

## 特集

## 特殊な状況での呼吸療法

## 院内 MRI 検査における呼吸療法

相嶋一登

キーワード：MRI, 人工呼吸器, 磁性体, 事故防止

## I. はじめに

MRI (magnetic resonance imaging: 磁気共鳴画像) は磁場と電磁波を利用し、水素原子核 (プロトン) から放出される電磁波を捉え、画像化したものである。MRI 検査は CT と比較して放射線被曝がなく、組織のコントラストに優れるが、検査時間が長く、高磁場環境であるため医療機器を使用するうえでは様々な制約が生じてくる。

日本の MRI 設置台数は人口 100 万人あたり 51.7 台で、OECD 加盟国の中で 1 位となっており<sup>1)</sup>、様々な疾患の診断に使用されている。

人工呼吸器装着患者に対して MRI 検査が必要である場合には、人工呼吸器を始めとした様々な医療機器や物品を MRI 検査室に持ち込む必要があるが、特殊な環境下において安全に人工呼吸管理を実施するために注意すべき点が多い。本稿では、特に MRI 検査に伴う人工呼吸管理上の課題や注意点について、呼吸管理の質、医療事故防止の観点から解説する。

## II. MRI 検査室で使用できる人工呼吸器と使用上の注意点

## 1. MRI 対応型人工呼吸器の性能とは

MRI 環境で人工呼吸器を使用できるようにするには、非磁性体部品のみを用いる必要があり、特に吸気弁、呼気弁、フローセンサに制約が多くなる。したがって

人工呼吸器としての性能が犠牲となってしまう。

Chikata らは MRI 対応型人工呼吸器の一回換気量、換気回数、 $\text{FiO}_2$ 、PEEP そして気道内圧上昇時リリーフ弁の警報機能について、動作の精度を評価している<sup>2)</sup>。この報告によると、一回換気量では、設定値が低いほど精度が悪く、機種によっては 20% 以上の誤差を認めていた。さらに PEEP 設定についても最大で 20% 以上の誤差を認めており、MRI 対応型人工呼吸器の性能が低いことが判明している。一回換気量は最大 28% の誤差があり、ICU など管理されている患者に、搬送や MRI 検査のための MRI 対応型人工呼吸器への切替えが行われた場合には換気条件が変化し、バイタルサインに変化が生じる可能性がある<sup>2,3)</sup>。また、自発呼吸への同調も困難であるため、検査中の不動化を得る目的も相まって深い鎮静が必要になる。

Chikata らは、MRI 対応型人工呼吸器を使用する場合には、頻回の呼吸循環モニタが必要であると指摘している<sup>2)</sup>。

## 2. MRI 対応型人工呼吸器の構造

人工呼吸器を MRI 対応にするには、すべての部品は非磁性体でなくてはならない。しかし、人工呼吸器に組み込まれる弁やセンサ、液晶画面などすべてを非磁性体にすることは困難であるため、近年の人工呼吸器では磁性体部品をアルミニウムやマグネシウムといった非磁性体の筐体で覆う構造とすることで、人工呼吸器としての基本機能の向上を図っている (図 1)。この構造をとることにより、換気に関する性能は通常の人

工呼吸器と同等となり、MRI 検査中の人工呼吸管理の質が維持されることになる。

また、磁性体をシールドする構造であることから、被爆可能な磁力には制限がかかる。したがって、ある程度ガントリとの距離を保つ必要があり、被爆する磁力をモニタリングし、高磁場に暴露される可能性がある場合には警告を発するための機能が必要となる（図2）。

本人工呼吸器の場合、3 テスラの MRI 装置では、ガントリから 1m の距離を取る必要があり、呼吸回路は最大長 4.8m のものが用意されている。また、暴露している磁力を測定し 2 段階で注意喚起できるようになっている。



