

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24年度～25年度 総合研究報告書

研究代表者 中井敏晴
平成26(2014)年3月

目 次

I . 総合研究報告	
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 中井敏晴	-----1
II . 研究成果の刊行に関する一覧表	-----45
III . 研究成果の刊行物・別刷	-----49

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）

総合研究報告書

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

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

震災発生時に医療機関は救命活動の拠点となるにも関わらず自らも被災するため、医療器機の安全確保が重要である。特にMRI装置は国内で6000台以上が稼働し日常診療で不可欠であるが、低温冷媒、高磁場、高電圧を用いるため震災時には2次災害の原因となりうる。本調査研究では東日本大震災によってMR検査室に発生した被害を定量的に評価し、MR検査室における安全な避難、MR装置の被害の最小化、2次災害の防止措置と、予め考慮すべき防災対策を検討した。被害の大きかった東北・関東の7都県でMRIを保有する984施設を対象とした質問紙調査を行い、456施設に設置された602台のMR装置に関する回答を得た。また、注目される被害のあった施設への訪問調査を行なった。MR装置の19%に被害事象が見られ、その発生度数は震度5以下と6以上で差があった。頻度の高い被害事象はマグネットの移動、チラーや空調の故障、急激なヘリウム量の減少、マグネット装備品の破損などで、クエンチは19件、浸水被害は12件確認された。50%の施設が震災発生後3日以内にMR装置を再稼働させていたが、45%の施設が「MRIメーカーによる点検作業を待てないので、病院スタッフによる点検で再稼働させた」との認識を示し、大震災の発生時には現場で緊急的対応を行うための基準が必要であることが確認された。MR検査室の建屋が免震構造の場合には半損以上の被害発生は無く、震度6以上でも十分な効果があることが確認された。廃棄されるMRI装置を利用したクエンチ誘発要因の検証実験を行ない、地震によりマグネットの排気管が破損した場合の危険因子を推定した。これらの調査結果に基づいて「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」を策定し、2指針については日本磁気共鳴医学会から平成26年1月15日に公表した。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の導入はまだ本格的に進んでおらず、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などが判明した。今後の防災対策としては、建屋の免震構造化、緊急地震速報の活用、患者救出を含めた実地訓練、設置されているマグネットに関する正確な情報収集、非常電源、非常照明の確認、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、立ち入り禁止等、現場の安全確保処置の準備、MR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が果たせれば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
磯田治夫・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
土橋俊男・日本医科大学付属病院・技師長

A. 研究目的

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¹⁾。震災時にはクエンチの発生に伴う液体ヘリウムの急激な気化や大型の磁性体吸引、漏電による火災などの危険性があり、2次災害の原因となりうる。過去には、作業ミスで生じた特殊な条件下で低温冷媒容器の爆発事故（圧力破裂）が起き受傷した事例もある²⁾。従って、MR 装置に起因する 2次災害を防止するために医療機関が自ら実施すべき緊急的な安全手順を確立しなければならない。本調査研究では 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、2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³⁾。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⁴⁾。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⁵⁻⁹⁾。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。震災における医療器機の安全は、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¹⁰⁾、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、医療器機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。

医療器機の影響度分類¹¹⁾によれば、災害時には機器の移動・転倒・落下等により、現に使用中の患者や職員に対して重大な人的危害を与えるおそれがある「危害型」や、機器震害での機能停止により、診療機能に重大な影響を与えるものであり、かつ他に代替できるものがないか、使用中の患者や新たな患者に対して緊急の用途に供する必要がある「緊急型」など、5型の分類がなされている。このような観点から、MRIは影響度分類をあてはめるならば、「危害型-管理系(I-B)」に分類されると考えられるが、今回の東日本大震災で実際にどのような被害がMR装置に発生したかを明らかにし、より具体的なリスク予測を行う必要がある。

日本磁気共鳴医学会の安全性評価委員会(委員長 研究代表者)は今回の震災発生4日後(平成23年3月15日)に「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」を提案し、厚生労働省を通じて2次災害の防止対策が各都道府県に通知された¹²⁾。この提言はMR装置の安全管理に関する物理工学的知識を基にして、震災現場において起こりうると考えられる事項を中心に緊急的対処について提案したものであったが、被災現場の状況についての具体的な状況が確認できないため、あくまでも理論的に考えうる範囲で作成されたものである。その後、代表研究者らは東北3県を中心としたMR装置被災の事例収集を行い(協力機関約20)、今回の震災において実際に発生した事象の定性的な情報を得た。その結果を第39回日本磁気共鳴医学会で「緊急報告 震災におけるMRIの危機管理」として報告した(平成23年9月30日、小倉、興相征典大会長)。

このような予備調査活動では、MR装置の破損が具体的にどのように生じているのかについては分かったが、その背景要因や個々の施設が直面した問題が何であるかについては十分な情報が得られなかった。また、津波被害の著しい地域に関する具体的情報は限られており、クエンチの発生についても情報が限られており実体がつかめなかった。本調査研究では、MR装置の被害状況だけでなく、発災当時に検査担当者が取った処置や行動、検査現場の視点から捉えたMR装置復帰過程の状況や課題、今後の防災対策に対する考えなどを調査し、可能な限り定量的な評価を行う。阪神淡路大震災でもMR装置の被害調査は行われ

たが¹³⁾、被災した装置の規模が異なるだけでなく、MR 装置の高性能化が進んだため静磁場強度が高い装置（3T 装置）が普及したことなど、当時と比較するとかなり状況が変わってきている。また、今回の震災では三陸海岸沿いを中心とした津波の被害が著しく、医療施設が津波に巻き込まれた事例も多数報道されており、家具や什器類の転倒と火災の被害が大きかった阪神淡路大震災とは状況が異なる。

従って、今回の震災被害を受けた太平洋沿岸地域に対して大規模調査を実施し被害事象ごとに定量的な評価を行ない、その発生に関連が深い因子を探索する。特に注目される被害が報告された施設に対する訪問調査を行い、より詳細な問題抽出を行う。また、都市型の被害としての特徴があるかどうかの検討を行う。震災時や震災後の管理において関心の高いクエンチの発生リスクを予測するための指標を探索するための分析と試験研究を行う。

これらの結果を基に、先に出された緊急提言を改訂し、発災時の緊急対処、平時の防災対策などを定める MR 検査室の防災指針を策定する。そのために、医療従事者の MR の安全に関する基礎知識の実情調査、発災時の MR 検査室における検査担当者の行動分析、MR 装置の仕様上の問題点の分析、東南海地区における MR 検査室の防災対策の現状について概況を調査する。これらの作業を進める過程で、得られた情報を地域的な取組の中に取り入れるための啓蒙活動を行う。このような調査研究は世界的にも例が無いが、今後予想される南海・東海地震等への対策としても不可欠である。

B . 研究方法

研究体制

本調査研究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。各地の研究協力者を介して、地域のMR研究会や診療放射線技師会、放射線技術学会の支部等の協力を得た。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

本調査研究は平成24、25年度の2年間を実施期間としたが、初年度はMR装置と検査室の被害状況の解明、2年度はその結果に基づくMR検査室の防災指針の策定を中心として進めた。平行して、関連項目の調査とクエンチ対策に必要な基盤知識を整備するための試験研究を行った。

平成24年度の調査研究は、MR装置の被災調査と、被災後のMR装置の安定性の評価指標を探索するための試験研究の2項目を実施した。被災調査は、得られたデータの総合的評価研究、注目される被害が認められた個別施設への訪問調査研究、建物要因に関する分析

研究、都市部の特徴に関する分析研究、震災後の検査担当者の行動分析研究の5課題に分けて分担研究を行った。

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。

緊急停止ボタンの規格標準化(分担研究25-1)

免震技術・設置上の課題(分担研究25-1)

発災直後の緊急対応訓練(分担研究25-1)

標準的な復帰手順の策定(分担研究25-2)

緊急地震速報の活用(分担研究25-4)

(24-1) 東日本大震災によるMR装置被災状況に関する質問紙調査の報告(国立長寿医療研究センター、中井敏晴)

平成23年に行った予備調査の結果から判明したMR装置に見られる被害事象を中心に、東日本7都県の太平洋沿岸部に設置されている984施設を対象とした質問紙による調査を平成24年7月より開始し、10月に調査票の回収を完了し12月に一次集計結果をとりまとめた。東北厚生局、関東甲信越厚生局で保健医療機関として登録されている施設から、協力組織が把握している施設、商業誌で公表されているMR装置の設置状況等の情報を元にMR装置を保有する施設を確認の上、

調査票の送付対象を確認した。調査票は国立長寿医療研究センターを最終的な発着点とした。施設単位の調査であり、同一施設からの重複回答は含まれない。

調査内容は14項目からなり、施設の基本情報と設置されているMR装置の種別、確認された被害事象、装置ごとの被害状況(設置方法、建屋の状況を含む)、装置ごとの復帰状況と問題点、発災時の業務状況と緊急対応の内容、人的被害の有無、今後の対策、が主な質問内容である。調査票の詳細は分担研究「東日本大震災によるMR装置被災状況の質問紙調査」の報告に記載する。平成24年度は、全体的な傾向の把握、特に津波被害の特徴分析と分担研究3～5で使用するデータの抽出を行った。

(24-2) 岩手・宮城・福島の東北3県のMRI被災調査(アンケートおよび聞き取り調査)(東北大学大学院医学研究科 町田好男)

平成24年度11月から平成25年1月までの期間に東北3県で特に注目される被害(津波、建物の大きな損壊、クエンチ、その他MR装置が目立った被害など)が報告された25施設に対して訪問調査を行った。訪問調査では震災発生時の対応についての詳細の聞き取り、痕跡が残っている施設については現場の視察、今後の震災対策に関する問題意識等の聞き取りを行った。18の質問項目(分担研究報告を参照)を準備したが、あらかじめ調査項目を送付し施設として重要と考えられる項目について重点的にインタビューを行った。

(24-3) 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(労働安全衛生総合研究所 山口さち子)

