

平成26年1月15日

災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針

日本磁気共鳴医学会 安全性評価委員会

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. 静磁場発生のお知らせとクエンチ対策	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、応援に駆けつけたり患者の避難、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無いか、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無い場合は、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ので、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ない、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な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行ない、装置の動作異常が無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）。
- ガウスメータが無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。

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。

- ✓ マグネット上部に白煙が見られないか。
- ✓ 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。
 - ✓ 状況により手動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、当面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 30kg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。

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はあるが、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）。

- マグネットの移動に伴う配線、配管（特に排気管⁵）の損傷が無いか
 - ✓ 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変がないか。
 - ✓ 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、壁に損傷が無いか

- 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。

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。

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）。

(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

- ✓ 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ので、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

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。

- 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）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無いが記録をつける。
 - ✓ 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なう。
 - ✓ 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無いが確認する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

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。

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。

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ない、MR 装置のシステムの立ち上げを行う。
- 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受けて異常の確認を行う。
- その他、異常動作が無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ない、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。
 - ✓ 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 週間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 週間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誌 33、92-119、2013