

術中 MRI ガイドライン

2014 年 7 月 原案

術中 MRI ガイドライン作成委員会
日本術中画像情報学会

目次

術中 MRI ガイドライン作成委員会	2
I. 緒言	3
II. 術中 MRI の定義	4
III. 術中 MRI の適応と制限	6
1. 術中 MRI の目的と適応	6
2. 術中 MRI の制限	7
(1) 呼吸循環系機能に伴う制限	7
(2) 腎機能と造影剤使用制限	8
(3) その他の制限	9
IV. 術中 MRI 手術室での安全性確保	11
1. 静磁場に由来する危険	11
2. パルス傾斜磁場および電磁波パルスに由来する危険	12
3. ゾーンに応じた安全性の確保	14
4. 5 ガウスライン内 (ゾーン C) での手術の安全性	15
(1) 5 ガウスライン内の手術	15
(2) ガントリー内で用いる手術器具	16
(3) ダブルドーナツ型など 5 ガウスを超える手術室でのマグネット外での手術操作	17
5. 術中 MRI 撮像の際の安全確保	18
6. 術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリスト	19
7. 安全管理体制、教育・研修システム	20
8. MRI 手術室の感染対策	22
V. 術中 MRI 手術	23
1. 術中 MRI の麻酔管理	23
2. 術中 MRI 撮像のタイミング	24
3. 術中 MRI 画像	25
4. ノイズ低減法について	27
5. 術中 MRI を利用した Updated Navigation	29
6. 術中 MRI と電気生理学的モニタリング	31
7. 術中 MRI と覚醒下開頭術	32
8. 術中 MRI と 5ALA 併用	34
資料 1 術中 MRI 運用マニュアル	36
資料 2 術中 MRI 撮影時チェックリスト (読み上げリスト) Dedicated System	40
資料 3 術中 MRI 撮影時チェックリスト (読み上げリスト) 2 Room System	41
資料 4 第 14 回日本術中画像情報学会 術中 MRI のインシデント調査	42
術中 MRI に関する論文リスト (2013. 12 まで)	44

術中 MRI ガイドライン作成委員会

委員長	嘉山 孝正	山形大学	脳神経外科
副委員長	伊関 洋	早稲田大学	理工学術院 先進理工学研究科
副委員長	水野 正明	名古屋大学	脳神経外科
顧問	端 和夫	札幌医科大学名誉教授	
顧問	吉田 純	名古屋大学名誉教授	
委員	青木 茂樹	順天堂大学	放射線科
委員	阿久津 博義	筑波大学	脳神経外科
委員	荒川 芳輝	京都大学	脳神経外科
委員	市川 智継	岡山大学	脳神経外科
委員	岡田 正行	山形大学	麻酔科
委員	斉藤 延人	東京大学	脳神経外科
委員	齋藤 太一	東京女子医科大学	脳神経外科
委員	櫻田 香	山形大学	脳神経外科
委員	田中 俊英	東京慈恵会医科大学	脳神経外科
委員	田村 学	東京女子医科大学	脳神経外科
委員	継 淳	東海大学	脳神経外科
委員	中原 紀元	名古屋セントラル病院	脳神経外科
委員	成田 善孝	国立がん研究センター	脳脊髄腫瘍科
委員	平野 宏文	鹿児島大学	脳神経外科
委員	丸山 隆志	東京女子医科大学	脳神経外科
委員	村垣 善浩	東京女子医科大学	先端生命医科学研究所・脳神経外科
委員	森川 茂廣	滋賀医科大学	分子神経科学研究センター・MR 医学研究分野
委員	森田 明夫	日本医科大学	脳神経外科
委員	若林 俊彦	名古屋大学	脳神経外科
委員・事務局長	藤井 正純	名古屋大学	脳神経外科
委員・事務局	生田 聡子	東京女子医科大学	脳神経外科

研究資金

国立がん研究センターがん研究開発費
「術中 MRI を用いた新規外科治療法の開発」(23-A 特-49)

連絡先

第 14 回日本術中画像情報学会事務局
国立がん研究センター 脳脊髄腫瘍科
〒104-0045 東京都中央区築地 5-1-1
TEL : 03-3542-2511 (内線 1660) FAX: 03-3542-2551
E-mail : JSII2014@ml.res.ncc.go.jp

I. 緒言

術中 MRI は、1993 年に米国ボストンで導入されて以来世界中に広がり、脳神経外科領域を中心として様々な外科手術に利用されてきた。MRI は CT などその他の診断機器に比べ、コントラスト分解能が高く多種の診断画像の利用ができる点など、術中診断機器として優れた特徴を備え、外科手術の Quality assurance として有効である。一方で強い静磁場による磁性体の吸引や傾斜磁場・電磁波パルスに由来する熱傷など MRI 特有の危険に十分な配慮が必要である。本ガイドラインは、術中 MRI の安全で有効な運用に資することを目的として作成されたものであり、術中 MRI 手術室に係る医療者の利用を想定して作られている。術中 MRI を利用した手術関連事項の多くは、大規模臨床試験などレベルの高いエビデンスの集積が乏しいため、本ガイドライン作成にあたっては、エビデンスレベルによらず広く過去の文献を参考にするとともに、術中 MRI 使用経験を持つ複数の委員の経験に基づくエキスパートオピニオンを積極的に採用した。すべての術中 MRI 施設で順守が求められる事項を推奨として表記し、特に安全性確保の上で重要な事項を注意として表記した。エビデンスの収集・選択方法および、推奨・注意に関する決定方法については別に述べる。

また、本ガイドラインはあくまでも、術中 MRI 導入施設での安全かつ有効な運用を目的としており、手術支援として術中 MRI 以外の方法を否定するものでない。また、術中 MRI 手術室の形式には極めて多くのバリエーションがあるため、本ガイドラインの適用については、必ず個別の手術室に併せて考える必要があることを強調したい。

II. 術中 MRI の定義

● 推奨①

術中 MRI とは手術室内で用いる MRI システムの総称である。術中 MRI 手術室についても通常の診断用 MRI 室と同様に国際電気標準会議で定められている規格 IEC60601-2-33 に準拠して安全性の確保に務める必要がある。また本ガイドラインでは術中 MRI に関連した事項に絞って言及しており、手術一般に関しては、WHO Guidelines for safe surgery 2009、日本手術医学会による手術医療実践ガイドラインを参照されたい。

● 推奨 ②

術中 MRI 手術室には、磁場強度・手術室レイアウトについて様々なものが導入され、それぞれの施設の設置環境、使用目的を基に選択する必要がある。

解説

いずれの MRI タイプであっても、安全で有効な MRI 撮像を行うために、術中 MRI 手術を行う手術室およびガントリーは、国際電気標準会議で定められる規格 IEC60601-2-33 に準拠する必要がある。また手術および麻酔施行にあたっては、WHO Guidelines for safe surgery 2009、日本手術医学会による手術医療実践ガイドラインの勧告・推奨に十分な配慮を行う。術中 MRI 手術に特有の問題については本ガイドラインを利用する。

現在使用されている術中 MRI の種類には様々なものがある。表 1 は手術室のレイアウト、磁場強度などの特徴をもとに術中 MRI 手術室を分類したものである。

術中 MRI を手術専用とする **dedicated system** は、撮像までの導線が短く、複数回の撮像時に有利である。一方、術中 MRI を備える部屋を隣に設けて手術を行う部屋と分ける **2-room system** では、術中撮像を行っていない時間帯に診断用 MRI として活用可能である他、手術室を広く、多用途に使えるという意味で優れる。

5 ガウスライン内部で手術を行うことが前提のシステムでは、ガントリー内あるいは近傍に頭部を設置して手術を行うため、リアルタイムな撮像ができる利点があるが、強い磁場に対応した手術機器・器械の準備が不可欠となる。近年主流をしめる 5 ガウスライン外で手術を行うシステムは、間欠的な撮像を原則とするシステムである。撮像の際には、患者側が移動してガントリー内部へ入るか、ガントリー自体が移動する。通常の手術機器・器械を用いることができる。

磁場強度に関しては、高磁場装置においては、DTI、トラクトグラフィー、fMRI、MR スペクトロスコピーなど多様な診断画像の撮像が可能であり、画質の良い撮像ができる点が利点である。一方低磁場装置では一般に、漏洩磁場範囲が狭く、パルス電磁波・傾斜磁場による熱傷などの危険が少ないため、比較的狭い手術室への導入が可能で安全性がより高い。また、**dedicated system** を想定した場合より低価格で、特に永久磁石採用モデルではランニングコストを含めてコスト面で有利である。

ガントリーの形状にもシリンダータイプと、オープンタイプがある。後者は開口部の向きにより縦型と横型がある。オープンタイプは撮像中の患者観察が容易で、患者へのアクセスにすぐれる利点がある。

文献

- 1) WHO guidelines for safe surgery 2009: safe surgery saves lives. World Health Organization. 2009
- 2) 手術医療の実践ガイドライン. 日本手術医学会, 2013
- 3) MRI 安全性の考え方, 磁気共鳴学会安全性評価委員会監修, 秀潤社, 東京, 2013

4) Pamir MN, Seifert V, Kiris T. Intraoperative Imaging. Acta Neurochirurgica. Springer Wien NewYork, Germany. 2011;Supplement 109.

表 1 ; 術中 MRI 手術室の種類と特徴

	低磁場 MRI	高磁場 MRI		
	<ul style="list-style-type: none"> ● 安全性が高い ● 比較的 low コスト ● 画質が低くノイズに弱い ● 画像の種類が限られる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 画質が良く、撮像可能な画像種類が多い ● 高磁場に由来する危険に注意が必要 ● コストが高い 		
5 ガウスライン内手術 <ul style="list-style-type: none"> ● リアルタイムに近い撮像が可能 ● 手術機械・機器に制限あり 	Double donuts (GE, SignaSP) Pole star (N10, N20)			
5 ガウスライン外手術 <ul style="list-style-type: none"> ● 手術器械・機器に制限なし。 ● 間歇的な撮像が必要でなんらかの移動システムが必要。 	HITACHI (APERTO, AIRIS) CROSSTECH	Dedicated system (MRI を手術室内に設置) <ul style="list-style-type: none"> ● 撮像までの導線が短く、複数回撮像に有利 ● 診断用 MRI として使用困難 	BrainSUITE, SIMENS, GE, PHILIPS, HITACHI	
		2-room system (MRI を隣室に格納) <ul style="list-style-type: none"> ● 手術以外に診断用 MRI として利用可能 	MRI 移動式 <ul style="list-style-type: none"> ● 患者、麻酔器など移動不要 	IMRIS
			手術台移動式	BrainSUITE SIMENS GE PHILIPS

III. 術中 MRI の適応と制限

1. 術中 MRI の目的と適応

推奨①

術中 MRI は、手術計画の達成度の評価、ナビゲーションのアップデート、術中合併症の早期発見のために用いる。

推奨②

術中 MRI はグリオーマなど脳内の浸潤性腫瘍や下垂体腫瘍に対する手術が良い適応となる。

解説

術中 MRI の有用性は脳腫瘍摘出術において最も期待されるが、機能的脳外科や血管性障害さらには他臓器の手術においても有用と考えられる 1,2)。合併症の早期発見など一定の役割が期待できるため、現時点で対象疾患に関して明確な適応の制限を設ける必要性はないと考えられる。神経膠腫において、摘出率も予後因子の一つであることが MRI を摘出率の判定に用いた研究によって支持されてきている 3)。術中 MRI 使用による神経膠腫の摘出率向上については、高磁場、低磁場を使用し、high grade glioma, low grade glioma を対象とした様々な報告がある。2010 年に Senft らが低磁場 MRI を用いた膠芽腫の摘出術についてランダム化比較試験の結果を報告している 4)。結果は、術中 MRI 使用により摘出度が高くなったが、神経脱落症状は悪化しなかった。しかし、gross total removal と subtotal removal での生存期間の差は認められているものの MRI の使用の有無による生存期間延長はまだ示されておらず、今後引き続きデータの蓄積、検討が必要である。グリオーマ手術以外では下垂体腫瘍に対する有用性を指摘する報告が多数みられる 5,6)。また小児脳腫瘍における有用性についても報告がある 7)。脳腫瘍病変以外でも、AVM や Cavernous angioma など血管障害や、深部電極刺激、定位的脳生検など定位的脳手術に対する有効性の報告がある。

文献

- 1) Kaibara T, Myles T, Lee MA, et al. Optimizing epilepsy surgery with intraoperative MRI imaging. *Epilepsia*. 2002;43:425-429.
- 2) Sakurada K, Kuge A, Takemura S, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging in the successful surgical treatment of an arteriovenous malformation--case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2011;51(7):512-4.
- 3) Sanai N, Polley M, McDermott MW, et al. An extent of resection threshold for newly diagnosed glioblastoma. *J Neurosurg*. 2011;115: 3-8.
- 4) Senft C, Bink A, Franz K, et al. Intraoperative MRI guidance and extent of resection in glioblastoma surgery: A randomized controlled trial. *Lancet Oncol*. 2011;12:997-1003.
- 5) Fahlbusch R, Granslandt O, Buchfelder M, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging during trans-sphenoidal surgery. *J Neurosurg*. 2001;95:381-390.
- 6) Pergolizzi RS Jr, Nabavi A, Schwartz RB, et al. Intra-operative MR guidance during trans-sphenoidal pituitary resection: preliminary results *J Magn Reson Imaging*. 2001;13:136-141.
- 7) Levy R, Cox RG, Hader WJ, et al. Application of intraoperative high-field magnetic resonance imaging in pediatric neurosurgery. *J Neurosurg Pediatr*. 2009;4:467-474.

2. 術中 MRI の制限

(1) 呼吸循環系機能に伴う制限

注意

心疾患や呼吸機能に問題がある症例では術中 MRI 撮像中に生態情報モニターにアーチファクトが入ることがあるため、術中 MRI の使用の可否を慎重に考慮する。

解説

術中 MRI 手術においても、心電図モニター、SpO₂ モニター、圧ラインモニター等 MRI 対応の生体情報監視モニターを用いる必要がある。MRI 撮像中に心電図モニターにアーチファクトが入るなど、異常が捉えられないことがある。特に心機能、不整脈、虚血性心疾患、呼吸機能に問題のある症例など呼吸循環モニタリングが重要な症例では、術中 MRI システムの使用の可否について十分な検討が必要である。

(2) 腎機能と造影剤使用制限

注意

慢性または急性腎不全患者では、原則としてガドリニウム含有造影剤を使用しない。また、造影剤は術中 MRI の有用性がリスクを上回る場合のみ、低リスク造影剤を必要最小量・最小回数で使用する。複数回使用する場合は、腎機能や NSF の発生等を十分考慮する。

解説

ガドリニウムで造影される病変の残存腫瘍の評価には術中ガドリニウム造影検査が有用である。術中に複数回撮像する場合、ガドリニウム造影剤の量が増加するため注意が必要である。また、腎機能ならびにアレルギーについて制限がある。

ガドリニウム造影剤は、通常投与後速やかに腎より尿中に排泄されるが、腎機能障害が存在すると排泄に遅延を生じる。その場合、遊離ガドリニウムイオンが組織や器官に蓄積しやすいと考えられる。腎性全身性線維症(Nephrogenic Systemic Fibrosis: NSF)は重度腎機能障害患者（Glomerular Filtration Rate、 $GFR < 30\text{ml}/\text{min}/1.73\text{m}^2$ ）にガドリニウム造影剤が投与された後、数日から数ヵ月、ときに数年後に疼痛搔痒感を伴う皮膚の腫脹発赤と皮膚硬化を伴って発症する疾患であり、進行すると四肢関節の拘縮を生じて患者の QOL は著しく低下する。NSF 発症の危険因子として、ガドリニウム造影剤の大量投与、あるいは反復性投与などがあげられるが、単回の通常量投与でも発症が報告されている。そのほか透析患者、投与時の活動性炎症性疾患の存在、エリスロポエチンの併用などが示唆されている。腎障害患者あるいは透析患者に投与された場合の発症確率は概ね 5%以下と推定される。現時点での確立された治療法はなく、NSF を起こした場合の死亡率は最大 5%と推測されている。

腎機能中等度 ($60 > GFR \geq 30$) および軽度 ($90 > GFR \geq 60$) でのガドリニウム造影剤使用後の NSF 発症の危険性は必ずしも高くないとされるが、これらは通常投与量・通常撮影回数での個体群であり、術中 MRI における造影剤増量投与、複数回投与での危険性は想定されていない。術中 MRI の際の造影剤使用の際は、有用性とリスクを検討する必要がある。欧州医薬品庁 (European Medicines Agency: EMA) では、NSF の発症はガドリニウム造影剤の構造的な特性に依存するとして、ガドリニウムイオンの安定性及び NSF の症例集積等を総合的に判断した上で、各成分の NSF の発症リスクを以下のように高リスク、中リスク、低リスクの 3 段階に分類しており、米国食品医薬品局 (Food and Drug Administration) でも、この EMA のリスク分類に準じた形で取り扱っている。

高リスク：ガドジアミド水和物 (オムニスキャン™)、ガドペンテト酸ジメグルミン(マグネビスト™)

中リスク：ガドキセト酸ナトリウム (EOB プリモビスト™ 肝腫瘍造影剤)

低リスク：ガドテリドール(プロハンス™)、ガドテル酸メグルミン (マグネスコープ™)

文献

- 1) 腎障害患者におけるガドリニウム造影剤使用に関するガイドライン 第二版 2009.9.2 改訂、NSF とガドリニウム造影剤使用に関する合同委員会 (日本医学放射線学会・日本腎臓学会)
- 2) 医薬品・医療機器等安全性情報 No.285 2011.11
- 3) 対馬義人. MRI 用ガドリニウム造影剤と腎性全身性線維症(NSF)についての最新情報. 医学のあゆみ. 2011; 237(2):206-207.
- 4) Knauth M, Aras N, Wirtz CR, et al. Surgically induced intracranial contrast enhancement: Potential source of diagnostic error in intraoperative MRI imaging. Am J Neuroradiol. 1999;20:1547-1553.
- 5) Thomsen HS, Morcos SK, Almén T, et al. Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines, European Radiology. 2013;23(2):307-318.

(3) その他の制限

注意

金属製の体内異物（発熱、体内移動）、刺青（撮像に伴う火傷）、大きな体格（ガントリー内に安全に挿入できない場合がある）、小児例（安全に頭部固定が行えない場合がある）など術中 MRI 撮像に適さない場合があるので注意する。

解説

術中 MRI は、通常の MRI 検査と同様にペースメーカー、旧式の脳動脈瘤クリップなど体内金属異物で、取り外しが出来ない場合や、妊娠など MRI 撮像に関わる各種の制限がある（表 2）。また、これ以外に術中 MRI 利用にともなう生じる注意点や制限がある。術中 MRI は一般的にピンによる頭部固定を行うシステムを要するシステムが主流である。非磁性体の固定ピンの使用が不可欠である。骨の成長が不十分な小児例や覚醒下手術などで通常のピン固定が適切でない場合は術中 MRI の撮像の可否について術前の十分な検討が必要である。

現在利用されている術中 MRI で採用されているガントリー形状には様々なものがあるが、その大きさや形状により手術可能な体格、体位に制限がある。一般的には、仰臥位および腹臥位については多くの施設で大半の症例で対応が可能であるが、側臥位や座位では大きな開口部をもつガントリー以外では困難である。また術中 MRI では、頭部固定位置の自由度が低いことが多く、また体位に制限があるため、術者が最も適切と判断する頭部位置・体位の実現が困難な場合が少なくない。例えば、後頭蓋窩腫瘍などで十分な vertex down が必要な場合などに最適と考えられる体位を取ることが困難な場合があり、その際には手術のしやすさを優先するのか、術中 MRI による quality assurance を優先するのかを十分検討の上、術中 MRI システムの使用について判断する必要がある。

ガントリーに安全に入ることができるかどうか検討する場合には、心電図モニター用の電極、気管内挿管チューブ・ラリンジアルマスクおよび蛇管の取り回しについてもガントリーとの干渉について考慮が必要であり、麻酔科や臨床工学士の協力が不可欠である。

文献

- 1) MRI 安全性の考え方, 磁気共鳴学会安全性評価委員会監修, 秀潤社, 東京, 2013
- 2) Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, et al. Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. Neurosurg Focus. 2012;33(5):E12.

表2 術中MRI手術の制限事項

術中MRI撮像不可	<ul style="list-style-type: none"> ● 心臓ペースメーカー・除細動器装着 ● 古い脳動脈瘤クリップ ● 人工内耳 ● 体内の磁性体や材質不明な金属 ● リザーバー、バッテリー、各種ステント、スワンガンツカテータル留置 ● 大きな刺青 ● 妊娠初期
術中MRI入室前の取り外し項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 磁性体が含まれているもの（マスカラ、アイライン、アイブロウ、アイシャドウ） ● コンタクトレンズ（コンタクトレンズと眼の間に細かい金属を含むゴミが入っていると危険） ● ネックレス、ピアスなどのアクセサリ類 ● ヘアピンなどの頭部の装飾品 ● メガネ ● 入れ歯 ● 補聴器 ● 金属のついているカツラ ● 義眼、義足、ギプス、コルセット ● 金属のついている下着 ● 湿布（特に温かくなる湿布）など身体に貼り付けているもの。 ● カイロ ● 磁気治療テープ、磁気治療器具 ● 衣類についている金属 ● その他、金属、磁性体を含むもの
術中MRI手術要検討項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 呼吸機能、心機能（不整脈、虚血性心疾患など）に問題があり十分なモニタリングが必要 ● 小児例などで頭蓋固定を避ける必要がある場合 ● 大きな体格でガントリーに干渉する恐れがある場合 ● 手術の際に最適な体位が取れないと考えられる場合

IV. 術中 MRI 手術室での安全性確保

1. 静磁場に由来する危険

推奨

手術室の床に 5 ガウスラインを明確に表示する。

注意

磁性体の酸素ボンベ、磁性体の手術器具・器械などを 5 ガウスライン内に持ち込まない。

解説

MRI ユニットには必ず漏洩磁場があり、特に 5 ガウスラインを明確に示すことは極めて重要である。同ラインから内側は急峻な磁場勾配の上昇があり、磁力の急激な増大がある。酸素ボンベや鉄製の手術器具、椅子など磁性体の異物がマグネットに吸着する事故が起こりうる。場合によっては異物が、ミサイル効果と呼ばれる大きな運動量をもって、患者に衝突する危険がある。ベッドに取り付けられた酸素ボンベを必ず入室前に取り外す。特に緊急の搬送の際には注意する。

また旧式の脳動脈瘤クリップなど体内異物の移動や回旋が組織傷害につながる可能性がある。これらの危険は、MRI を撮像する際だけでなく、ガントリーに近接することにより発生する。現在用いられているすべての MRI 装置は撮像時だけでなく待機時にも強い静磁場を発生することを留意すべきである。

文献

- 1) 畑雄一. MRI の安全性-体内埋込み装置あるいは金属について. 日磁医誌 1999;19(5):303-310.
- 2) Klucznik RP, Carrier DA, Pyka R, et al.: Placement of a ferromagnetic intracerebral aneurysm clip in magnetic field with a fatal outcome. Radiology. 1993;187:855-856.
- 3) 高原太郎. 米国 MR 室で起こった酸素ボンベ吸着事故について. Innervision. 2001;16 (11):76-79.
- 4) ECRI hazard report: Patient death illustrates the importance of adhering to safety precautions in magnetic resonance environments. Health Devices. 2001;30(8):311-314.
- 5) Chaljub G, Kramer LA, Johnson RF et al.: Projectile cylinder accidents resulting from the presence of ferromagnetic nitrous oxide or oxygen tanks in the MR suite. Am J Roentgenol. 2001;177(1):27-30.
- 6) 日本放射線科専門医会 : <http://www.jcr.or.jp>
- 7) 引地健生. MRI 検査における安全管理-事故事例の検討-. 日本職業・災害医学会会誌. 2004;52(5):257-264.
- 8) MRI 検査室への磁性体（金属製品など）の持ち込み, 公益財団法人日本医療機能評価機構による医療安全情報 2007;No10.

2. パルス傾斜磁場および電磁波パルスに由来する危険

注意

MRI 撮像時に電磁誘導による加熱や火傷をすることがあるので、手指・四肢・体幹の皮膚同士が接触してループを作らないようにクッションなどを挟む

推奨

手術終了時に MRI 撮像に伴う皮膚変化を確認する。

解説

MRI ユニットは撮像時に傾斜磁場をパルスするが、急激な磁場の変化により、誘導電流が生じる可能性がある。特に高磁場装置では、神経刺激症状、閃光感などが生じる場合がある。また静磁場内で導電体が動くことによっても磁場の急速な変化によって誘導電流を起動して発熱する場合がある。

また MRI ユニットは撮像時に電磁波をパルスすることで、生体から生じる共鳴電磁波を検出してこれを画像化している。パルスされる電磁波は磁石の強さに比例しており、高磁場 MRI ほど強い電磁波のパルスを行う。これに伴って体温の上昇や、誘導電流の起動があり、導電体のループが特に危険である。誘導電流の発生と、これに伴う発熱による火傷が問題となる。実際に MRI 撮像時に患者の手指や四肢、体幹などの皮膚同士が接触し、ループ状となったために起こった火傷が報告されている。膝やかかとの間、手と体幹部の間にクッションを挟むなど身体の皮膚同士が接触しないようにする。

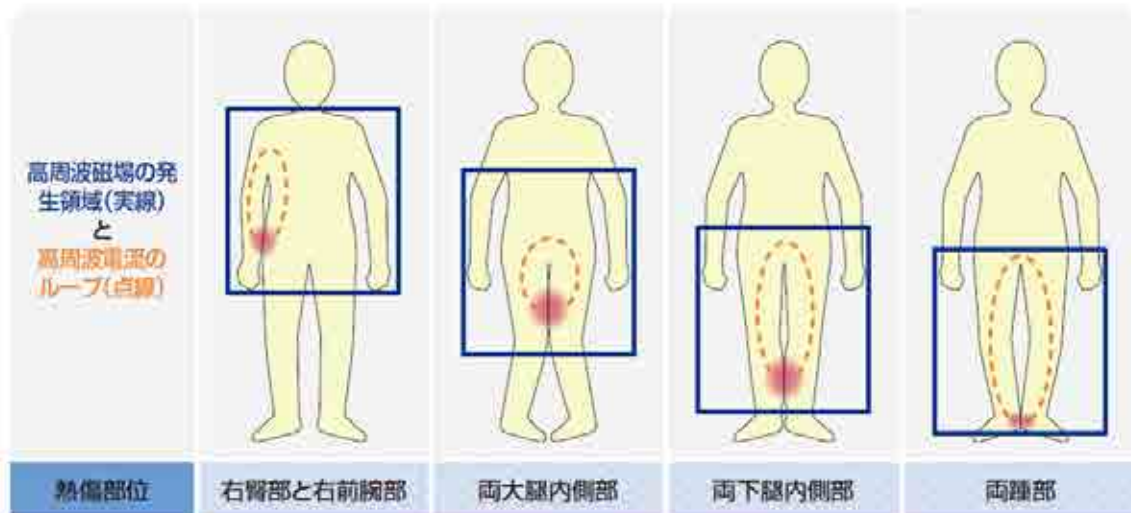


図 1：高周波電流のループによる熱傷（公益財団法人日本医療機能評価機構による医療安全情報 No56 より転載）

文献

- 1) Shellock FG. Severe burn of the finger caused by using a pulse oximeter during MRI imaging (letter). Am J Radiol. 1989;153:1105.
- 2) Shellock FG. Magnetic resonance procedures: health effects and safety. CRC Press, New York 2000;425-433.
- 3) Cohen M, Weisskoff R, Rzedzian RR et al. Sensory stimulation by time-varying magnetic fields. Magn Reson Med. 1990;14:409.

- 4) IRPA/INIRC guidelines: Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination. *Health Physics*. 1991;61:923-928.
- 5) 宮地利明. MRI の安全性. *日本放射線技術学会雑誌*. 2003;59(12):1508-1516.
- 6) MR I 検査時の高周波電流のループによる熱傷, 公益財団法人日本医療機能評価機構による医療安全情報 2011;No56.

3. ゾーンに応じた安全性の確保

推奨①

術中 MRI 室および周囲の環境を 3 つのゾーン (A:手術室の外、B:手術室内 5 ガウス外、C:5 ガウス内) に分けた上で、それぞれ安全基準を定める。

推奨②

5 ガウスライン外 (ゾーン A および B) では、通常の手術機器・器械が磁性体・非磁性体にかかわらず使用可能である。5 ガウスライン内 (ゾーン C) で手術を行う場合には非磁性体の器具を使用する。

頭皮固定ピンはチタン製・サファイア製などを、また頭皮クリップはプラスチック製を使用するなど、撮像時に患者の体から取り外さないものは必ず MRI 撮像に適したものを使用する。

解説

術中 MRI 室および周囲の環境を、少なくとも 3 つのゾーン、すなわち手術室の外 (ゾーン A)、手術室内で 5 ガウスライン外 (ゾーン B)、手術室内でかつ 5 ガウスライン内 (ゾーン C) に分けた上で、手術器械・機器の運用など安全基準を施設ごとに定める必要がある。ゾーン A は通常の手術室と同一の環境である。ゾーン B では手術の際に必要な機器・器械はすべて使用可能であるが、MRI 撮像時にはノイズ源となる機器の電源をオフとし、ゾーン A へ退避させる必要がある。またこれらの機器・器械が 5 ガウスラインを超えないよう設置位置や固定に配慮が必要である。ゾーン C では MRI 適合手術機器・器械のみ使用可能であり、これらの機器・器械を明示してその他のものと区別する。また 5 ガウスライン内の手術手技については別項を参照のこと。

頭部固定フレーム、頭皮クリップ、心電図電極など患者の体に接触・装着するもので、撮像時に取り外さないものは、MRI に適したものを使用する。また、取り外すものであっても、非磁性体の代用品がある場合には事故防止の観点から非磁性体の物を使用することが望ましい。

麻酔器や心電図などの各種モニターについては、MRI 対応の機種を使用する (各施設で使用する器機についてノイズによる画像のアーチファクトの有無を事前にチェックすることを推奨する)。MRI 対応の麻酔器やモニターであっても、挿管チューブに接続する蛇管を長くし (この時換気死腔が増大しないよう配慮する)、モニターコードを長くするなどして可能な限り 5 ガウスライン外での使用がより望ましい。静脈麻酔薬やその他、持続的に静脈内投与の必要な薬剤使用のために輸液ポンプが不可欠な場合は、電波シールドした箱に設置して使用する。

文献

- 1) 水口貴詞, 藤井正純, 林雄一郎, 津坂昌利. 術中 MRI による脳腫瘍手術画像支援. アールティ. 2013;No.57:11-15.
- 2) 伊関洋. 術中オープン MRI 下での脳外科手術. Medix. 2001;34:4-9.
- 3) Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, et al. Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. Neurosurg Focus. 2012;33(5):E12.

4.5 ガウスライン内（ゾーン C）での手術の安全性

(1) 5 ガウスライン内の手術

推奨

5 ガウスライン内で用いる全ての手術機器・器具は MRI 安全性を担保したものであること。

解説

5 ガウスラインの内側は MRI 管理区域とされ、ここで用いられる手術機器は全て MRI での安全性を担保したものでなくてはならない。

しかしこれらは全て完全に非磁性ということの意味するわけではなく、磁性体が含まれていても、床にボルトやアンカーで固定されているなどの安全対策が講じられていればよい。また使用にあたっての使用基準が明確に示されている必要がある。

(2) ガントリー内で用いる手術器具

推奨

ガントリー（マグネットボア）内で行う手術操作に関してはすべて非磁性の手術器具を用いる。

解説

チタン、非磁性ステンレス、プラスチックなどの非磁性の手術器具を準備する必要がある。ここで注意すべきは、原材料としては非磁性とされる SUS 304、305 などのステンレス鋼も、研磨やネジ加工、刃先加工で強い磁性を帯びる可能性があり、最終の仕上げを終えた製品の状態で磁性についてのテストすることが必要である。チタンの手術器具を特注する場合、チタンはステンレスに比べて柔らかく、鋭利さでも劣るため、一般のステンレスの手術器具と同じデザインのものを作っても、剛性や切れ味が劣り、目的の機能を発揮しない可能性がある。マイクロサージェリーの手術器具は、その軽さゆえ、チタン製のものも普及しているが、多くは MRI への対応を考慮して作られたものではないので、回転軸のネジなどに磁性体が使われている可能性があり注意を要する。セラミックのナイフやハサミは一般品としては入手可能であるが、刃こぼれの危険があるため、医療用として販売されているものは入手困難である。

バイポーラーは、5 ガウスライン内に持ち込む場合には、先端部分が非磁性であれば、MRI を撮像していないタイミングなら使用できる。しかし、バイポーラー装置本体部分は磁性体を含むので、磁石から十分な距離をとった場所に設置して、しっかりと固定しておく必要がある。また、MRI 撮像時には電源を切ることなど、使用基準を明確にする必要がある。

モノポーラーは対極板が必要であり、撮像に伴って火傷の危険があるため、5 ガウスライン内での使用は禁忌である。

(3) ダブルドーナツ型など 5 ガウスを超える手術室でのマグネット外での手術操作

推奨

手術室全体が 5 ガウスを超える場合、開頭・閉頭操作などをガントリー外で行うなど別途手順を定めること。

解説

手術室全体が 5 ガウスを超えるような手術室の場合、開頭・閉頭などの手術操作はガントリー外でより低磁場の場所で行なう。これは現時点では、皮膚切開のためのメスや閉創のための縫合針など、完全に非磁性のものの入手が極めて困難であるためである。また当初 MRI 対応として発売されたエアートームで、ガントリー内での回転時の誘導電流による発熱でリコールされた事例があり、手術器具の使用にあたっては十分な事前の検証が必要である。

ディスプレイのメスや縫合針は磁性体であることを明示して手術室外に保管し、止むを得ず用いる場合は、必要個数のみを持ち込み、数量管理を厳格に行って、使用後は速やかに回収する。

文献

- 1) Shiino A, Matsuda M, Morikawa S. Overheating of Midas Rex MRIV motor by induced current. *Neurosurgery*. 2003;52:479.

5. 術中 MRI 撮像の際の安全確保

注意①

MRI 撮像時には、外科医、麻酔科医、看護師等が立会い、患者の安全を確保する。撮影中にはバイタルサインに常に注意し、特に気道トラブルの有無を確認する。

注意②

ガントリー内に患者を移送する際に患者の四肢・手指が天板と手術台・ガントリーの間に挟み込まれないように注意する。気管内挿管チューブと蛇管、動静脈ライン、モニタリングケーブルなどの挟みこみ、引っかかり、引き抜けに注意する。

注意③

妊婦ならびに体内金属異物のある医療スタッフは術中 MRI 手術室内（ゾーン C）に立ち入らない。

推奨

高磁場術中 MRI 撮像時には騒音に配慮し、患者および室内のスタッフはイヤープラグを装着することを推奨する。

解説

術中 MRI の撮像に際しては、ほとんどの施設で患者の移動や MRI ガントリー移動を伴う。患者は全身麻酔の調節呼吸下にあり、麻酔薬を含む各種薬剤が経静脈的に投与され、動脈ライン、モニタリングケーブルが留置・装着されている。多くの脳神経外科手術では頭部のピン固定を行っており、かつ体位は仰臥位だけでなく腹臥位の場合もある。こうした状況で、気管内挿管チューブの抜けが起これば、直ちに深刻な状態に陥る。その他動脈・静脈ライン、各種ケーブルのトラブルも出血性合併症、空気塞栓、全身感染、生体情報喪失に伴う危険など重大な合併症につながりかねない。通常の診断 MRI 撮像時のアクシデントとして、ガントリーへの移送時に患者の手指がテーブルとガントリーの間に挟まれる事例が報告されており、患者の身体、特に四肢が挟み込まれないよう注意が必要である。また、手術途中の撮像では、手術野が開創状態にあることもしばしばであり、手術野が汚染されないよう十分な注意を払わなければならない。

したがって、撮像の際は、その準備段階から、撮像中、撮像後の復帰にいたるまで、外科医・麻酔医・看護師、その他のスタッフの十分な協力・立会いが必須である。

術中 MRI 手術室は磁場・電磁波の暴露があるため、スタッフについても妊婦や心臓ペースメーカーをはじめとする体内金属異物のある場合は手術室（ゾーン C）へは立ち入らないようにする。術中 MRI 撮像中、特に高磁場術中 MRI は非常に大きな騒音を発生するため、患者およびスタッフはイヤープラグを装着する。

文献

- 1) Johnston T, Moser R, Moeller K, et al. Intraoperative MRI: safety. *Neurosurg Clin N Am.* 2009;20(2):147-53.
- 2) Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, et al. Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. *Neurosurg Focus.* 2012;33(5):E12.