図1 Hamilton 社製 MR1 の筐体  
アルミニウムとマグネシウム合金でできている  
（日本光電工業より提供）

### 3. MRI 対応型人工呼吸器を使用できない場合の工夫

MRI 対応型人工呼吸器は、人工呼吸器としての性能が低いことは既述の通りである。一方で高機能の MRI 対応型人工呼吸器は非常に高価である。

一般的な人工呼吸器であれば、人工呼吸器としての性能がある程度保障されており、かつ MRI 対応型人工呼吸器と比較して安価である。

そこで、MRI 検査室と操作室の間の壁に穴を開け、この穴に呼吸回路を通して人工呼吸管理を行っている施設がある（図3）。当該施設の検証では、3 テスラの MRI 装置使用下でも人工呼吸器の動作、MRI 撮像のいずれも問題を認めなかった。さらにサイドストリーム式のカプノメータを使用すれば呼気二酸化炭素分圧測定および監視が可能となる。

## Ⅲ. 徒手の換気の問題点

MRI 対応型人工呼吸器を保有していない場合には、バグバルブマスクやジャクソンリース回路を用いた徒手の換気を行うことになる。しかし、徒手の換気では人工呼吸器を使用した場合と比較して一回換気量、気道内圧のバラツキが多く患者状態に影響を及ぼすことが指摘されている<sup>3,4)</sup>。Nakamura らは<sup>4)</sup>、患者移送時に、徒手の換気による方法と搬送用人工呼吸器を使用する方法について、患者への影響を検討している。この結果、徒手の換気を行った患者群では人工呼吸器を使用した患者群と比較して、一回換気量と PEEP でばらつきが大きかった。徒手の換気で搬送された患者 11 名のうち 5 名で P/F ratio が 20% 以上低下しており、徒手の換気を実施したほうが患者への呼吸循環への影