地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災におけるMR装置被災の背景要因を探索した。データは東日本大震災によるMR装置被災調査の全国集計¹⁴⁾を利用した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とし、主に震度と被害内容の関係性について検討した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とした。東日本大震災によるMR装置被災調査結果から、調査地域のMR装置ごとで回答構成される台数ベース(N=603)のデータ(アンケート回答票1及び2)と調査地域の施設ごとの回答で構成される施設ベース(N=458)のデータが得られている。

まず、台数ベース(N=603)のデータについて、回答票1よりMR装置の被害状況と震度との関連、アンカー固定とMR装置の被害状況との関連、設置建屋とMR装置の被害状況との関連、回答票2より復旧状況と震度との関連、検査時の状況と復旧状況との関連について²⁾検定を行い検討した。次に、施設ベース(N=458)のデータについて、MR装置の破損状況(問2-)と震度との関連、復旧の状況(問4-、4-)と震度との関連、

災害時のMR検査の安全確保に関する指針(問12-)と震度との関連について、²⁾検定を行って被害の背景要因と推定される事項が何かを検討した。

(24-4) 首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向 -東日本大震災における被害状況:東京都・埼玉県を中心に-(日本医科大学 土橋俊男)

東日本大震災では広範囲に渡って被害が発生したが、都市部と地方でMR装置の被害状況や復旧過程の相違点を明らかにし、都市部でのMR室の防災対策を考える上で考慮すべき観点を抽出するための分析研究を行った。データは東日本大震災によるMR装置被災調査の全国集計¹⁴⁾を利用し、首都圏(東京埼玉)と全体データの比較を行った。その上で、臨床検査の現場の視点から今後の防災対策として必要な事項の検討を行った。

(24-5) 東日本大震災における「MR検査の患者の安全確保」と「MR装置の安全確保」について・(25-4) 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研究科、磯田治夫)

平成24年度に実施した東日本大震災による被災施設調査¹⁴⁾の中で、調査項目「8 発災直後に取った措置:8- 患者の安全確保」と「8 発災直後に取った措置:8- MR装置の安全確保」の自由記述の内容を、患者の安全確保では検査担当者の行動を経時的なステップで分解して行動パターンを分類し、MR装置の安全確保では処置内容で分類を行った。自由記述の分類であるため該当数の積算までとし、25年度に実施する防災基準策定で検討すべき項目の抽出を行った。また、中部地区(7県)における今後の調査、啓蒙活動を行うための地域連携に関する予備調査を行った。

平成 25 年度は被災調査結果から得られた情報¹⁴⁾を活用して、首都直下型や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。

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。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。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 780 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。

（24-6）被災時の超伝導型 MR 装置の不安要因解消のための工学的知見と提言・（25-5）超伝導型 MR 装置利用者へ提供すべきクエンチ予防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）

本項目は 2 年間の継続課題として実施した。医療機関で装置交換時に廃棄される MR 装置を利用して、クエンチや消磁過程におけるマグネットの動態変化を観測、分析した。マグネットの発生磁場変化は磁束計を用いてマグネット開口部付近での定点磁場観測を実施し、クライオ内圧はマグネットに備え付けられた圧力計を利用した。放出配管の表面温度変化はマグネットの内圧放出口付近の構造物に極低温用温度計を取り付けて行い、クエンチ発生からクエンチ終了までの屋外放出口の目視観察および映像撮影を実施した。これらのデータを基に、「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、早期にその兆候を把握するためのポイントに関する考察を行った。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理工学的な検討を加え、MR 検査室の安全管理に必要な理工学的な事項を整理し、防災指針に反映させた。

（25-1）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¹⁴⁾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。

(25-2)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¹⁴⁾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。

(25-3)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、「聞いたことがある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。

(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。特に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

(24-1) 東日本大震災によるMR装置被災状況の質問紙調査の報告

発災後2週間の動向

東日本大震災が発生してから2週間以内に震災時におけるMRの安全に関して国民向けに公表された情報の調査を行った(表1)に示す。本調査結果では、2週間とは、津波等の激甚被害にあった医療施設にMR装置メーカーの担当者が到達できた時期であり、激甚被害地区以外で社会インフラがおおむね復帰した時期に相当する¹⁵⁾。1日1回以上の頻度でMR装置メーカー5社および日本医療画像システム工業会のホームページにアクセスし、一般国民向けとして公表が確認できる情報を収集した。日本磁気共鳴医学会が公表した「災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言」¹²⁾以外には、被災したMR装置に近づかないよう注意を呼びかける情報がMR装置メーカー1社および業界団体から出されている。また、上記提言を引用する形での情報提供が別のMR装置メーカー1社から出されている。

これ以外に、顧客のみを対象として自社製品の取り扱い説明書の一部を抜粋し、計画停電についての資料として配布を開始した例があった。

施設の被災状況に関する調査結果

岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京、埼玉の7都県でMR装置を保有する983施設を対象として、MR装置に発生した破損の種別、発災時の様子や緊急的対処の内容、再稼働における問題点などについて調べる無記名調査を実施し458件の回答を得た。19%のMR装置に何らかの被害事象が見られ、震度5以下と6以上で発生率に有意の差があった($p<0.001$)。マグネットの移動(12.4%)、チラーや空調の故障(9.6%)、急激なヘリウム量の減少(8.4%)、マグネット装備品の破損(7.6%)などが代表的な被害事象である。クエンチは19件確認され、即時クエンチは5件であった。

注目事項の第一はインフラ障害(資料2)による二次的な被害の発生で、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である。大地震の後では、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(冷却システムの動作、漏電の有無、寝台の動作)、撮影室のガス配管なども含めて総合的な点検が必要である。今回のように震度5以上の激震が広範囲で発生する大震災では装置メーカーの支援を受けられる保証は無いので、現場の検査

担当者やMR装置管理者が安全確保のために積極的に行動せざるをえない状況であり、そのための指針が重要であることが本調査で数値として確認された。

注目事項の第二は津波被害である。東日本大震災では三陸海岸を中心として著しい津波の被害が発生し、大船渡市では10.7m(浸水高)を、陸前高田市では15.4m(浸水高)を記録している。東日本大震災でMR装置の浸水被害は12施設(超伝導型5台、永久磁石型7台)であった。建物が完全流出した事例は2施設(いずれも海岸から1km以内の距離にある診療所で永久磁石型のMR装置を設置)であるが、1施設については現場付近でマグネットが発見されていない。その他の11施設の浸水の程度はさまざまであるが、MR装置は浸水したうえで残存しており、浸水が極めて軽微であった1施設を除いていずれも廃棄処分になっている。これ以外に、MR装置の直接浸水はまぬがれたものの、浸水の一步手前であった施設が7施設あった。浸水した5台の超伝導型のMR装置のうち即時クエンチを起こしたのは1台であり、他の4施設は冷媒不足による遅延クエンチか強制クエンチのいずれかで磁場を停止しており、浸水そのものがクエンチの直接原因にはなっていない。サンプル数は限られているが、1)浸水がクエンチの直接原因になるという明確な証拠は得られなかった、2)しかし冷却システムの破壊による遅延クエンチはほとんど不可避である、と言える。

浸水被害のリスク分析は以下のとおりである。全調査対象(984施設)に対しては1.2%

の浸水率(浸水に瀕した事例を含めると1.9%)であるが、津波の被害を受ける可能性がある三陸海岸沿岸部を対象に考えてみると全く異なった数字になり、宮城、岩手の沿岸から5km以内を母数とすれば36%、4km以内では41%の浸水率になる。海岸より4km以内で浸水を免れている施設は海拔が12m以上(設置場所としては14m以上と想定)であるが、浸水しにくい特別な地形的特徴が見られた。また、浸水によるMR装置の全損例は建物崩壊による全損よりも遥かに事例が多く、建物は耐震や免震であっても耐水ではないことを銘記すべきであろう。

また、浸水被害によるリスクとしては、以下の点があげられる。

1. 流入した大型磁性体による吸着事故
2. 異常なクエンチ(遅延クエンチは不可避)
3. マグネットの流出や露出による二次被害
4. 軽微な浸水の場合は再稼働時の電気回路の安全性

注目事項の第三はクエンチの発生リスクである。目に見える現象としては発熱による冷媒(液体ヘリウム)の沸騰、気化に象徴されるが、大規模なヘリウムの気化を伴わないで磁場が消失する場合もある。高温超伝導素材を使用し低温の気体ヘリウムを冷却に使用しているマグネットでは液体ヘリウムの急激な沸騰現象が観察されないため目視ですぐにクエンチと分からない。クエンチそのものは、MR装置の撤去時に行われるように管理された状態で発生する限りはそれほど危険な現象ではないが、現実的な危険の原因は液体ヘリウムの急激な気化現象である。

本調査では19件のクエンチ事例が確認されており、そのうち、即時クエンチは5件であった。1件は津波による浸水事例(前述)残りの4例は第一波の地震の発生をきっかけとして生じたものであった。強制クエンチは2件あり、そのうち1件は浸水被害後の安全確保のための措置である。それ以外は10例が冷媒不足等による遅延クエンチ(地震発生から24時間後かつ一ヶ月以内の全てのクエンチか、一ヶ月以降でかつ震災との関連性が明確なもの)、4件が原因不明のクエンチ(地震発生から一ヶ月以降で震災との直接の関連が不明なもの)であった。東日本大震災において地震そのものをきっかけとして発生した即時クエンチ(5例)の発生率は1.1%(超伝導型472台に占める割合)である。遅延クエンチも含めると4.0%になる。回答が寄せられた施設における過去のクエンチ経験は11.1%であり、クエンチ自体が決して極めて稀な事象では無いが、MR装置の運転日数を考慮すれば1日に5件の発生は高い確率になる。低温物理学的には地震による震動そのものがクエンチを起こす直接の原因になるとは考えにくいとされるが、今回の調査結果からはクエンチは震災において一定の注意を払うべき事象であることが確認された。

もともとクエンチの潜在的リスクが高まっていたMR装置に地震による衝撃が加わると発生しやすいのか、地震波の特徴、建物構造や設置方法などの施設固有の条件が影響するのか、それ以外の要素が関与するのかなど、まだ未解明の部分があり、今後の検討を要する。

(24-2) 岩手・宮城・福島の東北3県のMRI被災調査(アンケートおよび聞き取り調査)