6. 術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリスト

● 推奨①

術中 MRI 手術を安全に遂行するには、術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストを用いた運用が必須である。

● 推奨②

撮像前チェックリストの確認者をあらかじめ決定しておくことが望ましい。

● 推奨③

撮像前チェックリストを手術室内に掲示し術中 MRI 手術関係者全員で共有できるようにすることが望ましい。また、撮像前チェックリストの内容は声を出して実施者と確認する。

解説

術中 MRI 手術室の運用に関しては、施設ごとに術中 MRI 運用マニュアル（資料 1）・撮像前チェックリスト（資料 2、3）を設ける必要がある(1,2)。術中 MRI 室は基本構造（設計）上、手術室内に MRI 検査装置が設置されているものと（dedicated room system）、手術室と MRI 検査室が隔離されているもの（twin room system）に大別される。後者では術中 MRI が必要になった際に MRI 検査器そのものが自走して手術室内に移動し MRI 検査をおこなうタイプもある。これら構造上の違いから若干の違いは発生するものの、基本的には患者入室前準備、入室時、入室後頭部・体位固定時、術中 MRI 撮影時（撮影準備、患者移動も含む）、術後という術中 MRI 手術各場面は共通である。したがって、これらの各場面に基づいた術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストを作成・準備しておく(1,2)。また、緊急時の対応も事前にチェックリストのように準備しておいた方がよい。さらに重要なことは、これらチェックリストのチェッカー（確認者・監視者）をあらかじめ決定しておく。チェッカーは術中 MRI 手術を安全に遂行できるよう、術前から術後まですべての手術関係者の行動・操作を監視する。専任のチェッカーがいることが望ましいが、術中 MRI 手術各場面においてそれぞれ関係者同士による確認もありうる(1)。いずれにしても固定した（限られた）手術関係者がいつまでも術中 MRI 手術を行うとは限らず、新たな手術参加者が現れても常時安全性を確保するためには、術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストによる運用は欠かせない。また、手術室内に撮像前チェックリストを掲示して、手術室内のすべてのスタッフが確認項目の状況を共有できるようにすることが望ましい。

また、術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストは術中 MRI 手術の運用にともない適宜変更（追加・削除）もありうるが、関係者の慣れによりリストから意図的に項目削除することや、術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストに準じず勝手に（自己流）手術を遂行することは決してあってはならない。術中 MRI 運用マニュアル・撮像前チェックリストにしたがい、毎回同じことを当たり前のように確認・遂行することが、術中 MRI 手術室での安全性確保に直結している。

文献

- 1) Matsumae M, Nakajima Y, Morikawa E, et al. Improving patient safety in the intra-operative MRI suite using an on-duty safety nurse, safety manual and checklist. Acta Neurochir Suppl.2011;109:219-222.
- 2) Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, et al. Recinos VR: Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. Neurosurg Focus.2012;33(5):E12.

7. 安全管理体制、教育・研修システム

● 推奨①

術中 MRI 手術室の安全な運用のため、安全管理責任者をおくことを推奨する。

● 推奨②

術中 MRI 手術室運用にあたって、安全管理者は院内での教育・研修のためのマニュアルを整備し、術中 MRI に関わるスタッフはマニュアルを熟知する。

解説

術中 MRI 手術室の安全な運営のためには、安全管理責任者が安全にかかわるマニュアルの作成、見直し作業を行い、教育・研修に関与する(1)。

教育・研修の主目的は、術中 MRI 室においては常に磁性体にかかわる事故の可能性があること、それを防ぐためには術中のみならず普段から金属類の手術室内への持ち込みを制限し、磁性体を 5 ガウスライン内に入れないこと、電磁波パルスによる患者の熱損傷を防ぐ必要があることなどの知識を術中 MRI に関わるスタッフ全員で共有することである。

脳神経外科、外科、麻酔科、放射線部、手術部看護師、臨床検査技師などの各部門から、術中 MRI に関する代表者を定め、各部門の教育・研修や部門のかかわる問題解決に取り組むとともに、より良いマニュアルを作成するようなシステムを作ることが望ましい。また、マニュアル・運用の変更点や手術のスケジュールなど含め、常に情報を各部門で共有し良好なコミュニケーションを保つことも重要である。

(1) 教育・研修の対象者

術中 MRI 手術室および手術室併設 MRI 検査室に入る可能性のあるスタッフ全員（例外なく行うことが大切）

- ・脳神経外科医
- ・外科医
- ・麻酔科医
- ・放射線科医
- ・診療放射線技師
- ・手術部看護師
- ・臨床検査技師（術中モニタリングなどの担当者）
- ・臨床工学士（Medical Engineer: ME）
- ・研修医
- ・医学部学生
- ・手術機器のメンテナンスなどメーカーの担当者など
- ・室内清掃担当者
- ・他施設からの見学者

(2) 教育・研修内容

教育・研修内容については、本ガイドラインの術中 MRI 運用マニュアルを参考に各施設に合わせたものを作成する。ビデオ研修などの利用も検討する。術中 MRI 運用マニュアルの内容は、術中 MRI 室に出入りする手術関係者全員が理解し、情報を共有できるようにする。

文献

- 1) Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, et al. Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E12.

8. MRI 手術室の感染対策

● 推奨①

MRI 手術室においても、通常の手術室と同様に、手術室での感染を防ぐためのあらゆる予防措置を行う。

● 推奨②

MRI 手術室内の清掃に当たっては、担当者と打ち合わせを行い、清掃マニュアルを整備することを推奨する。

● 推奨③

術中 MRI 使用手術においては、安全性の確保のため透明ドレープを使用するなど、患者状態の可視化に努めるとともに、感染防止のために撮像時には清潔野の確保に十分な注意を払う。

解説

日本手術医学会「手術医療の実践ガイドライン（改訂版）」のうち、第7章「手術と感染防止」など(1-2)を参照し、内容を熟知し実践する。MRI 手術室内の清掃に当たっては、清掃時の器械の移動や清掃方法について、担当者と打ち合わせを行い、マニュアルを装備することが事故や器物の損壊防止のためとなる。

術中 MRI 使用手術におけるドレーピングでは、感染予防と安全性確保の両立が必要である。すなわち、創部感染防止と、撮像前の、金属性器具・異物の確認、気管内チューブ、点滴・圧ライン、モニターケーブルなどの状態確認の両者に配慮してドレーピングを行う。この目的を達成するために透明ドレープの使用が有効である。また透明のインサイズドレープの使用が推奨される。その際、皮膚切開部に髪の毛が入り込まないように注意する。

透明ドレープは、従来の不透明のドレープ（紙製覆い布）に比べて、安全確認にすぐれる。透明ドレープのずれ防止として、皮膚切開部に布テープを貼付し、非磁性体のステープラー等で固定することが有用である。MRI 撮影時に患者あるいは MRI の移動を伴うシステムでは、撮像時に術野を含め不潔になる危険があるため、透明ドレープをさらに固定することが必要である。固定には、非磁性体のチタン製のコッヘルが有用である。

MRI ガントリー内は清掃しにくい場所で、患者搬入時に血液や体液で汚染されないように、吸湿性・防水性のディスポーザブルなシートを敷き詰め、手術毎に交換することが有用である。シートは患者の搬入時にずれないように紙テープなどで固定する。

文献

- 1) 日本手術医学会. 手術医療の実践ガイドライン（改訂版）, 手術医学. 2013
- 2) 医療保健施設における環境感染制御のための CDC ガイドライン. メディカ出版. 2005

V. 術中 MRI 手術

1. 術中 MRI の麻酔管理

● 推奨

麻酔器、心電図モニター、動脈圧モニター、挿管チューブ（気管内チューブ、ラリンジアマスク）SpO₂ モニターは、すべてあらかじめ MRI 対応かどうか確認する。

● 注意

特に腹臥位手術では撮像時に挿管チューブの抜けない対策を講じること。スパイラルチューブの使用は禁忌である。

解説

術中 MRI での全身麻酔下手術においては、麻酔器を MRI 対応の麻酔器を必要とする場合が多い。300 ガウス程度までの磁場環境で動作が保証されているものが市販されているが、麻酔導入・緊急処置の場面では、強磁性体の器具等が必要になることを想定して、通常 5 ガウスラインの外に置いて運用する。心電図モニター、パルスオキシメータ、圧ラインモニターなどについても、専用のモニター機器が必要である。これらのモニターは 400 ガウス程度までの磁場環境に対応している。ケーブルについては、光ファイバーケーブルが採用されている場合があり、屈曲、衝撃などに対して弱いため取り扱いには注意が必要である。また磁場による熱傷予防のために、ケーブル、点滴ルート、四肢、手指がループを作らないように注意が必要である。

気管内挿管チューブは、鋼線のあるスパイラルチューブなど強磁性体を含むものがあり、避ける必要がある。磁場による吸着だけでなく、撮像時には強いアーチファクトの原因となる。

現在市販されている MRI 対応心電図モニターの波形は通常の診療に使用するモニターに比べて判読しにくいことが多いこと、また撮像時のパルスによるノイズの混入がみられることがあり、心電図変化の判読が困難なことがある。5 ガウスライン外での手術では、通常的心電図モニターを用いて手術を行うことも許容される。

輸液ポンプなどは、シールドボックスを利用する。

2. 術中 MRI 撮像のタイミング

● 推奨

次の場合に術中 MRI の撮像を考慮する。

- ① ナビゲーション開始に伴うリファレンス画像の撮像が必要な場合
- ② ブレインシフトの影響や、外力によるレジストレーション情報の変化によるナビゲーション精度の低下が著しく、手術の続行に支障がある場合
- ③ 手術所見として、腫瘍摘出など手術の目的を達成したと判断される場合で、術中 MRI 撮像による確認が必要な場合
- ④ 術中の頭蓋内合併症の評価が必要と判断される場合
- ⑤ その他、術中 MRI の撮像が必要と判断される場合

解説

術中 MRI 撮像の主な目的は、腫瘍摘出術の場合の摘出度の評価など手術進達度のコントロール（3）、術中の頭蓋内合併症の評価（4）、ナビゲーションシステムの利用に伴う撮像（1，2）などがある。その他の場合には術中 MRI のガントリー内で手術手技を連続的に撮像しながら行う（MR-fluoro）場合など特殊な利用があげられる。

文献

- 1) Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, et al. Clinical indications for high-field 1.5 T intraoperative magnetic resonance imaging and neuro-navigation for neurosurgical procedures. Review of initial 100 cases. *Neurologia medico-chirurgica*. 2009;49(8):340-9; discussion 9-50.

3. 術中 MRI 画像

● 注意①

術中 MRI 画像では超急性期の出血の評価が困難な場合があるので注意する。

● 注意②

術中の造影 T1 強調画像における造影効果、T2 強調画像高信号域が必ずしも腫瘍そのものを描出しているとは限らないため、腫瘍の範囲については摘出前後の T1, T2 強調画像を見比べて判断する。

解説

術中 MRI 撮影の意義の一つが、ナビゲーション画像のアップデートを行うことである。したがって、術中 MRI 撮影はリファレンス画像と同一のシーケンスによる撮影を行う。一般的には、腫瘍が造影されるものに関しては造影 T1 強調画像が、造影されないものでは T2 強調画像がリファレンス画像として用いられることが多い。高磁場 MRI 検査器の利点としては、低磁場検査器に比較して画質がよく、とくに T2 強調画像のリファレンス用撮像時間がかなり短縮できることがあげられる(1, 2, 4, 6)。術中 MRI 装置においても基本的には術前に診断目的に行った撮像シーケンスとまったく同様のシーケンス (T1, T2, FLAIR, echo-planar imaging など) による MRI 撮像が可能である。また、術中 DTI (diffusion tensor imaging) のような神経機能に直結する撮像も可能である(3, 6, 9)。それらの中から症例によって必要なシーケンスを取捨選択する。撮像時間の短縮のために、必要最小限の撮影を行う。アップデート用シーケンスのみにとどめることが多い。

追加切除後に再度確認のための術中 MRI 撮影を行ってもよいが、造影剤を用いた撮像においてはその過剰投与に留意しなくてはならない。また造影剤の投与を複数回行った場合の造影効果については未だ不明な部分が多い。造影 T1 強調画像同様に T2 強調高信号域についても残存する病変であるのか、術中に生じた変化であるのか慎重な評価が必要である(4, 5)。造影効果は、残存する腫瘍など病変だけでなく、手術操作に伴う変化を表す場合もあり、慎重に行う必要がある。術中に複数回造影 MRI を撮影することに関しての安全性は確立されていない。2 回投与が認められているのはガドテリドール (プロハンス[®]) のみである。その場合でも転移性脳腫瘍が疑われる患者で、腫瘍が検出されないか、造影効果が不十分であったと考えられる場合に初回投与後 30 分以内に追加投与することが認められているだけであり、使用については注意する。

近年、超高磁場 (3-T) 術中 MRI を導入している施設が海外にある。これらの報告をみると術中 DTI により短時間に corticospinal tract や optic tract を描出し、術中 MRS を行うことでとくに low grade glioma において残存腫瘍であるか否かを鑑別可能であることが報告されている(7, 8, 9)。

術中 MRI は腫瘍摘出の確認やアップデート・ナビゲーション目的のほか、術中合併症の有無確認にも有用である。とくに腫瘍を栄養するとともに周辺正常脳をも灌流するいわゆる passing artery の閉塞に伴う超急性期脳梗塞の同定には、拡散強調画像による確認がすぐれている。しかし、一方で摘出腔周囲 (直下) の超急性期出血病変に対してはなかなか同定可能な撮像シーケンスがないのが現状であり注意を要する。しかし、摘出部とは離れた部位、たとえば頭部固定にともなう穿通外傷 (急性硬膜外血腫、急性硬膜下血腫形成) などは T2 強調像により同定可能である(10)。

文献

- 1) Nimsky C, Fujita A, Ganslandt O, et al. Volumetric assessment of glioma removal by intraoperative high-field magnetic resonance imaging. *Neurosurgery*. 2004;55:358-371.
- 2) Nimsky C, Ganslandt O, von Keller B, et al. Intraoperative high-field MRI: anatomical and

functional imaging. *Acta Neurochir Suppl.* 2006;98:87-95.

- 3) Nimsky C, Ganslandt O, Hastreiter P, et al. Preoperative and intraoperative diffusion tensor imaging-based fiber tracking in glioma surgery. *Neurosurgery.* 2007;61:178-185.
- 4) Hatiboglu MA, Weinberg JS, Suki D, et al. Impact of intraoperative high-field magnetic resonance imaging guidance on glioma surgery: a prospective volumetric analysis. *Neurosurgery.* 2009;64:1073-1081.
- 5) Hall WA, Liu H, Maxwell RE, et al. Influence of 1.5-tesla intraoperative MRImaging on surgical decision making. *Acta Neurochir Suppl.* 2002;85:29-37.
- 6) Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, et al. Clinical indications for high-field 1.5 T intraoperative magnetic resonance imaging and neuro-navigation for neurosurgical procedures – review of initial 100 cases -. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2009;49:340-350.
- 7) Hall WA, Galicich W, Bergman T, et al. 3-Tesla intraoperative MRImaging for neurosurgery. *J Neurooncol.* 2006;77:297-303.
- 8) Jankovski A, Francotte F, Vaz G, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging at 3-T using a dual independent operating room-magnetic resonance imaging suite: development, feasibility, safety, and preliminary experience. *Neurosurgery.* 2008;63:412-426.
- 9) Pamir MN, Özduman K, Dinçer A, et al. First intraoperative, shared-resonance, ultrahigh-field 3-Tesla magnetic resonance imaging system and its application in low-grade glioma resection. *J Neurosurg.* 2010;112:57-69.
- 10) McClain CD, Sopiano SG, Goumnerova LC, et al. Detection of unanticipated intracranial hemorrhage during intraoperative magnetic resonance image-guided neurosurgery. *J Neurosurg (5 Suppl Pediatrics).* 2007;106:398-400.

4. ノイズ低減法について

● 推奨①

術中 MRI 装置設置のためには、撮像コイルの位置でのノイズが少なくなるように適切なシールドを設置する。

● 推奨②

電子機器はノイズを発生するので電源を切れるものは電源 OFF とし、切れないものは機器周囲に適切なシールドを設けるか、手術室外に設置する。

● 推奨③

患者周辺の磁性体金属はノイズを発生するので、患者からとりはずす

解説

画像ノイズは様々な状況で発生しうる。まず MRI 装置の設置条件があり、現時点での術中 MRI 装置のノイズ対策として次の方法がある(1-5)。

- 1) 電磁シールドを施した MRI 室内に手術装置を備える方法
- 2) 手術室内全体を電磁シールドして手術室内のノイズを低減する方法
- 3) 画像装置周辺に電磁シールドされたスペースを作成してノイズ低減する方法。

さらに MRI 手術室の設置場所を決める段階においては近隣の高圧電線や電車路線、院内の電子配線なども留意してできる限り基礎ノイズの少ない設置場所を選択することがのぞましい。

さらに手術現場においてはほとんどの電子機器がノイズを発生すると考えるべきである。特に電気メス、バイポーラー、顕微鏡、時に手術室の自動ドアなどはノイズ発生源として重要であり、撮像中必要のない電子機器（携帯電話、PHS、パーソナルコンピュータなど）は電源を OFF としてプラグを抜くことを推奨する(6, 7)。

患者周辺においては、電磁場を発生するような金属類は患者から外すことが推奨される。特にモニタリング電極、生体モニターコード類などは撮像中は MRI 対応のものに変更する必要がある(4, 8, 9)。

MRI 対応手術台も撮像中は電源を OFF とする。

上記を実施した上でもノイズが多く画像が乱れる場合には、MRI 製造業者、設置業者、電子機器メーカー、放射線技師等と相談し対応を図ることが推奨される。

文献

- 1) Levivier M, Wikler D, De Witte O, et al. PoleStar N-10 low-field compact intraoperative magnetic resonance imaging system with mobile radiofrequency shielding. *Neurosurgery*. 2003;53(4):1001-6; discussion 7.
- 2) Hadani M. Development and design of low field compact intraoperative MRI for standard operating room. *Acta Neurochir Suppl*. 2011;109:29-33.
- 3) Nimsky C, Ganslandt O, Von Keller B, et al. Intraoperative high-field-strength MRI imaging: implementation and experience in 200 patients. *Radiology*. 2004;233(1):67-78.
- 4) Barua E, Johnston J, Fujii J, et al. Anesthesia for brain tumor resection using intraoperative magnetic resonance imaging (iMRI) with the Polestar N-20 system: experience and challenges. *J Clin Anesth*. 2009;21(5):371-6.

- 5) Lang MJ, Kelly JJ, Sutherland GR. A moveable 3-Tesla intraoperative magnetic resonance imaging system. *Neurosurgery*. 2011;68(1 Suppl Operative):168-79.
- 6) Fujii M, Wakabayashi T. [Image-guided neurosurgery using intraoperative MRI]. *Brain Nerve*. 2009;61(7):823-34.
- 7) Henrichs B, Walsh RP. Intraoperative magnetic resonance imaging for neurosurgical procedures: anesthetic implications. *AANA J*. 2011;79(1):71-7.
- 8) Birkholz T, Schmid M, Nimsky C, et al. ECG artifacts during intraoperative high-field MRI scanning. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2004;16(4):271-6.
- 9) Bergese SD, Puente EG. Anesthesia in the intraoperative MRI environment. *Neurosurg Clin N Am*. 2009;20(2):155-62.

5. 術中 MRI を利用した Updated Navigation

● 推奨①

ナビゲーションを用いた手術では、位置確認の際に精度の確認を行なうことが推奨される。

● 推奨②

術中 MRI は Brain shift や外力によるナビゲーション精度の低下の補正に有効である。

解説

術中 MRI を利用した画像誘導手術ではナビゲーションの精度管理が重要である。精度低下の主な原因には、レジストレーションに伴う誤差、術中の頭部やリファレンスアンテナに加わった外力などによる相対位置のズレによる精度低下、ブレインシフトに伴う精度低下がある。

(1) レジストレーションに伴う誤差

術中 MRI を用いた手術室でナビゲーションを行う場合、特に当初から精度を要求する場合には、リファレンス MRI と呼ばれる撮像を頭部固定後に行って、この画像をもとにレジストレーションを行う方法がある。これにより頭部固定に伴う頭部・顔面のスキンスフトの影響のないレジストレーションが可能である。

(2) 頭部・リファレンスアンテナ相対位置のずれに伴う精度低下

レジストレーションを行った後に外力などにより頭部とリファレンスアンテナなど基準点との相対的位置関係のずれが生じた場合にナビゲーションの精度の低下がおこる。レジストレーション後速やかに精度管理のためのランドマークを登録することで、術中に随時精度確認ができる。また、精度低下が生じた場合には、これらの点を用いて精度の復帰が可能である。この他に、術中 MRI 撮像により再度レジストレーションを行う方法もある。

(3) Brain shift による精度低下

術前の画像を利用したナビゲーションの最大の欠点は、Brain shift に伴う著しい精度低下である。Brain Shift は術中にダイナミックに起こる現象であり、髄液排出にともなう重力方向への沈み込みの影響、腫瘍切除に伴う脳変形（沈み込みと圧迫されていた脳局所の膨張）など複数の要因がある。術中 MRI を使用した Nimsky らによる検討では単純な現象でないため簡単に予測できないとしている。また前澤らによれば 28 例のグリオーマ症例の錐体路の術中変位の検討で、平均 6.7mm、inward に最大 23mm、outward に 12mm 変位が認められており、術前画像に基づくナビゲーションに限界があることが伺える。

(4) 術中 MRI によるナビゲーション情報の更新

術中のナビゲーション情報の更新方法に二通りがある。一つは、Restore-registration 法と呼ぶ方法で、術中に撮像した MRI 画像をナビゲーターへ転送して、これをすでに利用していた画像にフュージョンする方法である。レジストレーションに関する位置情報はすでに手術開始時に行った情報をそのまま流用する。手術当初に行ったレジストレーションの精度に問題がなく、かつ、術中に精度を低下させるようなイベント（例：リファレンスアンテナが外力によってずれたり、頭部固定が不十分でずれが生じるようなアクシデント）がない場合には、本方法が簡便で良い。また、本法では当初おこなったレジストレーションの精度が担保されている状況下で、ランドマークを複数設置しておき、これらの点で精度の確認を適宜行くとともに、Restore registration を施行後、これらの登録された点を用いてナビゲーション精度の復帰を行うことができる。

二つ目は Re-registration 法である。これは術中画像を用いて再度レジストレーション情報を更新する方法で、Restore registration 法に比べて直接的に術中のレジストレーションを行なえる利点がある。この方法では、手術開始時のナビゲーション精度が不十分と判断される場合や、脳変形や頭皮状態の変化があり画像フュージョンの精度に十分な信頼がおけないような場合に特に有用である。BrainSUITE で

採用されている automatic registration 機能は、MRI 撮像用の上部コイル内側に 12 個のフィデューシャルマーカークがあらかじめ埋め込まれており、コイル上面の赤外線反射球を認識することでナビゲーターが自動的にレジストレーションを迅速に行う機能であり、従来のレジストレーションに比べて迅速かつスキンスフトの影響の全くないレジストレーションが可能である。また東京女子医科大学で開発された骨埋め込み型のシステムで、開頭骨表面に取り付けて清潔下で行う方法や、名古屋大学で開発されたレジストレーションアームを頭部固定枠へ取り付ける方法で、未滅菌のフィデューシャルマーカークを用いて不潔下で行う方法などがある。

文献

- 1) Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, et al. Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract. *World neurosurgery*. 2010;74(1):153-61.
- 2) Watanabe Y, Fujii M, Hayashi Y, et al. Evaluation of errors influencing accuracy in image-guided neurosurgery. *Radiological physics and technology*. 2009;2(2):120-125.
- 3) Mitsui T, Fujii M, Tsuzaka M, et al. Skin shift and its effect on navigation accuracy in image-guided neurosurgery. *Radiological physics and technology*. 2011;4(1):37-42.
- 4) 三井 貴司, 藤井 正純, 林 雄一郎ら. 脳外科ナビゲーション手術におけるフィデューシャルマーカの配置による頭蓋内精度分布の検証. *日本コンピュータ外科学会誌*. 2010;10:234-235.
- 5) 渡辺洋平, 林雄一郎, 藤井正純ら. 脳神経外科ナビゲーション手術におけるフィデューシャルマーカの配置条件が脳内のナビゲーション精度分布に与える影響. *医用画像情報学会学会誌*. 2011;28:18-23.

6. 術中 MRI と電気生理学的モニタリング

● 推奨

電気生理学的モニタリング装置本体およびその付属機器（アンプ）は5 ガウスラインの外側に設置する。MRI 撮影時に MEP、SEP、脳波などの電極を取り外すことが望ましい。

● 注意

やむを得ず撮影中に針電極を留置する場合には、熱傷等の危険、アーチファクトの発生に留意する。

解説

運動誘発電位（MEP）、体性感覚誘発電位（SEP）、聴性脳幹反応（ABR）、脳波（EEG）などの電気生理学的モニタリングは、モニター本体およびアンプを5 ガウスラインの外に設置することで使用可能である。MRI 非対応の電極の場合は、MRI 撮影に際して強いアーチファクトの原因となる可能性がある。また患者に取り付けられた電極は撮像に伴って誘導起電力発生による熱傷の危険性があるため、撮像時に頭部電極を取り除く手順とすることで対応する。

止むを得ず、留置する場合には針電極を使用する。東京女子医科大学（0.3T オープン MRI）、名古屋大学（0.4T オープン MRI）、名古屋セントラル病院（1.5T シリンダーMRI）での1000例以上の経験では、針電極の留置による明らかな熱傷の経験はない。針電極以外の電極（スクリュー電極、皿電極）についての安全性は報告されていない

また磁場による熱傷等を防ぐために、電極コードがループを作らないように注意する。

文献

- 1) Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, et al. Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract. World Neurosurg. 2010;74:153-61.
- 2) 日本光電ホームページ（電極の添付文書 PDF ファイルダウンロード可能）
<http://www.nihonkohden.co.jp/>

7. 術中 MRI と覚醒下開頭術

● 推奨

機能野あるいは機能野近傍病変等、覚醒下手術の適応と考えられる病変に対しては、術中 MRI を使用する手術においても覚醒下手術の併用が勧められる。

● 注意

ラリンジアルマスクの種類について MRI との適合を確認するとともに、覚醒下での呼吸循環状態のモニタリングが十分できるよう注意する。

解説

様々な画像情報の進化によって脳機能を術前に推定することが可能になっている。具体的には、機能 MRI による機能皮質の情報、diffuse tensor imaging(DTI)や tractography による機能白質の情報等である。前者は Gold standard である電気刺激による機能マッピングとの比較では特異度や感度は満足できる高さでなく、後者は測定者間差や過小評価(1)が問題とされる。術中機能 MRI(2)や術中 diffusion weighted image (3)や術中 DTI も有用な参考情報を提供するが、摘出か温存かの意思決定には機能マッピングや覚醒下での神経症状のモニタリングが必要であると考えられる(4,5)。

覚醒下開頭術と術中 MRI との組み合わせについては、術中 MRI のオープン型、シリンダー型を問わずに併用は可能である。覚醒状態で撮像を行う場合、患者の観察を十分に行う必要がある。この点ではシリンダー型 MRI 装置ではガントリーが深く視認性が悪いため特に注意が必要である。

ラリンジアルマスク使用による全身麻酔下での撮像時は、換気障害に注意する必要がある。撮影前に、移動時のチューブ牽引や不安定なチューブの口元固定によるラリンジアルマスクの移動がないかをチェックし、撮影時は酸素飽和度含めて Vital sign をモニタリングして換気状態を確認する。

覚醒下での撮影時は、患者の快適性に留意する必要がある。撮影前に、皮切周辺の疼痛や腰痛あるいは嘔気等の有無を問診し、必要に応じて局所麻酔追加や体位変換あるいは制吐剤投与等での対処を検討する。撮影中は vital sign のモニタリングとともに、数分毎に直接患者とコミュニケーションをとることが望ましい。頭部固定を行わない覚醒下開頭の方式を用いる場合は特に、一般診断 MRI と同様に患者に頭部をなるべく動かさないようにとの注意を行う。

透明ドレープは、撮影のための移動に伴うライントラブルの把握そして術中神経症状の確認や患者状態の把握含めて、視認性の向上につながるため、使用が推奨される。

文献

- 1) Kinoshita M, Yamada K, Hashimoto N, et al: Fiber-tracking does not accurately estimate size of fiber bundle in pathological condition: initial neurosurgical experience using neuronavigation and subcortical white matter stimulation. Neuroimage. 2005;25:424-429.
- 2) Gasser T, Szelenyi A, Senft C, et al: Intraoperative MRI and functional mapping. Acta Neurochir Suppl. 2011;109:61-65.

- 3) Ozawa N, Muragaki Y, Nakamura R, et al: Identification of the pyramidal tract by neuronavigation based on intraoperative diffusion-weighted imaging combined with subcortical stimulation. *Stereotact Funct Neurosurg.* 2009;87:18-24.
- 4) Nimsky C, Ganslandt O, Hastreiter P, et al: Preoperative and intraoperative diffusion tensor imaging-based fiber tracking in glioma surgery. *Neurosurgery.* 2005;56:130-137.
- 5) Muragaki Y, Iseki H, Maruyama T, et al: Information-guided surgical management of gliomas using low-field-strength intraoperative MRI. *Acta Neurochir Suppl.* 2011;109:67-72,

8. 術中 MRI と 5ALA 併用

● 推奨①

術野内での腫瘍の可視化、撮影回数の短縮を目的として、術中蛍光診断法（PDD）を併用しても良い。

● 推奨②

蛍光陽性の場合でも、術中 MRI 画像、迅速診断、脳機能マッピングなど多面的な判断を基にして摘出の可否を判断する

解説

術中 MRI の最大の利点は残存腫瘍の有無を術中に確認できることである。術野での腫瘍残存の有無を確認するためには術中蛍光診断法（PDD）も有用である。術中 MRI と併用する PDD の最大の利点は、造影される腫瘍の場合に術野内で直接腫瘍の遺残を視認できることである(1)。撮影に要する手間や時間、複数回にわたる造影剤投与による Gd の拡散などを考えると、撮影回数はなるべく少ないほうが望ましい。必要最低限の撮影回数を目指すためには、撮影前に腫瘍の残存を可能な限り少なくすることが求められる。

5-ALA による PDD では初発悪性神経膠腫では高い感度が報告されているが、偽陽性、偽陰性も否定はできない(2-4)。再発腫瘍や脳室上衣など腫瘍細胞は少ないにも関わらず蛍光発色する場合もあるために、ナビゲーション、迅速診断など複数のモダリティを用いて摘出の可否を検討する必要がある。残存する腫瘍部分は腫瘍の最外側であるため、隣接する正常脳に近づくことになる。この領域には脳機能がシフト、残存している可能性があるため、術中マッピングなどによる機能評価を行い摘出可能か否か判断することが必ず必要である。

今後術中蛍光診断のみならず光線力学を応用した治療（PDT）など、摘出が不可能な残存部分への治療開発が行われている(5)。摘出率の向上を目的とした術中 MRI の役割とともに、摘出後の残存部分を正確に描出することも術中 MRI と術中蛍光診断法との併用で相互の利点を生かすことができる。

文献

- 1) Tsugu A, Ishizaka H, Mizokami Y, et al. Impact of the combination of 5-aminolevulinic acid-induced fluorescence with intraoperative magnetic resonance imaging-guided surgery for glioma. *World neurosurgery*. 2011;76(1-2):120-7.
- 2) Stummer W, Novotny A, Stepp H et al: Fluorescence-guided resection of glioblastoma multiforme by using 5-ALA induced porphyrins: a prospective study in 52 consecutive patients. *J Neurosurg*. 2000;93:1003-1013.
- 3) 金子貞男. 脳腫瘍に対する光モニタリング-ALA induced PpIX による術中脳腫瘍蛍光診断. *脳神経外科*. 2001;29:1019-1031.
- 4) Stummer, W., U. Pichlmeier, et al. Fluorescence-guided surgery with 5-aminolevulinic acid for resection of malignant glioma: a randomised controlled multicentre phase III trial. *The Lancet Oncology*. 2006;7(5): 392-401.
- 5) Muragaki Y, Akimoto J, Maruyama T, et al. Phase II clinical study on intraoperative photodynamic therapy with talaporfin sodium and semiconductor laser in patients with malignant brain tumors. *Journal of neurosurgery*. 2013;119(4):845-52.

