

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

中井敏晴¹, 山口さち子², 土橋俊男³, 前谷津文雄⁴,
引地健生⁵, 清野真也⁶, 丹治一⁷, 安達廣司郎⁸,
武蔵安徳⁹, 菱沼誠¹⁰, 阿部喜弘¹¹, 石森文朗¹²,
砂森秀昭¹³, 榎田喜正¹⁴, 松本浩史¹⁴, 栗田幸喜¹⁵,
藤田功¹⁶, 儀田治夫¹⁷, 小山修司¹⁷, 村田和子¹⁸,
水口紀代美¹⁹, 木戸義照²⁰, 野口隆志²¹, 梁川功²²,
町田好男²³

- ¹ 獨国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室 ² 労働安全衛生総合研究所健康障害予防研究グループ
³ 日本医科大学付属病院放射線科 ⁴ (公財)宮城厚生協会泉病院放射線室
⁵ 栗原市立栗原中央病院放射線科 ⁶ 福島県立医科大学附属病院放射線部
⁷ (公財)仁泉会北福島医療センター放射線技術科 ⁸ 日本赤十字社盛岡赤十字病院医療技術部
⁹ 岩手県立中央病院中央放射線部 ¹⁰ 一般財団法人厚生会仙台厚生病院放射線部
¹¹ 獨国立病院機構仙台医療センター放射線科 ¹² 因聖麗会聖麗メモリアル病院放射線科
¹³ 社会福祉法人恩賜財団済生会水戸済生会総合病院放射線科 ¹⁴ 千葉大学医学部附属病院放射線部
¹⁵ 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放射線科 ¹⁶ さいたま市立病院中央放射線部
¹⁷ 名古屋大学脳とこころの研究センター ¹⁸ 高知医療センター放射線科
¹⁹ もみのき病院放射線科 ²⁰ 和歌山ろうさい病院放射線科
²¹ 物質・材料研究機構超伝導線材ユニットマグネット開発グループ ²² 東北大学病院診療技術部放射線部門
²³ 東北大学大学院医学系研究科保健学専攻画像情報学分野

諸 言

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では多数の医療機関も被災し、画像診断機器を使用する上での安全担保についても改めて考えさせられる契機となった。特にこの20年間の画像診断機器の普及はめざましいが、その間に発生した他の大地震との違いは、極めて強い地震が東日本の太平洋沿岸部全域に影響を及ぼしたこと、大規模な津波被害を伴ったことである。その結果、電力、通信、道路などのインフラ障害が広範囲かつ長期間にわたって発生した。最近の画像診断

機器は電子機器として複雑化している。多くの場合、その安全管理はメーカーの保守点検による品質管理を前提としているが、今回のような大震災においては極めて多数の画像診断機器が同時多発的に被害を受け、さらにはインフラ障害のために実際の保守作業が実施不可能になるという状態は未曾有の出来事であった。一般の事業所と異なり、医療機関は震災が起きても業務を中止できず、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、さらには生活環境悪化のために慢性疾患の悪化が起きる^{1)~5)}。したがって、震災が発生

キーワード MRI, safety, earthquake, emergency protocol, disaster prevention

しても可能な限り医療機関としての機能を落とさないための対策が不可欠である。今日、画像診断機器はあらゆる疾病や外傷の診断や治療効果の判定に不可欠であり、震災が発生しても可能な限り速やかに復帰させられれば、その恩恵は大きい。しかし、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い可能性があり、震災後に医療機器を使用する上での安全性の担保が大きな課題となってくる。

MR 装置は X 線撮影装置や CT 装置と並んで震災後医療における必要性が報告されている⁶⁾が、震災により被害が目立つ画像診断機器⁷⁾の中でも特に大きな被害が出る傾向がある。さらには、停電が発生しても高磁場を発生し続け、超電導型の装置では超低温であり急激な酸化による不活性ガスが発生し得る液体ヘリウムを使用しているため、二次災害防止と被害の最小化を考えなければならない。さらには、我が国においては特に MR 装置の普及がめざましく、人口 100 万人あたりの設置数が世界一であり⁸⁾、中小病院やクリニックの導入事例が珍しくない⁹⁾ことも MR 装置の防災対策が重視されなければならない大きな理由である。MR 装置の稼働台数は 2011 年で、一般病院において 4183 台、診療所では 1751 台、合計 5934 台、そのうち 1.5 T 以上の装置が 3448 台となっている⁹⁾。これほど MR 装置が我が国で多く普及している理由は、設置すれば一定の収益が期待できるが¹⁰⁾、設置には特に規制がないことも関係すると考えられる。また、MR 装置導入の決定は、採算性だけでなく施設の意識が関係していることが指摘されている¹¹⁾。

日本磁気共鳴医学会では、震災直後の平成 23 年 3 月 15 日に緊急対策として「災害時にお

ける MR 装置の安全管理に関する提言」¹²⁾を公表した。我々は日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会から委託を受け、平成 24 年度に厚生労働省の研究事業として、今回の東日本大震災による東北・関東の 7 都県の MR 装置に見られる被害状況を調査し、発災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とらえた MR 装置復帰過程の状況や課題、今後の防災対策に対する MR 検査担当者の考えなどを明らかにした¹³⁾。その結果を基にして、発災時の対策である「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」（「災害時における MR 装置の安全管理に関する提言」の改訂）と、事前対策である「MR 検査室の防災指針」の 2 指針の策定を進めてきた。今回、この 2 指針の策定作業について報告するとともに、個々の施設に合った指針を定めていただく上での留意事項を解説する。指針では、「何をすべきか、何をしてはいけないか、何を想定すべきか」だけをできるだけ簡潔に記述しており、本稿では指針をより深く理解していただくために必要と考えられる事項に絞って記載した。

指針策定の手順

まず、上記調査結果¹³⁾を基にして、上記緊急提言を改訂した「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 指針の原案を当調査班において作成した。指針を二つに分けた理由は、緊急時の対処と平時における防災対策は時相が異なり、関係者が置かれている状況や判断の基準が変わるからである。この原案を図 1 に示す手順で検討を進め、案文の修正を行った。意見募集や案文の検討は大きく分けて、1) 調査班員や、その協力組織であ

2014 年 1 月 20 日受理 2014 年 3 月 4 日改訂

別刷請求先 〒474-8522 愛知県大府市森岡町源吾 36-3 (独)国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室 中井敏晴

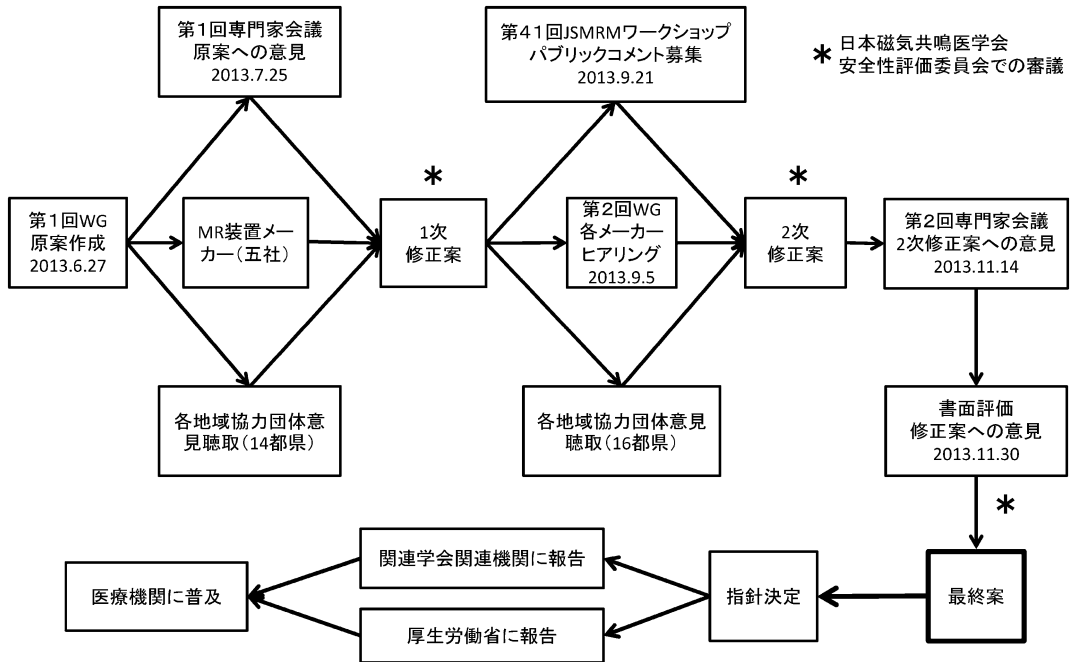


図 1. MR 検査室の防災指針 策定スキーム

る MR 研究会，診療放射線技師会等（東北・関東太平洋沿岸 7 都県）に所属し，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，2）必ずしも大震災による高度の被害を体験していない磁気共鳴医学会会員全般¹⁴⁾，中部，東南海地区（9 県）の MR 検査の当事者，3）医療，建築，防災等が専門の外部有識者（専門家会議の委員），4）MR 装置製造メーカー（5 社），の 4 グループに対して行われた。作成された最終案は，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，理事会での審議に託されて最終確認を行って決定に至った。