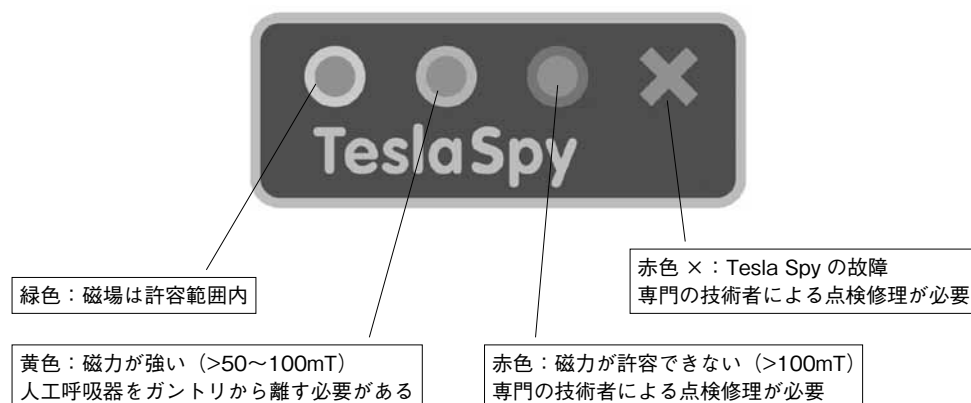


図2 Hamilton 社製 MR1 に搭載された Tesla Spy  
暴露している磁場をモニタリングし、警告を発する（日本光電工業より提供）

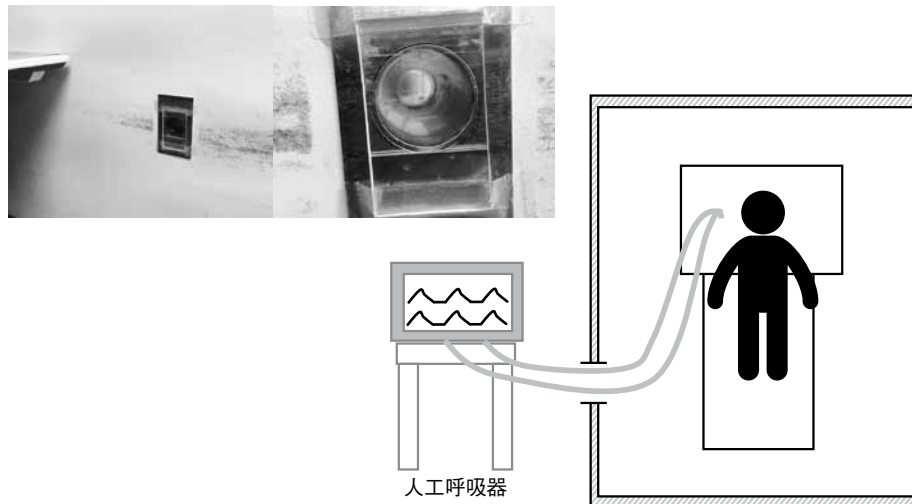


図3 一般的な人工呼吸器を使用する工夫

MRI 検査室の壁に穴を開け、操作室側に設置した人工呼吸器から呼吸回路通して呼吸管理を行う  
(横浜市立脳卒中・神経脊椎センター提供)

響が大きいことが示された。したがって、徒手的換気を行う医療従事者は定期的な練習を行い<sup>5)</sup>、意図する換気を高い精度で行えるようにしなければならない。

#### IV. その他 MRI 検査中の注意点、事故事例

##### 1. 生体情報モニタ

MRI 検査中に患者の不動化を目的に鎮静を行うことがある。鎮静を行う際は呼吸抑制や気道閉塞の危険があるため、持続的な生体情報の監視が必要になる。一方で、MRI 環境下で使用できる生体情報モニタには制約があり、価格も高価である。

日本小児科学会、日本小児麻酔学会、日本小児放射線学会の3学会は「MRI 検査時の鎮静に関する共同提言」<sup>6)</sup>を公表している。その中では小児患者に対するMRI 検査中の鎮静に際してはパルスオキシメータの装着を必須とし、カプノメータ、心電図モニタの装着が望ましい、としている。

人工呼吸器装着中の患者については、日本呼吸療法医学会が作成した「人工呼吸器安全使用のための指針(第2版)」において、心電図、呼吸数、パルスオキシメータによる経皮的動脈血酸素飽和度が連続的にモニタリングできること<sup>7)</sup>、と定めている。

MRI 検査中は患者の身体はガントリ内に入り、直接的に観察することができないため、心電図、SpO<sub>2</sub> など複数のパラメータの測定・監視の行える生体モニタの使用が推奨される。

##### 2. 鎮痛鎮静管理

人工呼吸中はシリンジポンプや輸液ポンプで鎮痛鎮静薬を投与することが多いが、一般的にこれらの医療機器は磁性体であり、MRI 検査室への持ち込みは禁止されている。一部 MRI 対応型輸液ポンプが販売されているが、非常に高価である。

##### 3. 事故事例と対策

###### 1) 磁性体の持ち込み

平成 16 年 10 月から平成 24 年 3 月の 7 年 6 カ月の間に日本医療機能評価機構に報告された MRI 検査に関連した医療事故は 67 件であった。このうち、磁性体の持ち込みによるものが 12 件報告されている。このうち件数は不明であるが、ストレッチャーに装着された酸素ボンベが MRI 装置に吸着された事例が報告されている<sup>8)</sup>。2001 年には米国で MRI のガントリに引き込まれた酸素ボンベが男児の頭部に当たり、男児が死亡するという事故も発生している。

非磁性体であるアルミニウムで作られた酸素ボンベが発売されており、これを使用することで吸着事故は防げられると思われる。

###### 2) その他 MRI に関する事故防止

MRI 環境下での安全対策として the joint commission から以下の対策が推奨されている(表 1)<sup>9)</sup>。MRI 検査室の環境の特殊性を鑑み、事故防止のための対策を医療機関内で徹底する必要がある。