被災施設への訪問調査(聞き取り調査)は原則として2名の研究協力者が調査員として訪問する形で行った。調査対象は岩手4施設、宮城14、福島10、計28施設で、アンケート調査の結果で注目された施設を抽出し、訪問調査の承諾を改めて取った。

岩手の4施設では施設の立地条件の違いにより、発災直後の様子が異っている様子が明らかになった。地震による建物被害が大きかった施設ではMR検査が行われておらず、装置の状況把握のみが行われ立ち入り禁止措置が取られていた。地震発生後、25~30分で津波の襲来を受けた施設では装置の被害状況把握すらできていない。今後はこの短時間内に行なうべきことの優先順位を検証する必要がある。本調査の対象ではないが、ある県立病院(MRI装置は未設置)では、揺れが収まった時点で放射線機器の点検を行っていた時「津波が来た」との声が聞こえたために慌てて避難し、難を逃れたとの事例が報告されている。

宮城県はほぼ全域が6弱以上の震度を記録した。建屋が激しく揺れる最中、ボア内から患者救出を行うのは非常な困難を伴った。患者の稼働性やスキャン中の体位、使用されていたコイルの種類は多様であり、緊急的な救出の支障になる要素はさまざまであった。マグネット本体の移動により途中から患者の載る寝台を引き出すことができなかった、大型のコイルがガントリの内壁に引っかかり、引き出せなかった等の事例が報告された。このような状況で、患者をガントリ内部で待機さ

せるべきか、激しい揺れの中で危険を冒しながらも引き出してテーブルから降ろし、スキャンルーム外に誘導すべきかについては議論があった。

今回の調査の中で、病院全館に「緊急地震警報」のシステムを備えた施設が3施設あった。ある施設では、災害時の対応として、「緊急地震警報」の放送がなれば直ちにスキャンを停止して患者を救出する訓練が徹底されていた。また、別の施設では、以前は誤報等の理由でこのシステムが活用されていなかったが、3月9日の前震を経験していたために、大きな揺れが来る前にスキャンルームに入って患者救出を開始することができたと報告している。もうひとつの施設では、S波到来までの予測時間をカウントダウンするシステムであった。いずれもの施設でも患者救出の観点で「緊急地震警報」のシステムは有効であったと報告している。

震災対策としての免震構造の有効性を明確に示す注目すべき事例があった。震度7でも免震構造の建屋に設置された装置には全く損傷はなかったが、耐震構造の別の建屋に設置された装置は台座からマグネットが脱落して移動してしまい、患者テーブルの軸方向がずれてしまった。

マグネット本体の設置方法と被害との関係ではアンカー止めしない装置でマグネット本体の移動や回転が見られた。このようなマグネット本体の損傷は、クエンチダクトの破断など重大な2次的被害を引き起こした。建屋の耐震性能や、地盤等の立地条件を考慮したマグネット本体の設置方法についての指針が

求められる。

ほとんどの施設で停電を経験したが、商用電源が復電までの間冷却システムが停止したままの施設が多数あった。そのために液体ヘリウムの蒸散が通常より増加し、そのためにクエンチの発生を危惧していた施設がいくつかあった。自家発電設備を有しているものの、MR装置の冷却システムへは電源供給されない施設や、本来電源供給されるはずであったにもかかわらず切り替え設備の不具合で供給されなかったなど、実際に震災が発生して想定外の事態に直面した。

多くの装置メーカーが、MR装置の復旧に直ぐには対応できない状況であった。仙台市は各メーカーが東北地方のサービス拠点を置いているが、被災地にあるメーカーの拠点やそこで働くサービスマン自身も被災者であったという視点を忘れてはならない。そのためにも、ユーザー自身による適切な対応を行うための災害時マニュアルが求められる。

福島県内では津波による被害を受けた施設は無かったが、原子力災害によって非難区域となった施設の状況や、発災当初の対応についての指摘が主であった。調査対象10施設のうち装置自体が被害を受け検査停止を余儀なくされた施設は6施設であり、再稼働までの日数は、装置が復旧しても病院の運営上の問題で遅れたケースがあった。震災後にMRIの操作室が患者の一時避難所や一般の技師室として利用されていたケースがあり、その妥当性について検討する必要がある。

(24-3) 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

汎用的な指標である震度に着目し、東日本大震災におけるMR装置被災¹⁴⁾の背景要因を探索した。MR装置の被害が「影響なし」と「影響あり(軽微、半損(軽)、半損(重)、全損)」の二群に分類し震度との関連を検討したところ、震度の上昇につれてMR装置への影響が有意に増大していた($p<0.001$)。

「アンカー固定なし」と「アンカー固定あり」の二群に分類し、「影響なし」と「影響あり」の二群に分類して検討した結果、「固定あり」で被害事例は13.0%であったのに対し、「固定なし」では36.4%で有意差が認められた($p<0.001$)。

設置建屋を「耐震構造」、「制震、免震構造」、「その他」の三群に分類し、影響の有無による二群に分類し解析したところ、影響が少なかったのは「制震、免震構造」であった($p<0.05$)。「耐震構造」と「制震、免震構造」間においても、「制震、免震構造」で有意な被害減少が観察された($p<0.01$)。

復帰状況と震度については、メーカーによる(発災から)復旧作業(修理)開始までの期間、(発災から)機械が使用可能となるまでの復旧期間、(発災から)検査を再開するまでの期間のいずれにおいても、震度と関連した有意な復帰遅延が観察された($p<0.001$ 、表4)。震度の上昇とMR装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増加が確認された。

発災時に検査が行われていた状況を示す「スキャン中」及び「実験中」を「稼働中」

とし、それ以外の状況（始業前、就業後及び非稼働状態等）を「それ以外」と分類すると、MR 装置が使用可能となるまでの復旧期間（発災から）、MR 検査を再開するまでの期間において、「稼働中」に対して「それ以外」の群で復旧遅延傾向が示された（ $p < 0.001$ ）。

MR 装置の破損状況を、震度別（震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上）でカイ二乗検定を行ったところ、磁性体の吸着とシステムキャビネット等のアンカーの破損を除き有意差が観察された。クエンチ関連事項（チラーや冷凍機の故障、クエンチダクトの損傷、急激なヘリウム量の減少、屋外機の設置状態の異常）についても有意差が観察された（ $p < 0.05$ ）

復旧作業の状況について、震度別（震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上）で検討を行うと、「病院（施設スタッフ）による点検のみによる再稼働（178 件）」の割合は震度 5 以下で高かったが、「MR 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）」は震度 6 以上で増加を示した。カイ二乗検定を行うと、これらに有意差が観察された（ $p < 0.05$ ）。

このように、震度は被害事象や復旧状況と統計的に有意の関連性がある事が確認された。

（24-4）首都圏における大震災による MRI 装置の被害傾向 -東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に-

首都圏（東京、埼玉）では MR 装置を 2 台以上保有する施設が 35%を占め（全体 20.5%）、複数の装置が設置されている割合が高かった。設置建物の制振・免震化率は東京都で 21.6%

であり、全体の 8.2%よりも高い比率であった。一方で、6 以上の震度であったのは 2%であり、全体の 30%と比較するとかなり低かった。マグネットの移動は 4.6%（全体 12.4%）、マグネット装備品の損壊 0.8%（全体 7.6%）、クエンチダクトの損傷 0.8%（全体 4.5%）、MR 検査中の患者受傷が 1.5%（全体 2%）であった。首都圏でも即時クエンチが 1 件発生している。一方で、浸水（全体 3%）や火災被害の報告はなかった。

首都圏では免震構造および制震構造の建屋の装置には今回の震災による被害が発生しておらず、震度 6 強の強い揺れがあった免震構造の施設でも全く被害が発生していなかった。一方、耐震構造では震度 4 あるいは震度 5 弱で被害が発生しており、免震構造の施設と差があった。震災に伴う MR 装置の被害の発生率低減に免震構造が有用である点が明らかになった。ビルの 9 階に設置されていた超伝導型の装置（アンカー止め無し）の事例では、クエンチダクトを中心に 50 cm 程度回転性の移動が生じた。今回の調査では、回答を容易にするために移動の有無のみを尋ねたので、どのような移動であったかについての詳細情報が得られていないが、今後は建物の階との関係や移動の方向についての検討を進める必要があると考えられる。

東北地方と比較すると相対的に高い制振・免震化率と低い震度のために、MR 装置の被害程度に差が認められたと考えられる。しかし、停電等のインフラ障害による二次的なトラブルの発生については建物構造や震度とは関係なく影響を受けるので、まず共通の防災対策

を考えねばならない。今回は報告されていないが、医療施設専用でないビル（複合ビルのクリニックなど）に設置された MR 装置がクエンチを起こした場合の周囲への影響についても十分な検討が必要と考えられる。

（24-5）東日本大震災における「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」について

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難があることなどが判明した。寝台上の患者の安全を確保する方法、MR 検査室から寝台ごと室外へ運び出せるシステムなどが重要と思われた。また、緊急地震速報により、本震襲来よりも早期に患者救出を行う訓練をする必要もあると思われた。震災による MR 装置の損傷を最小限に留め、二次災害を防ぐ手段とし、MR 検査室の施錠、立入禁止措置、冷凍機関係のチェック、クエンチに対処するための措置があり、今後、防災対策において考慮すべき内容と考えられた。

防災基準の策定の準備として、中部地方の震災対策の現状については、15 施設（7 県）を対象とした予備調査を行った。その結果、地震対策全般についての施設レベルでの対策は取られているが、MR 装置に関連したものは少なく、特に東日本大震災クラスの震災を想

定したものが無いことが分かった。また、各地区や学会における MR 装置に関連した震災対策についても、MR 装置に関連したものはなかった。震災対策として今後取組が必要と思われる事項としては、防災訓練、震災時の患者救出マニュアル、被災直後の復旧～安全確認までの MR 装置のチェックリスト、MR 装置メーカーの震災対策、被災状況の情報共有・連絡網の構築など指摘された。

（24-6）被災時の超伝導型 MR 装置の不安要因解消のための工学的知見と提言・（25-5）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

震災後に医療施設の MR 検査室の担当者がクエンチのリスクについて少しでも予測できるようにするために、MR 装置の被害調査アンケートの結果から、MR 装置のクエンチに関する不安要因を抽出したところ、以下の 10 項目にまとめられた。