資料1 術中MRI運用マニュアル

1. 術中MRI運用マニュアルについて

- ✓ 術中MRI運用マニュアルは、施設の運用方法に応じて作成し、手術室内に掲示する。
- ✓ 術中MRI運用マニュアルの内容は、術中MRI室に出入りする手術関係者全員が理解し、情報を共有できるようにする。

2. 術中MRI手術室の安全管理体制の構築

- ✓ 術中MRI手術室の安全な運用のため、安全管理責任者を置いて施設毎に安全管理のための組織を設置する。
- ✓ 術中MRI室および周囲の環境を3つのゾーン（A:手術室の外、B:手術室内5 Gauss外、C:5 Gauss内）に分けた上で、それぞれ安全基準を定める。
- ✓ 術中MRI手術を安全に遂行するにはチェックリストを用いた運用が必須である。
- ✓ 術中MRI手術室運用にあたっては、院内での教育・研修システムを整備し、術中MRIに関わるスタッフはマニュアルを熟知する。
- ✓ MRI手術室内の清掃に当たっては、担当者と打ち合わせを行い、マニュアルを整備する。

3. 術中MRI手術室の整備・安全管理

- ✓ 5 Gaussラインを明示する。
- ✓ 5 Gaussライン外（ゾーンAおよびB）では、通常の手術機器・器械が磁性体・非磁性体にかかわらず使用可能である。
- ✓ 5 Gaussライン内（ゾーンC）で手術を行う場合には非磁性体の器具を使用する。ゾーンCでは、手術機器・機材に磁性体・非磁性体のラベリングを行なう。
- ✓ 磁性体の酸素ボンベ、磁性体の手術器具・器械などを5 Gaussライン内に持ち込まない
- ✓ 術中MRI装置設置のためには、撮像コイルの位置でのノイズが少なくなるように適切なシールドを設置する。
- ✓ ゾーンB、Cに設置された電子機器は撮像中ノイズを発生するので、電源を切れるものは電源OFFとし、切れないものは機器周囲に適切なシールドを設けるか、手術室外に設置するようにする。
- ✓ モニター装置、麻酔器、等のMRI撮像中にも稼働する機器がMRIの静磁場および傾斜磁場による影響を受けないことをあらかじめ確認しておくこと。逆に、それら装置がMRI画像に対して画質劣化を生じさせないことを確認しておくこと。導入時はもちろんであるが機器の故障やシールドの劣化の早期発見に結びつけるため、定期的なノイズ測定および記録が望ましい。
- ✓ 各施設における撮像シーケンスの種類や造影剤投与量において適切な投与タイミングをあらかじめ設定する。投与後はそのタイミングを逃さないようスキャンを進めること。

4. 術前評価

- ✓ 心機能・不整脈・虚血性心疾患・呼吸機能に問題はないか、術中MRI専用心電図・呼吸モニタリング使用可否について判断する。
- ✓ 術中MRI撮像時の造影剤使用の可否について、腎機能障害の有無、アレルギーの有無につき検討する。
- ✓ 金属製の体内異物（動脈瘤クリップ、ペースメーカー、体内埋め込み式のバッテリー、インプラント）、刺青（撮像に伴う火傷）、体格（ガントリー内に安全に挿入できない場合がある）について術中MRI可能であるか評価する。
- ✓ 小児例ではピンによる頭部固定が適さない場合があり、頭部固定・撮像コイルシステムの利用が安

全に行なえるか判断する。

- ✓ 手術体位について、術中 MRI 撮像可能性と手術遂行可能性の両面から検討する。
- ✓ 機能野あるいは機能野近傍病変等、覚醒下手術の適応と考えられる病変に対しては、術中 MRI を使用する手術においても覚醒下手術の併用が勧められる。
- ✓ 術野内での腫瘍の可視化、撮影回数の短縮を目的として、術中蛍光診断法（PDD）を併用しても良い。

5. 患者入室前準備

- ✓ 手術台動作確認。患者移動動作確認。
- ✓ 医療機器・手術物品準備および配置、作動確認。
- ✓ 麻酔器、心電図モニター、血圧モニター、挿管チューブ（気管内チューブ、ラリンジアルマスク）SpO₂ モニターは、すべてあらかじめ MRI 対応かどうか確認する。
- ✓ MRI ガントリー内には、患者の血液や体液で汚染されないように、吸湿性・防湿性のシートを敷き詰め、手術毎に交換する。

6. 患者入室時

- ✓ 患者確認。病棟からの申し送り聴取。第一回目のタイムアウト・チェック
 - ✓ 患者自身の名前、手術部位、手術手技の確認し、承諾があることを確認する。
 - ✓ 手術部位のマーキングの確認。
 - ✓ パルスオキシメーターを患者に装着して動作確認。
 - ✓ 患者のアレルギーの有無、挿管困難、気道汚染の危険の有無のチェック、500ml 以上の出血（小児では 7ml/kg 以上の出血）が予想されるかどうか（もし出血が大きい場合には静脈ラインを二つあるいは中心静脈の確保）
 - ✓ 呼吸および循環系に問題点の有無について確認（ある場合術中 MRI 撮像中止を検討）
 - ✓ MRI 撮像に伴う体内異物の有無について確認
-
- ✓ 患者の手術台への移動。
 - ✓ 患者へのモニターの装着。

7. 麻酔導入

- ✓ 覚醒下開頭術の際などラリンゲルマスクの種類について MRI との適合を確認する。
- ✓ 挿管チューブの抜けない対策を講じるとともに確認特に腹臥位手術では撮像時には注意する。
- ✓ スパイラルチューブの使用は禁忌である。

8. 頭部固定・手術体位固定

- ✓ 手術体位をとり、頭部固定する。専用の頭部固定具を使用する。
- ✓ 体位・頭部固定後ボアガントリーチェック（MRI ガントリーボア内に頭部・体幹部が入ることができかの確認）、頭部固定フレーム、コイル、挿管チューブ、ラリンジアルマスク、ナビゲーション装置用のアンテナ等が MRI ガントリーと干渉しないこと。
- ✓ 電気生理学的モニタリングの装着。装置本体およびその付属機器（アンプ）は 5 ガウスラインの外側に設置する。

9. リファレンス撮像のための MRI 移動

- ✓ ナビゲーション用のリファレンス撮像を行なう（必要時）

10. 手術

- ✓ 第二回目のタイムアウト・チェックを行なう
- ✓ 手術スタッフの自己紹介
- ✓ 患者名、手技、手術部位、左右について確認する
- ✓ 抗生剤の開始確認（執刀 60 分以内に投与）
- ✓ 【外科医】手術での重要操作部分、通常と異なる部分について説明。手術時間、予想出血量について言及、術中 MRI の撮像について言及。頭皮クリップはプラスチック製を使用するなど、撮像時に患者の体から取り外さないものは必ず MRI 撮像に適したものをを使用することを説明。
- ✓ 【麻酔医】患者固有の問題点について言及
- ✓ 【看護師】手術器械・器具に関する事項、その他疑問点について言及
- ✓ 重要な画像が表示されているか。
- ✓ ナビゲーションを用いた手術では、位置確認の際に精度の確認を行なう。
- ✓ 手術ナビゲーションユニットの赤外線カメラと SpO2 モニターとはともに赤外光を用いるための干渉に留意する
- ✓ 以下の場合に術中 MRI の撮像を考慮する。
 - (1) ナビゲーション開始に伴うリファレンス画像の撮像が必要な場合
 - (2) ブレインシフトの影響や、外力によるレジストレーション情報の変化によるナビゲーション精度の低下が著しく、手術の続行に支障がある場合
 - (3) 手術所見として、腫瘍摘出など手術の目的を達成したと判断される場合で、術中 MRI 撮像による確認が必要な場合
 - (4) 術中の頭蓋内合併症の評価が必要と判断される場合
 - (5) その他、術中 MRI の撮像が必要と判断される場合
- ✓ 腫瘍摘出など術中病変の評価には、術中 MRI 画像、蛍光診断、迅速診断、脳機能マッピングなど多面的な判断を基にして摘出の可否を判断する

11. 術中 MRI 撮像

- ✓ 術中 MRI 撮影が必要になった時点で関係者に伝える。
- ✓ 術野の磁性体除去および清潔を維持する（イメージカバーや被布）。
- ✓ 術中 MRI 使用手術においては、安全性の確保のため透明ドレープを使用するなど、患者状態の可視化に努めるとともに、感染防止のために撮像時には清潔野の確保に十分な注意を払う。
- ✓ 術台からの磁性体の除去、コード類の整理。
- ✓ MRI 撮影時に MEP、SEP、脳波などの電極を取り外す。やむを得ず撮影中に針電極を留置する場合には、熱傷等の危険、アーチファクトの発生に留意する。
- ✓ 手術器械カウント
- ✓ 撮像前チェックリストの内容を、声を出して確認する。
- ✓ 手術台の移動準備。
- ✓ 麻酔機器、輸液関連機器の準備。
- ✓ 電子機器はノイズを発生するので電源を切れるものは電源 OFF とする。
- ✓ 患者バイタルサイン確認後、装着物品の除去
- ✓ すべての移動に関与する者の磁性体持ち込みがないことを確認。
- ✓ MRI 撮像時に電磁誘導による加熱や火傷をすることがあるので、ケーブル、四肢、手指がループを作らないようにする。膝やかかとの間、手と体幹部の間にクッションを挟むなどとよい。
- ✓ MRI 撮像時には、外科医、麻酔科医、看護師が立会い、患者の安全を確保する。

- ✓ 撮影中にはバイタルサインに常に注意し、特に気道トラブルの有無を確認する。
- ✓ 患者周辺の磁性体金属はノイズを発生するので、患者からとりはずす
- ✓ 患者の安全な移動監視とバイタルサインのチェック。
- ✓ 術中 MRI 撮影中の患者のバイタルサインのチェック。
- ✓ 覚醒下での呼吸循環状態のモニタリングが十分できるよう注意する。シリンダー型では特に注意する。

1 2. 手術の再開

- ✓ 患者を MRI 装置から、もとの手術台の位置にもどし、手術再開の準備を行う。
- ✓ 麻酔器・挿管チューブ・点滴ライン・動脈ライン等を確認する。
- ✓ ナビゲーション装置の再レジストレーションを行う。
- ✓ 患者のバイタルサインを確認し、手術を再開する。

1 3. 手術後（手術室退室前）

- ✓ 三回目のタイムアウト・チェック
- ✓ 【看護師】手術手技名の確認、手術器具、ガーゼ、針のカウント確認、検体のラベリング確認（ラベル名と患者名を声に出して）、手術器械器具のトラブルについて言及
- ✓ 【外科医、麻酔医、看護師】患者の術後管理についての問題点について言及
- ✓ 【看護師】手術終了時に MRI 撮像に伴う皮膚変化を確認する。

患者氏名		チェック日付・時間	
BP:	HR:	SaO2:	
チェック者		術者	
撮影中室内待機者			

(1)電源オフ			
<input type="checkbox"/> 電子カルテ1	<input type="checkbox"/> 電子カルテ2	<input type="checkbox"/> エコー	<input type="checkbox"/> DVT 予防システム
<input type="checkbox"/> モノポーラー	<input type="checkbox"/> バイポーラー	<input type="checkbox"/> 電動ドリル	<input type="checkbox"/> ナビゲーション
<input type="checkbox"/> 脳波計1	<input type="checkbox"/> 脳波計2	<input type="checkbox"/> 5ALA 蛍光装置	<input type="checkbox"/> CUSA
<input type="checkbox"/> モニター1	<input type="checkbox"/> モニター2	<input type="checkbox"/> 録画装置	<input type="checkbox"/> 顕微鏡
(2)患者からはずすもの			
<input type="checkbox"/> 血圧計	<input type="checkbox"/> 体温計	<input type="checkbox"/> 対極版	<input type="checkbox"/> 尿道カテーテル
<input type="checkbox"/> 胃管	<input type="checkbox"/> BIS モニター	<input type="checkbox"/> 脳波アース電極	<input type="checkbox"/> SEP 刺激電極
<input type="checkbox"/> MEP 電極	<input type="checkbox"/> MPE 刺激頭皮電極		
(3)シールド外移動			
<input type="checkbox"/> PHS・携帯電話	<input type="checkbox"/> 電子カルテシステム		
(4)備考			

資料3 術中 MRI 撮影時チェックリスト(読み上げリスト) 2 Room System

【MRI 撮影前】

実施者	チェック	内容
移動準備 ※最終確認項目：読み上げ確認する		
放射線技師		・ MRI 室ドア open、MRI ベッド搬入
ME		・ MRI 室の麻酔器・モニタースタンバイ
脳外科医・NS		・ 手術器械・ガーゼカウント
		・ 術野の金属・器械の有無
		・ 患者周囲の機器・患者の装着物品の除去
		①SCD レスポンス ②対極板 ③直腸温センサー ④MEP、SEP 電極
麻酔科医		・ 薬剤・輸液の残量確認
		・ 患者のバイタルサインの確認
MRI 室への移動		
全スタッフ		1. 全スタッフが金属物品・時計・PHS 等持っていないか確認
		2. 手術台を水平にし、最高位へ (手術台リモコンで“MRI”をピー・ピー・ピーというまで長押し)
		3. 手術台と MRI ベッドを接続、車輪ロック (直線になるように)
		4. ボアチェック
		5. 手術台ケブラーボードを解除し、MRI ベッドへ患者移動 (中央の黒いディスクを引きながらレバーを横に向ける)
		6. MRI ベッドロックを解除し、MRI 室へ移動開始
		7. MRI 室入口でモニター、麻酔器を MRI 室用に付け替え MRI 室へ麻酔記録移動 (自動麻酔記録装置イベント欄で「移動先を手術室」を選択、MRI 室自動麻酔記録装置で患者選択から患者を選択)
		8. 患者バイタル、術創部からの出血の有無を確認し、MRI 室へ移動

【MRI 撮影後】

実施者	チェック	内容
手術室への移動		
全スタッフ		1. モニター、麻酔器を手術室用に付け替え、麻酔記録を移動 患者バイタル確認
		2. 手術台と MRI ベッドを接続、車輪ロック (直線になるように)
		3. 手術台へ患者移動、手術台ケブラーボード固定 (青いレバーを縦向き)
		4. MRI ベッドのロック解除、分離
		5. 脳外科 Dr. に方針確認(閉頭か、再度 MRI か)
手術再開の準備		
看護師		・ 患者周囲機器・物品の装着 ①体位固定・抑制 ②直腸温センサー ③対極板 ④SCD レスポンス
脳外科医		・ ローテーションテスト、ナビ装着
麻酔科医		・ 患者バイタル確認 MRI 用輸液ポンプの電源コード

資料4 第14回日本術中画像情報学会 術中MRIのインシデント調査

2013.4.1 から 2014.3.31 までの1年間に術中MRIにより起きたインシデントの調査結果
10施設（山形大学・東京女子医科大学・国立がん研究センター・筑波大学・東京慈恵会医科大学柏病院・名古屋大学・名古屋セントラル病院・岡山大学・伊勢赤十字病院・鹿児島大学）から回答をえた。

(1) 2013年4月から2014年3月末までの術中MRI室での手術件数（開頭術）	395件
① Glioma 278件 ② Meta 44件 ③ 髄膜腫 22件 ④ 悪性リンパ腫 6件 ⑤ その他腫瘍 36件 * * 同時期の術中MRIを用いた下垂体手術件数 49件	
(2) インシデント・有害事象（2013年4月から2014年3月末までの開頭術について）	
① 手術後4週間以内の硬膜下・硬膜外膿瘍・創部感染件数	6件 (1.5%)
② 手術後4週間以内の髄膜炎件数	4件 (1.0%)
③ MRI装置が不調で撮影できなかった（十分な画像が得られなかった）件数	8件 (2.0%)
④ ガントリーへの金属等の張り付きや備品が飛んだ件数	1件 (0.3%)
⑤ 術中MRIにより、摘出を必要とする頭蓋内血腫が診断できた件数	1件 (0.3%)
⑥ 術中MRIを施行したが、術後に再開頭が必要となった件数	1件 (0.3%)
⑦ 心電図モニター・心疾患に関連するインシデントの件数と内容	件数不明
1) MRI撮影時以外で、一時的に心電図波形が乱れたり出なくなったりということはあったが、手術の進行に支障なし。電極と皮膚との接触不良が原因と考えられるが磁場との関連は不明。	
⑧ 麻酔・麻酔器に関連するインシデントの件数と内容	3件 (0.8%)
1) MRIへの移動時に、ベッドスライド部分と挿管チューブのカフが挟まり切断した 2) 腹臥位の症例で、気管内挿管のカフが撮像のさいに破損した。 3) 覚醒下手術でMRIに撮影中に呼吸停止 4) 開頭中にバッキングがあった。iMRI中にシリンジポンプが停止していたことに気がつくのが遅れてバッキングを起こした。直ちに筋弛緩薬を投与した。シリンジポンプの故障が原因の1つに挙げられた。また、手順を定めていたマニュアルにはシリンジポンプの電源は撮像中抜いておくことになっていたが、今後は抜かないことに改訂した。術後痙攣などがみられていたが回復している。麻酔担当医が交代する時期に一致していたこともあり、交代時の確認についてもマニュアル化した。	
⑨ 電気生理モニタリングに関連するインシデントの件数と内容	5件 (1.3%)
1) SpO2モニター波形が十分出ない (2件) 2) ECGモニター波形が十分出ない 3) チタン電極が破損し頭皮内に残留	
⑩ MRI使用前後で、MRI装置に関連するインシデントの件数と内容	4件 (1.0%)
1) MRIのCPUの故障により撮影ができないケースが1件あった。前日および当日術前にテスト撮影を行って問題なかったにもかかわらず、患者の撮影の段になって不調をきたした。事前の機器点検に不備はなく、予防と対策は困難だった。導入後まもなくの発生であり、機械の不調はある程度やむをえなかったものと考えている。後日メーカーによる点検の結果、CPUの故障であることが判明し、基盤の交換により解決した。	

<ul style="list-style-type: none"> 2) ラリンジアルマスクのコネクター部分がガントリーに干渉するため患者頭部の挿入ができず、術中 MRI 撮像を断念。 3) MRI 専用手術台の故障により、MRI 撮像までに長時間の中断あり。 4) MRI の動作不良が生じたが、リスタートで回復し、若干の時間延長はあったが手術の進行に大きな影響なし。 5) ベッドスライド部分が下方落下 	
<p>⑪ MRI 撮影中のインシデントの件数と内容 4 件 (1.0%)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) スパイラルチューブ挿入のために撮像出来ず。 2) ペアンが術野に残っており、撮像時に吸着した。 3) 覚醒下手術で MRI 撮影中に呼吸停止 4) スパイラルチューブでノイズ，MRI 画像使用できず 	
<p>⑫ その他インシデント 7 件 (1.8%)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 手術台と MRI のベッドのドッキングが不能となり、20分程度手術が中断されてしまった。 2) ナビゲーションの動作不良が生じたが、リスタートで回復。 3) 耳栓の装着忘れ：撮影前のチェックにて確認され、撮影時には装着することができた。以後は、開頭前のチェック項目に入れている。 	
<p>(3) 調査対象時期以外のインシデント・有害事象</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 椅子の吸着事故（研修医；術中 MRI 使用していない手術中）。 2) はさみの吸着事故（医師：術中 MRI 撮像時） 3) 心電図モニターの吸着（業者による運搬時） 4) 院内用 PHS の吸着 5) 麻酔科医の聴診器がガントリーに付着 6) Spiral tube 誤挿入で再挿管 7) スパイラルチューブでノイズ，当院では2回生じている（麻酔科医が入れ換わる時期） 8) 術中 MRI により、急性硬膜外血腫を早期に発見して術中に対処した症例2例（いずれも小児例で後頭蓋窩腫瘍手術時の TENT 上の血腫） 9) 穿頭器のバー破損による金属残留 10) 移動時に挿管チューブのカフが巻き込まれ破断 11) 手術台スライド部分の天板のロック破損 12) 手術台が狭いための肘関節過伸展 13) 体位は腹臥位．ベッド移動後，麻酔器モニターで換気リークアラート，挿管チューブを含む呼吸回路を点検したところ、挿管チューブのカフ air 注入用チューブが破損（ちぎれていた）していることに気づく．レスキュー：22G 留置針を利用し，カフチューブに air 注入し、カフを膨らませた． 14) コイル不具合で撮像できず 15) 術中 MRI 手術室の電源スイッチの故障で術中 MRI 撮像できず。 16) 手術室の隅に置いてあった MRI 非対応麻酔器の電源入りっぱなし，で術中 MRI はノイズ有り役に立たず．これは同日中に原因の特定にいたらなかった。 	

術中MRIに関する論文リスト (2013.12まで)

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
1	Endoscopic biopsy for lesions located in the parenchyma of the brain: preoperative planning based on stereotactic methods. Technical note.	Tanei T, Nakahara N, Takebayashi S, Hirano M, Nagatani T, Nishihata T, Wakabayashi T.	Neurol Med Chir (Tokyo). 2012;52(8):617-21.	内視鏡生検方法
2	Surgical treatment of cerebral abscess with the use of a mobile ultralow-field MRI.	Senft C, Seifert V, Hermann E, Gasser T.	Neurosurg Rev. 2009 Jan;32(1):77-84; discussion 84-5.	脳膿瘍定位手術
3	Intraoperative magnetic resonance imaging-guided drainage of nonpalpable abscesses.	Zmora O, Faibel M, Givon U, Tsarfati G, Ben-Shlush A, Bilik R, Avigad I.	Surg Laparosc Endosc Percutan Tech. 2001 Oct;11(5):338-40.	麻酔
4	Anesthetic concerns for pediatric patients in an intraoperative MRI suite.	McClain CD, Rockoff MA, Soriano SG.	Curr Opin Anaesthesiol. 2011 Oct;24(5):480-6.	麻酔に関するレビュー
5	Intraoperative magnetic resonance imaging for neurosurgical procedures: anesthetic implications.	Henrichs B, Walsh RP.	AANA J. 2011 Feb;79(1):71-7. Review.	麻酔
6	Anesthesia can be safely provided for children in a high-field intraoperative magnetic resonance imaging environment.	Cox RG, Levy R, Hamilton MG, Ewen A, Farran P, Neil SG.	Paediatr Anaesth. 2011 Apr;21(4):454-8.	小児麻酔
7	Anesthesia for brain tumor resection using intraoperative magnetic resonance imaging (iMRI) with the Polestar N-20 system: experience and challenges.	Barua E, Johnston J, Fujii J, Dzwonczyk R, Chiocca E, Bergese	J Clin Anesth. 2009 Aug;21(5):371-6.	麻酔
8	Anesthesia in the intraoperative MRI environment.	Bergese SD, Puente EG.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):155-62.	麻酔
9	Anesthesia for magnetic resonance imaging.	Gooden CK.	Curr Opin Anaesthesiol. 2004	麻酔
10	Anesthesia during high-field intraoperative magnetic resonance imaging experience with 80 consecutive cases.	Schmitz B, Nimsky C, Wendel G, Wienerl J, Ganslandt O, Jacobi K, Fahlbusch R,	J Neurosurg Anesthesiol. 2003 Jul;15(3):255-62.	麻酔
11	Intraoperative mobile magnetic resonance imaging for craniotomy lengthens the procedure but does not increase morbidity.	Archer DP, McTaggart Cowan RA, Falkenstein RJ, Sutherland GR.	Can J Anaesth. 2002 Apr;49(4):420-6.	麻酔、IMRIS
12	Intraoperative assessment of aneurysm clipping using magnetic resonance angiography and diffusion-weighted imaging: technical case report.	Sutherland GR, Kaibara T, Wallace C, Tomanek B, Richter M.	Neurosurgery. 2002 Apr;50(4):893-7; discussion 897-8.	clipping
13	Intraoperative magnetic resonance imaging in the successful surgical treatment of an arteriovenous malformation--case report.	Sakurada K, Kuge A, Takemura S, Funiu H, Kokubo Y, Kondo R, Sato S, Kayama	Neurol Med Chir (Tokyo). 2011;51(7):512-4.	AVM
14	Intraoperative MRI for stereotactic biopsy.	Schulder M, Spiro D.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:81-7.	biopsy
15	1.5 T: spectroscopy-supported brain biopsy.	Hall WA, Truwit CL.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):165-72, vii. Review.	
16	Histological yield, complications, and technological considerations in 114 consecutive frameless stereotactic biopsy procedures aided by open intraoperative magnetic resonance imaging.	Bernays RL, Kollias SS, Khan N, Brandner S, Meier S, Yonekawa Y.	J Neurosurg. 2002 Aug;97(2):354-62.	定位的生検ダブルドーナッツ
17	Frameless stereotactic neurosurgery using intraoperative magnetic resonance imaging: stereotactic brain biopsy.	Moriarty TM, Quinones-Hinojosa A, Larson PS, Alexander E 3rd, Gleason PL, Schwartz RB, Jolesz	Neurosurgery. 2000 Nov;47(5):1138-45; discussion 1145-6.	定位的生検ダブルドーナッツ

主な結果	結論・コメント	システム
内視鏡を用いた定位的腫瘍生検術の有用性を示した(術中MRIの論文ではない)	生検部位を術中MRIで確認したのみ。術中MRIの有用性に関しては触れていない	High field, 1.5T
脳膿瘍の定位的吸引術において、全例で膿瘍の吸引を確認できた	Pole star systemは脳膿瘍定位的吸引の確認に有用だった	low field, 0.15T
		low field, 0.5T General Electric Medical System
様々なタイプの術中MRIにおける麻酔の面での問題点やチーム医療の重要性を述べた		
		-
1例で口唇の腫れ、1例で耳介の炎症、 前にMR非対応のGreenberg retractor clampが術野に残っていることに気づき、すぐに除去。患者および医療スタッフのけがなどなし。感染なし	高磁場術中MRIにおいて小児麻酔は安全に行えた	High field, 1.5T
1例体が大きすぎてキャンセル(肩が大きく邪魔になった)、セットアップの時間が経験とともに短くなった。VerisMRmonitorのelectronic filterはノイズを減らし、本システムは麻酔の手技の大きな妨げにはならなかった。	PoleStar systemにおける麻酔は問題なく行えた	low field, PoleStarN20
MRIにおける麻酔の際の注意点: 金属、ペースメーカー、動脈瘤クリップ、生体モニター、距離が遠く患者にアクセルできないこと、MRIによるノイズ、騒音による聴力障害、造影剤の副作用などに関して述べている	麻酔科医に対するMRIの基本知識の教育用	
		High field, 1.5T
同時期に、同様の手術 (lesion type, lesion pathoogy, lesion location, lesion size)を行った同数の開頭術と比較した。術中MRI群は手術時間が約2時間延長した(407min vs 285 min)。その他出血量、輸液量、ICU滞在期間などの延長などはなし。	IMRISMRIにおいて、麻酔の観点からは時間の延長以外の不利益なし	
前交通動脈瘤クリッピングの術中評価に術中MRAとDWIを使用し、親血管のpatancyと新規虚血巣がないことを確認した。	脳動脈瘤手術における術中MRI使用例を初めて報告した	High field, 1.5T
AVM摘出術において高磁場術中MRIを用いて摘出の確認を行った。TRICKSシーケンスを用いた。	AVM摘出における術中MRI使用例を示した。	High field, 1.5T
		low field, PoleStar N-20
		High field, 1.5T
オープン型MRIと用いて定位的脳生検を行った。神経学的悪化は3例に、うち1例は浮腫の増加により緊急で開頭を要した。1例術中の静脈洞からの出血で死亡。その他有害事象なし。97.4%で病理診断可能だった。	オープン型MRIを使った定位的生検。ほぼリアルタイムな生検部位の確認が可能。	low field, 0.5T
オープン型MRIを用いた定位的脳生検。組織診断率97.1%。2例に脳実質内出血があり、術中MRIで指摘。1例はすぐに血腫吸引して後遺症なし、1例は深部のリンパ腫の出血で保存的加療し、片麻痺を残した。	オープン型MRIを使った定位的生検。リアルタイムな生検部位の確認、術後合併症の有無が可能。	low field, 0.5T SignaSP

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
18	Feasibility of intraoperative MRI guidance for craniotomy and tumor resection in the semisitting position.	Senft C, Schoenes B, Gasser T, Platz J, Bink A, Franz K,	J Neurosurg Anesthesiol. 2011 Jul;23(3):241-6.	Brain Tumor
19	Multimodality intraoperative MRI for brain tumor surgery.	Colen RR, Kekhia H, Jolesz FA.	Expert Rev Neurother. 2010 Oct;10(10):1545-58. Review.	Brain Tumor
20	Identification of disappearing brain lesions with intraoperative magnetic resonance imaging prevents surgery.	Sutherland CS, Kelly JJ, Morrish W, Sutherland GR.	Neurosurgery. 2010 Oct;67(4):1061-5;	術直前クオリティコントロール
21	Patient perception of combined awake brain tumor surgery and intraoperative 1.5-T magnetic resonance imaging: the Kiel experience.	Goebel S, Nabavi A, Schubert S, Mehdorn HM.	Neurosurgery. 2010 Sep;67(3):594-600; discussion 600.	覚醒下手術と術中MRIの心理学的影響
22	Cortical mapping and frameless stereotactic navigation in the high-field intraoperative magnetic resonance imaging suite.	Weingarten DM, Asthagiri AR, Butman JA, Sato S, Wiggs EA, Damaska B, Heiss JD.	J Neurosurg. 2009 Dec;111(6):1185-90.	術中MRIと皮質マッピング・ナビゲーション・覚醒下手術
23	Functional magnetic resonance imaging-guided brain tumor resection.	Hall WA, Kim P, Truwit CL.	Top Magn Reson Imaging. 2009 Jan;19(4):205-12.	術前撮影したfMRI画像を術中MRI画像に融合して手術に用いた症例検討
24	Awake craniotomy and intraoperative magnetic resonance imaging: patient selection, preparation, and technique.	Nabavi A, Goebel S, Doerner L, Warneke N, Ulmer S, Mehdorn M.	Top Magn Reson Imaging. 2009 Jan;19(4):191-6.	覚醒下手術と術中MRIの併用した症例検討
25	Intraoperative neurophysiological monitoring in an open low-field magnetic resonance imaging system: clinical experience and technical considerations.	Szelenyi A, Gasser T, Seifert V.	Neurosurgery. 2008 Oct;63(4 Suppl 2):268-75; discussion 275-6.	低磁場MRI手術室での術中電気生理学的モニタリング法の評価
26	Intraoperative magnetic resonance imaging: impact on brain tumor surgery.	Schulder M, Carmel PW.	Cancer Control. 2003 Mar-Apr;10(2):115-24.	術中MRIを用いた脳腫瘍手術症例の検討
27	Intraoperative MRI and adjuvant radiosurgery.	Schulder M, Jacobs A, Carmel PW.	Stereotact Funct Neurosurg. 2001;76(3-4):151-8.	術後定位的放射線治療のための術中MRIによる評価の検討
28	Intraoperative magnetic resonance imaging combined with neuronavigation: a new concept.	Nimsky C, Ganslandt O, Kober H, Buchfelder M, Fahlbusch R.	Neurosurgery. 2001 May;48(5):1082-9; discussion 1089-91.	ナビゲーションと術中MRIを併用する工夫の検討
29	Novel, compact, intraoperative magnetic resonance imaging-guided system for conventional neurosurgical operating rooms.	Hadani M, Spiegelman R, Feldman Z, Berkenstadt H, Ram	Neurosurgery. 2001 Apr;48(4):799-807; discussion	コンパクト術中MRIの検討
30	Craniotomy for tumor treatment in an intraoperative magnetic resonance imaging unit.	Black PM, Alexander E 3rd, Martin C, Moriarty T, Nabavi A, Wong TZ, Schwartz	Neurosurgery. 1999 Sep;45(3):423-31; discussion 431-3.	0.5T Double donutsを使用した症例検討
31	Image-guided neurosurgery with intraoperative MRI: update of frameless stereotaxy and radicality control.	Wirtz CR, Tronnier VM, Bonsanto MM, Knauth M, Staubert A, Albert FK, Kunze	Stereotact Funct Neurosurg. 1997;68(1-4 Pt 1):39-43.	術中での0.2T-MRIの使用した症例の検討
32	Intraoperative magnetic resonance imaging at 3-T using a dual independent operating room-magnetic resonance imaging suite: development, feasibility, safety, and preliminary experience.	Jankovski A, Francotte F, Vaz G, Fomekong E, Duprez T, Van Boven M, Docquier MA, Hermoye L, Cosnard	Neurosurgery. 2008 Sep;63(3):412-24; discussion 424-6.	術中3T-MRIの使用した症例の検討
33	Clinical indications for high-field 1.5 T intraoperative magnetic resonance imaging and neuro-navigation for neurosurgical procedures. Review of initial 100 cases.	Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, Watanabe T, Saito K, Kajita Y, Nagatani T, Wakabayashi T, Yoshida J.	Neurol Med Chir (Tokyo). 2009 Aug;49(8):340-9; discussion 349-50.	術中1.5T-MRIの使用した症例の検討

主な結果	結論・コメント	システム
		Low field 0.15
		High field, 3T
術前診断で脳腫瘍が疑われ、手術を予定された652例のうち、5例では麻酔導入後の術直前のプランニングの撮影で病変が消失していた。5例ともその後病変の出現なく、非腫瘍性病変であり、不必要な手術を回避できた。	腫瘍性病変が疑われる症例でも約1%で非腫瘍例があり、術直前のプランニング撮影の重要性を示した	High field,
術後5±2日後に、神経心理士によりインタビューが行われた。1例は術中不快だったと訴え、約1/3の患者は軽度から中等度の不快感(痛み、てんかん、不安、消耗)を訴えた。術中MRIに関しては問題なかった。1例で開頭時の騒音の追体験を訴えた。術前と術後は全例不満はなかった。	覚醒下手術と術中MRIの組み合わせは患者にとって許容できる範囲のものである。術中MRIを組み合わせることで手術時間は延長するが、患者の心象への影響はない。	High field, 1.5T
高磁場術中MRI手術において覚醒下手術(皮質マッピング)およびナビゲーションは問題なく可能であった。7例で全摘、3例で重要機能領域を残して摘出できた。恒久的な神経機能の悪化例はなかった。	高磁場術中MRIと覚醒下手術、術中皮質マッピング、ナビゲーションは両立できる。	High field
術前fMRIは術中MRIに融合して使用して正確であった。磁性体機器に関する事故などは生じなかった。	術前fMRIを術中MRIに融合することで有用性が向上する	High field, 1.5T
術中MRIと覚醒下開頭術の併用で大きな問題は生じなかった。	術中MRIと覚醒下開頭術の併用は患者に耐えうるものであった。	High field, 1.5T
platinum/iridium 電極は安全であり、画像に影響もしなかった。	低磁場MRIでは電気生理学的モニタリングが標準的なレベルで実施可能	low field, PoleStar N-20
追加切除を40例(36%)で実施。35例(31%)で摘出リスクありと判断できた。合併症はなし。	術中MRIは脳神経外科の正確性を向上する	low field, 0.12T PoleStar -N10
11例で部分切除し、定位的放射線治療を施行した	術後定位的放射線治療が可能な範囲までの腫瘍摘出度を評価できる	low field, 0.12T PoleStar -N10
全例で術中MRIを併用したナビゲーションが可能であった。	ナビゲーションと術中MRIを併用するために患者搬送がないシステムは有用である	low field, 0.2T
全例で適切な画像が得られた。合併症はなかった。	0.12-T MRIは普通の手術に導入可能で有用である	low field, 0.12T
全例で適切な画像が得られた。合併症はなかった。	術中MRIは安全な適切な腫瘍切除に有用	low field, 0.5T
mean accuracy of 0.83 +/- 0.31 mm	術中MRIの画像をupdateすることは有用	low field, 0.2T, Magnetom Open
術中3T-MRIに関連する深刻な事故はなかった。全摘出は18例中15例で達成できた。	術中3T-MRIシステムは手術に使用可能であった。	High field, 3T
術中MRIで手術方針変更したのは、グリオーマ群(27/38 cases, 71.1%), その他(13/49 cases, 26.5%)であった。亜全摘、グリオーマ手術では、拡大切除を31例中22例で(71%)達成。残存腫瘍と判断された22例中21例(95.4%)で追加切除。	脳腫瘍、特にグリオーマが術中MRIのよい適応	High field, 1.5T

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
34	Intraoperative high-field magnetic resonance imaging combined with fiber tract neuronavigation-guided resection of cerebral lesions involving optic radiation.	Sun GC, Chen XL, Zhao Y, Wang F, Hou BK, Wang YB, Song ZJ, Wang D,	Neurosurgery. 2011 Nov;69(5):1070-84; discussion	術中MRIと視放線DTIの併用の検討
35	Intraoperative MRI with integrated functional neuronavigation-guided resection of supratentorial cavernous malformations in eloquent brain areas.	Sun GC, Chen XL, Zhao Y, Wang F, Song ZJ, Wang YB, Wang D, Xu BN.	J Clin Neurosci. 2011 Oct;18(10):1350-4.	eloquent領域の海綿状血管腫における術中MRIとナビの併用手術の検討
36	Image-guided removal of supratentorial cavernomas in critical brain areas: application of neuronavigation and intraoperative magnetic resonance imaging.	Gralla J, Ganslandt O, Kober H, Buchfelder M, Fahlbusch R, Nimsky	Minim Invasive Neurosurg. 2003 Apr;46(2):72-7.	eloquent領域の海綿状血管腫における術中MRIとナビの併用手術の検討
37	Limited benefit of intraoperative low-field magnetic resonance imaging in craniopharyngioma surgery.	Nimsky C, Ganslandt O, Hofmann B, Fahlbusch R.	Neurosurgery. 2003 Jul;53(1):72-80; discussion 80-1.	頭蓋咽頭腫に対する術中MRIの検討
38	Changes in cyst volume following intraoperative MRI-guided Ommaya reservoir placement for cystic craniopharyngioma.	Vitaz TW, Hushek S, Shields CB, Moriarty T.	Pediatr Neurosurg. 2001 Nov;35(5):230-4.	頭蓋咽頭腫嚢胞に対する術中MRIを用いたOmmaya reservoir 留置の検
39	Intraoperative MR-guided instillation of phosphorus-32 for cystic craniopharyngiomas: case report.	Hall WA, Liu H, Truwit CL.	Technol Cancer Res Treat. 2003 Feb;2(1):19-24.	嚢胞性頭蓋咽頭腫に対する術中MRIを用いたP32を投与した症例報告
40	Image guided aneurysm surgery in a Brainsuite ioMRI Miyabi 1.5 T environment.	König RW, Heinen CP, Antoniadis G, Kapapa T, Pedro MT, Gardill A, Wirtz CR, Kretschmer T, Schmidt T.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:107-10.	術中MRIを用いた脳動脈瘤手術の検討
41	Near-real-time guidance using intraoperative magnetic resonance imaging for radical evacuation of hypertensive hematomas in the basal ganglia.	Bernays RL, Kollias SS, Romanowski B, Valavanis A, Yonekawa Y.	Neurosurgery. 2000 Nov;47(5):1081-9; discussion 1089-90.	基底核血腫除去における術中MRIの検討
42	Interventional MRI-guided stereotactic aspiration of acute/subacute intracerebral hematomas.	Tyler D, Mandybur G.	Stereotact Funct Neurosurg. 1999;72(2-4):129-35.	脳内血腫除去における術中MRIの検討
43	Successful DBS Surgery with Intraoperative MRI on a Difficult Neuroacanthocytosis Case.	Lim TT, Fernandez HH, Cooper S, Wilson KM, Machado	Neurosurgery. 2013 Apr 23.	術中MRIを用いてDBSを行った症例報告
44	Accuracy of postoperative computed tomography and magnetic resonance image fusion for assessing deep brain stimulation electrodes.	Thani NB, Bala A, Swann GB, Lind CR.	Neurosurgery. 2011 Jul;69(1):207-14;	術中MRIと術後CTでDBS電極の位置を評価(MRIとCTの
45	Accuracy of frame-based stereotactic magnetic resonance imaging vs frame-based stereotactic head computed tomography fused with recent magnetic resonance imaging for postimplantation deep brain stimulator lead localization.	Pezeshkian P, DeSalles AA, Gorgulho A, Behnke E, McArthur D, Bari A.	Neurosurgery. 2011 Dec;69(6):1299-306.	CT誘導定位脳手術とMRI誘導定位脳手術の精度の比較
46	Deep brain stimulation in intraoperative MRI environment - comparison of imaging techniques and electrode fixation methods.	Lee MW, De Salles AA, Frighetto L, Torres R, Behnke E, Bronstein JM.	Minim Invasive Neurosurg. 2005 Feb;48(1):1-6.	DBSにおけるfluoroscopyと低磁場、高磁場術中MRIの比較と3つの電極固定法の比較
47	Intraoperative magnetic resonance imaging findings during deep brain stimulation surgery.	Huston OO, Watson RE, Bernstein MA, McGee KP, Stead SM, Gorman DA, Lee KH, Huston J.	J Neurosurg. 2011 Oct;115(4):852-7.	DBS中の術中MRI所見の検討
48	Clinical and economic outcomes of low-field intraoperative MRI-guided tumor resection neurosurgery.	Makary M, Chiocca EA, Ermyny N, Antor M, Bergese SD, Abdel-Rasoul M, Fernandez S,	J Magn Reson Imaging. 2011 Nov;34(5):1022-30.	低磁場術中MRIシステムの併用の有無での治療結果、経済効果の比較(経済的には否定的)

