

脳神経外科手術で活躍するオープンMRI

八杉 幸浩
Yasugi Yukihiko

藁粥 一徳
Waragayu Kazunori

オープンMRI装置はガントリーの開放性が高いMRI装置であり、0.2 Tから0.4 TのオープンMRIが画像診断用途を中心に広く普及している。オープンMRIの特徴は、放射線被ばくがないことに加え、開放性、低磁場、少ない漏えい磁場といった安全性が高い点にある。

このオープンMRI装置を脳神経外科手術室に設置するこ

とで、開頭後の脳組織変形の確認、脳外科手術ナビゲーションシステムの画像データのアップデートを行い、高精度な外科手術支援を実現したシステムを具体化した。さらに、少ない漏えい磁場が汎用の手術器具の使用を可能とした。

1. はじめに

近年、国内においても高度な脳神経手術の施行件数が増加しており、高精度なオペレーションが要求されるため、一般的にナビゲーション装置を使用した手術が行われている。特に脳腫瘍摘出術では、腫瘍を摘出する際に運動神経などの重要な脳機能の損傷を回避することが課題である。そこで、術前に撮像したMRI (Magnetic Resonance Imaging) 画像を使用した術中ナビゲーションシステムが普及している。しかし、手術操作に伴って生じるブレインシフト^{※1)}が問題となっている。

本稿では、手術室にMRIを設置することで、術中にMRI画像を撮像することを可能とした手術室システムについて述べる。

2. 脳神経外科手術の現状と課題

これまでの脳腫瘍手術においては、術前のMR (Magnetic Resonance) 画像データをナビゲーションに転送し、顕微鏡下で腫瘍を除去する手技を行っていたが、次のような問題があった。

(1) 開頭後のブレインシフトの問題と、腫瘍を除去する過程での脳組織の変形があり、経験豊富な執刀医によってこれら変異量を考慮しながら手術を行ってきた。

(2) 特に悪性度の高い膠(こう)芽腫(グリオブラストーマ)は脳に発生し、周囲の脳に染み込むように広がる(浸潤)ため、肉眼的には正常組織との区別が不明瞭である。

(3) 脳細胞組織の拡大切除は機能障害を起こす可能性があるため、少しずつ切除した細胞片を病理診断でがん細胞か正常細胞かの判定をしながら手術を進めてきた。このため非常に長い時間と多くの手間がかかっていた。

(4) 腫瘍が除去できたか残存があるかは、手術終了後の再MR検査でしか確認できなかった。

(5) 悪性腫瘍の完全除去ができないと再発リスクは非常に高く、5年生存率が顕著に低下していた。

3. 手術室に構築したオープンMRIの成果

これらの問題を解決するために、1999年に東京女子医科大学病院で脳神経外科(以下、「脳外科」と記す。)手術の悪性脳腫瘍の治療成績向上を目的として手術室内に設置したオープンMRI (AIRIS II) が導入され、術中のMRI画像取得が可能となった(図1参照)。

ただし、診断用MRI室とは違い、手術室内にはさまざまな周辺機器、手術器具、特殊設備があるため、次の2点を検討し、対策を講じる必要があった。

(1) MRI装置から発生する磁場や高周波電磁波がそれらの機器に影響を与えない。

(2) 設置機器からのMRI装置への影響[EMI (Electromagnetic

※1) 脳実質の移動・変形。開頭すると脳組織が大きく変形すること。



図1 | 手術室設置MRIシステム（提供：東京女子医科大学病院）
磁場の漏えいが少ない永久磁石MRI（Magnetic Resonance Imaging）により、MRI近傍での脳外科手術が可能となった。

表1 | 脳腫瘍のグレードと5年生存率（出典：第66回日本脳神経外科学会総会）

脳腫瘍の悪性度をグレードで表し、IVが最も悪性である。一般的に手術の成果は5年生存率で評価されるが、東京女子医科大学の評価は国内平均の約3倍にもなっている。

腫瘍悪性度	5年生存率	
	国内平均	東京女子医科大学
グレードⅡ	69%	90%
グレードⅢ	25%	75%
グレードⅣ	7%	19%

Interference) ノイズ、環境磁場変動など] を防止する。

東京女子医科大学病院に導入するにあたり、医師、看護師、技師、情報スタッフなどの使用する側の要望を聞くとともに、設備業者、周辺機器メーカーなどの関連する企業との協力体制や実証を重ね、システムとして構築するエンジニアリング能力（ノウハウ）を蓄積した。