施設全体の震災時手順との整合性

医療機関の機器被害は震度 5 と 6 の間に程度の境界があると報告されており^{7),13)}，日常的に遭遇する震度 4 以下の地震と大震災では

MR 装置等の医療機器の安全管理の前提が異なる。大震災では，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。震災により医療ニーズは急激に需要が高まるが，一方で医療施設自体も被災し，そこで働く医療従事者も個人には被害者の立場でもあるという制約の中で，残された資源を有効に使って可能な限りの業務を続けなければならない。震災において医療従事者は所属する施設の指示に従って行動しなければならないが，同時に各々の職務分担として必要な事項も考慮しなければならない。MR 検査室では，MR 装置の被害だけでなく，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，停電等のインフラ障害，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。施設の性格や MR 検査室の体制によって実際に「何がどこまで実施可能であるか」が異

なるので、あらゆる場合を想定して指針を組み立てることは困難である。各指針の前文で指摘しているように、この2指針を参考としてその施設の体制や運営方針を考慮して、個々の施設でMR検査室の防災対策を定めていただきたい。そのためにも、その施設において震災後医療が実際にどのようなものになるかを想定して、MR装置をはじめとする画像診断機器の運用について包括的なシミュレーションが必要であろう。また、MR検査従事者以外でも理解できるMR検査室の防災対策資料を準備すれば有用であろう。

火災への対応

今回の東日本大震災では、MR検査室やその周辺で火災が発生した事例は報告されていない。阪神淡路大震災^{16),17)}でも大規模な火災が発生したが、MR装置に関する記録は見当たらない。火災発生時は可能な限り電源を遮断すること、消火や救援活動のために撮影室に消防士や救護者が立ち入る場合は、必要に応じて消磁(強制クエンチ)することなどが一般論として指摘されているが、それ以上に震災における大規模火災への対策として何が必要であるかは今後の検討を要するので、今回は記載を見送った。

エンクロージャ内の点検

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)で覆いをするものが多く、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装置もある。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。ユーザーによるエンクロージャの取り外し作業については、メーカーによる考え方の違いがあるので、あらかじめメーカーと協議の上、手順の確認をお願いしたい。

ユーザーによる復帰

ユーザーによる復帰の可能性は、ユーザーの知識レベル、被害状況、MR装置メーカーの考え方によるが、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¹³⁾。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施設は29.4%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装置メーカーのサービス拠点も被災するため、普段のようなサポートが困難になる¹³⁾。本指針ではユーザーによる復帰を行う場合に必要と考えられる点検事項をまとめたが、これは孤立無援の状態でユーザーによる復帰を推奨する意味ではない。しかし、現実にはMR装置を導入している医療機関の三分の二は一般病院であり⁹⁾、特に地域の基幹病院、災害拠点病院として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い。ユーザーによる復帰の可能性はユーザーとメーカーの個別の関係によるところが大きいと考えられる。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ていただきたい。

液体ヘリウムの残量把握

地震により液体ヘリウムの気化量が一時的に増大するが¹³⁾、停電の発生により液体ヘリウムの回収・再液化が停止すると冷却槽内の液体ヘリウム量の減少は加速するので、遅延クエンチ¹³⁾に注意する必要がある。震災時においては強制換気装置が起動しない、排気経路が損傷を受けてヘリウムガスが漏出するなど、クエンチが正常な過程を取らない可能性があり、この

ような想定外の事態に注意しなければならない。したがって、液体ヘリウムの残量を知る必要があるが、現状ではその測定には電源が必要であるため停電下での残量確認は困難とされている（本調査におけるメーカーからの回答による）。マグネットの仕様により冷凍機停止後の液体ヘリウム減少速度が異なるが、現状ではマグネットメーカーはその特性についての詳細情報を公開していない。今後は、ヘリウムメーターのバッテリー駆動化やMR装置の安全管理に必要な情報開示の制度化などが必要と考えられるが、現時点で可能な対策は、普段から液体ヘリウムの量をチェックし、特に停電時における液量変化を確認するなど、マグネットの特性を可能な限り現場で把握することである。

ま と め

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た。しかし、診療再開の前には念入りのMR装置の点検が必要である。阪神・淡路大震災の調査報告でも、「医療機関のMR担当者からの要望として、メーカーごと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^{9),17)}。その15年後に東日本大震災が発生するに至ってこの2指針が策定された次第であるが、今後予想される大震災において少しでも減災の役に立つことを願って止まない。

謝 辞

本指針の策定は、平成24-25年度厚生労働

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」により実施されました。本指針の策定にあたって、MRの防災に関わる専門家会議専門委員の先生方から工学的、医学的な見地に基づくご指導をいただきました。気象庁地震火山部管理課からは地震発生の検知技術について、防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターからは耐震評価技術について情報を提供いただきました。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MR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、MR装置メーカー(GEヘルスケア・ジャパン、日立メディコ、フィリップスエレクトロニクスジャパン、シーメンス・ジャパン、東芝メディカルシステムズ)から貴重なご意見、ご指摘をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 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* 2013; 48: 483-490
- 2) Kishimoto M, Noda M: The Great East Japan Earthquake: Experiences and Suggestions for Survivors with Diabetes (perspective), *PLoS Curr* 2012 May 15 doi: 10.1371/4facf9d99b997
- 3) 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* 2014; 29: 206-212
- 4) Omama S, Yoshida Y, Ogasawara K, et al.: Influence of the great East Japan earthquake and

- tsunami 2011 on occurrence of cerebrovascular diseases in Iwate, Japan, Stroke 2013; 44: 1518-1524
- 5) 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—。厚生指標 2013; 60: 1-6
- 6) 経済産業省商務情報政策局ヘルスケア産業課医療・福祉機器産業室. 平成 23 年度医療機器等の開発・実用化推進のためのガイドライン策定事業(医療機器の安定供給に関する調査事業) 報告書 平成 24 年 3 月. http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/iryuu_antei/report_001_01.pdf
- 7) 笥 淳夫. 大規模災害に対応した保健・医療・福祉サービスの構造, 設備, 管理運営体制等に関する研究. 平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金報告書, 2012
- 8) <http://stats.oecd.org>
- 9) 厚生労働省大臣官房統計情報部人口動態・保健社会統計課保健統計室 平成 23 年医療施設(静態・動態) 調査・病院報告の概況 平成 24 年 11 月 20 日. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/11/>
- 10) 今井信也 小川俊夫 今村知明: 核磁気共鳴装置(MRI) の採算性の地域差に関する一考察: 都道府県別 MRI 一台あたり収支の推計とその格差の要因分析. 医療情報学 2013; 33 (Suppl): 394-397
- 11) 橋本千代, 別所俊一郎: MRI の導入と利用: アンケート調査による検証. 社会保障研究 2011; 47: 175-190
- 12) 日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会. 災害時における MR 装置の安全管理に関する提言 2011 年 3 月 15 日
- 13) 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. 日磁医誌 2013; 33: 92-119
- 14) 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. 日磁医誌 2014; 34: 6-13
- 15) 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. 日磁医誌 1995; 15 (Suppl): 141-142
- 16) 社)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
- 17) 社)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). http://www.jira-net.or.jp/commis-sion/hyoujunka/fr_information_01.html

付録(資料 1)

災害時における MR 装置の安全管理に関する指針

目次

前文	1
本文	
1. 発災時の緊急的対処	2
2. 被災状況の分類	2
3. MR 装置の受けた被害状況の点検項目	4
4. MR 装置の重大な損傷	7
5. 静磁場発生の周知とクエンチ対策	8
6. 復帰に向けた準備, システム管理全般	8
資料	10
文献	10

前文

通常, MR 装置は十分な強度をもって設計, 設置されているが, 直下型地震や大震災では想定外の影響が及ぶ可能性がある. 本指針では東日本大震災等の被害状況から判明した事項を基にして, 震災後の MR 装置の安全管理として重要と考えられるものをまとめた. 本指針はあらゆる場合を想定し網羅するものではないが, 震災直後の安全対策として必要と考えられる標準的な事項を要約した. MR 装置設置場所の被災状況, 機種や設置状況により, 特に何に注意を払うべきかが異なるであろう. 常に「想定外」の問題が存在すると考えて, 各施設の責任者の

