認知度は低く見逃されがちであることが明らかとなった。また、検査を受けた経験の有無と因子に関する二元配置分散分析の結果からは交互作用は観察されなかったが、経験の有無の主効果は観察されたことから、MR検査を受けた経験は安全意識の向上に一定の効果があるものの影響は限定的であると考えられた。

病院の医療安全体制の状況をみると、医療安全管理委員会や研修の体制は、ほとんどの病院で整備されているが¹⁴⁾、実際の管理は職種ごとの責任者が行っており、研修対象者は当該医療機器に携わる医療従事者のみであることがほとんどである。

しかし、震災後医療においては、検査担当者も含めて医療職にある者への負荷が大きく、さらには経験の無い業務に就かざるをえない状況も考えられるので、潜在的にヒューマンエラーが発生しやすい状況と理解すべきであろう。従って、MR装置を扱うスタッフだけでなく他科の医療スタッフともMR適合性の注意意識を共有すること、MR適合性に関する医療従事者間の意識ギャップを念頭に置いた検査体制の充実を病院全体の課題として検討することが重要と考えられる。

緊急地震速報は、第一波の本震が到達する前に一定以上の震度を有する大型の地震発生を知る事ができるシステムであり、気象庁が開発し、気象業務法において気象庁による予報および警報として位置づけられている。東南海地区における緊急地震速報の導入はまだ限られており1割に満たない状態であるが、院内自動放送システムを装備している施設もあり、医療施設としての導入が始まっている事が確認できた。危機管理においてはインフラの整備だけでなく速報の着信時の対応手順の作成や訓練の実施等、情報を最大限に活用するための日々の積み重ねが重要であり、今後は、緊急地震速報を導入している施設をモデルケースとした啓蒙事業が重要と考えられる。MR装置に限らず、医療機器の管理全般への応用が可能と考えられ、今後の研究開発が期待される。

災害マニュアルは大半の施設で整備されているが、その中でMR装置への対応についての記述があるとする回答が4割を占めた高知県の例が目立った。平成24年度の震災被害調査では、災害マニュアルにおけるMR装置への対応については、調査項目としては調査していないので直接の比較はできないが、今後の災害対策についての自由回答106件中、災害対応マニュアルの整備(33件)、災

害対応方針の確認と見直し(17件)、定期的な防災訓練・避難訓練の実施(15件)などの項目が上位を占めていたので、MR検査室について具体的な記述のある防災マニュアルの必要性を感じている回答者の認識が反映されたものと考えられる。また、その後実施した東北3県での訪問調査ではMR装置の防災対策に関するマニュアルが東日本大震災前にあったかどうかを尋ねたが、回答を得た30施設の中で、そのような記述があったとする施設は無かった。状況からの推測になるが、上記ワークショップを南海地区で開催し、防災指針策定の必要性をアピールした効果がすでに反映されているのではないかと推察される。

クエンチ対策は震災後、特に停電が続く状態におけるMR装置の安全管理で留意すべき事項である。聞き取り調査の結果、MR装置メーカーも、震災後におけるマグネットの状態を定量的に評価するための情報を十分に把握していない事が伺えた。例えば液位下限界については、RM装置メーカーすら経験的にしか承知していないケースが多く、ましてや公式な提供数値の提供は不可能な様子であった。低温工学的に解釈を施しても、関係する条件が多く一般化は難しい。例えば液面計による液位表示にしても、メーカーが違えば同じ管理数値は適応できない。このような、製品固有の特性を規格化することは容易では無いが、現状への対応として、ある程度の参考値が提供されれば、MR検査室の安全管理の上での意味合いは大きい。

設置環境の被災程度にもよるが、MR装置の被災状況が軽度と推定される場合であれば、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性から、現時点の液位予測は可能である。「液位ログシート」を用意して定期的な記録付けを推奨しているメーカーもある。日常