- (1) 冷凍機用冷却水の循環停止、(2) 急激なヘリウムの減少、(3) クエンチダクトの損傷、(4) 磁性体の吸着、(5) 液体ヘリウム液位の低下に起因するクエンチ発生時の不安、(6) 排気管の破断によるヘリウムの撮影室への窒息性低温気体漏出の不安、(7) 液体ヘリウムの供給不足、(8) 磁場停止措置の明確な判断基準が不明、(9) 震災時における MR 装置の再稼働時の注意事項が不明、(10) クエンチのリスクに関する状況判断の難しさや不安

本調査研究の最終目標である防災指針において、震災後の緊急的対処を考え上でのリスク評価を行うために、撤去される MR 装置を

利用したクエンチ（消磁）時に見られる現象の計測を13台のMR装置を対象として行った。

液体ヘリウムの急激な蒸発を伴わない電源装置を使った消磁の場合1.5Tの主磁場は22分18秒で0となった。配管表面温度観測では、電流リードを冷却するガス配管出口温度は-60、室外放出配管付近の表面温度は-58まで下がったが、空気の液化温度まで下がらないことを確認した。

強制クエンチによる消磁事例では、次のような現象が再現された。緊急減磁装置のスイッチ（クエンチボタン）を押すと、配管内をガスの流れる音がだんだん大きくなり、1秒以内に磁場減衰効果の評価用に人工的に吸着させてあった磁性体が落下した。次に大きな音と共にバースティングディスクが破れ、一気に低温のヘリウムガスが室外に排出された。同時に配管が急激に冷やされるため、廻りの空気が配管壁面で液化した。また、室内配管のつなぎ目などからヘリウムガスが漏れ出た。急速な低温ガスの排出により大気中の酸素が液化し、マグネット表面に流れ、温度が低下した。マグネット上部の放出配管周辺の温度は、最大-150～-200度にまで低下し、-100度以下の状態が1時間程度は続くことが確認された。また、屋外排気口周囲の温度も、-100度以下に下がることが確認された。バースティングディスクが破れるまでの時間は、装置により異なるが、概ね数秒程度であった。

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。

(25-1) 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、インフラ（電源、交通、通信）障害の回答が最も多く、次いで 原発による立ち入り制限や、

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、ユーザーのニーズとメーカーの立場の間に違いがあり、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、

MR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、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、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。

(25-2)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¹⁴⁾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(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(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する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、テストスキャンの評価」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、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、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、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、MR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、

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、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、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、既に引地らによりまとめられた指針策定のためのワークショップの報告書¹⁶⁾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。

(25-3) 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、火災発生の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。

各設問の得点に關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、 $p < 0.01$)。

(25-4) 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、原田雅史大会長、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。

D . 考察

震災にかかわる MR 装置の安全対策は大きく次の 3 段階のフェーズに分けられる。

- 1) 発生前：震災を想定した防災対策
- 2) 発生時：発生時の緊急的対処 (危機管理)
- 3) 発生後：MR 装置の復帰における安全管理 (安全な復帰)

いずれの対策を考える上でも、震災によりどのような具体的被害が生じたか、発生時やその後に MR 検査担当者が実際にどのような事態に遭遇し判断を迫られたかを明らかにするところからスタートしなければならない。本調査ではこの点を考慮して設問構成を考えたが、一方で詳細を追求するあまり設問を複雑にすると回収率 (回答率) を下げる方向に作用するので、回答が難しくなる可能性のある詳細情報についてはアンケート調査では敢えて尋ねなかった項目もある。

MR の安全のガイドラインは MR の物理量に関する規制値の形で IEC (国際電気標準会議、International Electrotechnical Commission)

規格：IEC60601-2-33/JIS-Z4951（第3版）に集約されており、静磁場、傾斜磁場、ラジオ波の出力制限や、騒音などについての制限を設けている。また、MR検査を受ける際に問題となる治療器具等の安全性については ASTM（American Standard of Testing Materials）の試験基準（F2052-06、F2119-01、F2182-02a、F2213-06、F2503-05）が安全性の確認方法を定めている。しかし、これらの安全関連の規格群は大震災がほとんど見られない欧米で作成されたものであり、防災対策や緊急的対処については特別な記述は無い。今回の調査においても震災時においては平時においては起こりえない事象が確認された。その危険性の本質を考える材料は、これらの規格が制定された根拠となる物工学的な知見が参考になるものの、具体的な判断基準は異ってくる。さらには震災時においては MR 装置を保有する施設が自ら危機管理に乗り出さざるをえない実情が本調査研究で明らかになった。通常通りに近いメーカーの即時的な対応が可能であったのは被害が軽微な地域やサービス拠点から近くで交通が遮断されていない地域、あるいはサービスマンがたまたま来院していたなど、限られた条件下にあった施設に限られ、メーカーのサービス要員も個人としては自宅の損壊や身内の被害などを抱える被災者の立場であり、ガソリン、食料等が欠乏した中での作業を強いられていた、という現実が指摘されている。また、コールセンターに連絡が通じて、MR 装置の遠隔モニタシステムも機能しておらず、さらに被災現場で何が起きているか実情が十分に分からない状態で適切な

指示が出ているのかどうか疑問であるとの指摘もあった。

被害が著しかった東北地方沿岸部の聞き取りでは、メーカーの要員が始めて訪問してきたのは発災後2週間頃で、それまでの間通信もほとんど途絶えていた、とする回答が多く、被災現場の判断だけで対処しなければならない期間が2週間程度は続いたと推定される。従って、この2週間の間 MR 検査室の担当者は自力での対処を迫られるので、震災時の危機管理に関しては装置メーカーや機種に依存しないある程度汎用性のある指針が必要になる。日本磁気共鳴医学会から出された「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言」は、そのような状況への対応、特に二次災害の防止を念頭に置いたものであった。

主な被害事象

今回の調査対象施設の 94.7%の施設が震度5弱以上の揺れにみまわれており、震度1~4程度の揺れであった施設のサンプル数が足りないため、震度4以下の群と直接比較ができない。さらには、MR検査室が実際に受けた衝撃は直近の観測地点において観測された震度と必ずしも同一とは限らない点に注意すべきであるが、震度5弱で MR 装置の使用上注意すべき被害（マグネットの移動、排気管の損傷など）が発生し始め、震度6以上で施設では対応しきれない程度の被害が増加すると捉えることができる（分担研究24-3参照）。震度と被害程度の関連性については統計的に有意な相関が見られるため、震災後に個々の施設で MR 装置を自己点検する際のリスク予測を

行う上で、その施設で実際にどの程度の震度であったかを確認することができれば非常に有益と考えられる。特に、電波・磁気シールドの破損や配線・配管の損傷など目視ではすぐに分からない異常については、実際の震度が分かれば、震災直後の暫定的なリスク判断の材料になろう。大型の医療機器を多数保有する基幹病院では震度計の導入により MR 装置だけでなく、医療器機全般の破損リスク予測について一定の意義があるのではないかと考えられる。

個別の被害事象は、その被害が発生することにより付随的な被害が予測されるものが少なくない。マグネットの移動(12.6%)は最も多い被害で、アンカー止めされていない場合に被害の発生率が高かった。アンカー止めを行うかどうかの判断は、2つの背反する要素を考える必要がある。マグネットの移動に付随する排気管(クエンチダクト)等の配管、寝台の破損、復帰のコストを考えればアンカー止めを行うメリットがある。一方で、非常に強い力が固定されている床面に働いた場合、それが直接マグネットに伝わってマグネット本体の損傷を起こす可能性も考えられる。例えば、MRI と基本原理を同じくする分析機器である NMR 装置に関する報告では、エアダンパー等の免震システムを採用している装置ではクエンチが生じなかったが、数センチ程度の揺れまでしか吸収できない固定を施された NMR 装置ではクエンチが発生し、液体ヘリウム層の断熱部分に異常が発生したのではないかと推定された事例が報告されている¹⁷⁾。MRI 装置の場合 NMR と比較してマグネットの重量

が大きいことと、電磁シールドが必要になるため、今後は個別の装置の設置での免震で十分な対策になりうるのか、建物全体の免震が最も確実と考えるべきかについて検討を進める必要がある。最近、床免震の技術も進歩し、サーバー室などに施行される例が見られるが、MRI 装置の設置において床免震がどの程度の効果が期待できるかについてはまだ十分な情報が得られていない。今回の調査では、MR 装置の被害が半損(軽度)以上であった 31 施設には免震構造の建物(MR 装置単位で全回答の 9%)に設置されていた事例はひとつも無く、1 例(制震構造にて軽度半損)を除いて、全てが免震や制震以外(耐震構造、その他、無回答)の構造であった。免震棟に設置された MR 装置の重大な被害は報告されず統計的にも有意差が確認され、アンカー固定の有無よりも、建物の免震性の方がより影響の大きい事項と言えるが、十分な免震が施された設置方法の場合はアンカー固定を行った方がよりメリットが大きいのではないかと考えられる。

阪神淡路大震災では、家具等の転倒による圧死例が多数報告されたため、震災対策としては画像診断機器や什器類の固定に関心が集まったが¹⁸⁾、今回の東日本大震災による被害調査において MR 装置という数トンクラスの重量を有する医療器機から得られた知見としては、重要な医療機器の地震被害防止のための根本的解決法は建物の免震以外には無いと考えるべき段階に入っていると言える。

クエンチと冷却系

クエンチとは貯留された電磁気的エネルギーが熱に変換される現象であるが、MRI に関しては液体ヘリウムの沸騰、気化による白煙の発生がよく知られている。白煙の発生はあくまでもクエンチによる二次的な現象であるが、クエンチの主な危険性（窒息、凍傷の危険性）はこの液体ヘリウムの急激な蒸発によるものであるため、この白煙の発生を念頭においてクエンチの危険性が説明されることがほとんどである。大規模なヘリウムの気化を伴わないで磁場が徐々に消失する場合もあるが、どのようなクエンチになるかはマグネットの設計と関連する。高温超伝導素材を使用し低温の気体ヘリウムを冷媒に使用しているマグネットでは、通常液体ヘリウムの急激な沸騰現象は観察されないままクエンチに至る。