判断の基で細心の注意を払って震災発生時の対処を行っていただきたい。本指針はMR検査に携わる者の職責を念頭において作成したものであり、各施設での具体的な手順書や震災時の体制は、その施設全体の防災対策手順や運営方針との整合性に留意して定めていただきたい。

*本指針は平成23年3月15日に日本磁気共鳴医学会から出された「災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言」を改訂したものである。

本文

1. 発災時の緊急的対処

発災時に実施すべき4項目は、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装置の保全である。

①患者の安全確保

患者の安全確保は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限り、この発災時4項目の中で最優先の事項である。発災時に検査中であり患者がマグネット内にいる場合には、可能な限り早急に撮影室外に患者を誘導し、避難体制に入れるようにしなければならない。

②職員の安全確保

MR検査室を担当する職員は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限りは、患者の安全だけでなく、応援に駆けついたり患者の避難、誘導にあたる他の職員の安全確保にも可能な限りの注意を払い、必要な措置を講じるべきである。

③二次災害の防止

二次災害は震災後にMR装置が原因となって発生しうる事故であり、磁性体の吸引とクエンチが主な危険要因と考えられる。可能な限り速やかに、二次災害防止のための警告表示とMR検査室への立ち入り禁止措置を取らねばならない。

多数の被災者が運び込まれるような状況下においては、混乱の中でMRの安全に熟知していない関係者がMR検査室に立ち入る可能性があるため、磁性体の吸着事故の発生に注意すること。

④MR装置の保全

停電によりMR装置の冷却装置が停止し冷媒減少が一定以上進むとクエンチを起こす可能性があるため、通電状態だけでなく冷却システム全体の稼働状態を監視する。冷却系の配管や弁等に破損がないか、室外機も含めて確認を行う。

2. 被災状況の分類

該当施設、あるいはMR検査室から緊急避難をする必要がない場合は、まず被害程度の概要把握に努める。

(A) MR装置が設置された建物が倒壊・大破し、MR装置が使用不能の場合（建物で管理が不能な場合）

- まず、現場への立ち入りの危険性について検討し、立ち入り可能ならばマグネットが励磁状態を維持しているか、クエンチが生じていないかを確認する。
- 磁場が消失していない場合は絶対にマグネットに近づかないように、周囲への立ち入り禁止措置を取るとともに、警告の表示を行う。
- 磁場が消失していても余震等により建物の損傷が進み液体ヘリウムが残存する重量物であるマグネットが二次的災害の原因になりうるため、立ち入り禁止措置を取る。
- 行政が設置する緊急対策本部等に状況を報告する。

(B) MR装置の設置状況に重大な異常（「4. MR装置の重大な損傷」参照）が認められる場合（建物で管理が可能な場合）

- 該当のMR装置は使用しない。
- 超伝導型のMR装置の場合は、冷却システムの状態を確認し記録をつける。
- 復旧作業が完了するまでの間、立ち入り禁止措置と警告表示を行い、施設内に周知する。
- 配電盤レベルで冷却系、警報装置以外のMR装置のシステム電源を遮断する。

(C) MR装置が設置された建物が目立った損傷を受けている場合（MR装置の被害の有無を問わない）

- 高圧の電気回路を有する装置であることを

念頭におき、津波や降雨等に起因する漏電、回路損傷（警報装置も含む）の危険性に留意すること。

- 損傷の状況からクエンチ、火災リスクの程度を評価すること。
- 撮影室の電磁シールドの損傷を念頭において、その影響に留意すること。

(D) 建物や MR 装置の設置状況に重大な異常は認められないが、MR 検査室が震度 5 弱以上の影響を受けており、MR 装置メーカーによる点検が当面期待できない場合

- クエンチや漏電による火災発生、通電による故障箇所の破損拡大の危険性があることを念頭において、緊急性の認められない検査は行わない。
- 人命救助の観点から緊急性の高い検査の要請がある場合は、現場で可能な限りの点検を行い異常の内容と程度を確認した上で、連絡可能ならばメーカーの意見も参考にし、施設の最高責任者が MR 装置使用の可否を最終判断する。
- ファントムを用いたテスト撮影と寝台の動作確認を十分にを行い、装置の動作異常がないか念入りの確認を行う。
- 不測の事態の発生に備え必要最小限の検査内容とし、十分な人員を充てること。
- 送信機能のあるコイルに損傷が疑われる場合はそのコイルの使用を控えること。

(E) 上記のいずれにも該当しない場合

- 施設で定めた所定の点検手順が完了するまでは MR 装置の使用は控えること。
- 使用前に MR 装置メーカーの点検を受けることが望ましい。
- 状況の変化は常に生じうること、特に余震や降雨の影響を考慮すること。

3. MR 装置の受けた被害状況の点検項目

以下の項目について緊急点検して状況把握し、危険性を予測する。

注 1：MR 装置の安全管理に関する十分な知識と経験がある者が監督し、必要に応じて複数名で作業にあたること。

注 2：MR 装置再稼働の条件ではない（装置ごとに定められた復帰手順に従うこと）。

注 3：装置メーカーとも意思疎通した上で、危険を伴わない可能な範囲で行うこと。

(A) クエンチが発生していないか

- ヘリウムの沸騰による白煙の発生を伴うクエンチが生じた場合

✓直ちに排気ファンを作動させた上で撮影室内から患者を避難させること。

✓排気ファンが作動しない場合は酸素アラームに注意しながら低姿勢で患者救出にあたること（酸素濃度が 18% まで低下すると危険）。

✓撮影室内にヘリウムガスが漏れ出していないか確認すること¹。

✓排気経路周辺で冷却されて液化した空気が流れ落ち、凍傷の原因となりえるので注意すること。

✓患者退避後は撮影室内に誰もいないことを確認すること。

✓火災ではないことを施設の災害対策担当と消防に連絡する。

✓低温のヘリウムガスによる怪我人が発生していないか排気経路を点検する。

- 液体ヘリウムの沸騰による白煙発生が確認されていないものの、磁場消失が疑われる場合はガウスメータで磁場の有無を確認する（ガウスメータ本体を MR 装置に近づけすぎないこと）。

- ガウスメータがない場合は数グラム程度の金属製ゼムクリップを丈夫な紐に結びつけて吸引力を確認する（MR の安全に熟習した者が行うこと）。

✓吸引を確認するだけでよく、偏角 45 度程度までにとどめ、あまりゼムクリップを MR 装置に近づけない事（漏洩磁場の分布を確認しておくこと）。

- クエンチ発生のサインではないが、以下の注意すべき兆候が見られた場合は監視体制を強化し、担当者以外は MR 検査室への立ち入りを禁止すること。

✓マグネット上部に白煙が見られないか。

¹ マグネット周辺で冷却された空気も白く見えるので、特定の場所から漏れ出ているかどうかを確認すること。

- ✓マグネットの圧力計がゼロになっていないか².
 - ✓マグネット付近から異常音がしないか.
 - ✓コールドヘッド付近に氷結がないか.
 - ✓マグネット表面に異常な結露が見られないか³.
 - 強制排気ファンの電源やクエンチボタンのバッテリーの状態を確認する.
 - ✓設置や装置仕様の違いに注意し、誤って強制クエンチを作動させないこと.
 - ✓状況により手で強制排気装置の動作確認を行う.
 - クエンチが発生していない場合でも、当人はヘリウムメータの数字や内圧を定期的に記録し、液体ヘリウムの減少傾向を把握するとよい.
 - 停電により冷却装置が停止し、ヘリウムメータが使用不能の場合はマグネットの監視をより慎重に行う.
 - ✓あらかじめ長期停電時の液体ヘリウム残量監視の方法をMR装置メーカーと協議の上、検討しておくこと.
- (B) 冷却システムが正常に稼働しているか
- 室外設置の冷却装置も含めて冷却システム全体の稼働状態を確認すること.
 - マグネットの冷凍機（コンプレッサ）とその冷却装置の両方が動作しているか.
 - 冷却装置やその配水管全体に漏水がないか、断水していないか.
 - コールドヘッドが動作しているか、コールドヘッド周辺に氷結がないか.
 - ✓冷却システムに損傷が見られた場合、装置メーカーと連絡を取り応急的処置について協議すること.
 - ✓停電により冷却システムが停止し、非常電源への切り替えが可能な場合、切り替えの手順について複数名で十分な確認を行ってから実施すること.
- (C) マグネット（撮影ユニット）が移動していないか
- マグネットや患者用寝台の位置が移動していないか.
 - 患者用寝台が正常に動作するか.
 - ✓動作確認は非磁性の物体で30 kg以上の負荷をかけて2回以上行うこと⁴.
 - エンクロージャ（被い）に患者や職員が受傷する原因となる破損部位がないか.
 - マグネットの移動に伴う配線、配管（特に排気管⁵）の損傷がないか.
 - ✓排気管が断裂している場合、クエンチが生じた時に正常に排気されない.
 - ✓可能な限り屋外の大気解放口やそこまでの配管の接続を確認する.
 - 配線、配管の様子を確認するためにエンクロージャ等を取り外す場合は複数名で作業し十分な注意を払うこと.
 - ✓踏み台や梯子はMR装置の点検用に準備されている専用の非磁性のものを使用すること.
- (D) 機械室のユニット群（電源、制御、冷却系等）が移動していないか、移動の形跡がないか
- アンカーボルトの破損がないか、設置が不安定なキャビネットがないか.
 - ブレーカーはどのような状態になっているか.
 - ✓OFFになっている場合、安全が確認されるまでONにしないこと.
 - ✓半落ち（トリップ）の状態になっている場合は対処の方法をメーカーに確認すること.
 - ✓通常状態でOFFとすべきブレーカーもあるので注意すること.
 - システムキャビネットや撮影装置を結ぶ配