主な結果	結論・コメント	システム
術中MRIと視放線DTIの併用は摘出率を向上(first and last iMRI scanning, 88.3% vs 95.7%; P < .01)。視野障害悪化例は3例(6.8%)。	術中MRIと視放線DTIの併用で視放線関連腫瘍の摘出が向上	High field, 1.5T
血管腫は全例で摘出。術後に新たな神経障害の合併はなし	eloquent領域の海綿状血管腫に対する術中MRIとナビゲーションの併用は有用	High field, 1.5T
全例で全摘出。14例(54%)で術中MRI使用。術後、1例(3.8%)で片麻痺、1例で1/4盲が出現。	eloquent領域の海綿状血管腫に対する術中MRIとナビゲーションの併用は有用	
Two of the eight patients with complete 全摘出8例中2例で再発	頭蓋咽頭腫では術中の追加切除に有効だが、再発防ぐ手段にはならない	low field, 0.2T Siemens Medical Solutions,
術中MRIを用いて頭蓋咽頭腫嚢胞に対するOmmaya reservoir 留置が正確に行えた	頭蓋咽頭腫嚢胞に対するOmmaya reservoir 留置で術中MRIが有用	low field, 0.5T SignaSP
術中MRIを用いて頭蓋咽頭腫嚢胞に対するP32投与が正確に行えた	頭蓋咽頭腫嚢胞に対するP32投与で術中MRIが有用だった1例	
術中・術後の合併症はなし。動脈瘤手術で必要な体位において制限がある。	複雑な動脈瘤手術には役立つかもしれない	High field, 1.5T
全摘出 8例(62%)、部分的出4例(31%)	血腫除去にオープン型術中MRIが有用	low field, 0.5T SignaSP
全例で血腫除去 70-90% 達成	血腫除去にオープン型術中MRIが有用	low field, 0.5T SignaSP
術中MRIガイドで正確なDBS留置	術中MRIでDBS留置が正確に行えた	high field, 1.5T
電極位置変位は 1.6 ± 0.2 mm, P < .001 with iPlan (BrainLab AG, Erlangen, Germany)、 1.5 ± 0.2 mm, P < .001 with Framelink (Medtronic, Minneapolis, Minnesota) software	MRIとCT画像融合を用いた電極位置の評価は利用可能なレベル	High field, 1.5T
CT誘導手術は術前の3T MRI画像とfusionし、MRI誘導手術は1.5T術中MRIを使用した。皮膚縫合直後に、CTもしくはMRIを撮像し術前のターゲットとのずれを計測した。AC-PC lineを基準としたものと、XYZ軸を基準とした2つの条件でのずれを計測比較したが、CT誘導、MRI誘導の間に統計学的な有意差は認められなかった。	CT誘導、MRI誘導手術に精度の差は認めなかった。コストや患者移動、出血の検出など考えるとCTが優れている面もある。	High field, 3.0T
定位脳手術における精度を低磁場術中MRIと高磁場術中MRIで比較したが、統計学的に有意さは認められなかった。また、電極固定についてMedtronic cap, ethyl methacrylate tith miniplate, Nabigus capの3種を比較した。Medtronic capが統計学的に有意にずれが大きかった。	1.5T術中MRIは、リアルタイムに近い電極位置の確認が可能である。0.2T, 1.5TMRIともにmicroelectrode recordingは可能であった。	low field, 0.2T High field, 1.5T
術中画像にて5例のsubdural hematoma, 3例のくも膜下出血、1例の脳実質内出血が認められた。くも膜下出血1例が症候性であった。頭蓋内airによるbrain shiftは144回認められた。	DBSにおいても安全に術中MRIが施行でき術中出血の把握に有用であった。これらの所見はほとんどが無症候であった。T2 FLAIR, T2 FSEが出血の把握に有用であった。	High field, 1.5T
初発例では合併症は術中MRI併用群で低かった(P=0.048)。再手術までの期間も術中MRI併用群で長かった(20.1M vs 6.7M, P=0.020)。再手術を行った例では術中MRI併用群のほうが費用効果が高かった。その他の効果について2群に差は認めなかった。過去の報告と比較して、高磁場MRIよりも低磁場MRIが優れている点は認めなかった。	発展途上段階にある現時点では、低磁場MRI導入、普及は正当化されない。	low field Pole Star N20

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
49	Epilepsy surgery with intraoperative MRI at 1.5 T.	Kelly JJ, Hader WJ, Myles ST, Sutherland GR.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):173-83.	1.5T術中MRIを併用したてんかん手術の経験、まとめ
50	Intraoperative magnetic resonance for the surgical treatment of lesions producing seizures.	Walker DG, Talos F, Bromfield EB, Black PM.	J Clin Neurosci. 2002 Sep;9(5):515-20.	術中MRIを併用したてんかん原性病変の手術についての検討
51	Use of intraoperative magnetic resonance imaging in tailored temporal lobe surgeries for epilepsy.	Buchfelder M, Fahlbusch R, Ganslandt O, Stefan H, Nimsky C.	Epilepsia. 2002 Aug;43(8):864-73.	側頭葉てんかん手術に対する術中MRIの有用性の検討
52	Standardization of amygdalohippocampectomy with intraoperative magnetic resonance imaging: preliminary experience.	Schwartz TH, Marks D, Pak J, Hill J, Mandelbaum DE, Holodny AI, Schulder M.	Epilepsia. 2002 Apr;43(4):430-6.	術中MRIを用いた海馬扁桃体切除の標準化による治療成績の向上
53	Intraoperative magnetic resonance imaging in epilepsy surgery.	Buchfelder M, Ganslandt O, Fahlbusch R, Nimsky C.	J Magn Reson Imaging. 2000 Oct;12(4):547-55.	てんかん手術における術中MRIの有効性の検討
54	Integration of functional neuronavigation and intraoperative MRI in surgery for drug-resistant extratemporal epilepsy close to eloquent brain areas.	Sommer B, Grummich P, Coras R, Kasper BS, Blumcke I, Hamer HM, Stefan H, Buchfelder M, Roessler K.	Neurosurg Focus. 2013 Apr;34(4):E4.	eloquent area近傍薬物抵抗性側頭葉外てんかんにおけるfunctionalナビゲーションと術中MRIを併用手術の有用性の検討
55	Improving the extent of malignant glioma resection by dual intraoperative visualization approach.	Eyupoglu IY, Hore N, Savaskan NE, Grummich P, Roessler K, Buchfelder M, Ganslandt O.	PLoS One. 2012;7(9):e44885.	術中MRIおよび蛍光術中診断を併用した悪性神経膠腫摘出率の向上を目指す
56	Usefulness of multimodal examination and intraoperative magnetic resonance imaging system in glioma surgery.	Sakurada K, Matsuda K, Funiu H, Kuge A, Takemura S, Sato S, Kayama	Neurol Med Chir (Tokyo). 2012;52(8):553-7.	マルチモダリティの検査と術中MRIがglioma手術に有用であることを示す
57	Optimizing the extent of resection in eloquently located gliomas by combining intraoperative MRI guidance with intraoperative neurophysiological monitoring.	Senft C, Forster MT, Bink A, Mittelbronn M, Franz K, Seifert V, Szelenyi A.	J Neurooncol. 2012 Aug;109(1):81-90.	術中MRIと電気生理学モニタリングを併用しeloquent area近傍gliomaの最適な摘出を行えるか検証する
58	Use of intraoperative MRI for resection of gliomas.	Cabrera HN, Almeida AN, Silva CC, Fonoff ET, Martin Md, Leite Cda	Arq Neuropsiquiatr. 2011 Dec;69(6):949-53.	術中MRI併用グリオーマ摘出術の経験
59	Integration of diffusion tensor-based arcuate fasciculus fibre navigation and intraoperative MRI into glioma surgery.	Zhao Y, Chen X, Wang F, Sun G, Wang Y, Song Z, Xu B.	J Clin Neurosci. 2012 Feb;19(2):255-61.	グリオーマ手術へのDTIにもとづいた弓状束のナビゲーションと術中MRIの統合の有効性の検討
60	Ganglioglioma of the right lateral ventricle approached with neuronavigation and intraoperative DTI. Case report and literature review.	d'Andrea G, Sessa G, Ferrante L.	Cent Eur Neurosurg. 2011 Nov;72(4):196-200.	ナビゲーションと術中視放線DTIを用いることで安全に摘出した側脳室gangliogliomaの報告と文献レビュー
61	Magnetic resonance imaging-guided focused laser interstitial thermal therapy for subinsular metastatic adenocarcinoma: technical case report.	Hawasli AH, Ray WZ, Murphy RK, Dacey RG Jr, Leuthardt EC.	Neurosurgery. 2012 Jun;70(2 Suppl Operative):332-7; discussion 338.	転移性脳腫瘍に対するMRIガイド下集束超音波温熱療法の症例報告

主な結果	結論・コメント	システム
26%の症例で術中MRIにて残存病変を認めて追加切除を行った。73%では完全に摘出が確認できた。1例で摘出腔の血腫をみとめ、再手術にて血腫除去を行った。撮像時間は30分で、術中MRIに要した時間のトータルは90分であった。てんかんのコントロールとしては70%でEngel 1となった。	てんかん手術における術中MRIは未だ初期段階で経験数も少ないが、術中MRIは有用である。RCTが望まれる。	High field, 1.5T
最初の術中MRIにて5例で残存腫瘍が認められたが、追加切除にて全例全摘された。フォローアップでは5例で発作なし、5例ではrare seizure, 3例は発作頻度の減少をみとめた。	malignant glioma以外のてんかん原性病変の摘出に術中MRIが有用であった。	low field, 0.5T
84%で術中と術後の画像は一致していたが、16%では摘出容積が一致しなかった。leionalの2例、nonlesionalの一例において追加切除がされた。Gliomaにおいては、全摘率が73%から87%に上昇した。Non-lesionalな例で個別に計画された側頭葉切除がなされたことが術中確認できた。	術中MRIはてんかん手術においても術中の位置、摘出率の確認において有用であった。	low field, 0.2T
術後10ヶ月の時点で全例seizure freeであった。術中T1 coronalが有用であった。T2, FLAIRからは有用な情報は得られなかった。術後MRIで完全な海馬扁桃切除が確認された。	完全な海馬扁桃切除を行うため術中MRI,特にT1 coronal画像が有用である。	low field, 0.12T PoleStar -N10
nonlesional32例では全例で手技が正確に把握できた。Leionalな29例では23例で最初の術中撮影で全摘出が確認できた。Eloquent areaに及ぶ病変は意図的に残存させた。3例で追加切除を行いlesionalの全摘率が79%から90%に上昇した。	術中MRIはてんかん手術においても摘出率およびdisconnectionの程度を評価するのに有用である。術中MRIを併用することにより、てんかん術後の神経心理学的な問題を減少させられるかもしれない。	low field, 0.2T
20%の症例で追加切除がなされた。全例で全摘出もしくは術前計画通りの摘出が行われた。術後Engel classes 1&2のコントロール良好例は84%で、seizure freeは72%であった。	functionalナビゲーションと術中MRIを併用しeloquent area近傍難治性側頭葉外てんかん病巣を安全かつ最大限に摘出できた。これにより、術後許容できる程度の神経脱落症状で、過去の報告よりも良好な発作コントロールを得た。	high field, 1.5T
31例は蛍光診断に基づいた摘出後、術中MRIにて全摘出が確認された。14例は蛍光診断では全摘出であったが術中MRIにて残存が検出された。Eloquent area腫瘍において、蛍光診断+術中MRIは摘出率を61.7%から100%に上昇させた。5-ALA蛍光診断単独に比べ、術中MRIを併用するとより安全に摘出率を向上させることができる。	術中蛍光診断+術中MRIの併用により術後合併症率をあげず摘出率を上昇させ得る。	high field
34%の症例で追加切除がなされ、最終的に66%の症例がGTRとなった。Surgical stageで検討すると、stage2,3では、追加切除により亜全摘率が上昇した。	術中MRIおよびナビゲーション、MEPモニタリングの併用がglioma手術に有用である。	High field, 1.5T
38.9%で術中MRI後追加切除がなされた。全摘は57.4%でなされた。平均摘出率は92.1%であった。7.4%で術後運動または知覚障害の著しい悪化があった。新たな神経脱落症状お呼び重度の脱落症状の出現と術中MRI後の追加摘出の有無には相関が見られなかった。	術中MRIと電気生理学的モニタリングを併用することでeloquent area近傍gliomaの合併症を増加させることなく摘出率を向上させることができる。	low field, Pole Star N20
通常通りの手術が施行された。2例でGTRがなされたが、病変が内包や中脳に進展した例では摘出が制限された。術中の撮像には約50分かかった。移動準備には約15分、移動は5分程度を要した。	術中MRIはglioma摘出に有用であるが、電気生理や機能解剖学の知識が合併症を避けるための基本となる。	High field, 1.5T
AFナビゲーションはAFを温存するのに有用であった。術中MRIはブレインシフトの補正および摘出率の評価に有用であった。術前失語をみとめた例では全例術後改善が見られた。術前失語が無かった例では、腫瘍再発により症状の悪化が見られた。	DTIにもとづいた弓状束のナビゲーションと術中MRIの統合は、AFを含むgliomaの手術において、最大限の摘出と言語障害の最小限にするため有用である。	High field, 1.5T
硬膜切開後術中MRIを撮像しDTIと3D dataのアップデートを行い、視放線を損傷しないようにして腫瘍を摘出した。摘出後、再び術中MRIを施行して、視放線が温存されていることと全摘されていることを確認することができた。	ナビゲーションと術中DTIを併用することで、術中の神経線維損傷による合併症を減らすことができる。	
術中MRIを用いて、集束超音波プローブの位置の確認と温度の確認を行った。安全に手技が施行できた。	MRIガイド下集束超音波温熱療法は、低侵襲であり深部脳腫瘍に対して新たな治療法の選択肢となり得る。	low field Pole Star N20

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
62	Quantification of glioma removal by intraoperative high-field magnetic resonance imaging: an update.	Kuhnt D, Ganslandt O, Schlaffer SM, Buchfelder M, Nimsky C.	Neurosurgery. 2011 Oct;69(4):852-62; discussion 862-3.	術中MRIがglioma摘出率の向上に寄与することを示す。
63	Use of movable high-field-strength intraoperative magnetic resonance imaging with awake craniotomies for resection of gliomas: preliminary experience.	Leuthardt EC, Lim CC, Shah MN, Evans JA, Rich KM, Dacey RG, Tempelhoff R, Chicoine MR.	Neurosurgery. 2011 Jul;69(1):194-205; discussion 205-6.	可動式高磁場術中MRIを併用した覚醒下glioma摘出術の経験
64	Benefit of 1.5-T intraoperative MR imaging in the surgical treatment of craniopharyngiomas.	Hofmann BM, Nimsky C, Fahlbusch R.	Acta Neurochir (Wien). 2011 Jul;153(7):1377-90; discussion	頭蓋咽頭腫の摘出術における1.5T術中MRIの有用性を示す
65	Two-dimensional high-end ultrasound imaging compared to intraoperative MRI during resection of low-grade gliomas.	Gerganov VM, Samii A, Giordano M, Samii M, Fahlbusch R.	J Clin Neurosci. 2011 May;18(5):669-73.	Low grade glioma摘出における術中MRIと超音波画像の有効性の比較。
66	Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract.	Maesawa S, Fujii M, Nakahara N, Watanabe T, Wakabayashi T, Yoshida J.	World Neurosurg. 2010 Jul;74(1):153-61.	錐体路近傍グリオーマ手術における術中tractographyと運動誘発電位の有用性を示す
67	High-field iMRI in glioblastoma surgery: improvement of resection radicality and survival for the patient?	Mehdorn HM, Schwartz F, Dawirs S, Hedderich J, Dorner L, Nabavi A.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:103-6.	iMRIの使用の有無によりhigh grade gliomaの術後KPSと生存率を比較検討した。
68	Implementation and preliminary clinical experience with the use of ceiling mounted mobile high field intraoperative magnetic resonance imaging between two operating rooms.	Chicoine MR, Lim CC, Evans JA, Singla A, Zipfel GJ, Rich KM, Dowling JL, Leonard JR, Smyth MD, Santiago P, Leuthardt EC, Limbrick DD, Dacey	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:97-102.	2つの手術室の間に天井稼働のIMRISを設置し、16ヶ月間に経験した各種脳神経外科手術について詳述した。
69	Information-guided surgical management of gliomas using low-field-strength intraoperative MRI.	Muragaki Y, Iseki H, Maruyama T, Tanaka M, Shinohara C, Suzuki T, Yoshimitsu K, Ikuta S, Hayashi M, Chernov M, Hori T, Okada Y.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:67-72.	574例のgliomaに対してiMRIの使用経験を報告した。
70	Impact of a low-field intraoperative MRI on the surgical results for high-grade gliomas.	Kiris T, Arica O.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:55-9.	13例の開頭グリオーマ手術に対してPole Starの使用経験を報告した。
71	Glioma extent of resection and ultra-low-field iMRI: interim analysis of a prospective randomized trial.	Senft C, Bink A, Heckelmann M, Gasser T, Seifert V.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:49-53.	悪性グリオーマ手術での全摘率をiMRI併用時と従来の方法とで比較検討した。
72	Intraoperative MRI (ioMRI) in the setting of awake craniotomies for supratentorial glioma resection.	Peruzzi P, Puente E, Bergese S, Chiocca EA.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:43-8.	覚醒下手術とiMRIを併用したグリオーマ主y術の症例を報告した。
73	Low field intraoperative MRI in glioma surgery.	Seifert V, Gasser T, Senft C.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:35-41.	低磁場術中MRIに関するreview

主な結果	結論・コメント	システム
25.9%で術中MRI後追加摘出がなされた。全摘例が20例増えた。GTR率は31.7%から38.6%に上昇した。残存腫瘍容積も統計学的に有意に減少していた。	術中MRIおよびナビゲーションを併用することで、合併症を増やすこと無く摘出率を上昇させることができる。	High field, 1.5T
全例安全に手術が施行された。術中MRI後6例に追加切除がされた。平均手術時間は7.9時間。術直後、神経症状の悪化が5例に見られたが、30日後は1例のみであった。	可動式術中MRIと覚醒下手術を併用することで、言語野近傍腫瘍の最大限の摘出を安全に行うことができる。	High field, 1.5T
手術アプローチはtransspenoidalが13例、subfrontal 10例、grontlateral 1例、transventricular 1例であった。80%で全摘出がなされた。術中MRI後追加摘出を行う異で4例16%で全摘となった。	1.5T術中MRIは、感度(93.8%)・特異度(88.9%)ともに高く残存腫瘍が可視化できることで良き出率向上に有用である。	High field, 1.5T
腫瘍経によらず、術中MRIの方がUSよりも残存腫瘍の検出に有用であった。USはほぼリアルタイムに画像を見ることができるが、手術が進むにつれ画像の解釈が難しく特に小さな残存や脳表に近いもので検出が難しい。	USよりも術中MRIが優れている。	High field, 1.5T
術中トラクトグラフィーにより術中錐体路が内側、外側にシフトしているのが示された。錐体路までの距離とMEPの刺激強度には良い相関が見られたが、術前の錐体路からの距離には相関しなかった。Subtortal以上の摘出が85.7%でおこなわれた。術後運動障害の悪化は42.8%に見られたが永続的な悪化は3.5%であった。	術中トラクトグラフィーは錐体路近傍glioma手術に有用で有り、MEPを併用することでさらに質の高い摘出術が可能となる。	High field, 1.5T
103例のうち60例にiMRIを使用した。mOSはiMRI使用群で37ヶ月、非使用群で10.3ヶ月であった。術前後のKPSは、iMRI群、非使用群でともに有意差はなかった。	iMRI使用群の方がGBMの生存率の改善がみられた。Eloquent近傍の"difficult" gliomaはiMRIを併用し、"simple" gliomaは従来の方法で手術が行われている。	High field
180例中74例、グリオーマ症例の54%でiMRI併用下で追加切除を行った。グリオーマ症例の93%で全摘が可能となった。(iMRI未使用群では65%であった。)手術時間は、グリオーマではiMRI群;466分、one room;485分、下垂体腺腫ではiMRI群;398分、one room;423分であった。iMRIの撮像に要する時間は準備に21分、撮像時間は平均41分であった。	movable iMRIは、2つの手術室の間で安全に使用することができた。長期間にわたり臨床、医療経済上与える影響を評価する必要がある。	High field, 1.5T
574例のグリオーマ摘出術に対して覚醒下手術は152例、MEPモニタリングは437例に併用した。5-ALAはルーチンに使用した。腫瘍摘出率は、組織学的グレードに関係なく95~98%であった。低磁場MRIで十分残存腫瘍は同定できた。5年生存率はgrade II;87%, grade III;69%, grade IV;19%であった。2006年の同施設からの報告に比べ経験を重ねるに連れて治療成績も向上している。	低磁場iMRI情報誘導下グリオーマ手術は、腫瘍摘出を最大限にし、特にgrade IIIで生存率の改善に貢献できた。	Low field 0.3T
イスタンブールの病院でグリオーマ13例に対してPole Star N-20の使用経験を報告した。GBMのmOSは15.6ヶ月であった。平均撮像時間は72分。平均撮像回数は2.4回。平均手術時間は172分であった。	Pole Star N-20 iMRIをは、リアルタイムナビゲーションとして有用であり、腫瘍の全摘と生命予後の改善に貢献できた。	low field, PoleStar N-20
5-ALAは使用しない条件下で、iMRIと従来の方法のrandomized control trialの検討である。neuronavigationは併用している。iMRI使用群は15例中14例で全摘、4例で追加切除を行った。従来の方法の群では、14例中9例(64.3%)が全摘であった。術後残存腫瘍容積は、iMRI群;0 cm ³ , convention群;0.065 cm ³ であった。両群間の生命予後については言及していない。iMRIとconvention groupでのrandomized control trialの初めての報告である。	iMRI併用手術により従来の方法と比べ腫瘍の全摘率が高率になる。	low field,
dexedetomidineとdeprivanとの併用が覚醒下開頭手術では有用。Pole Star N-20を使用するとシールドのため、copper wire tentなどにより患者の顔が隠れてしまうため、覚醒下手術を行うと患者に苦痛を強いる事に成るのではないかと。安全に手術は遂行できたと報告している。	覚醒下手術でもiMRIは安全に使用できる。患者の安全確保が麻酔科医によって確認する行程が通常の方法に比べ時間を要する。一方で患者の協力も不可欠であると結論している。	low field,
高磁場iMRIの方が画質が良く、撮像時間が短いため、低磁場iMRIより優れているが、高価であることが問題である。術中追加切除の是非のdecision makingには低磁場iMRIで十分である。iMRIを使用することによりgliomaのmOSが延長しているわけではないので、真の意味でiMRIの価値が証明されおらず、randomized control trialが待たれる。	ナビゲーションによってグリオーマ患者が治る訳ではない。しかし術後後遺症なく最大限に腫瘍を摘出することが最も重要な予後予測因子である。	low field, 0.5T

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
74	Development and design of low field compact intraoperative MRI for standard operating room.	Hadani M.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:29-33.	低磁場携帯型iMRIの開発と脳腫瘍手術への適応について紹介した。
75	Awake craniotomy, electrophysiologic mapping, and tumor resection with high-field intraoperative MRI.	Parney IF, Goerss SJ, McGee K, Huston J 3rd, Perkins WJ, Meyer FB.	World Neurosurg. 2010 May;73(5):547-51.	高磁場iMRIに電気生理学的マッピングを併用した手術法を紹介した。
76	Utilization of intraoperative motor mapping in glioma surgery with high-field intraoperative magnetic resonance imaging.	Hatiboglu MA, Weinberg JS, Suki D, Tummala S, Rao G, Sawaya R, Prabhu SS.	Stereotact Funct Neurosurg. 2010;88(6):345-52.	高磁場iMRIと電気生理学的モニタリング併用下グリオーマ手術における腫瘍摘出率と合併症率について検証する。
77	Influence of iMRI-guidance on the extent of resection and survival of patients with glioblastoma multiforme.	Senft C, Franz K, Blasel S, Oszvald A, Rathert J, Seifert V, Gasser T.	Technol Cancer Res Treat. 2010 Aug;9(4):339-46.	iMRIを併用することによりGBMの摘出率と生命予後に及ぼす影響を検討した。
78	Low field intraoperative MRI-guided surgery of gliomas: a single center experience.	Senft C, Franz K, Ulrich CT, Bink A, Szelenyi A, Gasser T, Seifert V.	Clin Neurol Neurosurg. 2010 Apr;112(3):237-43.	グリオーマ手術に対して低磁場iMRIの使用経験を報告し、グリオーマ手術に対する有用性を検討する。
79	Intraoperative magnetic resonance imaging.	Souweidane MM.	J Neurosurg Pediatr. 2009 Nov;4(5):465-6; discussion 466.	小児脳腫瘍摘出術にiMRIの是非についてのreview。
80	Optimizing costs of intraoperative magnetic resonance imaging. A series of 29 glioma cases.	Ramina R, Coelho Neto M, Giacomelli A, Barros E Jr, Vosgerau R, Nascimento A, Coelho G.	Acta Neurochir (Wien). 2010 Jan;152(1):27-33.	高磁場iMRIのコストを減らすべく方法を開発する。
81	Impact of intraoperative high-field magnetic resonance imaging guidance on glioma surgery: a prospective volumetric analysis.	Hatiboglu MA, Weinberg JS, Suki D, Rao G, Prabhu SS, Shah K, Jackson E, Sawaya R.	Neurosurgery. 2009 Jun;64(6):1073-81; discussion 1081.	グリオーマの摘出率を向上させるために追加切除を決定するためにiMRIの果たす役割について検討する。
82	Usefulness of intraoperative ultra low-field magnetic resonance imaging in glioma surgery.	Senft C, Seifert V, Hermann E, Franz K, Gasser T.	Neurosurgery. 2008 Oct;63(4 Suppl 2):257-66; discussion 266-7.	mobile MRIのグリオーマ手術に対する有用性について報告する。
83	Advanced computer-aided intraoperative technologies for information-guided surgical management of gliomas: Tokyo Women's Medical University experience.	Iseki H, Nakamura R, Muragaki Y, Suzuki T, Chernov M, Hori T, Takakura K.	Minim Invasive Neurosurg. 2008 Oct;51(5):285-91.	東京女子医大での術中MRI併用情報誘導下グリオーマ手術についての概要と治療成績の報告である。

主な結果	結論・コメント	システム
<p>通常の手術室にPole Star systemを設置した。簡便で低コストで設置が可能である。画像のノイズを減らすためにcopper meshを手術室の壁に設置する。通常の手術台、顕微鏡、手術器具を使用することができる。ナビゲーションも併用可能であるが、registrationは不要。本システムは、髄外/髄内腫瘍のみならず、血管腫、シャント、定位脳手術による生検術など幅広く応用が可能である。</p>	<p>低磁場iMRIは手術室で大変貴重な装置である。通常の手術室業務に影響を与えない。適応疾患として下垂体腺腫、グリオーマ(覚醒下手術を含む)、側脳室腫瘍、小病変の脳膿瘍、血管腫、転移性脳腫瘍である。</p>	<p>low field, 0.15T PoleStar</p>
<p>左側頭葉グリオーマに対してiMRIと電気生理学的モニタリングを併用して摘出術を施行した。Two room typeで覚醒下でも頭部をフレームに固定したままMRIガントリーへ移動し、撮影を行い合併症なく手術を完了した。MRI撮像後と追加切除時にdrapeをし直している。</p>	<p>高磁場iMRIでの手術体位やドレーピングは覚醒下手術を行ううえで問題となり得る。電気生理学的モニタリングとiMRIを併用した技術は、eloquent皮質にある大きな病変の摘出を安全に遂行できるうえで助けになる。</p>	<p>High field,</p>
<p>平均摘出率97%、術後運動麻痺については、一過性;14例(37%)、持続性;3例(8%)であった。神経モニタリングの精度にMRIの磁場は影響を与えず、90%でMEP/SEPが成功した。11例(28%)に術後DWIで虚血病変の所見を認めた。</p>	<p>術中皮質マッピングは高磁場MRI環境下で問題なく使用することができる。腫瘍の摘出度を上げても術後運動神経障害を最小限にとどめることができる。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>iMRIの使用の是非は術者の判断で決めた。iMRIは10例(23.3%)、conventionalは33例(76.7%)。全摘率は全体で29例(70.1%)(iMRI群;10例(100%)、conventional群;19例(61%))であった。mOS;全摘:73.9週、非全摘;46週、iMRI群;88.1週、convention;67.9週であった。年齢は予後因子ではなかった。</p>	<p>iMRIは、GBM摘出術において摘出率を増大し、患者の生命予後を改善することに役立っている。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>iMRI使用後の追加切除は103例中31例(30.1%)に行った。GBMのmOS;全摘(71例):57.8週、残存腫瘍あり(32例):33.8週であった。術中画像による追加切除有無と神経脱落徴候の頻度は差がなかった。</p>	<p>低磁場iMRIは脳神経外科手術に有用な装置であり、腫瘍摘出を最大限に、安全に遂行できるよう推進させるものである。今後は、グリオーマ手術におけるiMRIの真の意味での有用性を実証するために前向きなランダム化試験を行うことが必要となるだろう。</p>	<p>low field,</p>
<p>小児脳腫瘍に対してiMRIの有用性を報告した論文に関するeditorial letter。iMRIを設置するうえでコストも考慮しなくてはならないともコメントしている。またiMRIが使用できる施設では外科医が早いうちから腫瘍摘出操作を断念して術中画像に頼る傾向がある。</p>	<p>iMRIが手術結果に影響を及ぼすかどうかを評価するには、外科医主導の術中画像撮像を介した腫瘍摘出率に関する前向きな試験が必要になるだろう。そうすると術中画像の信頼性をもとに撮像装置が各脳神経外科施設に広まり、実用的になるだろう。</p>	<p>High field, 1.5T IMRIS</p>
<p>29例中12例でiMRIを使用したおかげで追加切除が必要だったことが判明した。Two room typeとone room typeとの比較を行っている。チームワークの重要性も言及している。術中MRIの平均撮像時間は28分であった。</p>	<p>手術室内に設置した高磁場iMRIが臨床的に有用で、低価格で、脳神経外科・神経放射線科医のチームにさらなる付加価値を提供することになるだろう。良質なiMRI装置を低価格で、世界中のいくつかの脳神経外科部門に広まるだろう。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>46例中29例(65%)で全摘が可能であった。そのうち15例がiMRIのおかげで追加切除し、腫瘍の全摘が達成できた。つまり29例中15例(52%)がiMRIが有用だったと報告している。永続的な神経脱落徴候は4例(9%)であった。非造影病変より造影病変の方が追加切除したことによる全摘率が多かった。</p>	<p>高磁場iMRIは、安全で信用できる装置であり、グリオーマの摘出率を的確に評価できる。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>追加切除については、造影腫瘍;42例中12例(28.6%)、非造影腫瘍;21例中10例(47.6%)に行った。全摘率は、造影腫瘍で52.4%から71.2%へ増加した。全摘/亜全摘を治療のゴールとしたとき、造影腫瘍は100%、非造影腫瘍は90.5%で達成できた。</p>	<p>低磁場Pole Star N-20はグリオーマ手術での摘出率の評価に有用である。術中画像撮像後引き続き摘出術を行うことにより特に造影病変で腫瘍の全摘率が増加している。しかし非造影病変は術後に撮像される1.5TのMRIに比べて全摘を術中に可視化することについてはそれほど特異的ではなかった。</p>	<p>low field, PoleStar N-20</p>
<p>600例に情報誘導下(術中MRI、覚醒下、リアルタイムナビゲーション併用)グリオーマ手術を施行し、46%で全摘。平均腫瘍容積0.025mlであった。症例を重ねるに連れて技術的に改善されてきた。術後神経学的合併症は14%であった。しかし83%がeloquent area近傍の手術であった。5年生存率はgrade II;90%、grade III;78%、grade IV;13%であった。</p>	<p>現行のナビゲーションシステムは術中所見を正確に反映していないため真の意味での"リアルタイム可視化神経ナビゲーション"の開発が重要である。ロボット手術についても言及</p>	<p>low field, 0.3T</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
84	Advanced MRI in the management of adult gliomas.	Jenkinson MD, Du Plessis DG, Walker C, Smith TS.	Br J Neurosurg. 2007 Dec;21(6):550-61. Review.	成人グリオーマに対するMRI画像診断技術の進歩について言及した報告である。
85	Usefulness of intraoperative magnetic resonance imaging for glioma surgery.	Muragaki Y, Iseki H, Maruyama T, Kawamata T, Yamane F, Nakamura R, Kubo O, Takakura K, Hori T.	Acta Neurochir Suppl. 2006;98:67-75.	神経機能予後をふまえたグリオーマの全摘術における低磁場0.3Tオープン型iMRIの有用性を検証した。
86	Intraoperative visualization for resection of gliomas: the role of functional neuronavigation and intraoperative 1.5 T MRI.	Nimsky C, Ganslandt O, Buchfelder M, Fahlbusch R.	Neurol Res. 2006 Jul;28(5):482-7.	機能的なナビゲーションと高磁場iMRIがグリオーマ摘出術にどのように影響しているのか検討した。
87	Impact of intraoperative MRI on the surgical results for high-grade gliomas.	Hirschberg H, Samset E, Hol PK, Tillung T, Lote K.	Minim Invasive Neurosurg. 2005 Apr;48(2):77-84.	iMRIを使用した際の手術治療の結果と生存率を改善するか検討した。
88	Intraoperative tumor segmentation and volume measurement in MRI-guided glioma surgery for tumor resection rate control.	Hata N, Muragaki Y, Inomata T, Maruyama T, Iseki H, Hori T, Dohi T.	Acad Radiol. 2005 Jan;12(1):116-22.	semiautomatic image segmentation法を用いて術中に腫瘍容積を定量し、摘出率を客観的に評価する方法を紹介した。
89	Survival rates in patients with low-grade glioma after intraoperative magnetic resonance image guidance.	Claus EB, Horlacher A, Hsu L, Schwartz RB, Dello-Iacono D, Talos F, Jolesz FA.	Cancer. 2005 Mar 15;103(6):1227-33.	自施設における術中MRIを用いた低悪性度神経膠腫の成績
90	A low-field intraoperative MRI system for glioma surgery: is it worthwhile?	Oh DS, Black PM.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):135-41. Review.	自施設における術中低磁場MRIを用いた神経膠腫手術の有用性
91	Volumetric assessment of glioma removal by intraoperative high-field magnetic resonance imaging.	Nimsky C, Fujita A, Ganslandt O, Von Keller B, Fahlbusch R.	Neurosurgery. 2004 Aug;55(2):358-70; discussion 370-1.	自施設における術中高磁場MRIを用いた神経膠腫摘出率の成績
92	Preliminary experience in glioma surgery with intraoperative high-field MRI.	Nimsky C, Ganslandt O, von Keller B, Fahlbusch R.	Acta Neurochir Suppl. 2003;88:21-9.	自施設における術中高磁場MRIを用いた神経膠腫摘出術の初期経験
93	Glioma resection in a shared-resource magnetic resonance operating room after optimal image-guided frameless stereotactic resection.	Bohinski RJ, Kokkino AK, Warnick RE, Gaskill-Shiple MF, Kormos DW, Lukin RR, Tew JM Jr.	Neurosurgery. 2001 Apr;48(4):731-42; discussion 742-4.	自施設における術中低磁場MRIを用いた神経膠腫手術の有用性
94	Clinical evaluation and follow-up results for intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgery.	Wirtz CR, Knauth M, Staubert A, Bonsanto MM, Sartor K, Kunze S, Tronnier	Neurosurgery. 2000 May;46(5):1112-20; discussion	自施設における術中MRIを用いた神経膠腫摘出術の成績

