

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告知された。

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、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。

(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（ 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 検査を受けた経験あり／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細希望、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ましたが、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理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て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。最近では、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氣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 of 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 10K 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填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、施設の敷地内で水が入り込んで来たなど、浸水の一步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ど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帰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4-④で尋ねた

「復旧の障害」というよりも、問 4-②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の問題になる。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伝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の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が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成す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、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③2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、マグネットを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、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因子が抽出された。

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、MR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、シールド冷凍機の能力低下など、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

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。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

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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。
- ⑥ 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。
- ⑦ 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。