的な点検においては、何らかの異常がクライオスタットに生じた場合、それが熱進入量の増加、シールド冷凍機的能力低下など、液体ヘリウム減少速度に関係するか否かの推定は可能で、液位記録のグラフに異常が発見できる。被災時の判断には、さらに詳細な記録分析が必要となる。すなわち熱侵入量増加や冷凍機能力異常の有無の判定だけではなく、その増加や異常が進行しているか否かも分析し判断する必要が生じる。液位減少速度の時間変化の記録が必要となるので、記録間隔を1時間程度にする必要がある。正常であるとの確信が持てるまでこの記録を取り続け、液位減少速度に変化が無いことを確認する必要がある。一方で、4 K(ケルビン)の冷却が可能な冷凍機が搭載されている場合は、冷凍機は常に最大冷凍能力で液体ヘリウムの蒸発を抑えている。液体ヘリウム槽内圧の変化は、その一定の最大冷凍能力(ワット)に対して、熱負荷の増減を示すことになる。その冷凍能力は冷却している対象物の温度によって多少異なる。従って、普段の液面変化のデータからは大まかな異常診断にしか適応できず、被災後の液面実測が不可欠と考えられる。このようにマグネットの詳細な観察が必要であるが、震災後の混乱状況においては、検査業務が一時的に中断していたとしても、MR検査室の担当者にとって、詳細な記録作業の負担は大きいと考えられるので、このようなロギングの停電対策と自動化が望まれる。

E. 結論

今回の東日本大震災では震災後のインフラ障害がMR装置の稼働復帰の妨げになるだけでなく新たなリスク要因となりうること、外部からの支援が無い状態で施設のスタッフによる安全点検、復帰作業の試みが不可避となった点が明らかになった。

しかし、診療再開の前に、マグネットが発生する静磁場の状態だけでなく電気系統や機械部分も含めた総合的な点検が必要である。このような事態に対応するために、平成24年度に行ったMR検査室の被災調査の結果を基にして、「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」、「MR検査室の防災指針」、「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の2指針1提言を策定した。

指針の策定にあたっては、分担研究により判明した以下の事項を反映させた。震災後のMR装置の復帰は、震度の上昇にともなって復帰が遅延し、メーカー関与が高くなる傾向が認められた。復旧に関して困ったとした事項としては「メーカー関与の不在、不通」が最多の意見であった。従って、被害状況分類による個々の点検チェックを行い、二次災害防止にむけた保全管理を行うための汎用手順が必要となり、MR装置メーカーとも相談の上、各施設の実情を反映した手順書を準備すれば有用と考えられる。

医療従事者全般のMRの安全に関する知識の傾向分析を行ったところ、MR装置の発生する静磁場の影響については全般的に認知度が高く、検査の施行に関する事項については、過去にMR検査を受けた経験が無い限り認知度が低く、MR装置のハードウェアについては、全体的に認知度は低いことが判明した。医療職全般に対してMRの安全に関する基礎知識を普及させることにより、震災時におけるMR検査室への立ち入り制限や関連する安全管理がより徹底できるものと考えられる。

緊急地震速報は、まだ普及が始まった段階であるが、本震到達までの短時間であっても、検査の中止や患者救出行動の開始など、重要な行動を開始でき、パニックを防ぐ効果もあると考えられ、導入の意義は大きい。今後は、スキャンを自動停

止するなど情報をより多面的に活用するシステム開発が望まれる。

震災後のMR装置の安全管理においては、マグネット本体の状態を詳細に把握し、液体ヘリウムの残量を確認する事が重要である。しかし、停電下でもヘリウムメーターが使えるような設計になっているMR装置は非常に少なく、今後の改良が求められる。

今後の防災対策では、①建屋の免震構造化、②緊急地震速報の活用、③患者救出を含めた実地訓練、④設置されているマグネットに関する正確な情報収集、⑤非常電源、非常照明の確認、⑥停電も含めた非常時における電子マニュアル等の利用方法の確認、⑦立ち入り禁止等、現場の安全確保処置の準備、⑧MR装置の再稼働前の十分な点検、などが重要項目と考えられる。医療施設が自らMR装置の被災状況を点検する標準的な手順を確立できれば、その安全管理や使用再開の可否がより適切に判断でき、震災後医療への貢献にもつながると期待される。

F. 健康危険情報

①MR検査室のように1Fに設置され無窓室になっていることが多い場所では緊急地震速報による地震発生の把握だけでなく、津波の危険性について予め検討しておくべきである。

②医療従事者全般のMRの安全に関する知識傾向は、静磁場の影響については全般的に認知度が高く、検査の施行については、過去にMR検査を受けた経験が無い限り認知度が低く、MR装置のハードウェアについては、全体的に認知度は低いので、MR検査担当者はこの点に配慮することが望まれる。