主な結果	結論・コメント	システム
MRI, MRS、分子生物学的遺伝解析結果との照合、perfusion MRI, diffusion tract imaging, iMRIについての概要を紹介する。	神経画像で組織診断、予後の予見や治療の反応性をモニタリングできるようになることが最終目標である。	N/A
腹部病変のスキャン用コイルが開頭手術用コイルに変更して像の精度が改善した。像が改善してから神経学的脱落症状、後遺症の頻度が減少し、手術の精度も改善したと報告している。	グリオーマ摘出術でiMRIを使用することにより、良好な機能予後をもって積極的な摘出術を可能にする。治療のアルゴリズム、画質の改良が良好な治療結果をもたらすためには重要である。	low field, 0.3T
137例のグリオーマ症例中全摘は55例(40%)であり、全摘した55例のうち術中画像のおかげで追加切除を行ったのは18例(33%)であった。44例(32%)は腫瘍がeloquent areaに浸潤していたためあえて追加切除は行わなかった。造影剤は繰り返して使用していない。Grade III, IVの方がgrade IIより残存病変にもかかわらず追加切除を行っていない症例が多かった。	iMRIと機能的ナビゲーションはグリオーマ手術の摘出を安全にする。しかしgrade IIIとgrade IVの多くは、eloquent areaに浸潤している場合全摘は不可能である。iMRIは残存腫瘍の局在を明らかにし、brain shiftの影響を代償してくれるのに有用である。	High field, 1.5T
iMRI使用後の追加切除は32例中14例(44%)に行った。造影剤によるartifactを減らすために環流・吸引装置を開発した。iMRIは残存腫瘍の検出に有効であったが、統計学的に全生存率の延長や合併症の頻度については有意差はなかった。mOS;iMRI群;14.5ヶ月、convention;12.1ヶ月であった。iMRIの有用性については、cost effectivenessについても検証する必要があると述べている。	iMRIは残存腫瘍を画像化にするのに有用な方法であるが、本研究では、従来の方法に比べgrade IVのグリオーマ患者で本手法を用いた手術では、その効用を証明することはできなかった。統計学的には2群間で有意差は得られなかった。(p=0.14)合併症率も従来の報告と差がなかった。	low field, 0.5T
今回の解析では術前の腫瘍容積は10.1~206.7mlの範囲であった。Fuzzy connectednessに基づく腫瘍容積の計測と手動で行った計測結果では相関係数;0.80、合致率;76%で、ほぼ同等であった。ソフトウェアプログラムと組み合わせた腫瘍容積の計測は、iMRI誘導グリオーマ手術における全摘にせまる症例において、きめ細かな定量化が可能であった。	Fuzzy connectednessに基づくソフトウェアプログラムに術中の腫瘍容積の計測が可能。本手法は、術者の主観ではなく、客観的に腫瘍摘出率を評価するのに有用であり、グリオーマ手術で残存腫瘍を最小限にするのに有用と考えられる。	low field, 0.3T
対象症例は全例、術中MRIを用いて低悪性度神経膠腫を手術したが、腫瘍摘出率が生存期間と再発率に関連している。	低悪性度神経膠腫もGTRすることで生存期間を延長させ、再発率を低下させる。	low field, 0.5T
術中MRI手術に伴う合併症の頻度は一般の開頭腫瘍摘出術のそれと変わらない。むしろ術中出血の早期発見に有用である。また、低悪性度神経膠腫の摘出術では、術中MRIとcortical mappingを併用することで、90%の患者が術後も神経機能を温存しえた。	グリオーマ手術において低磁場MRIを用いた手術を導入する価値はあるどころか、標準化されるであろう。	low field, 0.5T
術中MRIを利用することで残存腫瘍を同定し、追加切除することで残存腫瘍体積を明らかに減少させた。グリオーマ全グレードにおいてもその傾向はみられた。47例中17例(36.2%)が完全摘出ができたが、そのうちの7例(41.2%)が術中MRIにより追加切除することで完全摘出可能となった。	グリオーマ手術において高磁場MRIを用いた手術を用いると、新たな合併症を生じることなく摘出率を向上させることができる。	High field, 1.5T
術中MRIを用いることで残存腫瘍を同定し追加切除を可能とする。術中MRI手術に起因した新たな合併症が生じたものはない。また、画像の質は術中MRIであっても何ら通常の診断時の画像の質と遜色はなかった。	グリオーマ手術において高磁場MRIを用いた手術を用いると、新たな合併症を生じることなく摘出率を向上させることができる。さらに低磁場MRIより圧倒的に画像の質はよく、さまざまなシーケンスでの撮像可能でありこれが高磁場MRIを用いるメリットである。	High field, 1.5T
1例に帽状腱膜下膿瘍を合併した。術中MRI手技に起因したものではないようだが、12.5%に術後神経症状の悪化がみられたり、1例に術後硬膜外血腫形成で再手術が必要であり、3例に術後帽状腱膜下水腫が生じうち1例が再手術を要している。やや術後合併症の頻度が高い？	2 room systemではcost effectivenessが得られる。40例中21例(53%)は術中MRIを施行することで残存腫瘍の存在が明らかになり追加切除を行った。よって従来のナビゲーターによる腫瘍切除の不完全切除を補填するに術中MRIは有用である。	low field, 0.3T Hitachi AIRIS II
imaging artifactいわゆる手術手技に伴って生じるGd造影効果(neoenhancement)の存在には要注意である。	術中MRIを用いたグリオーマ摘出術では、その摘出率の向上に貢献し、残存腫瘍が無い群の方が明らかにPFSやOSを延長させている。	low field, 0.2T, Magnetom Open

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
95	Impact of the combination of 5-aminolevulinic acid-induced fluorescence with intraoperative magnetic resonance imaging-guided surgery for glioma.	Tsugu A, Ishizaka H, Mizokami Y, Osada T, Baba T, Yoshiyama M, Nishiyama J,	World Neurosurg. 2011 Jul-Aug;76(1-2):120-7.	自施設における術中MRIと5-ALAを併用した神経膠腫の成績
96	Correlation between contrast enhancement on intraoperative magnetic resonance imaging and histopathology in glioblastoma.	Kubben PL, Wesseling P, Lammens M, Schijns OE, Ter Laak-Poort MP, van Overbeeke JJ, van Santbrink H.	Surg Neurol Int. 2012;3:158.	膠芽腫が疑われた患者の術中MRIでのGd造影所見と組織型との対比
97	Correlation of the extent of tumor volume resection and patient survival in surgery of glioblastoma multiforme with high-field intraoperative MRI guidance.	Kuhnt D, Becker A, Ganslandt O, Bauer M, Buchfelder M, Nimsky C.	Neuro Oncol. 2011 Dec;13(12):1339-48.	自施設における術中高磁場MRIを用いた膠芽腫摘出率と生存期間の相関
98	Intraoperative MRI guidance and extent of resection in glioma surgery: a randomised, controlled trial.	Senft C, Bink A, Franz K, Vatter H, Gasser T, Seifert V.	Lancet Oncol. 2011 Oct;12(11):997-1003.	自施設における神経膠腫手術において、術中MRIを用いるか用いないかによる摘出率の差を、ランダム化比較試験を行った。
99	Intraoperative magnetic resonance spectroscopy for identification of residual tumor during low-grade glioma surgery.	Pamir MN, Ozduman K, Yildiz E, Sav A, Dincer A.	J Neurosurg. 2013 Feb 22.	自施設において低悪性度グリオーマを摘出する際、残存腫瘍であるかないかを術中MRSで鑑別できるかを検討。
100	3 T ioMRI: the Istanbul experience.	Pamir MN.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:131-7.	自施設における3T術中MRIの使用経験
101	The new generation polestar n20 for conventional neurosurgical operating rooms: a preliminary report.	Ntoukas V, Krishnan R, Seifert V.	Neurosurgery. 2008 Mar;62(3 Suppl 1):82-9; discussion 89-90.	自施設における新型PoleStar N20の使用経験
102	Intraoperative high-field MRI: anatomical and functional imaging.	Nimsky C, Ganslandt O, von Keller B, Fahibusch R.	Acta Neurochir Suppl. 2006;98:87-95. Review.	自施設における高磁場術中MRI画像の評価
103	Dual-room 1.5-T intraoperative magnetic resonance imaging suite with a movable magnet: implementation and preliminary experience.	Chen X, Xu BN, Meng X, Zhang J, Yu X, Zhou D.	Neurosurg Rev. 2012 Jan;35(1):95-109; discussion 109-10.	自施設におけるIMRIS使用初期経験
104	Intracranial surgery with a compact, low-field-strength magnetic resonance imager.	Schulder M.	Top Magn Reson Imaging. 2009 Jan;19(4):179-89.	自施設における低磁場術中MRI、PoleStar N20の使用経験
105	The role of intraoperative magnetic resonance imaging in complex meningioma surgery.	Soleman J, Fathi AR, Marbacher S, Fandino J.	Magn Reson Imaging. 2013 Feb 28.	自施設における髄膜腫手術に対する低磁場術中MRIの成績
106	Intraoperative magnetic resonance imaging and meningioma surgery.	Adeolu AA, Sutherland GR.	West Afr J Med. 2006 Jul-Sep;25(3):174-8.	自施設における髄膜腫手術に対する高磁場術中MRIの成績
107	Intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of cerebral metastases.	Senft C, Ulrich CT, Seifert V, Gasser T.	J Surg Oncol. 2010 Apr 1;101(5):436-41.	自施設における転移性脳腫瘍に対する術中MRI手術の成績

主な結果	結論・コメント	システム
5-ALA(-)のグリオーマでは術中MRIを用いることで摘出率が68.7%から89.2%まで向上している。一方、5-ALA(+)のものでは摘出率に術中MRIを加えてもあまり差はなかった。よって術中MRIの有用性は5-ALA(-)のグリオーマにより発揮される。	5-ALAを用いたグリオーマ摘出術は非常に有用ではあるが、これにより蛍光診断不能なほとんどの低悪性度グリオーマには特に術中MRIが有用である。	High field, 1.5T
術中MRIでのGd増強効果がthick linearないしtumor-likeを示す部位の組織は高悪性度腫瘍組織である。しかし、Gd増強効果がない、ないしはthin linearに増強される部位には腫瘍組織はないというわけではない。	術中MRIでのGd増強効果がthick linearないしtumor-likeを示す部位の組織は高悪性度腫瘍組織である。しかし、Gd増強効果がない、ないしはthin linearに増強される部位には腫瘍組織はないというわけではない。	low field, 0.15T
135例中19例が術中MRI施行後追加切除を行いうち9例がGTRなしえた。98%以上の摘出率症例の生存期間中央値は14か月に対し、98%未満では9か月であった。また、65歳以上の生存期間中央値が9か月に対し、65歳未満では12か月であった。	98%以上の摘出率と65歳未満であることが生存期間に寄与しており、術中MRIは前者の摘出率向上には十分貢献している。	High field, 1.5T
術中MRI使用群の全摘率は24例中23例(96%)、コントロール群では25例中17例(68%)であった。術後の神経脱落症状の出現率には両群間で差はなかった。	神経膠腫摘出術において、術中MRIは最適な切除(摘出)を行うためには非常に有用であることが証明された。	low field Pole Star N20
低悪性度グリオーマを摘出しその摘出腔周囲のT2高信号域が残存腫瘍か否かを術中MRSで同定した。結果、術中MRSにより残存腫瘍であることを検出する感度は85.7%、特異度は100%であった。	低悪性度グリオーマを摘出しその摘出腔周囲のT2高信号域が、術中MRSにより残存腫瘍か否かを高感度で同定可能である。	high field. 3.0 T
2 room systemゆえにcost effectiveであること。3TゆえにMRSやDTIが行えること。とくに低悪性度グリオーマの摘出術やTSSには威力を発揮する。TSS症例の1例に摘出部の出血を同定できたとのこと。残念ながらデメリットについての記述はなかった。	2 room systemゆえにcost effectiveであること。3TゆえにMRSやDTIが行えること。とくに低悪性度グリオーマの摘出術やTSSには威力を発揮する。	High field, 3.0T
half-sitting position以外のほとんどの体位に対応できる。画像の質は造影T1は問題ないが、T2画像はやはりかなり劣る。	導入に特別莫大なコストを要せず、通常の脳外科手術室に導入できる。またほとんどの術体位に対応可能である。しかし、T2画像の質はかなり劣り工夫が必要である。	low field, 0.15T PoleStar N-20
著者らの施設では初期には低磁場術中MRIを用いていたが、高磁場に変更しても1例も術中MRIに起因した事故は発生していない。高磁場MRIの方が圧倒的に画質がよく、とくに下垂体腫瘍に対するTSSでは残存腫瘍の同定に非常に有用である。	高磁場術中MRIはTSSの摘出率向上やグリオーマ摘出術の摘出率向上に貢献する。さらに術中DTIなどにより機能野近傍腫瘍の機能温存を追求した切除にも有用である。	High field, 1.5T
IMRIS導入の初期経験であるが、1例も導入に伴った合併症は発生していない。幅広い疾患に流用しているが、成績は非常に良い。ただし、head coilにより頭位・体位には一定の制限が生じてしまうことが欠点である。	高磁場術中MRIはTSSの摘出率向上やグリオーマ摘出術の摘出率向上に貢献する。さらに2 room systemのためcost-benefitも生まれる。	High field, 1.5T
PoleStarの場合ノイズ低減のため患者・手術台全体を囲い込むStarShieldを用いている。使用成績に目立ったものはないが、ナビゲーターを利用した腫瘍生検で穿刺針(カヌラ)を留置しながら術中MRIを撮影し正しい位置であるかが確認可能。	従来からのPoleStar使用経験と同様の結果である。簡便なシステムであり広く普及がのぞまれる。	low field, PoleStar
従来から残存腫瘍を生じやすい頭蓋底部や機能野近傍発生の髄膜腫における術中MRIによる摘出率の向上を診たが、1例のみ術中MRIにて残存が判明したのみ。また、1例で術直後の脳出血を認めたが、術中MRIでは全く同定できていなかった。	術中MRIにより髄膜腫の残存をなくす、もしくは摘出率向上への意義はない。	low field, Pole star N20
術中MRIにて残存腫瘍が同定できなかったのは1例のみ。33例で完全腫瘍切除(Simpson grade 1-3)がなされた。術後合併症の出現はなかった。	髄膜腫手術において術中MRIは、とくに頭蓋底発生のは周囲構造物との関連がよくわかるので有用である。またこの手技に伴う合併症もない。	
転移性脳腫瘍では開頭腫瘍摘出をおこなった全例は術中MRIで残存腫瘍は確認できなかった。しかし同時期に開頭術を行った膠芽腫例では20.6%に術中MRIにより追加切除が必要となった。また、嚢胞性転移性脳腫瘍には術中MRIを用いて確実に嚢胞穿刺・内容吸引を成し遂げた。	術中MRIを用いることで、転移性脳腫瘍も確実に摘出可能となり、嚢胞性のものであれば確実な嚢胞穿刺が可能となった。	low field,

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
108	Image-guided craniotomy for cerebral metastases: techniques and outcomes.	Tan TC, Black PM.	Neurosurgery. 2007 Jul;61(1 Suppl):349-56; discussion 356-7.	自施設における転移性脳腫瘍に対する術中MRI手術の成績
109	Intracranial metastatic parathyroid carcinoma: case report.	Tyler D 3rd, Mandybur G, Dhillon G, Fratkin J.	Neurosurgery. 2001 Apr;48(4):937-9; discussion 939-	自施設における副甲状腺がんの脳転移症例の経験
110	Minimally invasive neurosurgery within a 0.5 tesla intraoperative magnetic resonance scanner using an off-line neuro-navigation system.	Mursch K, Gotthardt T, Kroger R, Bublat M, Behnke-Mursch J.	Minim Invasive Neurosurg. 2005 Aug;48(4):213-7.	自施設における術中MRIとoff-line navigation system を利用した手術の成績
111	Advanced cranial navigation.	Mert A, Gan LS, Knosp E, Sutherland GR, Wolfsberger S.	Neurosurgery. 2013 Jan;72 Suppl 1:43-53.	光学式ナビゲーションシステムを標準とした場合の、最新式磁場式ナビゲーションシステム (S7 StealthStation AxiEM) の術中MRI手術室での精度の比較検証
112	Increased frameless stereotactic accuracy with high-field intraoperative magnetic resonance imaging.	Tanaka S, Puffer RC, Hoover JM, Goerss SJ, Haugen LM, McGee K, Parney IF.	Neurosurgery. 2012 Dec;71(2 Suppl Operative):ons321-7;	Frameless定位的精度の、高磁場術中MRI画像と術前画像を用いた場合で比較を行う。ナビゲーションはStealthStation Treon
113	Combined intraoperative magnetic resonance imaging and navigated neuroendoscopy in children with multicompartmental hydrocephalus and complex cysts: a feasibility study.	Paraskevopoulos D, Biyani N, Constantini S, Beni-Adani L.	J Neurosurg Pediatr. 2011 Sep;8(3):279-88.	術中MRIとナビゲーション誘導内視鏡を併用することによる、多嚢胞性水頭症に対する治療効果の妥当性の検討
114	The evolution of iMRI utilization for pediatric neurosurgery: a single center experience.	Moriarty TM, Titsworth WL.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:89-94.	腫瘍、膿瘍、嚢胞性病変に対するカテーテル留置など単独施設における治療経験の報告

主な結果	結論・コメント	システム
対象患者の96%にGTRなした。症候性の転移性脳腫瘍患者の70%が術後症状消失、14%が改善、12%が変化なかった。神経所見も93%は術前と同様ないしは改善した。平均1年間の経過観察中に局所再発をきたしたものは16%にとどまった。	転移性脳腫瘍患者に対する術中MRIを用いたナビゲーション下腫瘍摘出術は、安全な全摘の達成率を向上させ、結果、局所再発を抑え生存期間の延長につながる。	low field, 0.5T
44歳の男性。4年前に副甲状腺がんの摘出術を受けた既往あり。右下肢麻痺と高カルシウム血症した左前頭葉内側の転移性脳腫瘍。術中MRIを用いて全摘がなされ、術後13か月間、局所再発なく経過している。	一般に副甲状腺がんは合併する副甲状腺機能亢進により予後不良であるが、積極的な外科切除により改善が期待できる。	low field, 0.5T SignaSP
術中MRIとLOCALITEシステム(光学式ナビゲーションシステム)を併用すると小さく深部脳病変に対しても低侵襲な手技(小石灰・小開頭)で摘出可能である。	術中MRIとLOCALITEシステム(光学式ナビゲーションシステム)を併用すると小さく深部脳病変に対しても低侵襲な手技(小石灰・小開頭)で摘出可能である。	low field, 0.5T
5G外であれば磁場式ナビゲーションシステムでも精度を保つことが可能である。また磁場式のポインター器具はRigidなものだけではなく、先端にセンサーがついて吸引等に挿入可能なFlexibleなものもあり、また光学式のように赤外線カメラとポインターの遮断による追跡困難や手術操作の中断なく連続的なナビゲーションが可能な点も大きな利点である。	5G外であれば磁場式ナビゲーションシステムでも精度を保つことが可能である。また磁場式のポインター器具はRigidなものだけではなく、先端にセンサーがついて吸引等に挿入可能なFlexibleなものもあり、また光学式のように赤外線カメラとポインターの遮断による追跡困難や手術操作の中断なく連続的なナビゲーションが可能な点も大きな利点である。	high field. 3.0 T
頭皮上のFisucial markerを用いた位置精度の検討では、術中MRIを用いた方が定位の精度は高かった。特にPhantom実験では、深部のTargetに対する精度は、術中MRIの方が有意に高かった。	高磁場術中MRI画像を用いたFrameless定位の精度は、通常の術前MRI画像を用いた場合に比べて有意に高かった。	High field, 1.5T
術中MRIにより全例内視鏡の膜所見に相応した明瞭なMRI画像が提供され、Trajectoryや開窓するTargetの選定に有用であった。脳シフトや髄液腔の変化も確認され再度Targetを選定する場合にも、更新されたナビゲーション情報をもとに正確な部位への内視鏡の誘導・治療が可能であった。手術に伴う合併症も生じず。観察期間中の術後経過も問題なく、新たなシャント増設も必要なかった。不利な点としては、手術時間の延長、それに伴う感染のリスクの増加、コストに関してDiscussionで言及している。	ナビゲーション誘導による内視鏡と術中MRIの併用は、多嚢胞性嚢胞による複雑な水頭症治療にとって大変有用な治療手段である。術中MRIによって更新されたナビゲーション情報は、内視鏡に正確な位置情報を提供し、また内視鏡による直接的な映像は局所的な解剖の詳細を提供し、最適な開窓とカテーテルの位置決めに寄与する。	low field, 0.12-T PoleStar N-10 0.15-Tesla PoleStar N-20
テント上の腫瘍では適切で最大限の腫瘍摘出に術中MRIは有用であったが、後頭蓋窩腫瘍の摘出では術野上方の腫瘍の視野確保に制限があった。嚢胞性腫瘍の場合は、後頭蓋窩腫瘍であってもカテーテルの挿入のみで治療可能な場合もあり、長期予後が得られた症例が認められた。脳膿瘍や多房性嚢胞の穿刺にも術中MRIは有用であった。	1)小さい境界明瞭な腫瘍、2)大きい境界不明瞭で、摘出後脳シフトが生じる可能性が腫瘍、3)小さく、Eloquent領域近く、多房性や脳室内嚢胞に対するカテーテル留置・髄液流路を変える場合には、術中MRIは有用である。しかし後頭蓋窩病変へのアプローチには比較的適さないと考えられる。適応を十分に考慮すれば術中MRIは小児脳神経外科手術においてこれからも発展してゆくと考えられる。	low field, double donuts

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
115	Intraoperative portable 0.12-tesla MRI in pediatric neurosurgery.	Roth J, Beni Adani L, Biyani N, Constantini S.	Pediatr Neurosurg. 2006;42(2):74-80.	術中MRIの技術を小児脳神経外科手術に適用した場合の有用性について検討
116	Intraoperative MRI for interventional neurosurgical procedures and tumor resection control in children.	Kremer P, Tronnier V, Steiner HH, Metzner R, Ebinger F, Rating D, Hartmann M, Seitz A, Unterberg A, Wirtz CR.	Childs Nerv Syst. 2006 Jul;22(7):674-8. Epub 2006 Feb 1.	術中MRIによる小児腫瘍に対する摘出と脳神経外科的 Interventionの質のコントロールについての検討
117	Use of a compact intraoperative low-field magnetic imager in pediatric neurosurgery.	Samdani AF, Schulder M, Catrambone JE, Carmel PW.	Childs Nerv Syst. 2005 Feb;21(2):108-13; discussion 114. Epub 2004 Nov 25.	低磁場術中MRIを用いた小児脳神経外科手術の初期経験の報告
118	Interventional MRI-guided frameless stereotaxy in pediatric patients.	Vitaz TW, Hushek SG, Shields CB, Moriarty TM.	Stereotact Funct Neurosurg. 2002;79(3-4):182-90.	小児に対するMRIガイドでの定位脳手術の有効性と安全性
119	Intraoperative MRI for pediatric tumor management.	Vitaz TW, Hushek S, Shields CB, Moriarty T.	Acta Neurochir Suppl. 2003;85:73-8.	小児脳腫瘍に対する術中MRIの有効性
120	Importance of intraoperative magnetic resonance imaging for pediatric brain tumor surgery.	Yousaf J, Avula S, Abernethy LJ, Mallucci CL.	Surg Neurol Int. 2012;3(Suppl 2):S65-72.	小児脳腫瘍に対する高磁場術中MRIの有効性 (Intraoperative 3-Tesla MRI in the management of paediatric cranial tumours--initial experienceの追加論文)
121	Use of an ultra-low field intraoperative MRI system for pediatric brain tumor cases: initial experience with 'PoleStar N20'.	Kaya S, Deniz S, Duz B, Daneyemez M, Gonul E.	Turk Neurosurg. 2012;22(2):218-25.	小児脳腫瘍に対する超低磁場術中MRIの有効性
122	Intraoperative magnetic resonance imaging to reduce the rate of early reoperation for lesion resection in pediatric neurosurgery.	Shah MN, Leonard JR, Inder G, Gao F, Geske M, Haydon DH, Omodon ME, Evans J, Morales D, Dacey RG, Smyth MD, Chicoine MR.	J Neurosurg Pediatr. 2012 Mar;9(3):259-64.	小児脳外科手術において術中MRIは有効であるかどうかの検討
123	Intraoperative 3-Tesla MRI in the management of paediatric cranial tumours--initial experience.	Avula S, Mallucci CL, Pizer B, Garlick D, Crooks D, Abernethy LJ.	Pediatr Radiol. 2012 Feb;42(2):158-67.	小児脳腫瘍に対する高磁場術中MRIの有効性

主な結果	結論・コメント	システム
<p>腫瘍の摘出20例中、10例で腫瘍の残存を確認し、そのうち5例でGross total resectionとなった。20例中5例で情報を得るに値しない画像の劣化が認められた。内視鏡を使用した1例で、画像のひずみが認められた。術中MRIはシャント留置において、多嚢胞性水頭症に対して特に有用であったが、カテーテルがMRIで確認できなかった2例に対してはガドリニウムで満たしたカテーテルを一時的に留置してMRIで位置を確認後、改めて通常のカテーテルを留置した。術中MRIに伴う合併症は認められず。手術時間に関しても、経験により準備時間は30-45分程度、術中MRI撮像にかかる時間も10-15分程度と短縮した。</p> <p>0.12T術中MRIの利点は、(他の術中MRIと比較して)低価格であること、不必要な術前画像検査や全身麻酔に伴うリスクを軽減できることが挙げられる。</p>	<p>小児脳神経外科手術において、術中MRIは、術中画像によるナビゲーションの更新による腫瘍切除コントロール、最小限の術前術後画像検査による被爆や全身麻酔のリスクの低減、多嚢胞性で複雑な水頭症治療において有用である。</p>	<p>low field, 0.12T PoleStar N-10</p>
<p>腫瘍摘出に関しては、術中MRIにより14例40%でRadical resectionを達成した。21例60%で残存腫瘍を認めた。術後のMRIで29例83%でRadical resectionが達成された。術中MRIに伴う合併症はなし。手術所要時間は3.45-13.40時間(平均8.07時間)であった。平均26か月の観察期間で、Total resection例では、4例を除いて腫瘍の再発は認めていない。脳神経外科的Interventionに関しても、術中MRIによるInterventional procedureのモニタリングが可能であり、特に関連合併症はなし。手術所要時間は1.10-3.15時間(平均1.23時間)であった。</p>	<p>残存腫瘍の検出、脳シフトに対するナビゲーション情報の更新など、術中MRIによる腫瘍摘出のコントロールにより、摘出率を向上させることができた。</p>	<p>low field, 0.2T Magnetom Open</p>
<p>1例でS/Nが低くて画像の質の劣化あり。最初の10例は平均138分の手術時間の延長あったが、その後の10例は84分に短縮した。術中MRIに基づく合併症は認められなかった。</p>	<p>術中MRIは、小児脳神経外科においても、腫瘍の摘出、てんかん焦点、多嚢胞性水頭症などの治療方針に関して有益な情報をもたらす。PoleStaのようなコンパクトサイズの術中MRIは小児脳神経外科手術に適していると考えられ、画質などの進歩により、更に普及してゆくものと考えられる。</p>	<p>low field, 0.12T PoleStar -10</p>
<p>安全に合併症なく施行できた</p>	<p>安全に合併症なく施行できた</p>	<p>low field, 0.5T</p>
<p>開頭術だけではなく生検術等にも使用</p>	<p>有効であった</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>Complete resection 59% 術中MRI所見で追加切除32%</p>	<p>Complete resection 59% 術中MRI所見で追加切除32%</p>	<p>high field. 3.0 T</p>
<p>特に後頭蓋窩で有用であった。</p>	<p>特に後頭蓋窩で有用であった。</p>	<p>low field, Pole Star N20</p>
<p>小児脳神経外科手術において術中MRIの使用は2週間以内の再手術を減らせる傾向である。</p>	<p>小児脳神経外科手術において術中MRIの使用は2週間以内の再手術を減らせる傾向である。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>Complete resection 55% 術中MRI所見で追加切除30%</p>	<p>Complete resection 55% 術中MRI所見で追加切除30%</p>	<p>high field. 3.0 T</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
124	Resection of subependymal giant cell astrocytoma guided by intraoperative magnetic resonance imaging and neuronavigation.	Ren H, Chen X, Sun G, Hu S, Zheng G, Li F, Li J, Xu B.	Childs Nerv Syst. 2013 Feb 10.	SEGA摘出術における術中MRIとナビゲーションの有効性の検討
125	Transsphenoidal treatment of secondary empty sella syndrome using low field strength intraoperative MRI: case report.	Kubben PL, Cornips EM, Looij BJ, Beuls EA.	Minim Invasive Neurosurg. 2010 Aug;53(4):198-202.	低磁場術中MRIを用いた二次性 empty sella syndrome に対する経蝶形骨洞治療の報告
126	One year experience with 3.0 T intraoperative MRI in pituitary surgery.	Netuka D, Masopust V, Belsan T, Kramar F, Benes V.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:157-9.	下垂体腺腫手術における3T術中MRIの1年間の経験報告
127	Implementation of the ultra low field intraoperative MRI PoleStar N20 during resection control of pituitary adenomas.	Gerlach R, de Rochemont Rdu M, Gasser T, Marquardt G, Imoehl L, Seifert V.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:73-9.	自施設における下垂体腺腫に対する術中MRI(Pole Star)使用経験
128	Intraoperative magnetic resonance imaging-assisted transsphenoidal pituitary surgery in patients with acromegaly.	Bellut D, Hlavica M, Schmid C, Bernays RL.	Neurosurg Focus. 2010 Oct;29(4):E9.	術中MRIを用いた下垂体腺腫摘出術
129	Maximizing the extent of tumor resection during transsphenoidal surgery for pituitary macroadenomas: can endoscopy replace intraoperative magnetic resonance imaging?	Theodosopoulos PV, Leach J, Kerr RG, Zimmer LA, Denny AM, Guthikonda B, Froelich S, Tew JM.	J Neurosurg. 2010 Apr;112(4):736-43.	下垂体腺腫に対するトルコ鞍内視鏡手術の成績の、術中MRIを用いた検討
130	Intraoperative magnetic resonance imaging-guided transsphenoidal surgery for giant pituitary adenomas.	Baumann F, Schmid C, Bernays RL.	Neurosurg Rev. 2010 Jan;33(1):83-90.	自施設における巨大下垂体腺腫に対する術中MRIガイド下経蝶形骨手術の成績
131	Transsphenoidal pituitary macroadenomas resection guided by PoleStar N20 low-field intraoperative magnetic resonance imaging: comparison with early postoperative high-field magnetic resonance imaging.	Wu JS, Shou XF, Yao CJ, Wang YF, Zhuang DX, Mao Y, Li SQ, Zhou LF.	Neurosurgery. 2009 Jul;65(1):63-70; discussion 70-1.	低磁場術中MRIを用いた下垂体腺腫摘出術
132	Microsurgical treatment for giant and irregular pituitary adenomas in a series of 54 consecutive patients.	Xue-Fei S, Yong-Fei W, Shi-Qi L, Jing-Song W, Yao Z, Ying M, Liang-Fu Z.	Br J Neurosurg. 2008 Oct;22(5):636-48.	自施設における巨大不整下垂体腺腫の手術治療戦略について
133	Feasibility of Polestar N20, an ultra-low-field intraoperative magnetic resonance imaging system in resection control of pituitary macroadenomas: lessons learned from the first 40 cases.	Gerlach R, du Mesnil de Rochemont R, Gasser T, Marquardt G, Reusch J, Imoehl L, Seifert V.	Neurosurgery. 2008 Aug;63(2):272-84; discussion 284-5.	1.麻酔時間,手術時間をヒストリカルコホート100例と比較. 2.iMRIによる残存腫瘍の確認の sensitivity, specificityをを手術3ヶ月後の1.5T MRIの結果と比較.
134	Intraoperative magnetic resonance imaging in pituitary macroadenoma surgery: an assessment of visual outcome.	Jones J, Ruge J.	Neurosurg Focus. 2007;23(5):E12. Review.	iMRIはマクロアデノーマの視機能回復を向上させるか
135	Pituitary adenoma and concomitant Rathke's cleft cyst.	Noh SJ, Ahn JY, Lee KS, Kim SH.	Acta Neurochir (Wien). 2007 Dec;149(12):1223-8. Review.	下垂体腺腫と併存するラトケクレフトシストの1例報告