東京女子医科大学病院では、いち早く治療成績のエビデンスを集めて関連学会で発表し、大きな成果を上げた（表1参照）。常に腫瘍除去率90%以上を維持し、患者側も手術室にMRIシステムのある病院での治療を望む人が増え、全国から脳腫瘍患者が集まるという集客効果も生んでいる¹⁾。

4. 術中での脳神経線維の可視化

MRI画像の脳外科手術での展開として、術前計画への適用と術中モニタリングへの適用がある。MRI設置手術室のコンセプトは、主に次の4点が期待されるというものである（図2参照）。

- (1) MRI装置を備える手術室で最新の画像データを取得し、ナビゲーション支援のための三次元データをアップデートできる。
- (2) オープンMRIの適用により、特殊な手術器具が不要で従来の手技・術具をそのまま利用可能
- (3) 高い完治率の実現
- (4) エビデンスベースの治療の実現、医療過誤や訴訟リス



図2 | MRIを術中撮像システムとして構築したイメージ図
オープンMRIを備えた脳外科手術室の例を示す。床の破線は0.5 mT（地磁気の約10倍）である磁場安全管理区域を示している。この外側では通常の手術器具を使用することができる。

クの低減

脳腫瘍摘出術では、5年生存率を高めるために摘出率を最大化するとともに、術後合併症を最小化するために機能領域を温存することが求められる。腫瘍と正常組織の位置関係を知るにはMRI画像が有効である。また、術者が手術操作している位置を正確に把握するには、術具の位置を別途、光学計測機器などで計測し、これらの画像上に術具の先端位置を表示する手術ナビゲーションシステムが効果的である。

さらに、MRIの撮像手法であるDWI（Diffusion Weighted Image：拡散強調画像）を使い、脳神経線維の方向情報を非襲侵で画像化できる機能がある。この方法により、腫瘍病変周囲の脳神経線維の特に重要な運動に関わる神経線維走行を把握できるようになった。術中では手術を進めるに

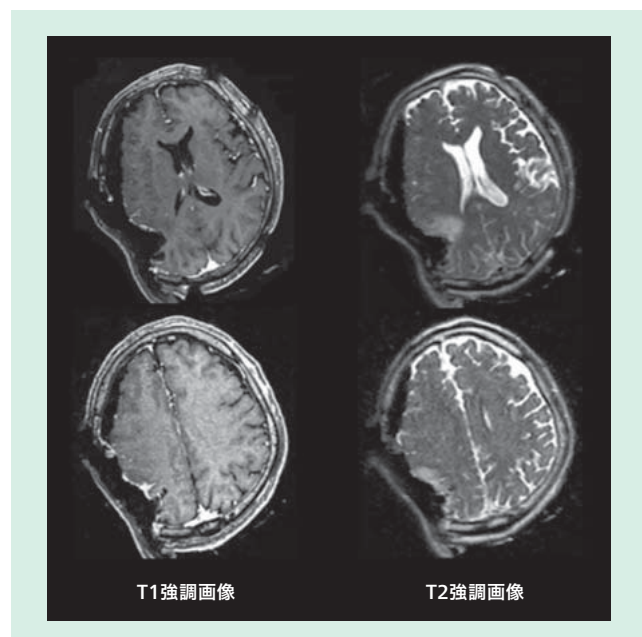


図3 | 手術中のMRI画像例（提供：鹿児島大学病院）
画像コントラストの異なる2種類の2断面頭部画像を示す。画像データは三次元で撮像されており、手術ナビゲータ装置に転送されて利用される。

表2 | 手術室MRIの1室設置と2室設置の比較

Dedicated system は漏えい磁場の少ないオープンMRIを採用することで、MRIを手術室内に設置し、MRI撮影に伴う手間や時間、安全面の問題を低減してMRI装置の積極的な活用を可能とする。