③安全管理のために、MR装置のヘリウム残量が停電時にも確認できるように改良すべきである。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、小山修二、村田和子、水口紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、町田好男 MR検査室における震災対策 - 防災対策と緊急対処のための2指針について 日本磁気共鳴医学会雑誌 (投稿中)
- 2) Yamaguchi-Sekino S, Machida Y, Tsuchihashi T, Noguchi T, Nakai T, The effect of anchoring of MR scanners to prevent earthquake hazards - an analysis of the damages to the 602 MR scanners in Great East Japan Earthquake, ISMRM 22th Annual Meeting & EXHIBITION, Milan, Italy, May 15, 2014
- 3) Nakai T, Maeyatsu F, Adachi K, Musashi Y, Hikichi T, Hishinuma M, Abe Y, Yamaguchi S, Machida Y, Yoshioka K, The Tsunami Disaster and MR Scanners in the Great East Japan Earthquake in 2011. Magnetic Resonance in Medical Sciences 13, 2014 (in press)
- 4) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保、日本磁気共鳴医学会雑誌 34、6-13、2014
- 5) 前谷津文雄、丹治一、清野真也、武蔵安徳、安達廣司郎、土橋俊男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災の被災地宮城県におけるMR装置被害の実態調査報告、日本放射線技術学会雑誌 (in press)
- 6) 山口さち子、中井敏晴 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 2013 (in press)
- 7) 土橋俊男、地震等の災害時に備えるMRIの機器管理対策 MRI装置の被害状況から考察する機器管理対策と二次被害防止策、インナービジョン 28、54-56、2013
- 8) 引地健生、震災後のMRI対応 第3版 MRI応用 自在 メジカルビュー、207-209、2013

- 9) 中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
2. 学会発表
- 1) 野口 隆志、端 健二郎、大木 忍、中井 敏晴 被災時にMR装置の運転・管理関係者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第88回 2013年秋季低温工学・超電導学会抄録集 109 (低温工学 第48巻)、2013年12月5日、名古屋
- 2) 清野真也、丹治一、町田好男、山口さち子、中井敏晴 東日本大震災におけるMR 装置被災の実態調査 ～福島県調査報告～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、42-3、2013年11月2日 福島
- 3) 引地健生、前谷津文雄、阿部善弘、菱沼誠、町田好男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災におけるマグネット移動損傷について～宮城県内84MRI装置の設置方式の違いと強振動による影響～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
- 4) 阿部善弘、前谷津文雄、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、MR検査における震災時の患者救出について、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
- 5) 前谷津文雄、阿部善弘、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、東日本大震災によるMR装置の被害からみた震災後のMR装置の復帰手順、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
- 6) 磯田治夫 東日本大震災によるMR装置の被災状況、AIMS (Advanced Imaging Multimodality Seminars) Abdominal Imaging 2013 セッション1 造影剤・安全性 (ベルサール汐留) 2013年10月5日
- 7) 安達廣司郎、武蔵安徳、中井敏晴、東日本大震災でのMRI装置の被害調査 (岩手県の場合) 平成25年度日本赤十字社診療放射線技師会東北ブロック研修会 (八戸赤十字病院) 2013年9月28日
- 8) 武蔵安徳、東日本大震災によるMRI装置被害調査報告 (岩手県地域) 岩手医用画像研究会盛岡 (岩手県立中央病院) 平成25年10月5日
- 9) 野口隆志、端健二郎、大木忍 MR 装置の運転・管理者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第41回日本磁気共鳴医学会大会 #0-3-310、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013
- 10) 石森文朗、土橋俊男、藤田功、栗田幸喜、榊田喜正、松本浩史、砂森秀昭、中井敏晴、東日本大震災におけるMRI装置の被害状況 (関東地区) ～今後の震災に備えた対策、第41回日本磁気共鳴医学会大会 P-2-172、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S418、2013
- 11) 山口さち子、町田好男、土橋俊男、磯田治夫、野口隆志、中井敏晴、東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究、第41回日本磁気共鳴医学会大会 P-2-173、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S419、2013
- 12) 中井敏晴 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
- 13) 引地健生 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 MR検査室の防災指針、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
- 14) 土橋俊男 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
- 15) 木戸義照 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 和歌山県下におけるMRI装置の状況 大地震および津波による大災害に対する安全対策に向けて、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
- 16) 引地健生、山口さち子、中井敏晴、土橋俊男、前谷津文雄、町田好男 東日本大震災の地震動によるマグネット移動の要因解析 -アンカー固定の有無と震度について-、第41回日本磁