² 破裂板や配管が損傷を受けている可能性があるが、エンクロージャを開ける必要があり注意すること.

³ 真空層の異常や真空容器のダメージの可能性があるが、確認にはエンクロージャを開ける必要がある.

⁴ 単独で人体程度の荷重を持つ非磁性の物品を探すことは難しいので、複数のファントムを組み合わせるなどの工夫をする（安全のために、最初から人を載せてテストしないこと）.

⁵ 大量に気化したヘリウムを排気する配管、クエンチダクトとも呼ばれる.

線の損傷がないか、断線、短絡、漏電等による異常がみられないか。

- 貫通盤⁶やマグネットのエンクロージャ内部で高圧系が露出している部分に異常がないか。

✓電気系統の異常が疑われる場合は、安全が確認されるまでその MR 装置は使用しない。

(E) 撮影室の出入り扉、天井や床、壁に損傷がないか

- MR 撮影室の扉の取り付けに不具合が生じていないか開閉の動作点検を行う。
✓重量が大きいので注意すること。
- 壁、床、天井に亀裂等の損傷がみられる場合には該当部位にマーキングを行う。
✓天井は冷却システムの配管が通るマグネット上部の状況に注意する。
✓天井のマーキングは該当部分の床等へのマーキングか張り紙等でもよい。
✓マーキングの材料に注意すること（非磁性、不導体）。
- 建物の損傷が激しい場合、電磁シールドの機能が低下している可能性がある。

(F) 空調が正常に動作しているか

✓機械室や撮影室の空調が正常に機能していない状態で MR 装置を稼働させると、加熱による誤動作、停止、さらには故障の可能性があるので、電源投入は MR 装置の要求する温度、湿度環境に到達してから行うこと。

(G) 酸素濃度計等のモニタが正常に動作しているか

- 酸素濃度計は適切な数値を示しているか。
✓地震後の停電時には酸素濃度計等のモニタ類も機能を停止しており、警報が発せられない可能性がある。
✓復電後であっても何等かの原因でモニタ類が正常に動作していない可能性がある。

(H) MR 室に酸素ガス等の配管がなされている場合は、ガスの漏れがないか

⁶ 電磁シールドを損なわないで撮影室の内外を配線接続するための貫通型配電盤 (penetration panel)。

✓状況に応じて元栓を閉めるべきかどうかを検討する。

(I) オープン型 MR 装置の場合、磁極の支持構造に破損がないか

✓支持構造の破損は患者や操作者の圧潰につながる危険性を伴うので、その MR 装置は使用しない。

(J) 津波や雨漏り等による浸水の影響をうけていないか

- 特に壁内や床下への影響を見落とさないこと。
- 建物外壁や基礎部分の状態にも注意すること。

4. MR 装置の重大な損傷

以下のような破損が MR 装置に見られる場合は、使用上の危険や破損拡大の可能性があるため、メーカーによる復帰作業が完了し、安全が確認されるまで使用しないこと。

- マグネットの移動
- マグネットの架台破損
- マグネットや冷却機からの異常音発生
- マグネット上部の配管の損傷、異常（特に排気管）
- 冷却システム（室外機も含む）の破損
- 寝台の破損、可動性不良
- 磁性体の吸着⁷
- MR 装置や配線経路への浸水、または浸水の痕跡
- システムキャビネットやコンソールの移動、転倒、破損
- 撮影室シールドの重大な破損
- 液体ヘリウム残量が限界線以下に低下⁸
- 送受信コイルの落下による破損（破損の疑い）

5. 静磁場発生の周知とクエンチ対策

超伝導型の MR 装置がクエンチして消磁された場合を除いて、MR 装置（永久磁石型を含む）

⁷ 磁性体の吸引事故が物損にとどまり、人命への影響が予見できない場合は、原則としてその場での引き剥がしは行わずに MR 装置メーカーと協議のこと。

⁸ 限界線はマグネットの仕様や定義により異なり、何段階かあるので指標とすべき数値を確認のこと。

む)は停電時でも強力な磁場を発生し続け、そのために吸引事故が発生しうることを周知する。

- 超伝導型装置の場合は液体ヘリウムの残量に注意する
 - ✓液体ヘリウムの残量が確認できない場合は目視によるマグネットの観察を続ける。
 - ✓マグネットの内圧に変化がないか記録をつける。
 - ✓地震による振動で液体ヘリウムの減少が生じる場合がある。
 - ✓停電による冷凍機の停止により液体ヘリウムは減少し、液体ヘリウムの充填がないままの状態が続くとクエンチに至る。
- 静磁場が発生している旨を周知するためにMR撮影室や検査室の入口に張り紙等による警告を行う。
 - ✓医療スタッフでも停電時には磁場は発生していないと誤解している可能性がある。
 - ✓MR装置や建物がかかなりの損傷を受けていても、一定量の冷媒が残っていれば超伝導マグネットは磁場を発生し続ける。
- 激甚災害の発生時にはクエンチ時の対策である排気設備や酸素モニタに異常が生じている可能性があるため、強制排気システムの動作試験や酸素濃度計の動作状況の確認等を行う。

6. 復帰に向けた準備, システム管理全般

- MR装置の使用を停止すべき該当事項がないか確認する⁹⁾。
- まず空調と冷却系を復帰させ、室温やマグネット内圧が基準値に復帰し安定するまで一定時間の正常動作を確認する。
- MR装置メーカーの指定する手順に従って再点検を行い、MR装置のシステムの立ち上げを行う。

⁹⁾ MR装置を停止すべき事項が認められないことが、そのまま装置の再稼働の安全性を保証するわけではないので、メーカーとも協議の上、施設が定める手順に従って再稼働の可否を判断すること。

- システムが正常に立ち上がったら、インターフェイスの表示やデータベースの状況に異常が無いかを確認する。
- システムの自己点検ユーティリティが装備されている場合は、それを利用して異常の確認を行う。
- 寝台の動作点検を2回以上行う。
- マグネット内の患者と意思疎通するためのインターコムなどが正常動作するかを確認する。
- 通信が確保されている場合はMR装置メーカーに連絡しオンライン点検等をうけて異常の確認を行う。
- その他、異常動作がないことを十分確認した上でファントムを使ったテスト撮影を行い、画像を確認する。

全般的な注意事項

- ✓MR装置の復帰手順については、あらかじめメーカーと協議しておくこと。
- ✓停電後、空調、冷却、監視システム、ネットワークシステム等が自動復帰していないか、又は適切な復帰を行っていない可能性がある
- ✓停電の発生に伴い監視システムの警報音を止める操作がなされていることがある
- ✓停電発生の有無が不明の場合は、停電の発生を想定して停電後の点検として定められている内容を行うこと
- ✓各MR装置メーカーが停電後の復帰手順を定めているが、MR装置の管理責任者もその内容を把握し、必要に応じて点検が実施できるように普段から備えておくこと、そのためには監視装置が普段示している数値を把握しておくこと(メモを表示装置付近に掲示し、必要な時の確認を容易にする)。
- ✓あらかじめテスト撮影の画像と比較できる正常画像を準備し、MR装置のデータベースに保管すること。