クエンチのタイプや原因を区別しない限りにおいては、超伝導型 MR 装置を製造販売している全てのメーカーについて東日本大震災が直接、間接的に原因と考えられる、あるいは関連性が濃厚と考えられるクエンチが確認されている。ここで重要なことは、クエンチ発生的事实を製品としての MR 装置の優劣と単純に結びつけて考えるべきではなく、MR 装置を扱う上では共通の問題として認識すべき点である。今回の調査でも確認出来た通り、震度 5 弱以上の地震では、平時と比べてクエンチリスクが一定レベル高まると考えられる。しかし、クエンチのリスクは平時においても抱えている問題であり、もともと無かったリスクが発生するわけではなく、即時クエンチについては今回の調査結果に基づくならば

「震度 5 弱以上で 1% 程度のリスク」と理解するのが妥当であろう。

震災時におけるクエンチについて留意すべき点は 2 つ指摘できる。その第一はクエンチが「正常な過程」を取らない可能性があることである。マグネットの移動に伴ってクエンチダクトの破損が少なからず発生することが今回の調査でも明らかになった。さらには、強制換気装置も非常電源に接続されていない場合は停電により動作しなくなるので、そのような状態でクエンチが生じると気化したヘリウムが撮影室内に充満する危険性が高まる。MR 装置の撤去作業を利用した強制クエンチの分析研究（分担研究 24-6 参照）においても、排気管のつなぎ目からヘリウムが漏出される様子が確認されており、この点については十分な注意が必要と考えられる。排気経路に破損が生じた場合は建物内の思わぬところにヘリウムが漏出する可能性もあるが、病院は施設の改修が多いため、当初排気口が設置された場所の状況が数年後には変わっていることもありうる。関連して考えておくべきリスクはクエンチによる発熱に対する冷却が不十分になった場合に発生する超電導磁石の焼損で、超伝導線材に用いられているニオブチタン（NbTi）の転移温度である 10 K 以上になるとクエンチによる焼損からの保護は困難とされている。冷却系が停止した状態で冷媒が減少し、その状態でクエンチを生じると、発生する熱に対する冷却が働かないため、焼損を生じる場合が考えられるが、どのような設計のマグネットでどの程度のリスクであるかを今後明らかにしてゆく必要がある。

検討すべき第二の課題は、マグネット表面における気体の液化現象である。分担研究24-6において明らかにされたように、正常なクエンチにおいても、空気（酸素、窒素）が液化し床まで流れ落ちる現象が生じる。排気管が損傷し外れた、マグネットを覆う筐体が破損した、あるいは外れ落ちた、などの状態でこのような現象が発生すると、思わぬ経路で液化した酸素や窒素が流れて来て受傷する危険性があるため、MR 検査担当者はこの現象の本質をよく理解しておくべきであろう。クエンチが発生した場合、患者の救出は急務であるが、排気経路が破損し、強制排気システムも動作せず、室内に極低温のヘリウムが充満しはじめた最悪の状態を想定して、患者救出にあたる職員がどのような体制で作業にあたるべきか、改めて検討する必要がある。

マグネットの移動により排気系に損傷が発生し、直後に酸素濃度計の警告音が鳴って撮影室内の酸素濃度が一時的に低下した事例があったことは注目される。クエンチは発生していないが、地震による液体ヘリウムの気化亢進により排出されたヘリウムが漏出したものと推定され、注意を要する。

冷却系に関係する被害事象は、MR 装置の再稼働を控える場合でも注意を要する。チラーや空調機の故障の発生率は9.6%であったが、建物は免震されていても、多くの場合建物の外に設置されている室外機までは免震されていないため、地盤の変動が大きければ容易に破損しうる点には注意しておくべきであろう。今後は、冷却系の配管にも振動を吸収しうるフレキシブルな構造が必要であろう。急激な

液体ヘリウムの減少（8.4%）も頻度の高い現象であった。停電を伴えば液体ヘリウムの減少が加速されることは間違いないが、停電が起きなくても地震の後に液体ヘリウムの減少が観察されることがある。その原因はマグネットの設計や液体ヘリウムの残量などとも関連すると考えられるが、本調査結果から特定の機序を推定することは困難である。問題は、停電により液体ヘリウムメーターが動作しなくなり、状態が確認できなくなることである。最低、2週間以上ヘリウムメーターが駆動できるようなバッテリーを装備するか、あるいは非常用電源への切り替えがスムーズにできるように、設置段階で考慮しておくことが望ましいと考えられる。そのような備えの全てが機能しなくなった場合を想定して、目視による点検が必要になることを考えねばならないが、停電下で非常照明を使ってどのようにして確認するか、あらかじめ方法を考えておかねばならない。

浸水被害

東日本大震災では三陸海岸を中心として著しい津波の被害が発生し、気象庁の発表ではこの地域ではおおむね7m以上の津波高が観測され、大船渡市では10.7m（浸水高）を、陸前高田市では15.4m（浸水高）を記録している。東日本大震災でMR装置の浸水被害は12施設（超伝導型5台、永久磁石型7台）であった。MR装置の直接浸水はまぬがれたものの、建物の一部が浸水した、施設の敷地内まで水が入り込んで来たなど、浸水の一手手前であった施設が7施設あった。今回の調査結

果から、岩手、宮城の2県において海岸から2.5km以内、標高12メートル以下が浸水被害のリスク因子であったことが分かった。特に岩手県では、今回の震災前から公立病院等の高台への移転が進められており、道路網の整備とともに震災対策として効果をあげていた。しかし、実際に人が住んでいる利便性の高い地区は海岸沿いにあるため、そのようなところで地域医療が必要とされ、診療に用いられるMR装置が設置されることについては、町全体が高台移転するなどの対応を取らない限り、直接の対処が難しい面がある。これは、MR装置に限らず、津波リスクの高い地域において高度医療器機の配置をどのように考えるとよいかという課題であり、地域医療のあり方の中で包括的に解決してゆくべきであろう。

現状を前提として考える場合、特に傾斜地にある施設では、津波による浸水を想定してMR装置等をできるだけ標高が高い位置に設置し、さらに床を高くすることは、本質的解決では無いにしても、ひとつの対症的方法と言える。今回、ぎりぎり浸水を免れた7施設の中では、そのような条件が関係していた事例が確認されている。

浸水した5台の超伝導型のMR装置のうち即時クエンチを起こしたのは1施設であり、他の4施設は冷媒不足による遅延クエンチか強制クエンチのいずれかで磁場を停止しており、浸水そのものがクエンチの直接原因にはなっていない。サンプル数は限られているが、本調査の結果としては、1)浸水がクエンチの直接原因になるという明確な証拠は得られない、2)しかし、冷却システムの破壊による

遅延クエンチはほとんど不可避であり、3)電子機器としての性質上、永久磁石型装置も含め、浸水があれば再使用は困難と言える。

傷害の発生と発災直後の緊急行動

MR装置そのものが人に対する身体的危害の原因となった傷害事例の報告は少なく、かつ重症事例の報告は無かった。しかし、偶発的な吸引事故などの潜在的な危険性については今後も考えておく必要がある。発災直後の緊急行動で最も重要な事項は患者の安全確保であることは言うまでもない。本調査で得られた救出回答を1)行動開始のタイミング、2)MR装置までのアプローチの状況、3)寝台の操作、4)患者の誘導、5)地震が収まるまでの待機場所の5段階に分けて分類した(分担研究「東日本大震災における「MR検査の患者の安全確保」と「MR装置の安全確保」について」参照)。回答を大きく分けると本震が収束してから誘導を開始する考え方と、本震中であっても可能なところまで救出活動を進めようとする考え方に分けられる。どのような救出行動が適切であるかは、現場の状況や救助活動を行う職員の体力、防災訓練等により培われた行動スキルにもより、状況に合わせてリスク対効果で判断しなければならない。現場判断のポイントとしては以下の要素が考えられる。

患者状況

- 1)患者の容態、体重、可動性
- 2)点滴等持ち込まれている医療器具の有無
- 3)使用中のコイル、拘束帯使用の有無

現場状況

- 1) 寝台が正常に引き出せるか
- 2) 引き出した寝台から患者が転落する危険性が無いか(マニュアルで寝台が下げられるか)
- 3) 救出の支障となる被害事象が発生していないか

特に寝台からの転落リスクへの対策は重要であり、介助の方法についてあらかじめ検討しておく必要がある。体重の軽い小児の場合は抱きかかえて移動させることができるが、救出に向かう者にとって患者の体重が支えきれない場合もありうる。MR装置に限らず寝台の上に患者を寝かせて行う検査では共通の課題であり、発災直後に応援人員を再配置する訓練も有用と考えられる、なお、今回の調査でマグネットの移動は多数見られたが、マグネット本体の支持構造が破壊され内部に患者がいたとすれば危険な状態となったであろうと推定される事例は報告されていない。しかし、現状では重量物の落下や地震波などによる衝撃等、外力による破壊を想定したマグネットの構造的な強度に関する共通の規格は無いため、地震が発生した時に患者がマグネット内に留まるリスク判断の材料は不明であり、この点についても今後の検討が必要である。今回の震災においてMR装置に関連した受傷発生例で内容が判明しているものは軽傷者2名のみであった。今回確認された被害事象をさらに分析して、震災時にMR装置周辺で起こりうる傷害の可能性を予測し対策を立てる必要がある。

MR装置の安全確保については、電源の遮断

とMR室への立入禁止措置、MR装置の緊急点検の3項目が主たる実施項目であり、回答内容全般に極めて妥当な判断が下されている。MR装置は電源を遮断しても静磁場は発生し続けることを知らない医療施設の職員も少なからずいるので¹⁹⁾、外部から支援者や捜索者が立ち入る場合も想定して、立入禁止措置を行うための表示や機材等を普段から準備しておくことが有用であろう。

地震速報や津波警報をMR検査室でも受信し、一定震度以上の場合にはMR装置の自動停止を行うなどの対策も有効と考えられ、実際にその成果をあげた報告もなされている(分担研究24-2参照)。一方で、MR検査室において、津波の到来に気がつくのが遅れた事例が複数報告された。停電の発生前に津波の到来を建物内部に周知する必要がある。想定外の事態への対応も含めて適切な対処能力を高めるためにも普段からMRの安全全般に関する基礎知識を十分に習得することが不可欠である。

