

低磁場永久磁石MRIの 手術室導入から第一例手術まで

Low magnetic field intraoperative MRI: how to introduce to the operation theater and initial clinical experience

後藤 哲哉 Tetsuya Goto / 藤井 雄 Yu Fujii

本郷 一博 Kazuhiro Hongo

信州大学医学部医学系研究科脳神経外科



後藤 哲哉

ABSTRACT

脳神経外科手術における術中MRIの有用性に鑑み、術中MRIを導入する施設が増えている。

術中MRIで施行された手術は多く目にするものの、術中MRIをどのように導入するかについては多く語られていない。

MRI導入に検討が必要な事項が列挙できれば、MRI導入が計画的に行えるようになるはずである。

今回われわれは一般手術室に低磁場永久磁石MRIを導入するにあたり、手術室製作予算からMRI導入予算を切り分けする作業を行った。

これら作業の中でわれわれが得た経験がこれからMRI導入を検討する施設にとって有用な情報になると思い、報告する。

Intraoperative MRI has been introduced to the operation theater in many institutes, because the effectiveness of intraoperative MRI has been proven by various clinical reports. Currently, clinical experiences utilizing intraoperative MRI are frequently reported. On the other hand, how to introduce the MRI to the operation theater is rarely presented. If the information about introduction of the MRI is systematically gathered and reorganized, it must be useful for users and developers. We experienced that the budgets for building an operation theater with MRI were separated into two parts: one was to build the conventional operation room and the other was to install the MRI in the operation room. Our experiences are reported.

Key Word: Intraoperative MRI, Glioma, Neurosurgery

はじめに

脳神経外科腫瘍摘出手術特に神経膠腫摘出における術中MRIの有用性については、もはや異論の余地はないだろう¹⁻³⁾。今後国内外でMRI手術室の導入はさらに増えていくことが予想される。今回われわれは低磁場永久磁石MRIを手術室に導入した(図1)。当施設では、AMED^{*1}受託研究を行うにあたりその設備の一環として術中MRIを導入することとなったため、新規手術室の導入が病院予算として、術中MRIの導入が研究予算として、それぞれ別予算から執行されるという特殊な状況となった。病院予算、研究予算それぞれをできる限り効率よく使用することが、病院にも研究にも負担が少なくなるため、努力して切り分けを行った。今回のわれわれの経験がMRI手術室を検討している施設に有用な情

図1 手術室へのMRI搬入

20tの本体を手術室3Fまでクレーンでつり上げた。搬入クレーンの場所確保とともに、大学内の通路を止めるための協議が病院、大学事務、搬入業者の間で必要となる。



報になるのではないかと思います、報告する。

予算の切り分け

まず全体予算を軽減するために、術中MRIによる脳外科手術を知ってもらうための打ち合わせを繰り返した。MRI手術室内のすべての物品が非磁性体MRI対応機器である必要はない。MRI対応の非磁性体もしくはMRI撮影に影響を与えない設備は基本高額である。MRI手術室で稼働させる機器、設備は、MRI撮影中に画像にノイズ混入を防ぐため、MRI対応機器以外は電源停止状態にする。MRI撮影下(いわゆる5ガウスライン内)で行う術式もあるだろうが、脳外科で現在施行されている術中MRIは5ガウスライン外で通常の手術を通常の術式と術具で行い、その途中でMRIを行う^{2,3)}。手術術具、手術顕微鏡などいわゆる手術操作を行う道具はMRI撮影中には使用しない。このため手術操作を行う機器はMRI対応である必要はない。

MRI対応機器として必須なのは、MRI撮影中の麻酔維持に必要な機器とMRI撮影を行うための周辺機器である。麻酔維持には、麻酔器、生体モニタ、点滴やインフュージョンポンプであるが、それぞれMRI対応機器とした。インフュージョンポンプはMRI対応機器がないため、シールドボックス内に閉じ込める必要があり、シールドボックスはMRI対応機器として扱った。周辺機器としては、点滴台、MRI対応手術台、MRIが撮影できるよう専用のヘッドコイルと頭部固定装置、ナビゲーションシリファレンスアンテナのMRI対応ヘッドフレーム接合部である⁷⁾。MRIに必須な手術室工事は、壁の電磁シールド、MRI用電源確保とコンピュータケーブルの壁貫通である⁷⁾。LAN電線などによってMRI室に入ってくるノイズは光ケーブルを介することで、ノイズを物理的に遮断する。