資料

1. 震災等におけるMR装置のクエンチ分類
 - 即時クエンチ：地震による振動や建物の崩壊などの物理的な衝撃が発生している最中

や、そのような事象が発生してから 24 時間以内にクエンチが発生し、震災のエネルギーがクエンチの直接の引き金になったと考えられる場合。

- 遅延クエンチ：震災により生じた装置の不具合（マグネットのパーツの損傷を含む）やヘリウムの急激な減少に供給が追いつかず冷媒不足になったなどの間接的（2 次的）な原因によると考えられるクエンチで、おおむね本震や余震の 24 時以降に発生したものの。

✓ 本震や余震から 4 週間以内に発生し、かつその原因が不明な場合は遅延クエンチに分類する。

✓ 本震や余震から 4 週ンを過ぎていても震災との関連性が確認できる場合は遅延クエンチに分類する。

- 原因不明のクエンチ：装置にクエンチの原因となる具体的な損傷やトラブルが見あたらず震災やその他の特定原因との関連性が不明であり、本震や余震から 4 週ンを過ぎてから発生したクエンチ。

* 本分類は災害の影響との関連を基準にした分類であり、物理工学的な分類ではない。

文献

1. 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雑誌 33, 92-119, 2013

付録（資料 2）

MR 検査室の防災指針

目次

前文	1
1. MR 装置の設置	2
2. 建物構造	4
3. 防災情報システムの活用（緊急地震速報）	4
4. MR 装置室の防災点検	4
5. 防災訓練	8

6. 防災計画における留意点	11
資料	12
文献	14

前文

MR 装置は通常経験する地震に耐えられるように設計、設置されているが、直下型地震や大震災では MR 装置本体だけでなく、付帯設備やインフラの障害の影響が避けられない。本指針では、東日本大震災による MR 装置の被害状況の調査結果に基づいて、震災による被害を最小化し、震災後の MR 装置の安全管理と復帰の迅速化を計る上で有効と考えられる事前対策を集約した。MR 装置の設置場所、機種や設置状況、診療体制等により最適の選択肢が異なる部分もありうるので、各施設で情報を収集し、十分検討の上、施設としての具体的な防災指針を定めていただきたい。

1 MR 装置の設置

地震による強振動で MR 装置本体ならびに周辺装置が被る損傷を最小限に抑えるための具体的な方策について述べる。

1.1 MR 装置本体ならびに患者用寝台、排気管

1.1.1 設置方式

- 東日本大震災以降に各装置メーカーが採用している MR 装置本体の設置方式は、硬性固定（1. アンカーボルト固定方式）、軟性固定（2. エポキシ樹脂固定方式¹⁾）、非固定（3. 鋼板上非固定設置方式、4. 鋼板上非固定制振設置方式、5. 台座配置方式、6. 改良台座配置方式²⁾）に分類される（資料 I 参照）。
- 従来型のアンカー固定しない 3 方式（上記 3-5）はアンカー固定方式よりも装置本体への全般的な被害傾向が見られることが

¹ エポキシ樹脂固定方式は、阪神淡路大震災以降に採用された方法である。東日本大震災でマグネット本体の移動損傷を経験した施設の中には、復旧に際してこの方式を採用した施設があるが、震災時における評価はまだ定まっていない。

² 改良台座配置方式は、東日本大震災後に採用された方法で、震災時における評価はまだ定まっていない。

明らかとなった(文献1)。特に装置本体の移動により気化したヘリウムの排気管(クエンチダクト)が変形・破断する2次の損傷を生じる可能性も高まる。

- 震度5以下ではMR装置の全般的な被害程度の軽減にはアンカーボルト固定方式が有効である³。
- 復旧の工数については、従来型のアンカー固定しない3方式(上記3-5)は、アンカー固定方式で生じうる床の破損やボルト破断等の結果、重大な損傷による修繕が必要となった場合と比較すれば、少ない期間と費用で修復可能と考えられる。

1.1.2 患者用寝台

- 装置本体と完全に一体型の場合は装置本体とほぼ同一の挙動をする。
- 脱着式の寝台は本体に固定されている限り、装置本体と挙動を同一にすると考えられる。脱着式の寝台は患者を速やかに撮影室外に避難させられる利点があるが、強い軸ずれ等の原因により本体から外せなくなる場合も想定して、脱着式であっても非常時のための非磁性ストレッチャーを常備することを推奨する。
- 昇降機構が装置本体から独立している場合は、強振動により昇降機構のみが移動してマグネット本体と患者寝台の軸にずれが生じ、患者テーブルをボア内から引き出せなくなる場合がある。その防止のために昇降機構の床への十分な固定が望ましい。

1.1.3 排気管(クエンチダクト)

- MR装置本体の移動による排気管の損傷を防止あるいはその程度を軽減するため、装置メーカーと協議の上、十分な強度を持ち、かつフレキシブル機構を有する材料での施行が望まれる。
- 今後のMR装置本体の設置に際しては、

³ 震度(気象庁震度階)と設置方式毎の地震被害の状況:東日本大震災ではMR装置へのなんらかの被害の有無に関して、震度5強まで(被害発生率10~11%)と震度6弱以上(36.5%)で有意差が認められた。また、アンカー固定あり(13.0%)とアンカー固定なしの場合(36.4%)でも被害発生率に有意差を認めた。

各方式の特徴を十分に理解の上、当該地域で想定される最大の振動を考慮し装置メーカーと十分協議して決定すること。

1.2 機械室に配置される各種キャビネット

- 機械室に配置されるキャビネット類は相当程度の高さを有するものが多く、強振動による移動と共に転倒防止のための対策が必要である。
- 壁際に設置される各種キャビネットは、「医用画像診断装置の耐震指針(JESRA X-00862000)」に則り、キャビネット前下部、キャビネット後下部(壁側)、キャビネット後上部(壁側)の組み合わせにより固定すること。

1.3 操作卓ならびにメインコンピュータ

- メインコンピュータや操作コンソール・各種モニタ等を載せたテーブルは、強振動での移動による壁等への衝突や移動による各種ケーブル・コネクタの破断を防止するために床への固定が望ましい。
- キャスター付きの机脚等は、必ずキャスターを固定しておくこと。
- 操作コンソール・モニタ等は、テーブルの上に防振マット等を敷くことにより振動による滑り・転落を抑制することができる。

1.4 受信コイル等の整理棚

- 棚板に防振マット等を敷くことにより受信コイル等の収納品の滑り・転落を抑制できる。

1.5 前室に配置の備品等

- 通常、前室には点滴スタンド・救急カート・各種廃棄ボックス等の備品が配置されている。強振動あるいはMR室が高層階に設置されていて長周期振動があらかじめ想定される場合、患者救出等の際に開放状態となった撮影室入口から、これらのキャスター付備品が撮影室内部へ進入する可能性がある。その事を念頭において、キャスター付備品については撮影室入口付近への配置を避けると共に、キャスターをロックした状態で配置することにより吸引事故の防止に留意すること。

2 建物構造

2.1 建物の免震化

建物の建築時に建物を免震構造にすることが最大の地震対策と言える⁴。

免震構造で施行されなかった場合は、床免震装置や台座（機器）免震装置等により部分的に免震化する技術・工法も開発されている。なお、採用に際しての留意すべき事項は資料Ⅱを参照されたい。

2.2 長周期振動に対する対策

- 高層建築物の高層階では、地震の発生により建物の固有周期に基づく共振現象により長周期振動に見舞われる場合があるが、このような長周期振動に対して MR 装置がさらにどのような挙動を示すかは不明な部分が多い⁵。現段階では、できるだけ下層階への設置が望まれる。
- 既に高層階に設置されている場合は、「1.5 前室に配置の備品等」に述べた対応が必要である。

3 防災情報システムの活用（緊急地震速報）

先に伝わる地震波である P 波を検知し、地震被害の主因となる S 波が伝わる前に逼迫した危険を知らせる緊急地震速報（予報）⁶は、S

⁴ 基礎免震の有効性：東日本大震災において、宮城県北部の震度 7 を記録した地域のある施設は、同一メーカーの MR 装置を 2 台所有し、1 台は基礎免震構造による本館に設置し、もう 1 台は耐震構造の平屋建て別棟に設置していた。免震構造本館の装置には全く被害がなかったが、耐震構造の別棟に設置した装置は本体が台座から外れ大きく移動し、本体カバー下部が破損、上部カバーが脱落する等の大きな被害を被った。別棟も高い耐震性能により、本館同様に建物自体に損傷はなかったが、内部はまさに震度 7 の激震を免れなかったのである。

⁵ 東日本大震災において、東京都内のビルの 9 階に設置された MR 装置が大きく回転・移動した事例が報告されている。

⁶ 緊急地震速報には、警報と予報の 2 種類がある。地震波には P 波（秒速約 7km）と S 波（秒速 4km）があり、P 波による揺れが初期微動、後から伝わる S 波による強い揺れが主要動で、後者が被害をもたらす。緊急地震速報（予報）はマグニチュード 3.5 以上を推定（又は震度 3 以上を予測）した場合に、S 波到達予想時刻や受信地点の予測震度などの情報を提供する。緊急地震速報（警報）は震度 5 弱で警報が発せられるが、具体的な推定震度と猶予時間は発表されない。