復旧の状況

当初から予想された通り、東日本大震災のような広範囲に渡る大震災では普段のようなMR装置のメーカーによるサポートを受けられる保証は無く、病院のスタッフで待った無しの復旧作業が必要とされていた様子が明らかになった。通信障害によるメーカーのコールセンターへの不通について「支障が大きかった」とする指摘は14.8%であったが、この数字にも現場主導で復旧作業が進めざるを得なかった状況が反映されている。なお、自由記述の内容を見ると通信障害は問4- で尋ねた

「復旧の障害」というよりも、問4- で尋ねた「判断で困ったこと」として捉えられているが、停電は「復旧の障害」として認識されている。

復旧過程において問題となるのは、メーカー保証との関係でメーカーの点検無しに検査を再開した場合、システムに不具合が発生した時の修復費用が保守点検の範囲に含まれるかどうかが問題になる。つまり、直接の点検を受けていないという形式的な理由により修復費用が別途発生することの妥当性である。震災という状況下で医療上の要請のためMR装置を一刻も早く復帰させなければいけないのは、単に個々の医療施設の都合によるものではなく社会的な要請と言えるが、ユーザーとメーカーの間で十分なコンセンサスの形成が必要であろう。

今回の大震災をきっかけとして発生した新たなインフラ問題は「計画停電」である。医療機器センターの調査によれば、多くの医療施設が自家発電装置を持っているにもかかわらず、災害拠点病院や救急救命センターを除けば多くの医療機関が施設全体を補える容量の自家発電装置をもっておらず、MRIを含む画像診断機器は診療上の必要性が高いにも関わらず稼働できなかつたと報告されている²⁰⁾。今回の調査でも自由記述にその状況を裏付ける回答が見られた。今後は、超伝導型MR装置の冷却システムや永久磁石型装置の磁石保温システムなどの運転を維持する最低限の電力だけでも非常用電源から供給できるよう、MR装置の設置段階で対策を考えて行くべきであろう。

過去の震災等によるMR装置の被害との比較

MR装置が本格的に普及し始めてから最初の大規模震災は平成7年に発生した阪神淡路大震災であった¹³⁾。亀井・野口らが行った調査（一部NMR保有施設を含む116施設を対象とし43施設から回答、回答率37%）では、マグネットの移動や冷凍機の停止などの被害が報告されたが、クエンチ、吸引事故や全損の報告は無く、火災による損害も無かったものと推定された²¹⁾。また、発災当日中に77%のMR装置が運転を再開している。阪神淡路大震災では家具等の転倒による圧死事例が死亡者の87.8%を占めたため²²⁾、その後の地震対策では全般的に器物の転倒防止が中心課題となり、放射線機器についてもその観点からの対策が考えられた。

その後、目立った被害を及ぼした地震は数回発生しているが、MR装置の被災に関する資料は限られている。平成13年の芸予地震において即時クエンチが発生した事例が報告されており²³⁾、引地は予測される宮城沖地震を念頭において患者の救出訓練の重要性を指摘している²⁴⁾。平成16年の新潟県中越地震に関しては事例報告としてマグネットの移動や架台の損傷の報告があり¹¹⁾、豪雨による水没被害の例としては平成21年の台風9号による全損事例が報告されている²⁵⁾。今回の被災調査では、これまで断片的に報告されてきた事象の全てが確認されている。しかし、今回の調査結果も含めて、火災によるMR装置への影響についてはまだ詳細な情報は無いので、今後の検討が必要であろう。

MR 検査室の現状と課題

MR 装置が導入されるようになった当初は十分な面積を有する専用の建物が設けられることが多かった。その後 MR 装置が普及するにつれ、装置の小型化やマグネットの自己磁気シールドの性能、あるいは撮影室のシールド技術の向上に伴ってより狭い面積での設置が可能になった。同時に使用される静磁場強度も上昇した。狭いスペースへの設置は経済的である反面、単位スペース当たりの蓄積エネルギー量の増加、マグネット周辺での緊急作業スペースや退避スペースの相対的減少、室内にヘリウムが漏れた場合の濃度上昇速度の上昇も意味する。MR 装置納入（引き渡し）においては、装置メーカーは使用者に対する製品説明義務があり、現状では業界団体が「MR 装置引渡しにおけるガイドライン」を定めている。装置の仕様説明や添付文書の配布等について定めているが、MR 装置の設置基準に関しては統一かつ具体的な仕様としての定めはない。さらには、今回の震災において現場の MR 検査担当者にとって重大な関心事項であったマグネットの性能に関する具体的情報も、明示的に開示事項とはされていない。

今回の被災調査では、災害時に MR 検査担当者が抱えた不安内容の背景にあるものは超電導マグネットに関する情報不足であったと考えられる。アンケート調査の回答内容からは、回避すべき危険の具体的な現象やその危険兆候が必ずしも十分に知らされていないこと、具体的な回避方法や取るべき行動が不明なこと、危険事象が発生した場合の被害が想定できないことなどが不安を増大させているもの

と推測された。停電が続く状態で、非常電源やバッテリーでヘリウムメーターを作動させる方法、設置されたマグネットの特性としての程度のヘリウムレベル低下でどのようなリスクを念頭におかなければならないか、注目すべき危険兆候を発見するためにはそのマグネットではどの部分の点検が必要か、などの情報はマグネットメーカー側から開示されるべきであろう。

平成 24 年度の調査では撤去される MR 装置における強制クエンチ作業を調査対象としたため、被災時の具体的なクエンチ原因、有効なクエンチの回避策、前処理のないクエンチ事例などは直接検証できていない。被災時の危険事象予測には、例えば階下へマグネットが落下した場合、大型磁性体の吸引による影響などの実際的知見を得る必要があるが、その実証試験には多大な費用がかかることが予想される。今回は実施できなかったが、液体ヘリウム液位低下時のクエンチ、真空漏洩発生によるクエンチなどは、現調査の延長で計画可能であるものの、実施には多くの関係機関の了解と協力が必要になる。

今回の調査を通して MR 装置に装備されている緊急停止ボタンの仕様や実際の用法がメーカー毎に異なる事が分かった。MR 装置には大別して 3 種類の緊急停止ボタンがある。

1) クエンチボタン（緊急磁場停止ボタン）

超伝導型の MR 装置では、人身事故が発生し磁場を停止させないと生命に危険が及ぶと予測される場合に強制クエンチを生じさせて磁場を停止させるシステムが装備されている。超伝導マグネットと一体

のシステムであるため、その基本仕様は MR 装置メーカーではなく、マグネットのメーカーが作成している。撮影室内には必ず設置されており、操作室にも設置されている例も多い。

2) 緊急電源遮断ボタン MR 装置全体（冷却系や強制排気を除く）への電源供給を全て遮断するブレーカーの役割を持つボタンであり、火災や電気系統の重大な障害が発生した場合を想定している。MR 装置メーカーにより装備の有無は分かれている。また、撮影室内の電源だけを落とすなど、部分的な電源遮断を行うものもある。設置される場合は、操作室が多いが、撮影室内にも設置される。

3) 撮影停止ボタン（アポートボタン） MR の撮影を停止する。患者の状態確認や、何等かの不具合がスキャン中に発生した場合に撮影を停止する。ボタンの形状や設置場所、具体的な影響の範囲、付随した作動内容などはメーカーにより異なり、統一した仕様は無い。

上記の3種類の緊急停止ボタン以外に、MR 装置の寝台の作動のみを止めるもの、制御システムの電源を強制的に落とすものなどが見られる。

まず、これらの緊急停止ボタンの名称がメーカーによって異なり（取り扱い説明書の中でも名称が未統一の例もある）表示も統一されておらず、マグネットメーカーが作成したものをそのまま利用しているのが現状である。MR の安全表示に関しては、JIS-4950 が定められているが、その内容は MR 検査室におけるリ

スクの存在を表示するものである。具体的には、高磁場の存在、高周波の使用を告知し、MR 撮影室に持ち込むべきではない主要な物品を知らせている。この MR 適合性については近年、ASTM F2503-05 (Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment) で、より詳細な内容が定められており、MR 装置の安全基準である IEC60601-2-33 でも MR 適合性に関する記述が拡張されつつある。しかし、MR 装置が装備すべき緊急停止ボタンの仕様や表示については公的な規格は存在しないのが現状であり、標準化が必要と考えられる。

訪問調査の結果で特に注目すべき事項は、緊急地震速報の活用であった。本震が到達する前のわずかな時間であっても、患者救出のための最初のアクションを起こすことができれば患者救出がより容易かつ安全に実施できる可能性が高くなる。今回も、本震到達前の救出に成功した事例が報告されているが、MR 検査室だけの取り組みではなく病院全体のインフラとしての検討する事項であろう。それでも、テーブルを引き出した瞬間に本震が到達するなどの事態もありうるため、寝台からの転落を防止するための動作を工夫するなど、普段からの訓練が何よりも重要と考えられる。また、発災時の緊急対処は患者への対応が優先されるため、MR 装置の処置に十分な時間が割けないことも予想される。深夜等に震災が発生した場合への対処も考えて、緊急地震速報をもとにした MR 装置の自動シャットダウンシステムの開発も有用と考えられる。

その他の事項としては、MR室への立ち入り禁止措置を取るための掲示やロープ、撮影室に持ち込み可能な懐中電灯、窓を割るためのハンマーや安全手袋の準備など、いざという時に実行しなければならない処置を可能な限り安全に行うための対策が必要と思われる。

MR検査室の防災指針策定の背景

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^{13,26)}、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の医療機関にも多数設置されており、全国津浦浦に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¹⁴⁾。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。自社社員による復旧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装置の復旧に向けた作業は、単に早急に復旧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。その最大の背景はMR装置メーカーによりユーザーとの関わり方に対する考え方について方針の違いである。具体的には現場にいるユーザーとの連携で発災時の対策を進めようとする考え方と、メーカーか