		オープンMRI (低磁場装置)	筒型MRI (高磁場装置)
Dedicated system (MRI手術室内設置)		利点：患者の移動が短く(回転方式または2 m以内)、 複数回撮像に有利 欠点：診断用MRIとしては使用困難	漏えい磁場対策が必要 採算性が悪い
2-room system (MRI隣室格納)		MRI 移動式	利点：患者の移動不要 欠点：コストが高く、磁場影響の管理が困難 (漏えい磁場移動)
		手術台 移動式	利点：手術以外に診断用として利用可能 欠点：患者移動が大きく安全管理困難

したがって脳実質が変形するため、術中撮像でDWIも撮像し、データを更新することが望ましい。術中に撮像されたDWIを用いた手術ナビゲーションによって術中の神経位置を確認することが、患者の運動機能の温存に役立っている。この結果、脳神経の損傷を最小限にしながら開頭手術を行うことが可能になりつつある²⁾。

脳外科手術中に撮像された頭部画像例を図3に示す。開頭された頭部画像において、摘出術の結果、脳組織が移動している様子が描出された画像である。

5. システムの普及とガイドライン

東京女子医科大学に導入後、主要な大学病院脳神経外科に展開を図ると同時に、株式会社日立メディコが主となって全国のKOL^{※2)} (Key Opinion Leader) の脳神経外科医を中心とした「術中画像研究会」を立ち上げた。その結果、名古屋大学、鹿児島大学など、国内で10か所の病院に同様のシステムが導入されてきた。

現在、この術中画像研究会は学会に格上げされて「日本術中画像情報学会」となり、2015年で第15回の開催となる。

日本術中画像情報学会における術中MRIガイドライン制作委員会より、「術中MRIガイドライン」の原案が2014年7月に公開されている³⁾。

このガイドラインによると、MRIの設置方法は2つに分類されており、MRIを手術室内に設置した「Dedicated system」と、MRIを隣室に格納した「2-room system」がある。

この2分類の比較を表2に示す。

永久磁石方式でのオープンMRI装置は磁場の漏えい範囲が狭いため、手術室の内部に設置が可能である。このため、開頭状態での患者移動距離が短く、安全面におけるインシデントを低減できると考えられる。さらに、手術テーブルの回転機能などの開発により、手術状態からMRI撮

像状態への移行をスムーズにし、手術の休止時間を低減する工夫も行っている。術者の意見では、MRI撮像を行うことが手術関係者の負担にならないことが重要とのことであり、手間や時間、安全面に問題があると、設備として用意されたMRI撮像の頻度が低下する結果になる。

MRI装置の積極的な活用を行うためにもDedicated systemの実現が必要であると考えている。

6. おわりに

脳外科領域における術中でのMRI撮像の要求は高く、市場も活性化している。手術中のモニタリング手段としてのMRIの優位性は、放射線被ばくがないこと、高い腫瘍コントラストが得られることであり、これによって手術中に更新されたMRI画像データで高精度な手術ナビゲーションを可能とする点にある。

正常脳組織にダメージを与えずに確実な腫瘍摘出を達成する手段として、術中に使用できるMRI装置を用いた精密な手術ナビゲーションシステムが求められているのである。

参考文献など

- 1) 高橋、外：オープンMRIとインターベンショナルMRI、MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 27, No. 2 (2009.3)
- 2) 小澤、外：高精度な脳腫瘍摘出手術を支援する術中MRIシステム、日立評論、88、9、698～701 (2006.9)
- 3) 術中MRIガイドライン、日本術中画像情報学会、<http://jsii14.umin.ne.jp/images/guideline.pdf>

執筆者紹介



八杉 幸浩
株式会社日立メディコ 柏事業場 診断機器事業部
トータルソリューション部 所属
現在、MRI技術解説の執筆、教育関連資料の作成などに従事
日本磁気共鳴医学会非常勤講師、日本コンピュータ外科学会会員



藁粥 一徳
株式会社日立メディコ 柏事業場 診断機器事業部
トータルソリューション部 所属
現在、トータルソリューション部部長として、インテリジェントオペ室をはじめとする、手術室、検査室、健診施設の新たなビジネスの構築、展開の取りまとめに従事

※2) 医療業界で多方面に影響力を持つ医師。