波到達前にガントリー内の患者救出を開始する契機となるので、その受信設備を整備することが望ましい⁷。

- S 波到達予想時刻の情報が提供される緊急地震速報（予報）が推奨される。
- 緊急地震速報（予報）は地震到達までの時間や震度に誤差が含まれることを念頭に置く必要がある。
- 現時点では、直下型の地震に対しては緊急地震速報の恩恵は少ない。

4 MR 装置室の防災点検

災害による被害を最小限に止めるためには、日ごろより防災を意識した点検を行うことが肝要である。以下に地震等の災害に備えて定期的に行うべき点検項目を要約するので、各施設で必要事項を手順書に反映させ、項目のチェックシートを作成されたい。

4.1 緊急地震速報（警報または予報）による地震発生通報システム（設置のある場合）

- システムの動作原理を理解し、その正常動作を確認する。

4.2 停電発生時に動作する自家発電設備等の非常電源設備

- 自施設に設置されている非常電源設備の概要を理解する。
- 自家発電装置については、運転可能日数の推定のために A 重油等燃料の貯蔵量を確認する。水冷式自家発電装置の場合は、冷却水の供給方法についても確認する。
- 非常用電源設備からの電源供給範囲を確認する。（MR 装置本体、冷凍機等冷却システム、空調システム、強制排気ファン、酸素濃度計、電灯・コンセント等）
- 遅延クエンチ発生を防止するために、液体ヘリウムの蒸散を抑制する冷却システムへの非常用電源設備からの電源供給が望まれる。さらに、可能であればクエンチが発生した際の安全対策として強制排気ファンや酸素濃度計への電源供給も望まれる。但し、非常用電源設備からの電源供給の範囲

⁷ インターネットで緊急地震速報を受信するシステム（ソフトウェア）も提供されている。

については、容量と施設全体の優先順位により決定すること。

4.3 停電発生時の情報収集方法

- 停電発生時には院内電話・PHS等は使用不能になることを考慮し、院内の災害対策本部等の設置場所・メンバー・連絡体制についてあらかじめ周知しておく。
- 停電の際の外部との連絡方法として、衛星電話は有効な手段である。衛星電話が配備されている場合はその動作確認を行う。

4.4 液体ヘリウムの残量確認方法

- 停電によって冷却システムが長期に停止する場合には、液体ヘリウムの減少量は通常よりも大きくなるため、停電時の液体ヘリウム残量は確認すべき重要な情報である。
- 液体ヘリウムの残量は、機械室（コンピュータールーム）内のレベルメータに表示されるものと、システムが起動した状態で操作卓画面内に表示させるものがある。残量確認の方法を周知しておくと共に、停電時は液体ヘリウムの残量が通常の方法では確認できない場合がほとんどであることも周知しておく。
- 停電により冷却システムが停止した際の液体ヘリウムの減少率を事前にMR装置メーカーから情報入手しておくことが望ましい。尚、残量を推測するためには、通常使用状態での減少推移も参考となるので、日常点検時に液体ヘリウム残量を記録しておくことを推奨する。
- 液体ヘリウムの減少によりクエンチを生じる限界残量（％、リットル）と、その指標としての意味は、マグネットの仕様により異なるのでMR装置メーカーに確認しておくことよ。

4.5 クライオスタット内圧の確認方法

- ユーザーが簡便にクライオスタット内圧を確認できる装置については、表示装置の位置を確認する。
- クライオスタット内圧の正常範囲を周知しておく。

4.6 酸素濃度計の確認と周知事項

- 撮影室内酸素濃度計の設置場所を確認す

る。

- クエンチが発生し、撮影室内にヘリウムガスが充満すると酸素濃度が低下する。
- 酸素濃度の正常範囲は20～21％であり、酸素濃度が18％以下になった場合は危険なので原則として入室を禁止する。
- 停電の際はバッテリー駆動への自動切り替えが設定されていない限り酸素濃度計が動作しないので、撮影室への入室に際しては十分注意を払うべきである。
- 停電から復電しても直ちにはセンサーが正常に働かない。

4.7 強制排気ファン⁸の確認と周知事項

- 強制排気ファンのスイッチ位置を確認する。
- 強制排気ファンは、クエンチによるヘリウムガスの撮影室内への漏出に際して酸素濃度の低下に連動して自動的に動作するように設計されている。
- 手動スイッチにより強制排気ファンの動作確認をする。（但し、大きな音がするので予め院内や周辺住民に周知するなどの配慮が必要である。）

4.8 緊急電源停止ボタンの確認

- 緊急にシステム電源を停止させるためにボタンの位置を確認する。
- 装置メーカーごとの「緊急電源停止ボタン」の動作内容を確認する。

4.9 緊急消磁ボタン（クエンチボタン）の確認

- 即時に磁場を落とす「緊急消磁ボタン」の位置を確認する。
- 「緊急消磁ボタン」の操作により消磁する際の装置の挙動についてあらかじめ周知しておく。

4.10 磁性体が吸着した場合の対応手順と周

⁸ JIS Z4951:2012「磁気共鳴画像診断装置—基礎安全及び基本性能」では緊急排気システムについては規定されていないが、日本画像医療システム工業会（JIRA）が作成した「MR装置引き渡しにおけるガイドライン Rev.1.1」には「MR室内には、緊急排気装置と酸素モニタが備わっていること（超電導タイプのマグネットの場合）」とあり、災害に備えての日常点検も重要である。

知事項

- 磁性体が装置本体に吸着した場合に、「緊急消磁ボタン」を使用して磁場を落とすかどうかの判断は、「人身事故であるかどうか」が一つの判断基準である。
 - 熟練していない者が吸着した磁性体を引き剥がそうとする行為は、2次災害を引き起こす可能性が高い。物損だけの場合は、装置メーカーのサービスマンに対応を依頼すること。
- 4.11 非常用マニュアルの設置場所の確認（停電下でのマニュアルの参照手段）
- 非常用マニュアルは停電を想定して必ず印刷物を用意し、設置場所を確認する。
- 4.12 現場の立ち入り禁止措置
- 発災後、強磁場の危険性から患者・職員、警官・自衛官等を保護するために撮影室（マグネツトルーム）への入室を厳重に制限する必要がある。
 - 「立ち入り禁止テープ」による立ち入り制限、開錠が必要となった際の連絡先を記した「MR 室施錠中！」の張り紙をしたうえでの施錠等により、立ち入りを禁止することを周知しておく。これらの処置に必要な材料を予め準備し保管しておくことよい。
- 4.13 MR 装置破損状況の確認事項の把握
- 装置本体の移動、患者用寝台の移動、支持機構の破損、本体カバー（エンクロージャー）の脱落・破損、各種ケーブルの破損・破断、クエンチパイプの破損・破断、受信コイル等整理棚の移動・転倒
 - 操作卓の移動・破損、メインコンピュータの移動・破損、機械室キャビネットの移動・破損・転倒、空調機の破損
 - 扉・壁・天井・床・磁気シールド・電磁シールドの破損
 - 中央配管設備（酸素・窒素・吸引）の設備の破損・パイプ類の破断（ガス漏れに備えて、遮断栓の位置を確認）
 - 冷凍機の破損・パイプ類の破断、空調機室外機の破損・パイプ類の破断（漏水に備えて、止水栓の位置を確認）
 - 津波や漏水・雨漏りによる浸水の有無

4.14 ヘリウム排気管の室外排気口とその周辺の点検

- クエンチ発生の際に強制排気ファンが作動すると、排気管を通り室外排気口から低温のヘリウムガスが排出される。室外排気口には、ヘリウムガスの排出を妨げる障害物（鳥の巣など）がないか、また、その周辺には柵等で人の立ち入りを制限する対策が施されているか確認する。

4.15 応援体制、避難誘導の役割分担

- 必要に応じて応援を得るための体制を確認する。
- 入院患者・外来患者の避難誘導等への人員の派遣について確認する。

4.16 主な災害対策用常備品

- 携帯型強磁場警報機、携帯型酸素濃度計、ケミカルライト、非磁性消火器、非磁性体のパール（撮影室ドアが歪んで開かない時に使用）、立入禁止テープ
- 「MR 室施錠中！」と「強磁場発生中！」の張り紙（いずれも連絡先も記載）