ら派遣するスタッフが点検するまでは一切MR装置に触れないようにしてほしい、という方針の違いである。これは、MR装置メーカーの顧客サービスの方針によるものであるため、各社がどのような考え方をしているかの確認も含めてMR装置メーカーとも十分に協議した上で、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くなくてはならない。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、患者の安全確保、職員の安全確保、2次災害の防止、MR装置の保全措置の4項目が挙げられるが、こ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装置の復旧は、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を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る。

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、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、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、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、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でも最も得点が高かったが、一方で電気設備やクエンチなどの「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²⁷⁾、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、震災後医療では、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注目された。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、4K(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、普通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

放射線部におけるこれまでの地震対策は建物の耐震化と画像診断装置を設置する時の固定方法が議論の中心であったが、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た。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、平成25年度に「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安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、建屋の免震構造化、緊急地震速報の活用、患者救出を含めた実地訓練、設置されているマグネットに関する正確な情報収集、非常電源、非常照明の確認、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、立ち入り禁止等、現場の安全確保処置の準備、MR 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。本調査研究により得られた知見は今後の医療施設のインフラ設計の参考とされよう²⁸⁾。しかし、そのインフラを十分に活かせるだけの日常的な訓練が重要であることも忘れてはならない。

F . 健康危険情報

東日本大震災においては、MR 装置そのものが重大な危害原因となり、死者や重傷者が出た事例は確認されなかった。

震災発生下における MR 装置に起因する潜在的な危険要因としては、クエンチの発生率が平時より高くなる (1%)、マグネットの移動により寝台の引き出しが困難になる、引き出しの際に受傷する、吸引事故の発生などがある。

MR 装置の移動によりヘリウムガスの排気系や冷却システムに障害が生じる被害が発生する可能性が高くなる。

MR 装置の被害事象は震度 5 弱以上で見られ始め、震度 6 弱以上で重大な被害の発生が多くなる。

MR 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。

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。

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) 礒田治夫、中井敏晴、小山修司、山口さち子、東南海地区・中部地方におけるMR検査室の防災対策の現況調査（投稿中）
- 2) 土橋俊男、松本浩史、榊田喜正、石森文朗、砂森秀昭、藤田 功、中井敏晴 MRI装置の緊急停止システムの仕様統一について、日本診療放射線技師会誌（投稿中）
- 3) 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、礒田治夫、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 34、52-73、2014
- 4) 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)
- 5) 町田好男、前谷津文雄、引地健生、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、石森文朗、砂森秀昭、中井敏晴 東日本大震災により被災したMR検査室を訪ねて - 被災地から伝えたいこと、映像情報メディアカル 46、350-355、2014
- 6) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、礒田治夫、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
- 7) 前谷津文雄、阿部善弘、菱沼誠、引地健生、丹治一、清野真也、安達廣司郎、武蔵安徳、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

るMR装置被害の実態調査報告、日本放射線技術学会雑誌 70、235-241、2014

- 8) 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 7、39-46、2014
 - 9) 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
 - 10) 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
 - 11) 東日本大震災によるMR装置被災調査報告速報(宮城県地域) 町田好男(発行責任者)、平成25年2月12日
 - 12) 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、礒田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
 - 13) 野口隆志 MRI装置の被災状況と今後の課題、FSST(Forum of Superconductivity Science and Technology News) NEWS 135、10-13、2012
 - 14) 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の安全管理 社団法人日本工学アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集 1-18、東京、2012年2月28日
 - 15) 野口隆志 MRI/NMRIの強磁場とクエンチ後の振る舞い、社団法人日本工学アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集 23-34、東京、2012年2月28日
- ### 2. 学会発表
- 1) 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
- 2) 水口紀代美、村田和子 南海大地震におけるアンケート調査結果 平成25年度高知県放射線技師学術大会 平成26年2月23日 高知医療センター くろしおホール、高知
 - 3) 前谷津 文雄 (特別講演)災害、震災時等でのMR検査の安全確保について、山形県放射線技師会第38回MR研究会、平成25年12月8日、山形県東置賜郡川西町
 - 4) 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
 - 5) 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装置被褥の実態調査 ～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
 - 6) 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
 - 7) 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
 - 8) 前谷津文雄、阿部幸弘、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
 - 9) 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
 - 10) 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
 - 11) 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
 - 12) 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
 - 13) 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
 - 14) 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
 - 15) 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
 - 16) 中井敏晴 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 ワークショップ3 「震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保」平成25年9月21日、アスティとくしま、徳島

- 17) 引地健生 MR検査室の防災指針 第41回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ3 「震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保」平成25年9月21日、アスティとくしま、徳島
- 18) 土橋俊男 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 ワークショップ3 「震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保」平成25年9月21日、アスティとくしま、徳島
- 19) 木戸義照 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 ワークショップ3 「震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保」平成25年9月21日、アスティとくしま、徳島
- 20) 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回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-309、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013
- 21) 礒田治夫、市川和茂、小山修司、中井敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち子、野口隆志、東日本大震災における「MR検査の患者の安全確保」と「MR装置の安全確保」について、第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-311、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S329、2013
- 22) 町田好男、引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、中井敏晴、東日本大震災における東北3県のMRI被災調査報告～聞き取り調査結果を中心に～、第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-312、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S329、2013
- 23) 前谷津文雄、丹治一、清野真也、安達廣司郎、武蔵安徳、土橋俊男、中井敏晴 東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #298、横浜、2013.4.13
- 24) 土橋俊男、中井敏晴、藤田功、栗田幸喜、前谷津文雄、山口さち子 首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #299、横浜、2013.4.13
- 25) 引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、町田好男、中井敏晴 東日本大震災の地震動によるMRI装置本体への影響 -アンカー止めしていない装置の移動の有無とその要因- 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #297、横浜、2013.4.13
- 26) 中井敏晴、前谷津文雄、安達廣司郎、武蔵安徳、引地健生、阿部喜弘、菱沼誠、吉岡邦浩、町田好男 東日本大震災での津波によるMR装置の被害に関する調査研究 第72回日本医学放射線学会総会 #373、横浜、2013.4.14
- 27) 中井敏晴、丹治一、清野真也、石森文朗、砂森秀昭、榎田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田功、土橋俊男 MR装置に見られる東日本大震災の影響に関する調査研究 第72回日本医学放射線学会総会 #374、横浜、2013.4.14
- 28) 中井敏晴、山口さち子、礒田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災における津波によるMR装置の被害に関する調査研究、日本医学放射線学会第153回中部地方会、豊明、2013.2.2
- 29) 安達廣司郎 (震災調査) 岩手沿岸地区施設訪問調査の経過報告 第21回 岩手MRI研究会 釜石 2012.12.2
- 30) 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、中井敏晴、東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告、第二回 東北放射線医療技術学術大会 抄録集 #38、仙台、2012.11.4
- 31) 中井敏晴、山口さち子、礒田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災によりMR装置に見られた被害事象の概況報告、日本生体医工学会・東海地方会抄録集34 2012

- 32) 中井敏晴、震災報告 東日本大震災によるMR装置の被災調査報告 被災状況調査の概況報告、日本磁気共鳴医学会第40回大会、京都、2012年9月8日
- 33) 中井敏晴 東日本大震災によるMR装置の被災状況 施設調査による傾向分析 第28回日本医学放射線学会秋季臨床大会特別企画、長崎 2012年9月28日
- 34) 山口さち子、中井 敏晴 磁気共鳴画像装置(MRI)の安全に関する意識調査、日本磁気共鳴医学会第40回大会 日本磁気共鳴医学会誌 32 S306、京都、2012.9.26
- 35) 前谷津 文雄、引地 健生、菱沼 誠、阿部 喜弘、梁川 功、町田 好男 被災地におけるMR装置実態調査アンケートのお願い 第45回宮城MR技術研究会、仙台、2012.8.25
- 36) 野口隆志 MRIの被災状況とそこから見えてきた課題、第79回超伝導科学技術研究会ワークショップ「3.11震災を乗り越えて」、東京、2012.7.19
- 37) 前谷津文雄 東日本大震災から学ぶMR装置のリスク管理の課題、第10回東北MR技術研究会、新潟、2012.7.14
- 38) 引地健生 東日本大震災におけるMRI装置の被災状況および震災から学ぶ安全管

理 第12回福島県MRI技術研究会、福島、2012.5.26

3. 受賞

- 39) 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 銅賞 引地健生 他 東日本大震災の地震動によるMRI装置本体への影響 -アンカー止めしていない装置の移動の有無とその要因-
- 40) 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 銅賞 前谷津文雄 他 東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告
- 41) 第69回日本放射線技術学会総会学術大会 銅賞 土橋俊男 他 首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