主な結果	結論・コメント	システム
3例で腫瘍残存、1例で別部位に硬膜外血腫があり、追加切除を行った。全例で全摘出できた。術中MRIとナビゲーションを用いたSEGA摘出術は有効。	3例で腫瘍残存、1例で別部位に硬膜外血腫があり、追加切除を行った。全例で全摘出できた。術中MRIとナビゲーションを用いたSEGA摘出術は有効。	high field, 1.5T
術中MRIはsella packingにおいてpacking不足やpackingのしすぎを避けるために有効	術中MRIはsella packingにおいてpacking不足やpackingのしすぎを避けるために有効	Low field
術中MRI撮影後に追加切除をしたのが48.7%、しなかったのが51.3%。術中MRIにより残存がみつき追加切除で全摘出となったのが22.4%あり。術中MRIは下垂体手術に有効	術中MRI撮影後に追加切除をしたのが48.7%、しなかったのが51.3%。術中MRIにより残存がみつき追加切除で全摘出となったのが22.4%あり。術中MRIは下垂体手術に有効	High field, 3.0T
術中MRIに関連した副作用や手術関連副作用は認められなかった。44例中7例において術中MRIで残存腫瘍を認め、追加切除が行われた。4例では手術変化と小さな残存腫瘍の間の解釈において困難な点があった。	Pole Star N20はナビゲーションガイド 下垂体腫瘍アプローチにおいて、安全で有用なツールである。画像の解釈にはある程度の経験が必要となるが、視神経系の減圧についてはしっかりと示された。	low field, PoleStar N-20
1例では髄液鼻漏が認められたが、術後の著明な出血例はなし。再手術が必要となる症例も認められなかった。30か月のフォローにおいて、初回手術34例では寛解率73.5%、以前に手術歴のある例では20%、totalで66.7%であった。術中MRIで残存腫瘍を発見できることで、寛解率は5.1%上昇した。	術中MRI(Pole star)を用いた経蝶形骨下垂体手術は、これまでに報告されている高磁場術中MRIを用いた結果と比較しても、十分に効果的で安全な方法であることが示された。	low field, 0.15T PoleStarN-20
27例中23例(85%)では内視鏡下の残存腫瘍評価が正しくなされたが、4例(15%)では術中MRIにて予期せぬ残存腫瘍を認め、3例で追加切除が行われた。結果、26例(96%)で予定した範囲の摘出が達成できた。	術中MRIが使用できない場合でも、鞍内内視鏡を用いることで腫瘍切除範囲を最大化でき、内視鏡は下垂体腫瘍の手術アプローチに有用なツールであると言える	
6人中5人において術中MRIで残存腫瘍が認められ、追加切除が行われた。4人でtotal resection, 2人でsubtotal resection(small cavernous sinus remnants)であった。	術中MRIを用いることで残存腫瘍や関連する危険な構造が容易に特定でき、巨大下垂体腺腫の経蝶形骨摘出に有用であった。	low field, 0.15T PoleStarN20
低磁場術中MRIは下垂体腺腫摘出術に有効、トルコ鞍上、海綿静脈洞内は描出不良	低磁場術中MRIは下垂体腺腫摘出術に有効、トルコ鞍上、海綿静脈洞内は描出不良	low field, 0.15TPoleStarN20
大きさ・形態に応じて6つの手術プロトコルを適応。Total removal 18例, subtotal removal 28例, partial removal 5例, deaths 3例という結果であった。	大きさ・形態に応じた手術プロトコルを用いることで治療成績が改善され、また重要な解剖学的構造の損傷が減った。神経内視鏡、ニューロナビゲーションシステム、術中MRIなどを用いることで、腫瘍切除率は向上した。	
術中MRIを行なうと麻酔時間が長くなる。(246.0+-50.7 versus 163.4+-41.2 min) 手術時間も長くなる(116.9+-43.9 versus 78.2+-33.0 min; P< 0.05, t test)。iMRIの感度は鞍上部88.9%,鞍内 85.7%, 右傍鞍部93.3%, 左傍鞍部100%であった。特異度は鞍上部90.5%で、鞍内、左右の傍鞍部とも100%であった。4例でiMRIの解釈は難しかった。腫瘍が小さいことと手術による影響である。adverse eventsはなかった。視神経路と下垂体柄を全例で描出できた。	超低磁場 0.15-T iMRIは安全で役に立つ。下垂体手術に於けるナビゲーションにふさわしいツールである。手術、麻酔時間がかかるが、摘出量をよく描出した。手術を妨げることなく PoleStar system 摘出率を向上させた。	low field, 0.15T PoleStar N-20
文献報告についての記述的なコメントと13例の経験例についてのコメントでなる論文。手術摘出率を向上させるのでたぶん視機能改善にも役立つであろうとの意見。	手術摘出率を向上させるのでたぶん視機能改善にも役立つであろうし下垂体手術に役立つ手段となるであろう。	PoleStar
下垂体腺腫と併存するラトケクレフトシスト	iMRIで、下垂体腺腫と併存するラトケクレフトシストを判別出来た	low field, 0.15T PoleStar N-20

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
136	Intraoperative MRI: technology, systems, and application to pediatric brain tumors.	Samdani A, Jallo GI.	Surg Technol Int. 2007;16:236-43. Review.	術中MRIの技術, システムの紹介と小児脳腫瘍への応用についてのレビュー
137	Transsphenoidal microsurgery for newly diagnosed acromegaly: a personal view after more than 1,000 operations.	Ludecke DK, Abe T.	Neuroendocrinology. 2006;83(3-4):230-9. Review.	末端肥大症に対する経蝶形骨洞手術の可能性と限界を報告する
138	Endoscopic transsphenoidal pituitary surgery with real-time intraoperative magnetic resonance imaging.	Anand VK, Schwartz TH, Hiltzik DH, Kacker A.	Am J Rhinol. 2006 Jul-Aug;20(4):401-5.	内視鏡と術中MRIを使用した場合の技術供覧, 成績, 合併症の報告
139	Intraoperative high-field magnetic resonance imaging in transsphenoidal surgery of hormonally inactive pituitary macroadenomas.	Nimsky C, von Keller B, Ganslandt O, Fahlbusch R.	Neurosurgery. 2006 Jul;59(1):105-14; discussion 105-14.	ホルモン学的に非活動性の下垂体マクロアデノマの治療結果におけるhigh-field(1.5 T)術中MRIの効果を評価すること
140	Endoscopic transsphenoidal pituitary surgery with intraoperative magnetic resonance imaging.	Schwartz TH, Stieg PE, Anand VK.	Neurosurgery. 2006 Feb;58(1 Suppl):ONS44-51; discussion ONS44-51.	内視鏡と術中MRIの併用を報告する
141	Transsphenoidal surgery in acromegaly investigated by intraoperative high-field magnetic resonance imaging.	Fahlbusch R, Keller B, Ganslandt O, Kreutzer J, Nimsky C.	Eur J Endocrinol. 2005 Aug;153(2):239-48.	GH産生下垂体マクロアデノマの蝶形骨洞手術に対する1.5T高磁場MRIによる効果.
142	Minimally invasive approach to management of pituitary adenomas.	Kanaan IN.	Minim Invasive Neurosurg. 2005 Jun;48(3):169-74.	下垂体腺腫治療における低侵襲的アプローチについての意見, コメント
143	Endonasal transsphenoidal removal of tuberculum sellae meningiomas: technical note.	Cook SW, Smith Z, Kelly DF.	Neurosurgery. 2004 Jul;55(1):239-44; discussion 244-6.	鞍結節髄膜腫の経鼻経蝶形骨洞的摘出術の3例報告, MRI使用は1例
144	Intraoperative magnetic resonance imaging to determine the extent of resection of pituitary macroadenomas during transsphenoidal microsurgery.	Bohinski RJ, Warnick RE, Gaskill-Shibley MF, Zuccarello M, van Loveren HR, Kormos DW, Tew JM Jr.	Neurosurgery. 2001 Nov;49(5):1133-43; discussion 1143-4.	経蝶形骨洞手術における, 摘出率, 術前の手術到達目標の達成の確認に用いられた術中MRIの安全性, 信頼性, 成果について調べた.
145	Intraoperative magnetic resonance imaging during transsphenoidal surgery.	Fahlbusch R, Ganslandt O, Buchfelder M, Schott W, Nimsky C.	J Neurosurg. 2001 Sep;95(3):381-90.	非機能性の鞍内と鞍上部のマクロアデノマに対して術中MRIが経蝶形骨洞的手術の効果を高められるか, の調査
146	Transsphenoidal resection of pituitary adenomas in an intraoperative MRI unit.	Martin CH, Schwartz R, Jolesz F, Black PM.	Pituitary. 1999 Aug;2(2):155-62.	術中MRIを用いて, 術中イメージガイドを実施し, 腫瘍を確認, 全摘を確認する事

主な結果	結論・コメント	システム
術中MRI装置の紹介と小児への適応に関する意見	iMRIは脳神経外科の標準的な技術になるだろ	
自己のアクロメガリーに対する手術のレビューで、iMRI使用に関しては、有効性の点で否定的	術中MRIとはほとんど関係ない。	文献引用
全例で画像が得られ、十分な画質がであった。視交叉の圧迫が解除され、鞍上部の腫瘍が摘出されていることが分かった。ビデオモニターの歪みがあったが、プラズマスクリーンにして解消した。IMRIで3例に残存腫瘍が有り摘出、2例に残存腫瘍が疑われたが術後変化、2例は残存腫瘍無し、最終的に術後MRIで腫瘍が有ったのは2例。	術中MRIと内視鏡の併用は下垂体手術において有効であった。	low field, 0.12T PoleStar N-10
術前に全摘出を意図した85例の患者で、術中画像で36例(42%)に残存腫瘍が認められ、34%(29/85)でさらなる摘出が行われ、21例で完全に摘出された。このように全摘出が58%から82%(49例から70例)になった。部分摘出を意図していた21例では、38%(8例)にさらなる摘出が追加された。Adverse eventはなかった。	術中MRIは摘出率の向上だけでなく、全摘のパーセンテージも上昇させる	High field, 1.5T
全例で画像が得られ、十分な画質がであった。ビデオモニターの歪みがあったが、プラズマスクリーンにして解消した。3例で残存腫瘍がIMRで発見され内視鏡で摘出、4例で残存腫瘍らしきものが確認されたが内視鏡で術後変化であった。8例では残存腫瘍はMRIでなかった。	術中MRIと内視鏡の併用は下垂体手術で利用可能であり陰極線ブラウン管の以上はプラズマあるいは液晶モニターで克服できる。安全に高い摘出率を得るに役立つ。	low field, 0.12T PoleStar N-10
23例中 5例は術中MRIで追加の切除を行った。その中2例は3ヶ月後に寛解に至った。2例ではGH基礎値とOGTTは2mg/l未満で、IGF-1のみ少し高く、1例は基礎値が5 mg/l未満でOGTT was 2 mg/l, IGF-1は高かった。 最後のMRIで14例は腫瘍の残存がなく、その中8例は寛解であった。 MRIで不完全摘出であった患者(4例は残存が疑われ、5例は意図的な部分摘出)は正常化に至らなかった。adverse eventsなし	全摘が全摘が考慮された18例では、術中MRIにより、内分泌学的正常化が33%から44%に増えた。そして、ほぼ正常化がさらに17%に上がった。術前GHレベルから、通常治療できないと考えられる患者を術中MRIは寛解に持ち込む助けになる。しかし、GHを腫瘍マーカーと考えると、術中高磁場MRIは残存腫瘍を全て確認出来るわけではない。	High field, 1.5T
	下垂体腺腫手術に対する著者の意見、コメント、が主で、術中MRIという単語が出てくるが、術中MRIについての内容は無し。	
鞍結節髄膜腫の経鼻経蝶形骨洞的摘出術の3例報告、MRI使用は1例	鞍結節髄膜腫の経鼻経蝶形骨洞的摘出術の3例報告、MRI使用は1例：腫瘍の全摘がMRIで確認出来た	1.5-T MRI operating suiteとのみ
30例全例で術中MRIが実施され、1例ではトルコ鞍部からの出血が確認され、開頭術に切り替えられた。残り29例中、最初のMRIで、10例(34%)で予定切除が達成され、19例(66%)では未達成であった。これらには追加切除が実施され、全29例で予定摘出に到達した。手術時間は少なくとも20分増加した。	術中MRIは安全で信頼でき、客観的に摘出量が分かった。術者はしばしば、残存腫瘍の量に愕き、追加摘出に有用であることがわかった。	low field, 0.3T Hitachi AIRIS II
44例中73%(32例)で超早期の腫瘍切除の評価が行われた。24例で腫瘍の残存が示唆され、15例で追加の切除が行われた。	術中MRIは同一手術中に切除が不十分な場合は、セカンドルックのオプションを提供でき、全摘出の成し遂げられる可能性を上昇させる。手術摘出の不十分な患者に、早期に次の治療を計画する事になる。	low field, 0.2T
本MRIユニット内で手術が行われ、病変の局在、周辺部構造、摘出の程度が観察された2例は術野観察のみで全摘と思われたがMRIで残存腫瘍が確認された。1例で脂肪塊充填後に成長する血塊が認められた。	経蝶形骨洞手術で術中MRIは、腫瘍の観察と摘出評価を可能にし、術中の合併症(出血)をモニターすることもできた。下垂体手術のよいツールとなりうる。	low field, 0.5T SignaSP

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
147	Application of low-field intraoperative magnetic resonance imaging in transsphenoidal surgery for pituitary adenomas: technical points to improve the visibility of the tumor resection margin.	Kim EH, Oh MC, Kim SH.	Acta Neurochir (Wien). 2013 Mar;155(3):485-93.	下垂体マクロアデノマに対する経蝶形骨洞手術での低磁場術中MRIの有用性の検証と腫瘍摘出境界の視認性向上のテクニックを述べる
148	Surgical treatment of pituitary adenomas using low-field intraoperative magnetic resonance imaging.	Tabakow P, Czyz M, Jarmundowicz W, Lechowicz-Glogowska E.	Adv Clin Exp Med. 2012 Jul-Aug;21(4):495-503.	低磁場術中MRIの下垂体手術に於けるテクニックについて述べると共に安全性, 有用性について評価する.
149	Impact of intraoperative MRI-guided transsphenoidal surgery on endocrine function and hormone substitution therapy in patients with pituitary adenoma.	Bellut D, Hlavica M, Muroi C, Woernle CM, Schmid C, Bernays RL.	Swiss Med Wkly. 2012 Oct 23;142:w13699.	術中MRIを利用したGH産生腫瘍と非機能性腺腫に関して, 術後下垂体機能と予後を分析する
150	Impact of ultra-low-field intraoperative magnetic resonance imaging on extent of resection and frequency of tumor recurrence in 104 surgically treated nonfunctioning pituitary adenomas.	Hlavica M, Bellut D, Lemm D, Schmid C, Bernays RL.	World Neurosurg. 2013 Jan;79(1):99-109.	104例の手術治療を実施された非機能性下垂体腺腫の摘出率と再発率に関する超低磁場術中MRIの影響を調査
151	Pituitary surgery: experience from a large network in Central Switzerland.	Berkmann S, Fandino J, Muller B, Kothbauer KF, Henzen C, Landolt	Swiss Med Wkly. 2012 Oct 1;142:w13680.	下垂体手術のスイス中央の大ネットワークでの治療成績を振り返り報告する
152	Transsphenoidal resection of sellar tumors using high-field intraoperative magnetic resonance imaging.	Szerlip NJ, Zhang YC, Placantonakis DG, Goldman M, Colevas KB, Rubin DG, Kobylarz EJ, Karimi S, Girotra M, Tabar V.	Skull Base. 2011 Jul;21(4):223-32.	北米での下垂体手術に於ける術中MRIの役割について報告する
153	Intraoperative MRI and endocrinological outcome of transsphenoidal surgery for non-functioning pituitary adenoma.	Berkmann S, Fandino J, Muller B, Remonda L, Landolt H.	Acta Neurochir (Wien). 2012 Apr;154(4):639-47.	内分泌学的転帰に術中MRIが与える影響を見る。(対照症例を準備)
154	Intraoperative MRI for transphenoidal procedures: short-term outcome for 100 consecutive cases.	Vitaz TW, Inkabi KE, Carrubba CJ.	Clin Neurol Neurosurg. 2011 Nov;113(9):731-5.	自験例100例を文献的報告の成績と比較し, 術中MRIの有用性を検討する.
155	Results of contemporary surgical management of radiation necrosis using frameless stereotaxis and intraoperative magnetic resonance imaging.	McPherson CM, Warnick RE.	J Neurooncol. 2004 May;68(1):41-7.	放射線壊死に対する手術に術中MRIは有効か
156	Intraoperative MRI-guided resection of glioblastoma multiforme: a systematic review.	Kubben PL, ter Meulen KJ, Schijns OE, ter Laak-Poort MP, van Overbeeke JJ, van Santbrink H.	Lancet Oncol. 2011 Oct;12(11):1062-70.	術中MRIがグリオブラストーマの切除の質を向上させるかどうかのシステムチックレビュー

主な結果	結論・コメント	システム
全摘を目指した198例中184例で全摘できたと思われたが、184例中4例で残存腫瘍があった。他の31例(229-198)は亜全摘を目指した手術であった。全体で47例で術中MRIにより追加の切除を行った。	術中MRIは摘出の範囲を向上させ、不測の残存腫瘍を減らす。画像のartifactを減らすことと、境界視認性を強調することが必須である。	low field, Pole star N20
15例顕微鏡, 3例内視鏡で手術。2例で出血があったがMRIに関連したものではない。16例で満足できる画像が得られた鞍内、蝶形骨洞内の止血が良く、ガドリニウム投与から5-15分に撮影した場合が良い画像であった。MRIに熟練していない医師の撮影は画像が悪い。MRIから離れると手術機材に磁場は影響しなかったが近すぎると、顕微鏡の焦点が合いにくかった。9例で残存腫瘍が有り、追加切除でその67%で全摘に至った。	下垂体手術における低磁場術中MRIは安全に実行でき、腫瘍切除率を向上させる。	low field, Pole star N20
101例の患者が寛解しその中、17.6%(26例)が術中MRIで追加切除されていた。全体では44例(29.7%)が術中MRIで残存腫瘍を確認され、追加摘出を実施した。術前62例、術後43例が下垂体機能不全で19例が手術で改善していた。経過観察期間の寛解は追加摘出無しで75.5%、追加摘出有りで59.1%。つまり17.6%(26例)が追加切除で寛解が増えたことになる。	結果に述べたような成績は術中MRIの影響であろう。	low field, Pole star N20
104例の連続例, 103例で観察, 観察期間34月で寛解は52.2%であった。寛解率に影響しているのは大きさや浸潤性、既存の手術が大きな因子であった。マクロアデノーマで初回手術は寛解率82.2%。術後最初の高磁場撮影と比べて、術中MRIのsensitivityは32.4%で擬陽性はなかった。術後拡大、再発の15例は増殖率の高かった。56例(53.8%)では術中撮影で残存腫瘍無し、48例で腫瘍残存あり、43例で追加の摘出を実施した。5例は安全を考え追加切除無し。追加摘出43例中37例で全摘となった。最終的に11例で腫瘍が残った。3ヶ月後のMRIで67.3%が寛解状態。術中MRIで寛解率は44.2%(46例)から67.3%(70例)と増加した。術中MRIの時間は平均30分であった。低磁場MRIの限界として、sensitivityの低さを上げている。	術中MRIにより転帰の改善が認められ、これは、radical resectionによる。寛解は腫瘍の性質による。術中MRIにより、再発が抑えられるかもしれない。	low field
ラトケ5例を含む115例のトルコ鞍内病変を術中MRIを使用して手術。術中MRIによる全摘率は有意に上昇していた。5例3%に再発45例(39%)で術中MRIにより残存腫瘍が確認された。36例(82%)で追加摘出実施。術後MRIと比較して82%が全摘であった。	術中MRIは全摘率を上げる。	low field, Pole Star N20
高磁場で59例。94%がマクロアデノーマ。17%鞍内、49%鞍上部伸展で海綿静脈洞伸展無し、34%は軽度の海綿静脈洞伸展あり。58%は術中MRIを参考に追加切除を行った。全摘を目指した中の67%で全摘が得られた。全摘率は鞍状伸展ありで40%から72%へ、鞍状伸展無しで55%から88%に上昇した。海綿静脈洞内浸潤の摘出率改善は統計学的に有意ではなかった。	総合的に見て、術中MRIは、切除のガイドとして安全性、摘出の意思決定、下垂体柄や正常下垂体の保存に役立つ。人、訓練、時間が必要になる。下垂体機能低下を避けられると思われるが、結果の観察には時間が必要である。また、術中の予期しない合併症が確認出来るので、長期的予後改善が期待されるが、大規模試験が必要であろう。	High field, 1.5T
術中MRIを使用した60例とそれに条件マッチングを行った過去の症例32例による比較研究。全摘率は術中MRIグループが85%、コントロールが69%と統計学的な差があった。経過観察は3.2(MRI群)年と6.8年であるが、腫瘍に対する治療は、MRI群では必要なく、コントロールは13%必要であった。内分泌学的には、下垂体機能低下が、MRI群29%、コントロール群45%であった。快復率はmri群59%、コントロール45%であった。内分泌学的な改善因子に、術中MRIが入っている。	非機能性下垂体腺腫の手術に術中MRIを使用することは、全摘率を上げるものの、術後の下垂体機能不全を増やすことはなかった。	Pole star N20
平均摘出率91%、全摘は76%。4cm以上の巨大腺腫で、4例にhydrocephalus 2, thalamic infarct 1, major arterial bleeding 1があった。	術中MRIは有効であった。長期的観察が必要	low field, 0.5T
放射線壊死に対する切除にフレームレス・ステレオタキシーのみで十分対応可能であって、術中MRIでの追加切除を要した例はなかった。	放射線壊死に対する手術ではグリオーマ手術と比べて術中MRIの利用価値は低い。	low field, 0.3T
2011年までの文献の精査では、術中MRIを用いたグリオブラストーマ切除により、完全切除の向上、QOL向上、生存の向上につながる可能性があるが、せいぜいレベル2のエビデンスレベルにとどまる。	術中MRIはGBM[切除に有効である可能性があるが、エビデンスに乏しい。	laser interstitial thermal therapy

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
157	Neurosurgery for brain tumors: update on recent technical advances.	Sherman JH, Hoes K, Marcus J, Komotar RJ, Brennan CW, Gutin PH.	Curr Neurol Neurosci Rep. 2011 Jun;11(3):313-9.Review.	脳腫瘍の治療に対する脳神経外科領域の進歩
158	Intraoperative magnetic resonance imaging.	Hall WA, Truwit CL.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:119-29.	術中MRI
159	Intraoperative imaging in neurosurgery: where will the future take us?	Jolesz FA.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:21-5.	術中MRIの未来に対する考察
160	Lows and highs: 15 years of development in intraoperative magnetic resonance imaging.	Schmidt T, König R, Hlavac M, Antoniadis G, Wirtz CR.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:17-20.	術中MRI低磁場と高磁場の経験
161	Development of intraoperative MRI: a personal journey.	Fahlbusch R.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:9-16.	術中MRI開発の経緯
162	From vision to reality: the origins of intraoperative MR imaging.	Black P, Jolesz FA, Medani K.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:3-7.	世界初の術中MRI、double donutsの開発の経緯と経験
163	Image guidance and neuromonitoring in neurosurgery.	Ng WH, Mukhida K, Rutka JT.	Childs Nerv Syst. 2010 Apr;26(4):491-502.	画像誘導手術、術中マッピング、電気生理学的モニタリングに関する総説
164	Advanced new neurosurgical procedure using integrated system of intraoperative MRI and neuronavigation with multimodal neuroradiological images.	Wakabayashi T, Fujii M, Kajita Y, Natsume A, Maezawa S, Yoshida J.	Nagoya J Med Sci. 2009 Sep;71(3-4):101-7.	術中MRI手術
165	Origins of intraoperative MRI.	Mislow JM, Golby AJ, Black PM.	Magn Reson Imaging Clin N Am. 2010 Feb;18(1):1-10.	
166	3-T ultrahigh-field intraoperative MRI for low-grade glioma resection.	Pamir MN, Ozduman K.	Expert Rev Anticancer Ther. 2009 Nov;9(11):1537-9.	low grad gliomaに対する術中MRI手術の有効性
167	Devices for targeting the needle.	Barbre CJ.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):187-91.	定位的手術装置
168	Three-tesla high-field applications.	Kim PD, Truwit CL, Hall WA.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):173-8.	3T術中MRI手術
169	Intraoperative MRI: safety.	Johnston T, Moser R, Moeller K, Moriarty TM.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):147-53.	術中MRIの安全
170	Intraoperative MR-guided neurosurgery.	Hall WA, Truwit CL.	J Magn Reson Imaging. 2008 Feb;27(2):368-75.	術中MRIの経験
171	The role of surgery in high-grade glioma--is surgical resection justified? A review of the current knowledge.	Pang BC, Wan WH, Lee CK, Khu KJ, Ng WH.	Ann Acad Med Singapore. 2007 May;36(5):358-63. Review.	HGGに対する術中MRIレビュー
172	Intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgery.	Yrjana SK, Tuominen J, Koivukangas J.	Acta Radiol. 2007 Jun;48(5):540-9. Review.	低磁場術中MRIの経験

主な結果	結論・コメント	システム
脳腫瘍に対する脳神経外科領域の進歩として、DTI, fMRI、術中MRI、5 ALA、laser interstitial thermal therapyがある。	術中MRIにより脳腫瘍の切除率の向上が得られる。	-
術中MRIの様々なシステムの紹介と総説	術中MRIは腫瘍の切除コントロールや、術中の脳の状態を客観的に評価できる。	
術中MRIの今後として、3TMRIの役割と、その他のモダリティ(PETなど)の利用。アミーゴ構想の紹介。	術中MRIとして高磁場術中MRIの導入と高度画像の利用、分子イメージングの併用、トポティクスとの併用が未来の一つである。	
低磁場でも大多数で十分な画像が取得できるが、11.5%では十分な画質が得られなかった。高磁場装置では撮像時間の短縮、画質の向上が得られる。	高磁場術中MRIは高画質かつ、解剖学的イメージにとどまらない評価が可能。	
当初0.2TオープンMRIを導入したが、以後1.5T高磁場装置を導入、ナビゲーションシステム手術室全体を統合するシステムを開発。	当初0.2TオープンMRIを導入したが、以後1.5T高磁場装置を導入、ナビゲーションシステム手術室全体を統合するシステムを開発。	
MRI画像の取得に患者の移動が伴わない、新規治療にMRI画像モニタリングを使用できる点などが利点だが、画像の質を最も良い位置に合わせる事が難しい点、非磁性体の道具の開発を要する点、低磁場である点などが欠点	術中MRIは現代の脳神経外科で最も重要な概念の一つになっており、ナビゲーションのブレインシフト問題の克服、切除コントロール、合併症の早期発見に有用である。	
術中MRIの利用は、有害事象の有意な増加なく、腫瘍切除率の向上がみられている。術中の超音波も併用すると有用である。	術中MRIは有害事象の有意な増加なく腫瘍切除率の向上に寄与する。マッピングや電気生理学的なモニタリングの併用も重要である。	
術中MRI手術18例において、平均切除率は95.7%であった。術後の神経症状の多くは一過性であった。	術中MRIおよび様々な画像の手術利用は有用である。	
	術中MRIは術前および術後画像を補完し、リアルタイムに近い画像を提供することで、ナビゲーションの精度の向上に寄与し、正常の脳構造・機能を温存しながら腫瘍の切除することにも貢献する。	
現在の定位的脳手術装置ではブレインシフトの問題が解決されていない。	今後の定位的脳手術装置では術中MRI対応を考慮にいれていく必要がある。なかでもsmart frameを用いたClearPointが開発中である。	
3T術中MRIは南部組織の解像度の高さ、機能的画像の点で有利である。術中MRI装置のシリンダー入り口での手術手技も可能である。	3T術中MRIの利用は多くの脳神経外科手術において将来的に標準となるものと考えられる。	High field, 3T
術中MRIは強い静磁場、パルス傾斜磁場、ラジオ波による物理的な危険に対する対策、感染対策、画像読影に関する注意などが必要である。	術中MRIは強い静磁場、パルス傾斜磁場、ラジオ波による物理的な危険に対する対策、感染対策、画像読影に関する注意などが必要である。	
0.5TMRIでの140例、高磁場MRIで200例の開頭術を経験した。後者によれば、39%で腫瘍の追加切除が必要であった。また感染は2%であった。	術中MRIでは高磁場装置が有利である。術中MRIの有用性は論を待たないところである。	
術中MRIは現在、コストに見合うかどうか、あるいは撮像の手間に見合うかどうか問われている。術中MRI装置を診断用として使用したり、耳鼻科用として使用したりすることで、コストの削減が可能である。また、MIRに使用する特殊な器具を少なくする努力もコスト削減に有効である。実際、著者らの施設の経験では、術中MRIの恩恵を受けると考えられる腫瘍の患者が多く通常の手術室で手術されている現状がある。	術中MRIはコスト削減が行なわれ、症例を選べば有効である。	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
173	Neurosurgical uses for intraoperative magnetic resonance imaging.	Mutchnick IS, Moriarty TM.	Top Magn Reson Imaging. 2005 Oct;16(5):383-95. Review.	術中MIRの歴史と役割
174	Future perspectives for intraoperative MRI.	Jolesz FA.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):201-13. Review.	術中MIRの今後の方向性
175	Intracranial neuronavigation with intraoperative magnetic resonance imaging.	Keles GE.	Curr Opin Neurol. 2004 Aug;17(4):497-500. Review.	術中MRIの役割と存在意義について
176	Intraoperative MRI in neurosurgery: technical overkill or the future of brain surgery?	Seifert V.	Neurol India. 2003 Sep;51(3):329-32. Review.	術中MRIの役割と存在意義について
177	Advances in magnetic resonance imaging of brain tumours.	Rees J.	Curr Opin Neurol. 2003 Dec;16(6):643-50. Review.	MRI撮像法の進歩の総説
178	Intraoperative imaging--MRI.	Ram Z, Hadani M.	Acta Neurochir Suppl. 2003;88:1-4.	GE Signa SP systemとOdin Pole systemの紹介
179	PoleStar N-10 low-field compact intraoperative magnetic resonance imaging system with mobile radiofrequency shielding.	Levivier M, Wikler D, De Witte O, Van de Steene A, Balériaux D, Brotchi J.	Neurosurgery. 2003 Oct;53(4):1001-6; discussion 1007.	PoleStarの設置環境や説明
180	Brain tumor resections guided by magnetic resonance imaging.	Kanan A, Gasson B.	AORN J. 2003 Mar;77(3):583-9.	double donut typの解説と症例報告
181	Intraoperative magnetic resonance imaging and magnetic resonance imaging-guided therapy for brain tumors.	Jolesz FA, Talos IF, Schwartz RB, Mamata H, Kacher DF, Hynynen K, McDannold N, Saivironporn P, Zao J.	Neuroimaging Clin N Am. 2002 Nov;12(4):665-83. Review.	
182	Future perspectives in intraoperative imaging.	Jolesz FA.	Acta Neurochir Suppl. 2003;85:7-13.	
183	Surgery for gliomas.	Whittle IR.	Curr Opin Neurol. 2002 Dec;15(6):663-9. Review.	aggressive resectionがgliomaの成績を変えたか
184	Neuronavigation: concept, techniques and applications.	Ganslandt O, Behari S, Gralla J, Fahlbusch R, Nimsky	Neurol India. 2002 Sep;50(3):244-55. Review.	ナビゲーションシステムの有用あうい
185	Intraoperative magnetic resonance: the future of surgery.	Gluch L, Walker DG.	ANZ J Surg. 2002 Jun;72(6):426-36. Review.	iMRIの有用性と他科への応用
186	Intraoperative magnetic resonance imaging: considerations for the operating room of the future.	Lipson AC, Gargollo PC, Black PM.	J Clin Neurosci. 2001 Jul;8(4):305-10. Review.	iMRIの機種を紹介
187	The present and future of cerebral tumor surgery in children.	Black PM.	Childs Nerv Syst. 2000 Nov;16(10-11):821-8.	小児脳腫瘍治療に関する総論 特にMRIに限局せず
188	Intraoperative magnetic resonance imaging.	Hall WA, Liu H, Martin AJ, Truwit CL.	Top Magn Reson Imaging. 2000 Jun;11(3):203-12. Review.	高磁場、低磁場での過去の報告

主な結果	結論・コメント	システム
術中MRIの歴史と、種類について、術中MRIの適応について言及。	術中MRIが有用であることは間違いがないが、コストベネフィットの視点で検証を今後すべきである。著者の印象では、術中MRIは今後標準的な医療になると考えるが、その機種や適応について明らかにする必要がある。	
術中MIRを用いた手術は、今後、多種類の画像の融合、3D化、ロボット手術、熱画像 (thermal ablation)、治療薬のデリバリーなどで利用されると考えられる。	今後、手術技術の向上、コストの削減、普及のためには、1. 術中の画像提示技術を向上させること、2. 画像や治療関連技術と治療装置と統合すること3. 、画像誘導手術の臨床的な有効性を証明することが必要	
術中MRIの紹介	これまでの報告から安全性と、手術における利便性、有効性が伺える。しかしながら、コストに見合うものかどうか、また患者の予後やQOL向上につながる科学的に妥当な証拠がまだない。	
術中MRIの紹介	術中MIRが過剰技術であるのか、未来の標準的装置であるのか現時点では不明だが、今後の展開によっては、十分標準的手術支援装置となりうる。	
なし		
感染 GE 3/65、Odin 2/127	単施設での治療成績	
短期間のトレーニングで習熟できる容易な操作性	低磁場MRIの有用性	low field, 0.12T PoleStar -N10
正確に生検可能	Brain shiftに対応	low field, 0.5T
摘出率と合併症についてのreview	evidence baseの調査が必要	
ナビゲーションにおける誤差は1.81mm		
熱の発生への注意、他科へのiMRIの応用の可能性		
特記すべき事項なし	有用性に関する前向き試験が必要	
術中MRIに関する資料とはせず		
網羅的な報告	低磁場、高磁場それぞれ一長一短	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
189	Intraoperative magnetic resonance image guidance in neurosurgery.	Lewin JS, Metzger A, Selman WR.	J Magn Reson Imaging. 2000 Oct;12(4):512-24. Review.	iMRI有用性の紹介
190	Intraoperative use of magnetic resonance imaging: neurosurgical applications and technical limitations.	Acevedo CV, Vinas FC, Dujovny M.	Crit Rev Neurosurg. 1999 Sep 24;9(5):279-	
191	Deep brain stimulation for movement disorders: patient selection and technical options.	Machado AG, Deogaonkar M, Cooper S.	Cleve Clin J Med. 2012 Jul;79 Suppl 2:S19-24.	movement disorder に対するDBSの現状についての総説
192	Beyond pharmacotherapy: surgical management.	Ryvlin P.	Epilepsia. 2003;44 Suppl 5:23-8.	TLEに対する治療の進歩
193	The role of intraoperative magnetic resonance imaging in glioma surgery.	Liang D, Schulder M.	Surg Neurol Int. 2012;3(Suppl 4):S320-7.	
194	Intra-operative 3-T MRI for paediatric brain tumours: challenges and perspectives.	Abernethy LJ, Avula S, Hughes GM, Wright EJ, Mallucci	Pediatr Radiol. 2012 Feb;42(2):147-57.	3TMRIの紹介
195	Update on pituitary surgery.	Swearingen B.	J Clin Endocrinol Metab. 2012 Apr;97(4):1073-	下垂体腫瘍手術でのiMRIの貢献
196	Intraoperative magnetic resonance imaging during surgery for pituitary adenomas: pros and cons.	Buchfelder M, Schlawer SM.	Endocrine. 2012 Dec;42(3):483-95.	下垂体腫瘍に対する手術の進歩、摘出率、高磁場、低磁場での比較あり
197	Intraoperative magnetic resonance imaging safety considerations.	Russell L.	AORN J. 2003 Mar;77(3):590-2.	iMRIの安全運用
198	Integrating an image-guided robot with intraoperative MRI: a review of the design and construction of neuroArm.	Sutherland GR, Latour I, Greer AD.	IEEE Eng Med Biol Mag. 2008 May-Jun;27(3):59-	手術ロボット (NeuroArm)と術中MRIの融合
199	Endoscopic endonasal resection of medial orbital lesions with intraoperative MRI.	Netuka D, Masopust V, Belsan T, Profantova N, Benes V.	Acta Neurochir (Wien). 2013 Mar;155(3):455-61.	術中MRIの眼窩病変経鼻手術に対する適応
200	Intraoperative magnetic resonance imaging and neuronavigation for transoral approaches to upper cervical pathology.	Dhaliwal PP, Hurlbert RJ, Sutherland GS.	World Neurosurg. 2012 Jul;78(1-2):164-9.	術中MRIの上位頸椎病変手術に対する適応
201	Intraoperative magnetic resonance imaging for skull base surgery.	Dort JC, Sutherland GR.	Laryngoscope. 2001 Sep;111(9):1570-	術中MRIの頭蓋底手術に対する適応
202	Intraoperative magnetic resonance imaging-augmented transoral resection of axial disease.	Kaibara T, Hurlbert RJ, Sutherland GR.	Neurosurg Focus. 2001 Feb 15;10(2):E4.	術中MRIの経口手術に対する適応
203	Transoral resection of axial lesions augmented by intraoperative magnetic resonance imaging. Report of three cases.	Kaibara T, Hurlbert RJ, Sutherland GR.	J Neurosurg. 2001 Oct;95(2 Suppl):239-42.	術中MRIの経口手術に対する適応
204	Initial experience with intraoperative magnetic resonance imaging in spine surgery.	Woodard EJ, Leon SP, Moriarty TM, Quinones A, Zamani AA, Jolesz FA.	Spine (Phila Pa 1976). 2001 Feb 15;26(4):410-7.	術中MRIの脊椎手術に対する適応
205	MR-Guided High-Intensity Focused Ultrasound: Current Status of an Emerging Technology.	Napoli A, Anzidei M, Ciolina F, Marotta E, Cavallo Marincola B, Brachetti G, Di Mare L, Cartocci G, Boni F, Noce V, Bertaccini L, Catalano C.	Cardiovasc Intervent Radiol. 2013 Mar 9.	MRガイド下の超音波熱凝固療法の実況のレビュー