表1 MRI 検査に関する安全基準<sup>9)</sup>

1. American College of Radiology (ACR) のガイドラインに従い、MRI 検査室を4つのゾーンに分ける。
  - ゾーン1：一般区域
  - ゾーン2：患者および家族が最初に MRI 検査担当者と接触する
  - ゾーン3：磁性体など持ち込みが禁止されている物品が持ち込まれていないことが確認された、患者や職員が立ち入ることができる。
  - ゾーン4：MRI 検査室担当者の直接的監視下にある
2. すべての患者には、体内植込医療機器、貼付薬、入れ墨、その他電子機器、磁性体機器を持ち込んでいないかを、訓練された職員によって2回チェックを受けさせること。
3. 患者の病歴を把握し、体内に医療機器が植え込まれていないことを確認すること。また体内に植え込まれている医療機器がMRI検査可能であることを、取扱説明書や添付文書で確認すること。
4. MRI 検査について特別な訓練を受けた職員を、患者、家族およびMRI検査に精通していない職員に付き添わせること。
5. MRI 検査を専門外とする医療従事者や患者、家族に対して定期的に研修を行うこと。
6. 熱傷を予防するため、電線などをループにしないこと。発熱する可能性のある心電図の電極リード線、手術用ステプラー、入れ墨などにはアイスパックを当てて冷却すること。
7. MRI 検査において、安全性が確立されている医療機器や物品のみを使用すること。
8. 持続的な生体情報モニタリングや輸液ポンプを必要とする重症患者に対するMRI検査では、事前に十分な計画を作成しておくこと。
9. すべての患者に耳栓などの聴覚保護を行うこと。
10. MRI 検査室内では心肺蘇生は行わないこと。

## V. ま と め

以上、MRI 検査室における呼吸療法を中心に解説した。磁場環境という特殊な環境下での医療機器使用には危険が伴い、安全性を維持するためには制約が多い。この制約の中では、ICU などにおける一般環境と比較して人工呼吸管理の質が低下することが不可避である。一部高性能な人工呼吸器や生体情報モニタでMRI対応型のものが市販されているが、非常に高額であり、MRI装置を設置している全ての医療機関で整備することは不可能である。普段MRI検査室で勤務していない医療従事者は特に、磁性体持ち込みのリスクや様々な制約に伴う人工呼吸管理の質低下を理解し、事故防止対策について十分な訓練を受けて業務に当たることが必要である。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

## 参考文献

- 1) 前田由美子：医療関連データの国際比較—OECD Health statistics 2016—。日医総研ワーキングペーパー No.370。東京，日医総研，2016。  
URL <http://www.jmari.med.or.jp/download/WP370.pdf>
- 2) Chikata Y, Okuda N, Izawa M, et al : Performance of ventilators compatible with magnetic resonance imaging : a bench study. *Respir Care*. 2015 ; 60 : 341-6.
- 3) Holets SR, Davies JD : Should a portable ventilator be used in all in-hospital transports? *Respir Care*. 2016 ; 61 : 839-53.
- 4) Nakamura T, Fujino Y, Uchiyama A, et al : Intrahospital transport of critically ill patients using ventilator with patient-triggering function. *Chest*. 2003 ; 123 : 159-64.
- 5) 大塚将秀, 磨田 裕, 山口 修 : 用手加圧練習装置の試作とその効果—練習間隔の検討—. *人工呼吸*. 2001 ; 18 : 193.
- 6) 日本小児科学会・日本小児麻酔学会・日本小児放射線学会 : MRI 検査時の鎮静に関する共同提言。東京，日本小児科学会・日本小児麻酔学会・日本小児放射線学会，2013.
- 7) 日本呼吸療法医学会人工呼吸管理安全対策委員会 : 人工呼吸器安全使用のための指針第2版。人工呼吸。2011 ; 28 : 210-25.
- 8) 公益財団法人日本医療機能評価機構医療事故防止事業部 : 医療事故情報収集等事業第29回報告書（平成24年1月～3月）。東京，日本医療機能評価機構，2012.
- 9) Gilk T, Kanal E : Interrelating sentinel event alert #38 with the ACR guidance document on MR safe practices : 2013. An MRI accreditation safety review tool. *J Magn Reson Imaging*. 2013 ; 37 : 531-43.