5 防災訓練

日ごろから災害が発生した場合に備えて訓練をしておくことは、被害の程度を最小限にとどめ、さらに2次的被害の発生を抑制するために重要である。頻度は、施設全体の防災訓練にあわせて年1回の頻度で行うことを推奨する。以下に、定期的に行うべき防災訓練として必要と考えられる事項を示す。

5.1 初期対応（地震発生からスキャン中の患者の救出まで）

緊急地震速報受信システムの有無、患者用寝台脱着機能の有無により初期対応は異なる。

5.1.1 地震発生、直ちにスキャン停止

- 緊急地震速報の受信手段を有する場合
緊急地震速報の発令により直ちにスキャンを停止する。
- 緊急地震速報の受信手段がない場合
初期微動（P波）を感じた時点で直ちにスキャンを停止する。本震（S波）襲来前の可及的早期にスキャンを停止することを強く勧める。

5.1.2 撮影室への入室，患者を前室まで退避

クエンチ発生に備えて，入室前に手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる．（強制排気ファンのスイッチが操作卓から遠く，その起動に時間がかかる場合はクエンチが発生していない限り入室を優先させる）．

①可及的速やかに撮影室に入り，患者に「地震が来ます」と声をかけながら患者をボア内から患者用寝台の上に引き出す．次のようなケースを設定して，訓練することが望まれる．

- すでに激しい揺れにより装置本体が移動しており，患者用寝台との間で軸ずれが生じ，途中から患者テーブルを引き出せなくなる．
- 頭頸部用の大型受信コイルが激しい揺れでボア内壁に干渉し，途中から患者テーブルを引き出せなくなる．
- 患者テーブルを引き出せない状況において，患者はマジックテープ等を利用した患者固定帯で固定されている．
- 患者テーブルを引き出せない状況において，患者は乳房用受信コイルにうつ伏せの状態固定されている．
- 患者テーブルを引き出せない状況において，患者は全下肢撮影用の大型受信コイルで固定されている．
- 患者テーブルを引き出せない状況において，患者は怪我や障害等により自力で動くことが困難である．

② a 脱着式の患者用寝台の場合

- 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を本体から引き離してそのまま前室まで引き出し，寝台を降下させる．
- 患者用寝台を本体から引き離す前に激しい揺れが襲来した場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に，自分の姿勢を保持する．激しい揺れが収まってから患者用寝台を本体から引き離して前室まで引き出し，寝台を降下させる．

*強振動による軸ずれ等の物理的被害により脱着式の患者用寝台がマグネット本体から取り外せなくなる場合を想定して⁹，非磁性のストレッチャー等も常備すると有用である．

b 本体と一体型の患者用寝台の場合

i) 独歩患者に対して

- 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ，引き続き患者を前室まで誘導する．
- 患者用寝台を降下させた時に激しい揺れが襲来してしまった場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に，自分の姿勢を保持する．激しい揺れが収まってから患者用寝台を最低位置まで降下させ，患者を前室まで誘導する．

ii) 独歩以外の患者に対して

- 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ，そのまま揺れが収まるのを待つ．
- 激しい揺れが襲来してしまった時は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に自分の姿勢を保持する．激しい揺れが収まってから患者用寝台を適宜降下させ，非磁性のストレッチャー等に移送して前室まで誘導する．

5.1.3 初期対応の留意点

初期対応の最大の目的は患者の安全確保であることは言うまでもない．さらには，スタッフの安全確保も重要である．初期対応の訓練では以下の事項を理解する．

- 激しい揺れと同時に停電が発生し，非常照明の僅かな明かりの中での対処となる可能性がある．
- 激しい揺れのために建物が変形し，撮影室の扉が開閉不能となることもある．撮影室に入る際には扉を開放状態で固定する工夫も必要である．

⁹ 東日本大震災において報告あり．但し，本体と一体型と同様の状態になるのみで，それ以上のデメリットはない．

- 激しい揺れによる装置本体や患者用寝台の移動に起因する身体の挟み込み、ならびに脱落した本体カバーや整理棚から転落した受信コイル等による殴打の危険性がある。
- 即時クエンチが発生する可能性があるが¹⁰、その場合は慌てずに次の対応を行う。
 - ✓ 操作室にいる時点でクエンチが発生した場合は、直ちに手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる。
通常、強制排気ファンは室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作するように設計されているが、自動動作を待たずに手動で動作させる。
 - ✓ 次に、直ちに撮影室に入室し、自らの姿勢を低く保ちつつ可及的速やかに患者を引き出し前室まで退避する。
撮影室内にヘリウムガスが漏出することを想定して、頭の高さを発生した雲状のヘリウムガス¹¹よりも低くするために、姿勢を低く保ちつつ¹²、可及的速やかに患者を引き出し、患者にもできるだけ低姿勢を取らせて前室まで退避する。
 - ✓ 撮影室に入室中にクエンチが発生し、室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作しなかった場合は、手動スイッチで動作させる。
 - ✓ 強制排気ファンが作動しなかったり、

マグネットの移動により排気管が断裂して、想定よりも多量のヘリウムが撮影室内に放出される可能性がある。

- MR 装置本体の移動等による各種ケーブルの破損・破断が生じた状態で MR 装置を使用すると、電気火災発生の可能性がある。このような状態で通電してはならない。
 - 中央配管による酸素配管の破断による酸素漏出の可能性がある。
 - 沿岸地域においては、津波の襲来にも留意しなければならない。
 - ✓ あらかじめ津波被害が想定されている地域では、常に津波到達までの時間を念頭に行動すること。
 - ✓ 初期対応に引き続き、上階への避難や指定避難所への避難を一連の行動として訓練することが望ましい。
 - ダムの決壊・山崩れ等々、施設の立地条件により起こりうる 2 次的災害についてもあらかじめ検討しておくことを推奨する。
- 5.2 患者・付添家族・スタッフの安全確認と報告
- 5.2.1 人的被害状況の確認および応急処置
- 初期対応に引き続き人的被害の状況を確認する。
 - 怪我人の発生を想定して、骨折・切創等に対する応急処置の訓練も行うことを推奨する。
- 5.2.2 人的被害状況を所属長へ報告
- 人的被害の有無ならびに被害の程度を施設で決められた方法で所属長に報告する。

5.3 施設の災害対策マニュアルに従った対応

上記「5.1」ならびに「5.2」までを MR 検査室での 1 次訓練とし、以降は施設が定めた災害対策マニュアルに従った対応を行う。

5.4 防災点検の実施

上記「4. MR 装置室の防災点検」については、定期的な実施を担保するために、「5.1」、「5.2」、「5.3」に引き続き MR 検査室での 2 次訓練として行うことが望ましい。

¹⁰ 発災直後に地震が原因となって発生するクエンチで、東日本大震災での頻度は約 1%

¹¹ 天井付近から次第に床に向かって充滿し、極低温のために空気中の水蒸気を結露させて白い雲のように見える。

¹² 肺胞毛細血管から肺胞腔に出てくるガスの酸素濃度はおよそ 16% であり、通常は空気中で濃度 21% の酸素と濃度勾配に従って交換される。16% 以下の酸素濃度の空気を吸い込むと、通常とは逆の濃度勾配により血中酸素が肺胞腔に引き出され、血中酸素濃度の低下を引き起こす。この状態が呼吸中枢を刺激し、反射的に呼吸を促進することになり、さらに低酸素濃度の空気を吸い込んで悪循環に陥る。このように酸素濃度の低い空気は一度吸い込むだけで死に至る危険がある。

6 防災計画における留意点

放射線業務を行う部門や医療施設全体の防災計画の中でMR検査室の防災計画を位置づけ、優先順位を判断すること。また、時間外、休日等に発災した際には、MR担当者の登院まで時間を要する場合があることも想定される。施設の防災マニュアルには、一般職員による貼り紙や立ち入り禁止テープを用いたMR撮影室への入室制限措置についても記載することを推奨する。

尚、災害時は、通信インフラ障害により装置メーカーのサービス対応コールセンターとの連絡が困難となることが予想される。代替連絡先や代替連絡手段について装置メーカーと協議しておくことが望ましい。

資料

I 現行のMR装置の設置方法の分類

1 アンカーボルト固定方式

アンカーボルトにより直接床に固定する方式、現在設置されている装置の多くがこの方式を採用している。

2 鋼板上非固定設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、鋼板上にそのまま据え置く方式。

3 鋼板上非固定制振設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、その上にアブソープションコイルを介してそのまま据え置く方式。

4 エポキシ樹脂固定方式

マグネットの脚部を床にエポキシ樹脂により固定する方式。

* 阪神・淡路大震災後に採用された方式で、1日で施行可能である。

5 台座配置方式

アンカー固定することなく、床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに脚を載せ置く方式。

6 改良台座配置方式

床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに配置し、本体にはキャスター付き脚を台座周囲に追加装備する¹³。