病院との交渉や運用WGでの議論により対応した内容：手術室内に常備する機器でMRI対応機器品がある椅子、器械台、无影灯はMRI非対応とし、これらの機器は一般手術室と同じとなるため病院予算とした。手術中以外のMRI事故を回避すること、MRI入室者の安全を確保するためにMRI室入り口の壁に鍵をかけての管理が提案された。手術扉電源スイッチと鍵を病院予算で設置し運用を行うこととなった。MRI対応生体モニタはモニタリングできる項目が少なく(特にEtCO₂がない)、MRI撮影時以外の生体モニタとして一般手術室と同じ生体モニタが必要と判断したため、病院予算で設置した。MRI中の生体モニタを手術室外の扉外で監視したいとの要望に対して、MRIがなければ室内で監視できることから、研究費予算で壁内配線と壁掛けモニタを設置した。MRIに近づけないようにするシールドやコーンポストは研究予算、MRIノイズ発生源探索のためのトランシーバーは病院予算とした。

切り分けがどうしてもできない部分も出てくる。LANケーブルの光ケーブル変換装置は高額品から量販品までさまざまである。当病院HIS(Hospital Information System)敷設のセキュリティポリシーは高額品だが、本施設が研究扱いであるこ

とから研究予算として、量販品での一括での設置が許可された。配線は、MRI手術室内外を結ぶHIS回線、手術記録画像関連、インターホン回線である。手術室全体を24時間監視するモニタカメラや手術室壁埋め込みの時計のノイズ対策はMRI化で必要となる装置であり研究予算とした。病院HIS端末とMRIを接続するためにはRIS(Radiology Information System)が必要となる。RISのパソコンをMRI用に設置するためのコストは病院予算とした。MRIを新規導入して撮影を行ったデータはPACS(Picture Archiving and Communication Systems)に記録されるが、PACSサーバーの使用料、MRIのPACS接続費は研究予算とした。手術室の設備は故障時にそのつど修理対応となっているが、放射線部検査装置は年間保守契約を結んでいる。手術部の術中MRIは年間保守契約を結ぶこととなった。

運用まで

術中MRI使用手術は運用ガイドラインが策定されているものの⁴⁾、新規導入施設においては、各施設において運用ワーキンググループでの検討が必要であろう。当該外科(当院では脳神経外科のみ)、手術部、看護部、麻酔科、放射線部がメンバーとなった。当施設においては新規術式手術を高難度新規医療技術に準じて病院倫理委員会の監視下に置いている⁵⁾。MRI手術も同枠組みの中で行った。

事前シミュレーション

手術部：安全確保とメンテナンスが重要である^{4,6)}。特に清掃は、担当者が医学的知識を十分に有しているわけではないので、教育と、不要な入室を制限することが重要である。入室の条件として、MRIの特性を知ってもらうビデオを聴講した職員がサインをする運用を行うこととなった。

看護部：手術機器、特に電源やコードを持つ機器と、吸引やイリゲーションシステムの配線の取り回しをいかに効率よくするかが重要となる(図2)。ドレープや清潔域の確認、機器ごとの滅菌方法と準備ができれば良い。

麻酔科：麻酔器の位置、MRI撮影時のベッド移動時の点滴、蛇管の長さ設定、生体モニタの試用、手術部麻酔システムとの連動などを抑えてもらう。

図2 手術室でのシミュレーション^{*2}

手術部看護師と手術機器配線の取り回しと清潔域について確認をしている。



放射線部：手術室内MRIが手術部か放射線部のどちらの所属になるかは病院ごとに異なると思われる。いずれにしても撮影条件の設定、機器のメンテナンスには放射線技師のサポートが欠かせない。

第一例

左前頭葉グレード2グリオーマ再発の40代女性。6年前の第一回手術はFLAIR high lesionの全摘出をめざし、言語機能のcritical marginは覚醒下手術を用いて行い必要十分な摘出が可能であったが、摘出すべき脳回の摘出が不十分であった。術後MRIで確認された予期しない残存腫瘍に対して、術後第7病日に全身麻酔下腫瘍追加切除を行った経緯がある。今回再発を確信し手術を提示した段階で、当施設にMRI手術ができるようになったら治療を受けると言ってもらっていた。手術においては、再手術のため手術操作位置のオリエンテーションが分かりづらかったが、術中MRIでの画像確認により操作位置の同定ができたため、予定どおりの術式を完遂した。新たな神経脱落症状はなく術後第7病日で退院となった(図3)。