主な結果	結論・コメント	システム
使用目的に応じて機種を選定を		
特に記載なし		
TLE手術に用いられることのみ		
撮像に必要な時間の紹介		high field. 3.0 T
残存腫瘍の確認に貢献	摘出率の向上に貢献	
iMRIでの摘出率の向上、低磁場では小さい腫瘍やparasellarでの描出が悪い	一長一短	
トレーニングコース、暗証番号による入室者のチェック、ラインでサークルをつくらない	関係者の教育が重要	low field, 0.5T
		High field,
3例中2例で有用だった 1例では腫瘍のオリエンテーションをつけるのに有用 1例では術中に発生した血腫発見に有用 1例は全摘出確認のみ	眼窩内病変では例によっては術中MRIは有用	high field. 3.0 T
1例で術中脊髄損傷。原因はナビゲーション精度の不良？	術中MRIとナビゲーションは、頭蓋頸椎移行部病変に対して、経ロアプローチの狭小なスペースでも病変の露出と同定に有用である	high field. 3.0 T
31例中11例で術中MRIの結果により手術手技に大きな変更が生じ有用だった 摘出度の評価、残存腫瘍の有無の評価に有用	術中MRIは下垂体腺腫および頭蓋底病変に対して極めて有用である	High field, 1.5T
術中に脊髄のdecompressionが確認できた 手術時間、手術手技に負の影響はなかった	術中MRIは外科的減圧に有用である	High field, 1.5T
術中に脊髄のdecompressionが確認できた 手術時間、手術手技に負の影響はなかった	術中MRIは外科的減圧に有用である	High field,
12例中10例で術中に病変部の適切な減圧が確認できた	脊椎手術において、術中MRIは正確で迅速な病変局在の同定と減圧評価に有用	low field, 0.5T
MRガイド下high-intensity focused ultrasoundについて適応疾患ごとに現状をレビュー(全科領域) 脳神経領域については脳腫瘍と機能的疾患に対する適応について記述 現在のところ限られた報告しかない	Recent introduction of MRI guidance systems featuring real-time thermal mapping technology, as well as the development of advanced focused US transducers, can significantly improve the efficacy of this modality, mostly in consideration of new clinical applications, such as transcranial brain ablation or	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
206	The evolution of neuroArm.	Sutherland GR, Wolfsberger S, Lama S, Zarei-nia K.	Neurosurgery. 2013 Jan;72 Suppl 1:27-32.	術中MRIとロボット手術(neuroArm)の開発経緯、現状と展望について
207	Advancing neurosurgery through translational research.	Lacey C, Sutherland G.	Neurosurgery. 2013 Jan;72 Suppl 1:176-81.	トランスレーショナルリサーチとしての術中MRI機器開発の紹介
208	The relationship between Cho/NAA and glioma metabolism: implementation for margin delineation of cerebral gliomas.	Guo J, Yao C, Chen H, Zhuang D, Tang W, Ren G, Wang Y, Wu J, Huang F, Zhou L.	Acta Neurochir (Wien). 2012 Aug;154(8):1361-70; discussion 1370.	MRSによるグリオーマ境界の描出
209	Brain shift compensation and neurosurgical image fusion using intraoperative MRI: current status and future challenges.	Kuhnt D, Bauer MH, Nimsky C.	Crit Rev Biomed Eng. 2012;40(3):175-85. Review.	術中MRIによるナビゲーション補正
210	Intraoperative MRI electrical noise and monitor ECG filters affect arrhythmia detection and identification.	Bailey M, Kirchen G, Bonaventura B, Rosborough K, Abdel-Rasoul M, Dzwonczyk R.	J Clin Monit Comput. 2012 Jun;26(3):157-61.	術中MRI装置の出すノイズの心電図モニターへの影響
211	Intraoperative DTI and brain mapping for surgery of neoplasm of the motor cortex and the corticospinal tract: our protocol and series in BrainSUITE.	D'Andrea G, Angelini A, Romano A, Di Lauro A, Sessa G, Bozzao A, Ferrante L.	Neurosurg Rev. 2012 Jul;35(3):401-12; discussion 412.	術中DTIと電気刺激マッピングの方法
212	Intraoperative visualization of fiber tracking based reconstruction of language pathways in glioma surgery.	Kuhnt D, Bauer MH, Becker A, Merhof D, Zolal A, Richter M, Grummich P, Ganslandt O, Buchfelder M, Nimsky C.	Neurosurgery. 2012 Apr;70(4):911-9; discussion 919-20.	言語野近傍腫瘍に対する術中DTI
213	3D XFEM-based modeling of retraction for preoperative image update.	Vigneron LM, Warfield SK, Robe PA, Verly JG.	Comput Aided Surg. 2011;16(3):121-	術中の脳変形のモデリング技術
214	A moveable 3-Tesla intraoperative magnetic resonance imaging system.	Lang MJ, Kelly JJ, Sutherland GR.	Neurosurgery. 2011 Mar;68(1 Suppl Operative):168-79.	3テスラMRI導入後120例の使用経験
215	Development of modified intraoperative examination monitor for awake surgery (IEMAS) system for awake craniotomy during brain tumor resection.	Yoshimitsu K, Suzuki T, Muragaki Y, Chernov M, Iseki H.	Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2010;2010:6050-3.	覚醒手術用マルチモニターシステムの開発
216	Intraoperative magnetic resonance imaging-guided tractography with integrated monopolar subcortical functional mapping for resection of brain tumors. Clinical article.	Prabhu SS, Gasco J, Tummala S, Weinberg JS, Rao G.	J Neurosurg. 2011 Mar;114(3):719-26.	術中電極刺激によるマッピングの有用性
217	Intraoperative MRI and functional mapping.	Gasser T, Szelenyi A, Senft C, Muragaki Y, Sandalcioglu IE, Sure U, Nimsky C.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:61-5.	脳機能ナビゲーションのシフトの問題を解決する方法の比較検討

主な結果	結論・コメント	システム
MRIボア内で作動するロボットの開発により、MRI撮影により手術のリズムを邪魔されないですむ 1例で手術コリドーが狭小のためロボットの使用ができなかった	It has positive implications for the future of robotic technology in neurosurgery in that the precision and accuracy of robots will continue to augment human capability.	high field. 3.0 T
トランスレーショナルリサーチを通じた脳神経外科の発展に関する概説。 IMRISはinvestigatorにより設立された企業であり、可動式MRIとロボット NeuroArmの開発と販売をてがけている。ふたつの商品を例にあげてトランスレーショナルリサーチをいかに成功させるかについて説明。	トランスレーショナルリサーチは、問題点に対する効果的な解決法を編み出してそれを広めることによって医療の発展に貢献している	high field. 3.0 T
術前にMRSを撮影し、その結果に基づいて術中にサンプリングを行い、その部位を術中MRIで確認した	MRSを指標にした摘出はGTR率をあげ生存期間を延長する	high field. 3.0 T
術中MRIの有用性を示すstudyのほとんどはretrospectiveでprospective randomised studyはまだひとつしかない。 多くの報告で、術中MRIの施行後に摘出率とGTR率の上昇がみられている。	術中MRIはmorbidityを上昇させることなく摘出率をあげるのに有用である。	
不整脈を含む心電図シミュレーターに術中MRIに起因すると同等のノイズを混入し、フィルター有もしくは無で心電図を作り、31人の麻酔科医に不整脈の検出をさせた 結果はノイズ、フィルターの有無にかかわらず、検出率(detection)が79.5%、正答率(identification)が62.5%だった。	麻酔医は、随時フィルターを調整することによって術中MRIに起因するノイズを低減し、不整脈を的確に検出できる	high field. 3.0 T
錐体路は病変から離れていた2例を除き全例でマッピングできた 全例で術中MRIにより全摘出を確認できた 術後の経過は全例で良好	intraoperative MRI with DTI allows us to treat complex surgery tumours that without its auxilium we would not be able to deal with.	High field, 1.5T
全例で言語皮質および関連線維の描出に成功 GTR達成率は40.63% 永続的な言語機能障害を残したのは1例のみ	術中MRIは機能障害を最小限にしつつ摘出度を最大限にするために貢献する	High field, 1.5T
術中MRI画像をもとにXFEM技術を用いて脳のbiomechanical modelを作成してretractionによる術中の脳変形を描出する方法を開発した	術中MRIの脳変形によるずれの調整に有用	-
導入後120例の手術を施行 system failureなし・1.5テスラ機に勝る画質・トラクトグラフィも可能・ボアが70cmに拡大 腹臥位14例・側臥位11例	3テスラ術中MRIは安全で信頼性が高く高画質イメージガイド手術の遂行に有用である	High field, 3.0T
術中MRI併用覚醒下手術で用いるために、患者の顔面、ナビゲーション、術野、BISモニターなどをリアルタイムで表示するシステムをすべてワイヤレスで構築しようとしたが、干渉のため一部を有線にすることで4例の手術に用いて有用だった	IEMASは覚醒科手術中の患者の状態把握と情報の共有に有用である	Low field 1.3T
DTIは術中開頭前の撮影で作成 術中MRIでもDTI作成してナビ登録 皮膚電極は耐磁性の針を使用 術中に錐体路を同定できたものは10例 刺激点と錐体路の距離が短いものほど術後に運動機能が悪化する傾向を認めた	皮質下単極刺激によるマッピングは術中MRI使用環境下での脳腫瘍剔出術において合併症低減に有用である	High field, 1.5T
脳機能ナビゲーションガイド下手術を行う場合の術中シフトの解決方法としてふたつの方法を比較 方法1: 術中MRIでfMRIを施行してアップデート 方法2: 術中MRIの繰り返し施行と電気刺激マッピングの併用	両者とも安全で有用な方法	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
218	Skin shift and its effect on navigation accuracy in image-guided neurosurgery.	Mitsui T, Fujii M, Tsuzaka M, Hayashi Y, Asahina Y, Wakabayashi T.	Radiol Phys Technol. 2011 Jan;4(1):37-42.	ナビゲーション精度向上のための術中MRI撮影
219	The combination of semi-sitting position and intraoperative MRI--first report on feasibility.	Gasser T, Senft C, Rathert J, Friedrich K, Hattingen E, Gerlach R, Seifert V.	Acta Neurochir (Wien). 2010 Jun;152(6):947-51.	半座位手術に対する術中MRIの応用
220	Simultaneous use of functional tractography, neuronavigation-integrated subcortical white matter stimulation and intraoperative magnetic resonance imaging in glioma surgery: technical note.	Gasco J, Tummala S, Mahajan NM, Weinberg JS, Prabhu SS.	Stereotact Funct Neurosurg. 2009;87(6):395-8.	術中MRIによるトラクトグラフィーと皮質下電気刺激の併用
221	Report of negative diffusion-weighted MR imaging during tumor resections using intraoperative MRI.	Prabhu SS, Levine NB, Rao G, Shah K, Weinberg J.	Stereotact Funct Neurosurg. 2009;87(5):304-8.	脳腫瘍摘出時に術中MRIを用いた拡散強調画像で偽陰性を示した症例の検討
222	Updating navigation with intraoperative image data.	Nimsky C, von Keller B, Schlaffer S, Kuhnt D, Weigel D, Ganslandt O, Buchfelder M.	Top Magn Reson Imaging. 2009 Jan;19(4):197-204.	術前・術中MRI画像を用いた registration coordinate system によるナビゲーション情報更新の有用性
223	Electrical noise in the intraoperative magnetic resonance imaging setting.	Dzwonczyk R, Fujii JT, Simonetti O, Nieves-Ramos R, Bergese SD.	Anesth Analg. 2009 Jan;108(1):181-6.	MRI対応の麻酔器モニターによる電氣的ノイズと術中MRIによる電氣的ノイズ、各々の検討
224	Compensation of geometric distortion effects on intraoperative magnetic resonance imaging for enhanced visualization in image-guided neurosurgery.	Archip N, Clatz O, Whalen S, Dimaio SP, Black PM, Jolesz FA, Golby A, Warfield SK.	Neurosurgery. 2008 Mar;62(3 Suppl 1):209-15; discussion 215-6.	自家製の解析モデルを用いて幾何学的な歪み補正をした術中0.5T-MRI画像と術前3T-MRI画像の融合によるナビゲーション情報補正精度の検討
225	Fully functional MR-compatible flexible operating table resolves the neurosurgeon's dilemma over use of intraoperative MRI.	Matsumae M, Fukuyama H, Osada T, Baba T, Mizokami Y, Atsumi H, Ishizaka H, Tsugu A, Tominaga J, Shiramizu H.	Tokai J Exp Clin Med. 2008 Apr 20;33(1):57-60.	自施設におけるMR対応フレキシブル手術台の使用経験
226	Intraoperative MRI with a rotating, tiltable surgical table: a time use study and clinical results in 122 patients.	Lewin JS, Nour SG, Meyers ML, Metzger AK, Maciunas RJ, Wendt M, Duerk JL, Oppelt A, Selman	AJR Am J Roentgenol. 2007 Nov;189(5):1096-103.	自施設における術中MRIの施行時間および手術方針への影響についての検討

主な結果	結論・コメント	システム
<p>スギタ式4点ピン固定による頭皮のずれは平均5.34mm ナビゲーションの精度は、術前画像に基づいた場合4.06mmでピン固定後術中MRIに基づいた場合は2.51mm</p>	<p>頭部固定により頭皮のずれが生じナビゲーション精度の低下につながるが、頭皮固定後の術中MRI撮影によりこれを改善できる</p>	<p>low field, 0.4T</p>
<p>70歳女性の頭頂-後頭葉の膿瘍に対して半座位術中MRIガイド下に穿頭穿刺術を行った 半座位でセットアップののち、撮影に際してはベッド全体を倒して頭部をガントリーの中におさまるようにした 術中の体位変換による循環系の合併症なし</p>	<p>半座位手術での術中MRIは可能である</p>	<p>low field, 0.15T</p>
<p>右頭頂葉の再発GBMに対する摘出術において、術中MRIにより作成したトラクトグラフィーをナビゲーションに登録し、術中に皮質下電気刺激を単極刺激電極により行い、合併症なく摘出することに成功した</p>	<p>術中MRIによる機能的ナビゲーションと術中刺激マッピングの併用により安全な摘出に成功したはじめての症例の報告</p>	
<p>M. D. Anderson Cancer Centerで脳腫瘍摘出術を行った3例(1.4%, 3/220例)において、術中MRIの拡散強調画像では陰性所見を示したが、3例とも手術同日に、手術室外で拡散強調画像検査を施行され、新たな梗塞巣を認めた。それに伴い、一時的に神経症状の悪化を認めたが、3例とも1ヶ月以内に術前レベルまで、神経症状の改善を認めた。偽陰性を示した機序としては、diffusion-perfusion mismatchや、撮影後に ischemic eventが生じたことと等が、推測された。</p>	<p>脳腫瘍摘出時に、術中MRIを用いた拡散強調画像は早期のischemic eventを同定するのに有用であるが、陰性所見を示した場合は、偽陰性所見を示している可能性があることにも留意する必要がある。</p>	<p>High field, 1.5T BrainSUITE</p>
<p>University Erlangen の使用されているregistration coordinate system は、術前画像と術中画像との位置のズレを自動的に調整して、brain shiftを補正する機能を持ち、ナビゲーション情報の更新をする際に、再登録のステップを行う必要がない。全例、信頼性高くナビゲーション情報の更新が可能であった(撮影から更新完了までは、14~21分)。ナビゲーションの位置誤差は、1.33±0.63mmであった。ナビゲーション情報の更新により、94%の症例で、追加切除やカテーテルの位置の変更等、ストラテジーの変更がなされた。残り7例においては、手術のストラテジーには影響しなかった。</p>	<p>ナビゲーションのregistration coordinate systemにより、患者登録を繰り返すことなく、簡便かつ確実に、術中画像情報の更新を行うことができた。更新されたナビゲーションは、摘出率を向上させ、ブレインシフトの影響を補正することができた。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>0.15T Pole starでの検討。麻酔器モニターはVeris MR(MEDRAD, Indianola, PA)を使用。麻酔器モニターによる電氣的ノイズ(EN)の評価は、術中MRIシステムにおけるEN 分析アルゴリズムを用いて評価し、ノイズは製造者の仕様書内で許容されるレベルであった。一方、術中MRIによる電氣的ノイズは、心電図モニター波形の変化で評価されたが、ECG ノイズフィルターを用いても、20Hzの干渉波は除去できなかった。また用いるフィルターの種類により、心電図波形の形にも違いが認められた。このため、ST変化、不整脈等の評価が困難と考えられた。</p>	<p>麻酔科医は、術中MRIを用いる手術において、術中MRIの心電図への影響について認識し、有用な波形を得るために、心電図ノイズフィルターをできるだけ電氣的ノイズの影響が少なくなるように調節すべきである。一方で、術中MRI撮影中のECGの診断価値は、低下することも認識する必要がある。</p>	
<p>歪み補正を行っていない術中0.5T-MRI画像と術前3T-MRI画像との間に認められた幾何学的な歪みは、平均 10.3mm (2.91mm- 21.5mm)であった。独自に開発した幾何学的歪み補正のアルゴリズムを用いると、その歪みは平均1.95mmまで改善した。</p>	<p>本studyにより、術中0.5T-MR画像は術前の3T-MR画像と比較して歪みが大きいことがわかった。我々の補正方法により、残存する幾何学的歪みは全症例において、無視できる程小さいものであり、ファントムによる評価でも定量化できた。我々が導入した技術により、術前のDTIやfMRI画像を高い精度で術中MRI・ナビゲーションシステムに融合することができる。</p>	<p>low field, 0.5T</p>
<p>東海大学で使用されているMR対応フレキシブル手術台は、二つの関節を持ち、三つのパートに分かれている。手術時は、二つの関節部で手術台を曲げることが可能なため、体位の自由度が高い。よって頭位挙上による頭蓋内圧のコントロール等も容易であり、脳外科医が良好な姿勢で手術を行うこともできる。またMRI撮影時は、手術台をflatにし、関節部にスペーサーを挿入することで強固に固定できるため、安全である。</p>	<p>MR対応フレキシブル手術台は、術中MRIを使用する手術を行う際に、従来脳外科医が感じていたジレンマ(体位の制限、術者の姿勢の制約等)を解決してくれる。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>術中MRIの撮像は平均 1.95±0.77回(1~5回)行った。各症例における全撮像時間の平均は、35分17秒であった。手術方針への影響に関しては、術中MRIを撮像することで追加切除を72.8%の症例に対して行った。</p>	<p>術中低磁場MRIは、手術のdecision makingを行うのに有益な情報を提供した(残存腫瘍の同定と合併症の除外診断等)。術中MRIによる恩恵は、施行に費やす延長時間を凌駕する。</p>	<p>low field, 0.2T</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
227	Optically neuronavigated ultrasonography in an intraoperative magnetic resonance imaging environment.	Katisko JP, Koivukangas JP.	Neurosurgery. 2007 Apr;60(4 Suppl 2):373-80; discussion 380-1.	術中MRI環境下における光学的にナビゲートされた超音波検査
228	An integrated radio frequency probe and cranial clamp for intraoperative magnetic resonance imaging: technical note.	Tomanek B, Foniok T, Saunders J, Sutherland G.	Neurosurgery. 2007 Feb;60(2 Suppl 1):ONSE179-80; discussion ONSE180.	RF受信コイルと頭部固定器の融合型機器の技術的なしくみと使用経験
229	Stereotactic accuracy of a compact intraoperative MRI system.	Salas S, Brimacombe M, Schulder M.	Stereotact Funct Neurosurg. 2007;85(2-3):69-74. Epub 2006 Dec 12.	小型術中MRI装置 (Pole star N-20)を用いた定位手技の精度の検討
230	Application accuracy of automatic registration in frameless stereotaxy.	Rachinger J, von Keller B, Ganslandt O, Fahlbusch R, Nimsky C.	Stereotact Funct Neurosurg. 2006;84(2-3):109-17. Epub 2006 Jul 10.	Automatic registrationと従来の基準マーカーを用いたregistrationの散布精度の比較検討
231	Planning, simulation and assistance with intraoperative MRI.	Chinzei, Warfield, Hata, Tempny, Jolesz, Kikinis.	Minim Invasive Ther Allied Technol. 2003 Mar;12(1):59-64.	前立腺癌に対する定位的な brachytherapy、biopsy手技における術中MRIの補正ナビゲーション登録法とMR対応ロボット支援の有用性
232	Intraoperative magnetic resonance imaging-guided neurosurgery at 3-T.	Truwit CL, Hall WA.	Neurosurgery. 2006 Apr;58(4 Suppl 2):ONS-338-45; discussion ONS-345-6.	3T-術中MRI導入後の脳神経外科手術における使用経験
233	Robust nonrigid registration to capture brain shift from intraoperative MRI.	Clatz O, Delingette H, Talos IF, Golby AJ, Kikinis R, Jolesz FA, Ayache N, Warfield SK.	IEEE Trans Med Imaging. 2005 Nov;24(11):1417-27.	自家製の補正アルゴリズムを用いてブレインシフトを補正した術中MRI画像と術前MRI画像との比較による補正精度の検討

主な結果	結論・コメント	システム
<p>術中MRI撮像後にファントムをスキャナー外に出し、MR対応のエコープローブに自家製アタッチメントを装着しナビゲーションシステムにリンクさせた。自家製のファントムを用いて、①超音波画像とファントムにおける位置誤差、②術中MRI画像とファントムにおける位置誤差、③超音波画像と術中MRI画像との誤差について各々検討した。誤差は、③において最も大きかったが、平均で1.90 ± 1.30 mm程度であった。①は平均で0.77 ± 0.74 mmであり、②は平均で0.60 ± 0.32 mmまた誤差は①~③で深部になるにつれて(0~120mmでの検討)、またz軸方向において、より大きくなる傾向を認めた。1例のみinsulaのグリオーマの簡単な症例提示があり、術中超音波画像は、腫瘍の境界を明瞭に描出していた(摘出後の画像はなし)。</p>	<p>術中MR対応の超音波検査は、術中MRI画像を用いたナビゲーションシステムに許容しうる範囲の誤差でリンクすることができ、脳神経外科医に、腫瘍の位置や境界に関して有用な補足的情報を与える。</p>	
<p>The University of Calgaryが開発したRF受信コイルと頭部固定器の融合型機器についてのしくみと使用経験についての報告。受信コイル部分は、2つの下部リングと2つの上部リングで構成されている。下部リングは常に、手術台に設置されており、一方で上部リングは着脱可能である。下部リングは滅菌処理の必要なく、滅菌済みの上部リングのみ術中に着脱して、患者の頭部を露出するしくみである。MR対応頭部固定器は3点ピン方式であり、下部リング部分とボールジョイントを介して接合されているため、自由に傾けることができる。これまで400例以上の症例の使用に成功している。また磁化率や渦電流によるアーチファクトも生じなかった。</p>	<p>RF受信コイルと頭部固定器の融合型機器は有用であり、小さな改良のみで他の術中MRIシステムにも使用することができる。</p>	
<p>Pole-Star N-20装置(N-10の次世代器)において、ファントムを用いて定位的手技の精度について検討された。撮像シークエンスは、T1、T2-weightedおよびEsteadyとよばれるシークエンスで撮影が行われた。撮像シークエンスに関しては、T1-weighted scanにおいて最も誤差が少なかった。スキャン厚の比較では、2, 3, 4, 8 mmの間で精度に明らかな有意差を認めなかった。また撮像範囲の中心部と周辺部との比較でも精度に明らかな有意差を認めなかった。</p>	<p>Pole-Star N-20装置(0.15T)は、Pole-Star N-10装置(0.12T)に劣らず、定位的な手技の精度において、正確で実用的な画像を手術中に提供しうる。今後は、実際の手術症例において実証する必要がある。</p>	<p>low field, 0.15T PoleStar N-20</p>
<p>32個の高さの違うロッドのついたファントムを用いて、散布精度の検討が行われた。Automatic registrationでは、あらかじめ5個のフィデューシャルマーカーが埋め込まれたHeadrest Holderを用いて登録が行われた。従来の登録法では、4個または7個の基準マーカーを用いて登録が行われた。Automatic registrationによる位置誤差は0.88- 2.13mmであり、従来の登録法と比較して有意に高かった(マーカー7個:1.2- 3.5mm、マーカー4個:1.87- 2.21mm)。散布精度に関しても、Automatic registrationは従来の登録法と比較し、有意に高かった(p < 0.001)。</p>	<p>Automatic registrationは従来の登録法と比較し、散布精度において劣らなかった。また簡便であり、登録に要する時間も短く、術中MRIと併用することで、術中ナビゲーション情報のアップデートが必要な際にも有用であると考えられる。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>「deformable registration」と呼ばれる補正ナビゲーション登録法を用いて、術前の1.5T-MR画像と、SNRの低い0.5T-術中MR画像を融合し、術中画像としてSNRの高い1.5T-MR画像を用いることができた。この画像では、前立腺の中心部と末梢部を区別して描出することができた。さらにSlicer 3Dと呼ばれるワークステーションは、この補正術中画像を取り込むことにより、brachytherapy、biopsyの計画、シミュレーションに有用であった。またbiopsyやbrachytherapyの穿刺針の固定、挿入には、MR対応のロボットシステムを用い、ワークステーション上で行った計画、シミュレーション結果とリンクさせ、アーチファクト等を含め、その使用に問題はなかった。</p>	<p>「deformable registration」を用いたナビゲーション登録法とMR対応ロボット支援の定位的な手技は、将来有望な方法である。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>ミネソタ大学では、これまで1.5T-術中MRIを用いて700例以上の脳神経外科手術を行ってきた。その経験を踏まえて、新たに3T-術中MRIを設置した手術室を導入した。手術室の主なレイアウトとしては、ガントリーの裏側(スキャン時に患者台がある方の反対側)で手術を行う形式である。4例の定位的生検術に使用し、明らかな合併症は認められなかった。外科用メスや縫合器具に関しても使用に問題なかった。ドリルやバイポーラーも問題なく使用できた。照明も十分であり、顕微鏡手術のビデオキャプチャーも予定通り行うことができた。撮影も比較的容易であった。MR対応生検針の画像上の歪み(チタン製)は、1.5Tと比較し若干大きかった。</p>	<p>3Tの術中MRI装置でも、比較的容易に撮影が可能であった。また感染症対策のための手技、手順の構築も可能であった。磁場強度が上がっても、安全性は確保できた。</p>	<p>High field, 3T</p>
<p>術中MRI画像と術前MRI画像との比較による位置誤差は、6症例において各々9個ずつ計54個のランドマークを設定し、このランドマークのずれた距離で測定した。術中操作によるブレインシフト・変形は、最大で14mm程度生じた。独自の補正アルゴリズムを用いてブレインシフトを補正した結果、誤差は平均で0.75mm(最大2.50mm)に改善した。さらに誤差は腫瘍に近い程、増加する傾向を認めた。</p>	<p>6症例の検討により、独自の補正アルゴリズムが、臨床例においても適用できることが示された。今後、このアルゴリズムを用いて、functional MRI画像やテンソル画像を補正後の術中MRI画像に融合することも期待される。</p>	<p>low field, 0.5T</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
234	Comparing 0.2 tesla with 1.5 tesla intraoperative magnetic resonance imaging analysis of setup, workflow, and efficiency.	Nimsky C, Ganslandt O, Fahlbusch R.	Acad Radiol. 2005 Sep;12(9):1065-79.	自施設で使用経験のある0.2Tと1.5T 術中MRIにおけるセットアップ、作業の流れ、効率の比較検討
235	Intraoperative MRI developments.	Fahlbusch R, Nimsky C.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):xi-xiii. Review. No abstract available.	Neurosurg Clin N Am.の、術中MRIの発展についての特集を行った号におけるEditorの序文
236	ECG artifacts during intraoperative high-field MRI scanning.	Birkholz T, Schmid M, Nimsky C, Schuttler J, Schmitz B.	J Neurosurg Anesthesiol. 2004 Oct;16(4):271-6.	術中高磁場MRI撮像中に生じる心電図変化の検討
237	Experiences with an intraoperative magnetic resonance imaging system in neurosurgery.	Mulqueen Mejia MA.	AORN J. 2004 Sep;80(3):434-42, 445-52; quiz 453-6. Review.	術中MRIに関わる手術室看護師への教育
238	Functional neuronavigation and intraoperative MRI.	Nimsky C, Ganslandt O, Fahlbusch R.	Adv Tech Stand Neurosurg. 2004;29:229-63. Review.	機能的ニューロナビゲーションの有用性と自施設における低磁場および高磁場術中MRIの使用経験の報告、それに関する他の論文のreview
239	Functional magnetic resonance imaging in a low-field intraoperative scanner.	Schulder M, Azmi H, Biswal B.	Stereotact Funct Neurosurg. 2003;80(1-4):125-31.	術中低磁場撮影装置によるfunctional MRIの実用性についての検証

主な結果	結論・コメント	システム
<p>University Erlangen-Nürnberg では、0.2T(1996年～2001年)から1.5T術中MRI装置(2002年～2004年)への移行が行われた。月単位での症例数は、0.2T(5.1例/月)よりも1.5T(14.5例/月)のほうが多かった。これは使いやすさが向上したためと考えられる。術中MRIを撮影するための準備時間は、1.5Tで5倍短くなった(2分 対 10分)。ナビゲーションを用いる頻度は若干増加(57% 対 51%)したが、機能画像との融合の頻度は若干減少した(35% 対 39%)。ナビゲーション情報の術中更新の頻度は2倍増加した(22% 対 11%)。撮影時間は短縮し、画質も明らかに改善し、術前画像と同等であった。画質の向上により、残存腫瘍の検出率が増加し、追加切除が行われる頻度が増加した(下垂体部腫瘍:36% 対 29%、グリオーマ:41% 対 26%)。</p>	<p>高磁場術中MRIは、低磁場術中MRIと比較して、画質が向上しただけではなく、残存腫瘍の検出率も増加し、作業の流れの効率も向上した。さらに高磁場術中MRIは、通常の解剖学的画像に加え、MRS、テンソル画像、機能MRI等の撮影も可能である。</p>	<p>low field, 0.2T High field, 1.5T</p>
<p>「術中MRIの発展」についての特集号における序文。術中MRIの磁場強度の種類(低磁場 or 高磁場)、手術室のデザイン、高磁場および低磁場術中MRIにおける利点・欠点、ナビゲーションと併用した際のブレインシフトの問題、eloquent areaの腫瘍摘出の際の機能画像との融合の重要性、経済的問題等について簡単な紹介がされている。</p>	<p>術中MRIは1990年代の半ばより発展し、手術の質のコントロールにおいて新たな道を開いた。</p>	
<p>まずMRIスキャナー内での静磁場によるアーチファクトにより心電図のST変化が全19症例において生じた。次に撮像中のパルス傾斜磁場により、心室性不整脈等の悪性不整脈様の変化が生じ、撮像するシークエンスによっても、そのパターンは異なる傾向があった。</p>	<p>術中高磁場MRIでは、撮像中に心電図へのアーチファクトが入る可能性が高く、冠動脈疾患や不整脈に罹患している患者が術中MRIを用いる手術を受ける際には、個別に評価する必要がある。ただ本論文のデータに基づいた心電図へのアーチファクトに関する知識は、臨床医が個別にrisk/benefit ratioを判断する際に有用である。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>0.12T Pole starを設置した手術室に関わる手術室看護師への教育的・マニュアル的論文。MRI撮像のしくみ・環境・MRI撮影装置の構成要素に関して基本的な解説がなされ、その上で実際の手術における安全管理、注意点、手術の手順等のマニュアル的な内容が記載されている。また1例のみ、実際の手術の流れについて詳細に紹介されている。さらに、術中MRIの制限として、体内金属、頸部の長さ、頭の大きさ、腫瘍の局在部位等が挙げられている。また術者の姿勢も制限されるため、Potableである0.12T Pole star撮影装置に関しては、撮影をしない時は手術台から離して、手術を行うことを推奨している。</p>	<p>術中MRIは手術の正確性を改善するため、手術室看護師は、術中MRIがどのように患者に恩恵をもたらすのか理解する必要がある。また継続的な教育サポートが、関連する医療従事者に対して提供されなければならない。さらに周術期に関わる専属の熟練した医療スタッフメンバーを養成することが、最善の結果を得るために必要である。</p>	
<p>MEGやfunctional MRI等の機能画像は、術前に運動野、言語野等の機能野を同定することができ、この機能画像を術中ナビゲーション画像に融合することで、術後合併症率を低下させ、最大限の摘出を可能にする。1995年から0.2T術中MRIを使用した330例において、大多数の症例で術中MRIは、摘出に関する信頼しうる情報を提供した。66例に対して、MEG(64例)やfMRI(15例)を術中画像に融合し、術中に機能野の同定が可能であった。66例中2例(3%)に術後永続的な神経脱落症状を認めるのみであり、機能野の摘出術において有用な方法であると考えられた。しかし画像の質は、通常診断用高磁場MRIと比較し明らかに劣っていた。一方、撮影装置の進歩に伴い、積極的な磁場シールドを行うことで、高磁場MRIを設置した手術室でも、ナビゲーションガイド下顕微鏡手術が可能となった。2002年4月から1.5T術中MRIを導入し、これまでに95例に使用した。高磁場術中MRIでは、明らかに画像の質が向上し、摘出範囲についてより信頼できる情報を提供し得ることが期待された。さらに検査時間も明らかに短縮した。</p>	<p>低磁場術中MRIの使用経験を踏まえ、高磁場術中MRIを成功裡に導入することができた。高磁場術中MRIにおいては、画像の質・術中のワークフローの改善、洗練された術中画像の実現性が、主な利点と考えられた。</p>	<p>low field, 0.2T High field, 1.5T</p>
<p>Finger tappingタスクを用いてmotor領域のfunctional MRI 解析が行われた。本研究では術中低磁場装置による解析結果と手術室外3テスラ装置による解析結果が比較検討された。両者とも全症例において解剖学的に推定された領域に有意な賦活が認められた。</p>	<p>低磁場撮影装置であっても、成人ボランティアにおいて、functional MRIの解析が可能であり、低磁場装置の有用性をさらに増した。術中MRIによる機能画像は、brain shiftの影響が少なく、より正確で安全な手術の達成に寄与する可能性がある。</p>	<p>low field, 0.12T PoleStar -N10</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
240	Surgical navigation in the open MRI.	Nabavi A, Gering DT, Kacher DF, Talos IF, Wells WM, Kikinis R, Black PM, Jolesz FA.	Acta Neurochir Suppl. 2003;85:121-5.	コンピューター支援ナビゲーションのために開発した自家製ソフトウェア「3D Slicer」の脳神経外科手術における有用性
241	Remotely-controlled approach for stereotactic neurobiopsy.	Liu H, Hall WA, Truwit CL.	Comput Aided Surg. 2002;7(4):237-47.	定位的手術の trajectory を穿刺前にシミュレーションすることができる遠隔コントロールシステムの有用性
242	A virtual environment for surgical image guidance in intraoperative MRI.	Samset E, Talsma A, Kintel M, Elle OJ, Aurdal L, Hirschberg H, Fosse E.	Comput Aided Surg. 2002;7(4):187-96.	自施設において開発した可視化システムの有用性
243	Interventional and intraoperative magnetic resonance imaging.	Kettenbach J, Kacher DF, Koskinen SK, Silverman SG, Nabavi A, Gering D, Tempany CM, Schwartz RB, Kikinis R, Black PM, Jolesz FA.	Annu Rev Biomed Eng. 2000;2:661-90. Review.	術中MRIを応用した事例を紹介し、有用性を記述
244	Serial intraoperative magnetic resonance imaging of brain shift.	Nabavi A, Black PM, Gering DT, Westin CF, Mehta V, Pergolizzi RS Jr, Ferrant M, Warfield SK, Hata N, Schwartz RB, Wells	Neurosurgery. 2001 Apr;48(4):787-97; discussion 797-8.	連続的術中MRIを行い、脳移動を脳変形画像として解析する。
245	Motion robust imaging for continuous intraoperative MRI.	Kacher DF, Maier SE, Mamata H, Mamata Y, Nabavi A.	J Magn Reson Imaging. 2001 Jan;13(1):158-61.	持続的術中MRIで外科手技を中断しない運用での画像評価
246	Integration of interventional MRI with computer-assisted surgery.	Jolesz FA, Nabavi A, Kikinis R.	J Magn Reson Imaging. 2001 Jan;13(1):69-77.	インターベンションでのMRIとコンピュータ誘導手術の運用紹介
247	Quantification of, visualization of, and compensation for brain shift using intraoperative magnetic resonance imaging.	Nimsky C, Ganslandt O, Cerny S, Hastreiter P, Greiner G, Fahlbusch R.	Neurosurgery. 2000 Nov;47(5):1070-9; discussion 1079-80.	術中MRIを使用した脳移動の評価
248	Advances in mobile intraoperative magnetic resonance imaging.	Kaibara T, Saunders JK, Sutherland GR.	Neurosurgery. 2000 Jul;47(1):131-7; discussion 137-8.	移動式術中MRIシステムの紹介
249	An integrated head-holder/coil for intraoperative MRI in open neurosurgery.	Staubert A, Pastyr O, Echner G, Oppelt A, Vetter T, Schlegel W, Bonsanto MM, Tronnier VM, Kunze S, Wirtz CR.	J Magn Reson Imaging. 2000 May;11(5):564-7.	術中MRI用頭部ホルダーとコイルの統合装置使用経験