II 建物構造の分類と部分免震

MR装置の設置されている建物構造の分類を以下に要約する。免震構造については、その種類と各々の特徴を整理し、耐震構造や制振構造に対する優位性についてまとめる。なお、建築基準法施行令改正による新耐震基準施行(1981年6月1日)前の建物は、下記の分類に該当しない。

1 建物全体構造の違いと揺れに対する応答性能

a. 耐震構造

- 建物の骨組みなどを強化し、地震の揺れに対し建物の崩壊を防ぐ。
- 柱を強化したり、耐力壁を増やしたり、接合部を固めて耐震性を高める。
- 建物ならびに内部の揺れを減衰することはできない。

b. 制振構造

- 建物に組み込んだ制振部材・装置が地震による揺れを吸収し、建物に地震エネルギーが伝わりにくくする。
- オイルダンパー・鋼材ダンパー・粘弾性壁により地震エネルギーを吸収する。
- 建物の揺れを減衰して損壊を防ぐと共に内部の揺れもある程度低減する。

c. 免震構造(基礎免震)

- 建物の基礎部分に設置された免震装置が建物と地盤を絶縁することにより地震の揺れを吸収、建物への地震エネルギーを大幅に低減する。
- 積層ゴム・すべり支承・転がり支承等で地震エネルギーを吸収し、地震動を長くゆっくりとした揺れに変換する。オイルダンパー等を併用して長く続く揺れを抑制する。条件によって、地震の加速度を数分の1(～9分の1)程度

¹³ 台座に隣接するように、本体側にキャスター付きの脚を追加装備することにより、強振動により本体が台座から転落・移動しても本体カバー部品の損傷程度を軽減し、復旧作業を簡素化することを図っている。東日本大震災を経験し、台座配置方式の改良型として考案された。

度まで、気象庁震度階を2～3段階小さく、それぞれ低減させる効果がある。

- 建物の固有周期を長くしてゆっくりと揺れることで建物の損壊を防ぎ、内部の揺れも大幅に低減する。建物内の人々の安全を確保するだけでなく、設備機器・什器への影響も大幅に低減されるため、地震後の施設の機能維持をはかることが可能となる。
- 但し、高層建築物が長周期振動地震に対して共振する問題があるように、免震構造も建物の固有周期を長くするため、長周期振動地震との共振が問題になる。また、従来型の二次元免震では、鉛直方向の揺れに対しては免震の効果は期待できない。

d. その他（杭頭免震、中間階免震）

- 「杭頭免震」は、免震装置を直接杭の上に設置することで、基礎免震に必要な「免震基礎」部分の大幅削減を可能とした。基礎部分の掘削も浅くなり、ローコスト化と工期短縮がはかれる。
- 「中間階免震」は、建物の中間階に免震装置を設置する。基礎部分の深い掘削を必要としない。敷地境界にクリアランスがない、傾斜地である等の条件下で基礎免震よりも有利になる場合がある。

2 部分的な免震構造の種類と特徴

以下の方法は、精密機械や測定装置等に用いられてきた方法であるが、MRI装置への応用は検討が始まったばかりであり、評価はまだ定まっていない。

a. 床免震

- 装置を設置する床の一部、あるいは特定の部屋やフロアにのみ免震装置を設置する方法で、必要な装置あるいは部屋全体に後付けが可能。
- 例えば、セルシートと呼ばれるベースの上に特殊樹脂コーティングの滑走プレートを敷いて免震機構を実現する。

b. 台座（機器）免震

- 免震を必要とする装置の下に設置する装置で、必要な装置に後付けが可能。
- 例えば、直交する2方向のそれぞれ独立した傾斜レール上を、装置を載せるテーブルが滑走する。

e. 床免震・台座（機器）免震を設置する際の留意事項

- 床免震装置に関しては集中荷重の制限があり、10数トンのマグネット本体を4脚で支えるMR装置に応用するには技術的工夫が求められる。
- 床免震装置ならびに台座（機器）免震装置には可動範囲に制限がある。また、台座（機器）免震装置では装置設置面と床の間に10数センチ程度の段差を生じる。
- いずれの装置も排気管にはクエンチにより生じる内圧の上昇に耐えられる強度と一定の可動性を必要とする。
- 装置を設置する範囲での床免震や台座（機器）免震では、強振動や長周期振動の際は人が立つ床に対してMR装置が数10センチの幅で滑ることになり、患者救出の際にスタッフに危険が及ぶ可能性がある。
- 付加工事による免震化を施行する場合は、壁や天井に接続されている固定物と免震構造上のユニット（マグネット本体や患者寝台等）の移動幅を考慮して、詳細に技術的な設置計画を策定することが求められる。

文献

- 1 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 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：日本画像医療システム工業会 1998年3月
- 3 医用画像診断装置の耐震指針（JESRA X-00862000）：日本画像医療システム工業会 2000年

- | | |
|---|--|
| 4 MR 装置引き渡しにおけるガイドライン
Rev.1.1：日本画像医療システム工業会
2006年 | ブック —あなたの病院機能を守るための
身近な対策— 防災科学技術研究所
2012年 |
| 5 病院スタッフのための地震対策ハンド | |

Two Sets of Guidelines for Damage Minimization and Emergency Performance during Earthquake Disasters in Magnetic Resonance Facilities: A Release Note

Toshiharu NAKAI¹, Sachiko YAMAGUCHI-SEKINO², Toshio TSUCHIHASHI³,
Humio MAEYATSU⁴, Takeo HIKICHI⁵, Shinya SEINO⁶,
Hajime TANJI⁷, Kojiro ADACHI⁸, Yasunori MUSASHI⁹,
Makoto HISHINUMA¹⁰, Yoshihiro ABE¹¹, Fumio ISHIMORI¹²,
Hideaki SUNAMORI¹³, Yoshitada MASUDA¹⁴, Koji MATSUMOTO¹⁴,
Kouki KURITA¹⁵, Isao FUJITA¹⁶, Haruo ISODA¹⁷,
Shuji KOYAMA¹⁷, Yoriko MURATA¹⁸, Kiyomi MIZUKUCHI¹⁹,
Yoshiteru KIDO²⁰, Takashi NOGUCHI²¹, Isao YANAGAWA²²,
Yoshio MACHIDA²³

¹*NeuroImaging & Informatics, National Center for Geriatrics and Gerontology, 36-3 Gengo, Moriokacho, Ohbu, Aichi, 474-8511*

²*Division of Health Effects Research, National Institute of Occupational Safety and Health 3-7,9-16,18-20,22*

³*Nippon Medical School Hospital, ⁴Izumi Hospital, ⁵Kurihara Central Hospital, ⁶Fukushima Medical University Hospital, ⁷Northen Fukushima Medical Center, ⁹Iwate Prefectural Central Hospital, ¹⁰Sendai Kousei Hospital, ¹¹Sendai Medical Center, ¹²Seirei Memorial Hospital,*

¹³*Mito Saiseikai General Hospital, ¹⁴Chiba University Hospital, ¹⁵Saiseikai Kurihashi Hospital,*

¹⁶*Saitama Municipal Hospital, ¹⁸Kochi Health Sciences Center, ¹⁹Mominoki Hospital,*

²⁰*Wakayama Rosai Hospital, and ²²Tohoku University Hospital*

⁸*Department of Medical Technology, Morioka Red Cross Hospital*

¹⁷*Brain & Mind Research Center, Nagoya University*

²¹*Magnet Development Group, Superconducting Wire Unit, National Institute for Materials Science (NIMS)*

²³*Medical Imaging and Applied Radiology, Tohoku University Graduate School of Medicine*

The Great East Japan Earthquake March 11, 2011 caused severe damage and produced many victims and refugees. Approximately 6,000 magnetic resonance (MR) scanners are used in Japan and play important roles in daily medical care. However, a medical facility may also be damaged by the destructive power of an earthquake and lose its capability to aid in post-earthquake medical care to cope with increased medical demand. It is important to avoid such a situation and prevent secondary disasters resulting from the physical properties of MR scanners, such as the ultra-low-temperature refrigerant, ultra-high static magnetic field, and high voltage of electric circuits.

In 2012, we investigated the damage observed at MR facilities in the 7 prefectures in the Tohoku and Kanto areas. Based on the results, we proposed 2 sets of guidelines-one for safety management of the MR scanners after an earthquake disaster and another for disaster prevention measures in MR facilities. In this article, we report how we established the guidelines and refer to points that will allow their individualization for each facility. We suggest that the establishment of a standard protocol to inspect MR scanners for crisis control during disasters will contribute to post-earthquake medical care.