まとめ

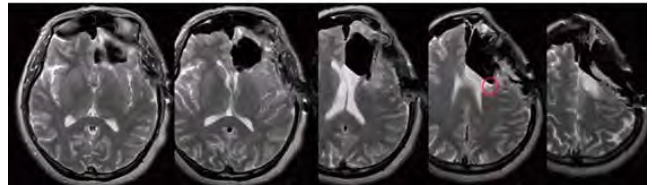
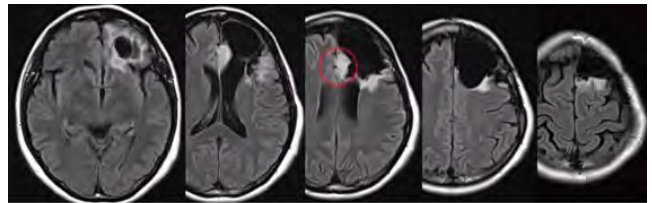
自身の病院に術中MRI導入を行う機会は、脳外科人生の中であっても一度きり、よほど多くても二度までだと思う。病院に予算申請を行う際には、MRI装置の値段以外にどのような経費がどの部分に必要なのか、それぞれの領域にどの課との交渉が必要になるのかの知識をあらかじめ得ておけばそのつど混乱せずに済むし、作り始めたら何をいつまでに決めないといけないと催促されることから解放される。もちろん手術室を作りこむ企業とMRIを販売する企業は業種が違うし、病院の本体工事を請け負う企業によっても状況が大きく変わってくることは承知したうえで話である。これら情報がフローチャートとして装置のオプションとともに医師、医療機関に提示できるようになることが、MRI手術室の販売には重要ではないかと感じた。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)「未来医療を実現する先端医療機器・システムの研究開発/安全性と医療効率の向上を両立するスマート治療室の開発」のプロジェクトの一部として行われた。本プロジェクトの参画機関である東京女子医科大学、株式会社 日立製作所に謝意を表す。

図3 第一例手術

術前MRI：第一回手術で摘出された左前頭葉摘出腔周囲の帯状回(赤円大)、側脳室外側深部白質にFLAIR high lesionが観察される。術中MRI(T2WI)：帯状回腫瘍の摘出と、側脳室外側白質のバイオプシー位置が確認できる(赤円小)。



手術室



MRI撮影のため、顕微鏡を外した。



ドレープを反転し専用ヘッドコイルを取り付け。



手術台を回転させMRI内に移動させている。

※1 AMEDは国立研究開発法人 日本医療研究開発機構の略称および登録商標です。

※2 MIZUHOは瑞穂医科工業株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) Emmanuel C, et al. : Long-term survival after glioblastoma resection: hope despite poor prognosis factors. J Neurosurg Sci. 2018 Jan 23. doi: 10.23736/S0390-5616.18.04180-2
- 2) Fukui A, et al. : Volumetric Analysis Using Low-Field Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for 168 Newly Diagnosed Supratentorial Glioblastomas: Effects of Extent of Resection and Residual Tumor Volume on Survival and Recurrence. World Neurosurg. 2017 Feb;98:73-80. doi: 10.1016/j.wneu.2016.10.109.
- 3) Fujii Y, et al.: Threshold of the extent of resection for WHO Grade III gliomas: retrospective volumetric analysis of 122 cases using intraoperative MRI. J Neurosurg. 2018 Jul;129(1):1-9. doi: 10.3171/2017.3
- 4) 術中MRIガイドライン作成委員会:術中MRIガイドライン 2014年7月原案
- 5) 日本医学会:「高難度新規医療技術の導入に当たっての医療安全に関する基本的な考え方」について2016 <http://jams.med.or.jp/news/043.html>
- 6) Hemingway M, et al.: Safety planning for intraoperative magnetic resonance imaging. AORN J. 2013 Nov;98(5):508-24.
- 7) Iseki H, et al.: [Neurosurgical operation in the intraoperative open MRI operating Theater] MEDIX vol 34:4-9, 2001.