引用文献

- 1) 日本磁気共鳴医学会 安全性評価委員会・他監修、MRI安全性の考え方、学研メディカル秀潤社、2014、ISBN 978-4780908848
- 2) 三森文行、上野 照剛 MRI装置撤去時の爆発事故に関する調査経過報告 日本磁気共鳴医学会雑誌 24、92-94、2004
- 3) わがこと 防災減災 第1部・あの日何が... (1)石巻市雄勝病院ノ迫る海、まさか屋上まで 河北新報 2013年01月03日
- 4) その時、看護師、保健師たちは 声をつまらせ震災体験語る 東海新報 使命感で救護に奔走 2011年09月30日
- 5) Kanno T, Iijima K, Abe Y et al. Peptic ulcers after the Great East Japan earthquake and tsunami: possible existence of psychosocial stress ulcers in humans. J Gastroenterol 48, 483-90, 2013
- 6) Kishimoto M, Noda M, The Great East Japan Earthquake: Experiences and Suggestions for Survivors with Diabetes (perspective), Kishimoto M, Noda M. PLoS Curr. 2012 May 15 doi: 10.1371/4facf9d99b997.
- 7) Nakamura A, Nozaki E, Fukui S, Endo H, Takahashi T, Tamaki K, Increased risk of acute myocardial infarction after the Great East Japan Earthquake, Heart Vessels. 2013 Apr 20
- 8) Omama S, Yoshida Y, Ogasawara K, Ogawa A, Ishibashi Y, Nakamura M, Tanno K, Ohsawa M, Onoda T, Itai K, Sakata K, Influence of the great East Japan earthquake and tsunami 2011 on occurrence of cerebrovascular diseases in Iwate, Japan, Stroke 44, 1518-24, 2013
- 9) 渡邊 崇, 鈴木寿則, 坪谷 透, 遠又靖丈, 菅原由美, 金村政輝, 柿崎真沙子, 辻 一郎. 東日本大震災前後での自覚症状有訴率の変化-被災者健康診査と国民生活基礎調査の比較-. 厚生生の指標 60、1-6、2013
- 10) 佐藤栄児 震災時における建物の機能保持に関する研究開発 文部科学省委託研究 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書 46-59、2012
- 11) 佐藤栄児 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 都市施設の耐振性評価・機能保全に関する研究 平成19年度報告書 9-21、2008
- 12) 震災時におけるMR装置の安全管理について(周知依頼) 厚生労働省医政局総務課 平成23年3月16日
- 13) 亀井裕孟、阪神・淡路大震災におけるMR装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第15巻、S141-142、1995
- 14) 中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、他 東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
- 15) 能島暢呂 土木学会地震工学委員会 東日本大震災におけるライフライン復旧概況(時系列編)、平成23年6月3日
- 16) 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
- 17) 下山淳一 東京大学本郷キャンパスにおけるNMR装置クエンチの事例紹介 超伝導科学技術研究会会誌 129、13-14、2011
- 18) 宮本唯男 放射線部門の地震対策ハンドブック 医療科学社 ISBN4-900770-41-8 C3047 1995
- 19) 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 7、39-46、2014
- 20) 医療機器センター附属医療産業研究所 計画停電(発容量不足)に伴う医療機器等の使用状況に関する緊急調査、リサーチペーパーNo.4、2011
- 21) 低温工学協会平成7年度被災調査臨時委員会、阪神・淡路大震災における低温・超電導機器被災調査報告、1996
- 22) 警察庁編 平成7年警察白書第1章第3節 阪神・淡路大震災と警察活動 表1-11「死亡者の死因」、2005
- 23) 滝口裕章 MRI検査におけるリスク管理-地震によるクエンチの経験、労働福祉事業団放射線技師会雑誌 22、69-73、2003
- 24) 引地健生 MRI検査における安全管理 その2 地震によるクエンチに備えて、宮城MR技術研究会誌5、37-42、2005
- 25) 中野他、平成21年台風9号の豪雨災害による事業所等の被災と対応、安全問題研究論文集5、論文番号17、1-6、2010
- 26) 社団法人日本放射線機器工業会医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究報告書(平成9~11年度)
- 27) 厚生労働省. 平成17年医療施設(静態・動態)調査・病院報告の概要. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/>
- 28) 吉野涼二、日本建築学会 東日本大震災合同調査報告、建築編8 建築設備・建築環境、第4章 建物機能・環境への影響(被災地:東北地方)、4.4.2.2 医療・研究施設のMEG/MRI装置及び設置室の被害報告(in press)

MRの防災に関わる専門家会議 専門委員

阿部 修 (日本大学医学部)

高橋 俊行(昭和大学藤が丘病院)

湯本 真人(東京大学大学院医学研究科)

仁田 旦三(明星大学理工学部)

鎌田 崇義(東京農工大学工学研究院)

同 特別委員

松井 正人(気象庁地震火山部管理課)

佐藤 栄児(防災科学技術研究所)

研究協力者一覧(五十音順)

安達 廣司郎(日本赤十字社盛岡赤十字病院)

阿部 喜弘(独立行政法人 国立病院機構 仙台医療センター)

石森 文朗(医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル病院)

木戸 義照(独立行政法人 労働者健康福祉機構 和歌山労災病院)

栗田 幸喜(社会福祉法人 恩賜財団 済生会支部 埼玉県済生会栗橋病院)

小山 修二(名古屋大学 脳とこころのセンター)

砂森 秀昭(社会福祉法人 恩賜財団 済生会 水戸済生会総合病院)

清野 真也(福島県立医科大学附属病院)

丹治 一(公益財団法人 仁泉会 北福島医療センター)

土橋 俊男(日本医科大学付属病院)

引地 健生(栗原市立栗原中央病院)

菱沼 誠(一般財団法人 厚生会 仙台厚生病院)

藤田 功(さいたま市立病院)

前谷津 文雄(財団法人 宮城厚生協会 泉病院)

榊田 喜正(千葉大学医学部附属病院)

松本 浩史(千葉大学医学部附属病院)

水口 紀代美(医療法人治久会 もみのき病院)

武蔵 安徳(岩手県立中央病院)

村田 和子(高知県・高知市病院企業団立高知医療センター)

梁川 功(東北大学病院)

協力組織

岩手 MRI 研究会

宮城 MR 技術研究会

福島県 MRI 技術研究会

茨城県技師会 MRI 研究会

千葉撮影技術研究会 MRI 基礎勉強会

東京 MR 励起会

SAITAMA MRI Conference

公社)日本放射線技術学会中部部会、同 MRI 研究会

公社)石川県診療放射線技師会

公社)静岡県放射線技師会

和歌山 MR サロン

高知 MRI 研究会

公社)高知県診療放射線技師会

GEヘルスケア・ジャパン

シーメンス・ジャパン

東芝メディカルシステムズ

日立メディコ

フィリップスエレクトロニクスジャパン

表 1 東日本大震災から 2 週間の動き

-
- 3.11 東日本大震災発生
 - 3.12 JSMRM 安全性評価委員会において震災時における MR 装置の安全対策について検討開始
 - 3.14 「災害時における MR 装置の安全管理に関する提言」原案策定
 - 3.15 JSMRM ホームページにて「災害時における MR 装置の安全管理に関する提言」を公表、内容を厚生労働省に報告
 - 3.15 「震災により使用不可能となった MRI 装置設置室への立ち入り禁止措置のお願い」「MRI 装置 計画停電時の対応について」東芝メディカルシステムズ
 - 3.16 厚生労働省より「災害時における MR 装置の安全管理について」が通知される
 - 3.17 「災害時のエックス線撮影装置及び MR の安全なご使用について」GE ヘルスケア・ジャパン
 - 3.18 「被災地で救援活動をされている方々への重要な情報提供」日本医療画像システム工業会
 - 3.18 「MR 装置の停電時の対処方法について（暫定版）」日本医療画像システム工業会
 - 3.18 日本学術会議幹事会声明「東北・関東大震災とその後の原子力発電所事故について」
 - 3.20 JSMRM にて MR 装置の被災調査の計画開始
 - 3.22 日本学術会議幹事会声明「東日本大震災からの復興と日本学術会議の責務」
-

東日本大震災の発生から 2 週間以内に公表された MR の安全に関わる情報の一覧。メーカーについては一般国民向けの情報提供のみとし、顧客を対象として配布された情報は含まない。

・研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
町田好男、前谷津文雄、引地健生、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、石森文朗、砂森秀昭、中井敏晴	東日本大震災により被災したMR検査室を訪ねて - 被災地から伝えたいこと	映像情報メディカル	46	350-355	2014
引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、礒田治夫、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
前谷津文雄、阿部善弘、菱沼誠、引地健生、丹治一、清野真也、安達廣司郎、武蔵安徳、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	70	235-241	2014
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	7	39-46	2014
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
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、礒田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男	東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告	日本磁気共鳴医学会誌	33	92-119	2013
野口隆志	MRI装置の被災状況と今後の課題	FSST (Forum of Superconductivity Science and Techonology News) NEWS	135	10-13	2012

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の安全管理	社団法人日本工学会アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集		1-18	2012
野口隆志	MRI/NMRI の強磁場とクエンチ後の振る舞い	社団法人日本工学会アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集		23-34	2012
Yamaguchi-Sekino S, Machida Y, Tsuchihashi T, Noguchi T, Nakai T	he 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		4843	2014
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	2013
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会予稿集		42	2013
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会予稿集		43	2013
阿部書弘、前谷津文雄、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武義安徳、清野真也、丹治一	MR 検査における発災時の患者救出について	第3回東北放射線医療技術学会予稿集		43	2013
前谷津文雄、阿部幸弘、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会予稿集		43	2013
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

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
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
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
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回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-309、日本磁気共鳴医学会雑誌	33	S328	2013
磯田治夫、市川和茂、小山修司、中井敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち子、野口隆志	東日本大震災における「MR検査の患者の安全確保」と「MR装置の安全確保」について	第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-311、日本磁気共鳴医学会雑誌	33	S329	2013
町田好男、引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、中井敏晴	東日本大震災における東北3県のMRI被災調査報告 ～聞き取り調査結果を中心に～	第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-312、日本磁気共鳴医学会雑誌	33	S329	2013
前谷津文雄、丹治一、清野清也、安達廣司郎、武蔵安徳、土橋俊男、中井敏晴	東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告	第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #298		204	2013
土橋俊男、中井敏晴、藤田功、栗田幸喜、前谷津文雄、山口さち子	首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向	第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #299		204	2013
引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、町田好男、中井敏晴	日本大震災の地震動によるMRI装置本体への影響 -アンカー止めしていない装置の移動の有無とその要因-	第69回日本放射線技術学会総会学術大会 #297		203	2013
中井敏晴、前谷津文雄、安達廣司郎、武蔵安徳、引地健生、阿部喜弘、菱沼誠、吉岡邦浩、町田好男	東日本大震災での津波によるMR装置の被害に関する調査研究	第72回日本医学放射線学会総会		373	2013

中井敏晴、丹治一、清野真也、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、土橋俊男	MR 装置に見られる東日本大震災の影響に関する調査研究	第 72 回日本医学放射線学会総会		374	2013
中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志	東日本大震災における津波による MR 装置の被害に関する調査研究	日本医学放射線学会第 153 回中部地方会			2013
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、中井敏晴	東日本大震災の被災地における MR 装置被害の実態調査報告	第二回 東北放射線医療技術学術大会 抄録集		38	2012
中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志	東日本大震災により MR 装置に見られた被害事象の概況報告	日本生体医工学会・東海地方会 抄録集		34	2012
山口さち子、中井 敏晴	磁気共鳴画像装置 (MRI) の安全に関する意識調査	日本磁気共鳴医学会第 40 回大会 日本磁気共鳴医学会誌	32	S306	2012