主な結果	結論・コメント	システム
<p>自家製ソフトウェア「3D Slicer」は、医療画像処理、画像のfusion、3D表示の視覚化、術中ナビゲーション機能を併せ持つ。これまでに10例の生検術、60例の開頭術に用いた(具体的な症例呈示はそれぞれ1例のみ)。生検術においては、刺入位置とtrajectoryのシミュレーションが可能であり、生検針の刺入中も、ほぼreal timeに撮影を行いながら、穿刺方向、先端位置の確認が可能であった。適応があれば、そのtrajectoryを用いてアブレーションも施行可能である。開頭術においては、術前画像による最初のプランニングが可能であった。開頭後も必要に応じて術中撮影を行い、オンラインで画像データを取得することにより、ナビゲーションのアップデートも自動的に行うことができた。また摘出後の残存腫瘍の確認、摘出部位の正確な確認が可能であった。</p>	<p>術中MRIと「3D Slicer」を用いたシステムは、外科医にほぼreal-timeの術中画像情報を迅速に提供し、brain shiftの影響の少ない手術を可能にした。また、術前あるいは術中画像を用いた手術のプランニングにも有用であった。</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>せ、ジョイスティックで操作することにより、仮想先端を調整し、穿刺前にナビゲーション画像上で、シミュレーションを行うことができるシステムの報告。シミュレーションで、最適なtrajectoryを決定した後に、穿刺針基部アタッチメントに穿刺針を取り付け、事前に決定したtrajectoryに沿って、穿刺を行う。穿刺中は、ほぼreal-timeに撮影を行いながら手技を進行し、先端が最適な位置に来たら、ガントリーから出し、組織採取を行う手順であった。ファントムを用いた先端部とターゲットとの誤差の検討では、平均誤差は1.53±0.17mm(最大1.72mm)であった。一例のみ左頭頂葉病変の実際の症例に適応し、合併症なく手術を施行できた。</p>	<p>1.5T術中MRIを用いたナビゲーションガイド下の遠隔コントロール定位的手術の構想は有用であり、今後、他の断層撮影画像にも適応し、事前にシミュレーションすることが可能と思われる。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>自施設で開発された可視化システムは、「Standard operation」、「Locate target」、「Dual plane」、「Aiming」、「Virtual menu」の各モードで構成されており、術中MR画像の3Dレンダリング像を下に仮想環境を可視化することで、手技のトレーニングやテストを行うのに有用であった。また試験的研究として、豚の肝臓で凍結プローブを、このシステムを用いて留置し、期待できる結果を得ることができた。</p>	<p>本可視化システムは、3Dレンダリング術中MR画像誘導下の手術におけるマン・マシン・インターフェースを改善した。</p>	<p>low field, 0.5T</p>
<p>術中にシリアルに撮影して腫瘍摘出が可能となると共に、残存腫瘍をとらえることが可能である。また、直視下で摘出不可能な腫瘍もMRIガイド下で摘出可能な腫瘍もあった。鞍上部腫瘍に対する有用性も示されている。</p>	<p>800例を超す術中MRI使用経験から、術中及びインターベンションにおけるMRIはシリアルな状況把握に非常に有用であり、かつ今後の検証が待たれる。</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>術中MRI連続撮影により、術中脳変形の方向と程度が明確となり、脳移動の程度は様々な手術段階、部位・大きさによって異なっていた。腫瘍摘出中の深部脳移動はモデル化が困難であった。</p>	<p>術中脳移動はダイナミックであり、術中MRIでの連続的な撮像が唯一正確な脳変形をとらえる手段として不可欠である。</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>Line scanと呼ばれる、持続的な術中MRI撮影を行うことにより、手術を中断すること無く、画像が得られた。この画像は動きに対する画像処理を行うことで使用に耐える補正が可能であった。</p>	<p>Line scan imagingの方法は、最終的には麻酔、手術、及び手術室滞在時間の短縮に寄与する。</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>術中MRI利用脳外科手術は300を超え、前立腺腫瘍小線源治療は130例、肝臓腫瘍冷凍治療は20例はそれぞれ術中MRIと併用して実施された。</p>	<p>インターベンションにおけるMRIはコンピュータ誘導手術と統合し臨床的有用性を大きく加速させた。</p>	<p>low field, 0.5T SignaSP</p>
<p>脳移動の程度は非常にばらつきがあり、脳表で最大24mmあり、腫瘍最深部で3mm以上のずれを示す症例は66%に認めた。脳移動をナビゲーションで補正した14例では非常に信頼性が高かった。</p>	<p>最深部の腫瘍同定など、脳移動の考慮は必須である。術中MRIは補正と共に質の評価にも考慮されるべきである。</p>	<p>low field, 0.2T</p>
<p>提示された101例のうち、初期67人の37%、大型改良した磁石内径34名の59%に手術中の撮影が行われており、安全性の向上と共に信頼性が向上した。また、術中に残存腫瘍の同定が行えることは非常に有用であった。</p>	<p>磁石内径を拡大した改良型術中MRIは患者安全に寄与し、ナビゲーションと統合することで残存病変の評価が可能となり有用である。</p>	<p>High field, 1.5T</p>
<p>頭蓋用ホルダーとコイルを統合した装置を48名の患者に対して術中MRIで安全に使用でき、32名(67%)の患者で残存腫瘍を検出し追加切除を行うことが出来た。</p>	<p>新たに開発した術中MRI用統合装置は安全で役立つツールであり、脳外科での信頼できる効果的な腫瘍切除に寄与した。</p>	<p>low field, 0.2T</p>

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
250	Image-guided therapy and intraoperative MRI in neurosurgery.	Nabavi A, Mamisch CT, Gering DT, Kacher DF, Pergolizzi RS, Wells WM 3rd, Kikinis R, Black PM, Jolesz FA.	Minim Invasive Ther Allied Technol. 2000;9(3-4):277-86.	術中MRIとNavigation統合運用紹介
251	Intraoperative MRI: a moving magnet.	Sutherland GR, Louw DF.	CMAJ. 1999 Nov 16;161(10):1293. No abstract available.	移動式術中MRIの紹介
252	Neuronavigation in intraoperative MRI.	Samset E, Hirschberg H.	Comput Aided Surg. 1999;4(4):200-7.	自施設における術中MRIとNavigation統合の有用性調査
253	Magnetic resonance imaging-guided neurosurgery in the magnetic fringe fields: the next step in neuronavigation.	Rubino GJ, Farahani K, McGill D, Van De Wiele B, Villablanca JP, Wang-Mathieson A.	Neurosurgery. 2000 Mar;46(3):643-53; discussion 653-4.	術中MRI-5G内での脳神経外科手術
254	Effects of intraoperative magnetic resonance imaging on the neuromuscular blockade of vecuronium bromide in neurosurgery.	Guo Y, Zhang H, Sun L.	Neurol Med Chir (Tokyo). 2013;53(4):201-6.	脳外科手術で術中MRIが神経ブロック作動薬に与える影響
255	The role of intraoperative magnetic resonance imaging for the detection of hemorrhagic complications during surgery for intracerebral lesions an experimental approach.	Rohde V, Rohde I, Thiex R, Kuker W, Ince A, Gilsbach JM.	Surg Neurol. 2001 Oct;56(4):266-74; discussion 274-5.	出血性術中合併症がMRIで可視化できる時期調査
256	Low-field interventional MRI in neurosurgery: finding the right dose of contrast medium.	Knauth M, Wirtz CR, Aras N, Sartor K.	Neuroradiology. 2001 Mar;43(3):254-8.	低磁場と高磁場MRIによる造影効果比較と低磁場MRIでの至適濃度調査
257	New radiofrequency coil integrated with a stereotactic frame for intraoperative MRI-controlled stereotactically guided brain surgery.	Taniguchi H, Muragaki Y, Iseki H, Nakamura R, Taira T.	Stereotact Funct Neurosurg. 2006;84(4):136-41. Epub 2006	定位手術用フレームに術中MRI用RFコイルを統合した装置使用経験
258	Intraoperative magnetic resonance imaging and early prognosis for vision after transsphenoidal surgery for sellar lesions.	Berkmann S, Fandino J, Zosso S, Killer HE, Remonda L, Landolt H.	J Neurosurg. 2011 Sep;115(3):518-27.	鞍上部腫瘍摘出に術中MRIを併用し視力予後との関連評価
259	Patterns in neurosurgical adverse events: intracranial neoplasm surgery.	Wong JM, Panchmatia JR, Ziewacz JE, Bader AM, Dunn IF, Laws ER, Gawande AA.	Neurosurg Focus. 2012 Nov;33(5):E16.	脳腫瘍手術における有害事象の文献レビュー
260	Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite.	Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, Avitsian R, Yunak M, Harper NT, Barnett GH, Recinos	Neurosurg Focus. 2012 Nov;33(5):E12.	高磁場術中MRI環境での安全確保
261	Moveable intraoperative magnetic resonance imaging systems in the OR.	Leblanc PA, Aubry B, Gervin M.	AORN J. 1999 Aug;70(2):254-5, 258-60, 263 passim.	自施設における術中MRIの安全な運用を考察
262	Clinical experience of 3T intraoperative magnetic resonance imaging integrated neurosurgical suite in Shanghai Huashan Hospital.	Qiu TM, Yao CJ, Wu JS, Pan ZG, Zhuang DX, Xu G, Zhu FP, Lu JF, Gong X, Zhang J, Yang Z, Shi JB, Huang FP, Mao	Chin Med J (Engl). 2012 Dec;125(24):4328-33.	高磁場術中MRIの脳外科手術での臨床経験
263	Prospective study on the efficacy of low-field intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgical operations.	Czyz M, Tabakow P, Lechowicz-Glogowska B, Jarmundowicz W.	Neurol Neurochir Pol. 2011 May-Jun;45(3):226-34.	低磁場術中MRIの効果を前向き研究で比較する

主な結果	結論・コメント	システム
320例の開頭術を中心に、術中MRIとナビゲーションを統合し、ほぼReal timeのUpdateが行えていること、3D-slicerを用いて術前機能画像をfusionして手術応用しており、機能野近傍手術に有用。術中MRI撮影で反対側脳の出血や切除部位からの出血を早期発見が可能であった。	術中MRI画像を利用したナビゲーションシステムは、Brain shiftの弱点を補い有用である。術中合併症の早期発見にも寄与する可能性あり。	low field, 0.5T Signa SP
調査をしたデータの記述はなし	術中MRI撮影によって、正確な手術立案ができ、出血や梗塞など急性期合併症を発見できる。	High field, 1.5T
17例の初期経験から、手術時間の短縮、MRI画像参照の有用性の向上が得られている。	術中MRI画像を利用したナビゲーションシステムは、Brain shiftの弱点を補い有用である。	low field, 0.5T Signa SP General Electric Medical Systems
5G line内(5-10G)の磁場内において、通常の手術器具は影響を受けなかった。22例開頭術と16例のBiopsy例も術中MRIを使用した患者・手術室スタッフに問題は起きなかった。	5G内であっても通常の手術器具を用い、術中MRIガイドによる脳外科手術を安全に行うことが可能である。	low field, 0.2T, Siemens Medical Systems
術中MRI群において、ベクロニウム臭化物投与持続時間、総手術時間は有意に長かった。また、recovery indexは有意に短く、体温は有意に高かった。	術中MRI撮影によって、手術時間を延長し、患者体温を上昇させ、筋弛緩指数も明らかに短縮しうることを示された。	high field, 1.5T
26匹のブタに頭蓋内血腫をつくり、20匹は30分後、6匹は10分後MRI撮影(T1-SE, T2-TSE, FLAIR, T2-GE)を行い、血腫の検出率はそれぞれ0, 69, 23, 88%という結果を得た。	術中MRIは脳外科手術のナビゲーションとしての利点のみならず、出血性合併症の早期発見(T2-GEで88%)にも寄与する。	High field, 1.5T
38人それぞれの腫瘍患者の造影効果比較のため、通常量ガドリニウム-DPTA(0.1mmol/kg)投与した高磁場(1.5T)MRIをコントロールとし、低磁場(0.2T)には1,2,3倍量で撮像した。高磁場での腫瘍/白質コントラストは低磁場より有意に高かったが、2,3倍量での低磁場撮影とは差がなかった。	2倍量Gd造影剤での低磁場撮影が通常量高磁場撮影と同様との結果から、術中MRIで通常量造影剤使用の場合、病変描出力低下が懸念される。	low field, 0.2T
術中MRI画像をUpdateした定位的生検手術は11例全てで有効な組織が得られ、機能野の損傷のない積極的摘出に結びつくと共に、永続的な合併症を来さなかった。	術中MRI撮像画像を用いた定位的手術は、画像のゆがみや脳移動に由来する位置のずれを最小にすることが可能である。	low field, 0.3T
32例の鞍上部腫瘍に対し術中MRIを併用した経蝶形骨洞手術を行い、47%に残存腫瘍が確認され、その53%に追加切除が可能であった。視交叉圧迫解除が術中MRIで確認されれば視野(p=0.0007)と視力(p=0.0002)の有意な改善を認めた。	術中MRIを用い鞍上部腫瘍による視神経圧迫の程度を評価でき、視力予後との相関が示された。	low field Pole Star N20
脳腫瘍文献レビューを行い、総有害事象は9-40%(死亡率1.5-16%)と幅があった。機能野に位置するグリオーマで最大20%の有害事象が報告されているが、画像誘導・機能マッピング・アップデート術中MRIにより最大限の摘出と最小限の合併症が得られる可能性はある。	有害事象発生予防には、グリオーマ手術では術中ナビゲーションの導入をはじめチームワークの向上、症例数を重ねて専門性を高めることなどが推奨される。	low field
1.5T移動式術中MRI環境下での手術室運用を120例で経験し、1例の有害事象も認めなかった。運用初日、患者を覆うドレープに鉄が含まれていたが、安全チェックリストとその正しい運用のおかげで事なきを得た。	術中MRIを持つ手術室の運用は、1つ間違えば患者の命に関わるため、安全を担保し危険を排除することが求められる。	
48例の初期経験から、15例は摘出術中のMRI撮影を行い、そのうちの11例では残存腫瘍を認め追加切除を行うことができ、有用であった。	術中MRIは残存腫瘍の発見に寄与し、追加切除を可能とする有用なツールである。	High field, 1.5T
3.0T術中MRIを使用した373例は安全に施行でき、合併症も無かった。全摘出できた神経膠腫症例は55.9%から87.58%に、下垂体腺腫は77.55%から85.71%に増加した。	術中に高品質で構造及び機能画像評価を行うことで、リアルタイムでの腫瘍摘出評価と正確な脳機能保護に寄与し、安全な手術を行えた。	high field. 3.0 T
58例の低磁場術中MRI使用群と非使用のコントロール群との前向き観察を行い、術中MRI群で準備及び手術時間が有意に長かったが、術後神経回復率は高く(31%/14%)、合併症率は低く(10%/28%)、入院期間に有意な差を認めなかった。	低磁場術中MRIの導入に、手術時間は延長するが手術室安全には影響は少ない。むしろ患者の機能予後を改善し、合併症率を低くする。	low field

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
264	Intra-operative imaging with 3D ultrasound in neurosurgery.	Unsgard G, Solheim O, Lindseth F, Selbekk T.	Acta Neurochir Suppl. 2011;109:181-6.	脳外科における術中3D USを用いた術中イメージング
265	Advanced approach for intraoperative MRI guidance and potential benefit for neurosurgical applications.	Busse H, Schmitgen A, Trantakis C, Schober R, Kahn T, Moche M.	J Magn Reson Imaging. 2006 Jul;24(1):140-51.	脳神経外科関連技術における0.5T MRIでの術中画像ガイドの先進的ナビゲーション方法を紹介する。また技術的、手術手技的、作業手順について紹介する先進的方法を直接スキャンして位置を把握する方法と比較した場合の効果評価を行う。
266	Intraoperative magnetic resonance imaging at 0.12 T: is it enough?	Schulder M, Catrambone J, Carmel PW.	Neurosurg Clin N Am. 2005 Jan;16(1):143-54. Review.	
267	Cranial surgery and navigation with a compact intraoperative MRI system.	Schulder M, Sernas TJ, Carmel PW.	Acta Neurochir Suppl. 2003;85:79-86.	
268	Tumor resection in a shared-resource magnetic resonance operating room: experience at the University of Cincinnati.	McPherson CM, Bohinski RJ, Dagneu E, Warnick RE, Tew JM.	Acta Neurochir Suppl. 2003;85:39-44.	
269	Intracranial navigation by using low-field intraoperative magnetic resonance imaging: preliminary experience.	Kanner AA, Vogelbaum MA, Mayberg MR, Weisenberger JP, Barnett GH.	J Neurosurg. 2002 Nov;97(5):1115-24.	低磁場術中MRIを用いて行った脳外科手術の単施設初期経験の報告
270	Versatile intraoperative MRI in neurosurgery and radiology.	Yrjana SK, Katisko JP, Ojala RO, Tervonen O, Schiffbauer H, Koivukangas J.	Acta Neurochir (Wien). 2002 Mar;144(3):271-8; discussion 278.	脳神経外科及び放射線科での術中MRIの有用性の検証
271	Brain tumor surgery with the Toronto open magnetic resonance imaging system: preliminary results for 36 patients and analysis of advantages, disadvantages, and future prospects.	Bernstein M, Al-Anazi AR, Kucharczyk W, Manninen P, Bronskill M, Henkelman M.	Neurosurgery. 2000 Apr;46(4):900-7; discussion 907-9.	術中MRIによる即時的病変位置特定とその臨床使用における有用性の検証
272	Intraoperative magnetic resonance imaging with the magnetom open scanner: concepts, neurosurgical indications, and procedures: a preliminary report.	Steinmeier R, Fahlbusch R, Ganslandt O, Nimsky C, Buchfelder M, Kaus M, Heigl T, Lenz G, Kuth R, Huk W.	Neurosurgery. 1998 Oct;43(4):739-47; discussion 747-8.	術中MRIによる即時的病変位置特定とその臨床使用における有用性の検証
273	Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applications.	Black PM, Moriarty T, Alexander E 3rd, Stieg P, Woodard EJ, Gleason PL, Martin CH, Kikinis R, Schwartz RB, Jolesz FA.	Neurosurgery. 1997 Oct;41(4):831-42; discussion 842-5.	術中MRIによる即時的病変位置特定とその臨床使用における有用性の検証

主な結果	結論・コメント	システム
術中MRI使用症例と比較して、3D US技術は自由度が高くどんな手術室でも使用可能である。特別な装置や専門スタッフを要せず、手術時間に追加される時間もほとんど無く術中MRIより明らかに投資コストは押さえられている。	術中3D USは高い自由度で低コスト運用でき、侵襲を最小にして効果を上げ術者の信頼も得られるツールである。	
手術に対する効果(摘出率、生検の診断率など)、撮像に要した総時間、手技の安全性、MRI情報がもたらす有益性を評価。画像、表示画面と感覚との一致度では先進的方法で改善が見られた。切除度、fMRIを重ねた時の神経学的評価、診断率ではわずかに先進的方法のほうが優位であったが、主執刀医(もともと症例を多く扱った執刀医)では有意差はなかった。手術時間(切除時間)については同等だが、生検は先進的方法のほうが約30分長くなる。	紹介した先進的技術は安全で、詳細な画像が得られ、正確でより迅速なナビゲーションが可能であった。手術の結果については、少なくとも直接スキヤン法と同等の質が得られている。	low field, 0.5T
		low field, 0.12T PoleStar -N10
		low field, 0.12T PoleStar -N10
		low field, 0.5T Hitachi AIRIS II
開頭術は画像誘導下で術中最後の画像で腫瘍残存がなくなるまで、もしくは脳組織に障害がでる直前まで摘出された。開頭術38例(覚醒下7例)中28例で画像上腫瘍全摘出または積極的摘出、8例で亜全摘が達成できた。定位生検例では、術中画像誘導により生検針の位置が確認でき、診断に適した組織を得ることができた。合併症その他:生検後の無菌性髄膜炎1例、1例で麻酔器の一時的な故障。63例以外の7例は術中MRI中止となった。3例は鞍部画像化のような低い位置を磁場中心に据える必要がある病変部で、肥満患者の肩が障害となって磁場内に入らなかった。4例は画像の質が低かったため中止。これは手術室下のRFシールドからくるノイズまたは手術中にMRI不対応の電気的麻酔機器を使用したためである。	さまざまな機能(覚醒下手術、皮質マッピング、体性感覚モニタリング、脳波、など)が要求される脳腫瘍摘出術において、術中MRI画像ベースのニューロナビゲーションはThe PoleStar N-10で実現可能である。また生検針の迅速な位置確認も可能である。また脳外科用ドリル、マイクロ顕微鏡などの器具もこの術中MRI画像システムと安全に併用できる。	low field, 0.12T PoleStar -N10
18例(脳腫瘍残存の確認、腫瘍部位や開頭生検部位の確認)で追加の術中MRI画像を用いた。19例で術中・術後画像により合併症を除外できた。放射線科の症例も含めて(34+110例)のうち感染2例の術後合併症があったが、術中MRI技術を用いたことによる合併症はなし。	術中MRIは特にニューロナビゲーションにおいて有用である。本MRIは電源を切ることができるので、脳外科手術によく適している。また他科とも共用できることは価値がある。	low field, 0.23T
主な結果:36症例すべて成功。3件の合併症。 問題点:高磁場環境、特殊コイル形状のためのアクセス制限、行動範囲制限、画像品質、磁場対応型器具の問題等 優位点:リアルタイムイメージングによる、即時的手術プランニング、危険性に関わる事項:記載なし	術中MRIは開頭術を大いに支援する一方、画像の品質を向上させるために幾多の改善すべき問題がある。	low field, 0.2T, 垂直対向型
術中MRIによりテント上脳腫瘍手術31例中5例(16%)で腫瘍残存が確認され、術中アップデートMRI画像ガイド下で全摘出が可能となった。下垂体腺腫18例で残存が確認できた5例中3例で追加切除ができた。 危険性に関わる事項:なし	術中MRIの使用は腫瘍摘出の最適化に必要な情報を提供する。術中MRIとナビゲーションの使用は従来の手術に代わる優れたものであるが、手術中の患者のMRIへの移動時間や、磁石に対する手術器具のガイドラインは必要である。	low field, 0.2T, The Magnetom Open Scanner : 術中0.2T MRIスキャナーの商品名(Siemens AG)
術中MRIを用いて広範囲の標準的脳外科手術が可能であった。術中画像は鮮明、正確で即時情報を得ることができ、手術計画と手術進行状況の評価が実現できた。 有用性(合併症の早期発見):定位生検中出血が1例あったが、術中画像により即座に気づき血腫除去を行ったため患者には何の影響もなかった。	術中MRIは病変部の位置を正確に把握し、手技の成果を即時的に評価できる。頻繁にスキヤンを繰り返すことでブレインシフトの影響を減らすことができ、病変摘出のエラーを無くすることができる。術中MRIは腫瘍マージン領域を決定するのに有益で、手技の最適化や頭蓋内腫瘍の完全摘出、術中合併症のモニタリングを支援する。	low field, 0.5T SIGNA SP

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
274	The present and future role of intraoperative MRI in neurosurgical procedures.	Alexander E 3rd, Moriarty TM, Kikinis R, Black P, Jolesz FM.	Stereotact Funct Neurosurg. 1997;68(1-4 Pt 1):10-7.	
275	Intraoperative magnetic resonance imaging to update interactive navigation in neurosurgery: method and preliminary experience.	Wirtz CR, Bonsanto MM, Knauth M, Tronnier VM, Albert FK, Staubert A,	Comput Aided Surg. 1997;2(3-4):172-9.	
276	MR-guided ablation of hepatocellular carcinoma aided by gadoxetic acid.	Bathe OF, Mahallati H.	J Surg Oncol. 2007 Jun 15;95(8):670-3.	肝細胞特異性Gd造影剤(ガドキシト酸)を用いた術中MRIにより、ラジオ波焼灼療法(RFA)の際に起こる肝組織の熱破壊範囲を評価できるか検証する。
277	Intraoperative magnetic resonance imaging for ablation of hepatic tumors.	Martin RC, Husheck S, Scoggins CR, McMasters KM.	Surg Endosc. 2006 Oct;20(10):1536-42. Epub 2006 Aug 1.	肝腫瘍焼灼術への術中MRIの応用報告
278	Intraoperative magnetic resonance imaging ablation of hepatic tumors.	Martin RC 2nd.	Am J Surg. 2005 Apr;189(4):388-94. Review.	
279	Hepatic vascular inflow occlusion enhances tissue destruction during cryoablation of porcine liver.	Mala T, Frich L, Aurdal L, Clausen OP, Edwin B, Soreide O, Gladhaug	J Surg Res. 2003 Dec;115(2):265-71.	
280	Intraoperative contrast-enhanced MR-imaging as predictor of tissue damage during cryoablation of porcine liver.	Mala T, Frich L, Aurdal L, Clausen OP, Edwin B, Soreide O, Gladhaug	Magn Reson Imaging. 2003 Sep;21(7):733-40.	
281	Comparing PSA outcome after radical prostatectomy or magnetic resonance imaging-guided partial prostatic irradiation in select patients with clinically localized adenocarcinoma of the prostate.	D'amico AV, Tempany CM, Schultz D, Cormack RA, Hurwitz M, Beard C, Albert M, Kooy H, Jolesz F,	Urology. 2003 Dec;62(6):1063-7.	
282	Intraoperative MRI with 1.5 Tesla in neurosurgery.	Nabavi A, Dorner L, Stark AM, Mehdorn HM.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):163-71.	術中MRIによる即時的病変位置特定とその臨床使用における有用性の検証
283	Origins of intraoperative MRI.	Mislow JM, Golby AJ, Black PM.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):137-46.	術中MRIと関連技術の紹介
284	Intraoperative MRI in functional neurosurgery. Preface.	Lim DA, Larson PS.	Neurosurg Clin N Am. 2009 Apr;20(2):xi.	機能的脳神経外科における術中MRIの役割についての序文

主な結果	結論・コメント	システム
		low field, 0.5T Signa Advantage system
<p>焼灼範囲はラジオ波焼灼 (RFA) 前後のT1WIを比較することで確認することができた。またこの例では、新規肝細胞特異性造影剤を用いることで、経皮的超音波では見えにくい場所に存在する腫瘍が確認でき、さらに術中MRIで焼灼マージンを示すことが可能であった。合併症等の記載は特になし</p>	<p>ガドキセト酸造影剤を用いた術中MRIでRFA焼灼マージンと腫瘍マージンとの関連性が評価でき、焼灼範囲の区切りと焼灼完了が確認できた。RFAの焼灼画像は、ガドキセト酸造影が術中MRI下での焼灼技術を広範囲に適応できることを示唆している。</p>	High field, 1.5T
<p>11人の患者に対し18回の焼灼術を実施。入院期間中央値1日、焼灼部位の局所再発なし。5例無病生存、4例有病生存、1例原病死、1例他因死(追跡期間18ヶ月) 合併症2名</p>	<p>術中MRIを用いた画像誘導肝焼灼術は肝腫瘍において有用である。術中MRI技術は当初欧州の施設に限定されていた。米国の施設での更なる有用性評価により、超音波やCTでは十分に可視化されない肝腫瘍にも役立つことが示されている。</p>	low field, 0.5T
		low field, 0.2T 0.5T High field, 1.5T
		low field, 0.5T
		low field, 0.5T
		low field, 0.5T
(術中MRI手術室での手技を各論的に記述したもの)	高磁場術中MRIは脳外科手術における確立されたツールである。	High field, 1.5T
<p>0.5TGE社製ダブルドーナツ型MRIを用いたBWHの世界初の術中MRIシステム、同時に開発されたナビゲーションソフト3Dスライサー、により1995年以降1000例を超える症例 (Low-grade glioma 40%, high-grade glioma 50%, other intractable lesions 10%) を実施してきた。また、持ち運び型0.12T Polestar MRI、狭所環境における作業を強いられる執刀医の操作を支援するためのMR対応脳外科手術用ロボットNeuroArmが開発された。更にBWHでは次世代のiMRIとしてIMRIS社製AMIGOオペレーティングスイツ (Siemens社製1.5Tor3T MRI) の運用を2009年より開始した。</p>	<p>術中MRIは15年以上の開発を経て世界中の様々な施設で導入が進められている。外科医、放射線科医、MR放射線技師、看護師、麻酔科医、コンピュータ科学者、エンジニアなど様々なフィールドの人間たちがコミュニケーションをとりあって進めていく中で一番危険なのはヒューマンファクターである。</p>	
	<p>画像技術は脳神経外科領域において格段の革新をもたらした。この20年間に於ける術中MRIの発展は、脳腫瘍摘出術の成績を改善し、特に機能的脳外科領域の疾患においてよく研究されている。本号では脳腫瘍手術のために発展してきた術中MRIに関する論文—手術室の安全や麻酔、ハードウェアとソフトウェア両面からの技術革新、パーキンソン病治療に対する使用、そして将来的な術中MRIを用いた脳神経外科での遺伝子治療や細胞移植—を集めた。</p>	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
285	[Skull base surgery using intraoperative MRI].	Watanabe T, Saito K, Fujii M.	No Shinkei Geka. 2009 May;37(5):429-40. Review. Japanese. No abstract available.	
286	Intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgery: the Brigham concept.	Mittal S, Black PM.	Acta Neurochir Suppl. 2006;98:77-86.	Brigham women's 病院における術中 MRIの開発
287	Image-guided craniotomy for cerebral metastases: techniques and outcomes.	Tan TC, McL Black P.	Neurosurgery. 2003 Jul;53(1):82-9; discussion 89-90.	ナビゲーションを用いた転移性脳腫瘍の治療成績
288	The benefits of navigated intraoperative ultrasonography during resection of fourth ventricular tumors in children.	El Beltagy MA, Atteya MM.	Childs Nerv Syst. 2013 Apr 23.	ソノナビシステム
289	Modern intraoperative imaging modalities for the vascular neurosurgeon treating intracerebral hemorrhage.	Goren O, Monteith SJ, Hadani M, Bakon M, Harnof S.	Neurosurg Focus. 2013 May;34(5):E2.	血管性病変に対する、iMRIを含む術中 DSA/CTなどについてのレビュー
290	Improving on-time start for iMRI neurosurgeries.	Ghadijali NF, Koh D, Chia KW, Quek SY.	Asian J Neurosurg. 2013 Jan;8(1):2-8.	術中MRI導入後の脳外科手術の開始時間適正化について
291	Feasibility of anaesthetic provision for paediatric patients undergoing off-site intraoperative MRI-guided neurosurgery: the Singapore experience from 2009 to 2012.	Lim E, Rai E, Seow WT.	Anaesth Intensive Care. 2013 Jul;41(4):535-42.	小児患者が術中MRIを用いて手術を受けるための麻酔科的準備について
292	The safety and effectiveness of low field intraoperative MRI guidance in frameless stereotactic biopsies of brain tumours-design and interim analysis of a prospective randomized trial.	M. Czyż & P. Tabakow & A. Weiser & B. E. Lechowicz-Głogowska & L. W. Zub & W.	Neurosurg Rev. 2013 Jul 3.	腫瘍生検術における低磁場MRIの有用性と安全性の検証
293	Awake language mapping and 3-Tesla intraoperative MRI-guided volumetric resection for gliomas in language areas.	Lu J, Wu J, Yao C, Zhuang D, Qiu T, Hu X, Zhang J, Gong X, Liang W, Mao Y, Zhou L.	J Clin Neurosci. 2013 Sep;20(9):1280-7.	言語領域のグリオーマの手術について
294	Is intraoperative diffusion tensor imaging at 3.0T comparable to subcortical corticospinal tract mapping?	Ostrý S, Belšan T, Otáhal J, Beneš V, Netuka D.	Neurosurgery. 2013 Nov;73(5):797-807; discussion	術前DTIと術中DTIの比較
295	Awake craniotomy may further improve neurological outcome of intraoperative MRI-guided brain tumor surgery.	Tuominen J, Yrjänä S, Ukkonen A, Koivukangas J.	Acta Neurochir (Wien). 2013 Oct;155(10):1805-12.	覚醒下手術と全身麻酔手術による腫瘍摘出の比較。iMRIはいずれも使用。
296	Tumor shrinkage after transsphenoidal surgery for nonfunctioning pituitary adenoma.	Berkmann S, Schlawer S, Buchfelder M.	J Neurosurg. 2013 Dec;119(6):1447-52.	下垂体腺腫摘出後の術中MRI画像とその変化について
297	The role of surgery in optic pathway/hypothalamic gliomas in children.	Goodden J, Pizer B, Pettorini B, Williams D, Blair J, Didi M, Thorp N, Mallucci C.	J Neurosurg Pediatr. 2013 Oct 18.	
298	Using intraoperative dynamic contrast-enhanced T1-weighted MRI to identify residual tumor in glioblastoma surgery.	Koray Özdoğan, Erdem Yıldız, M.D., Alp Dinçer, Aydın Sav, and M. Necmettin	J Neurosurg. 2013 Oct 18.	膠芽腫摘出における術中Dynamic MRIを用いた残存病変の評価について
299	Spectroscopy imaging in intraoperative MR suite: tissue characterization and optimization of tumor resection.	Roder C, Skardelly M, Ramina KF, Beschorner R, Honneger J, Nagele T, Tatagiba MS, Ernemann U, Bisdas S.	Int J Comput Assist Radiol Surg. 2013 Oct 20.	術中MRSの有用性

主な結果	結論・コメント	システム
Brigham 病院でのMRIの開発の歴史と発展性について	Brigham 病院でのMRIの開発の歴史と発展性について	low field, 0.5T
転移性脳腫瘍55症例のうち、iMRIを用いたナビゲーションは10例で、その他は術前のMRIによるナビゲーションを用いて手術を行った。96%で全摘術ができた。	Metaについてのナビゲーションを用いたMetaの摘出で、96%で全摘術ができた。ナビゲーションの有用性について記載してあるが、摘出後のiMRIの使用については不明	
第四脳室腫瘍摘出におけるソノナビの有用性	iMRIは用いていない	
AVMやCavernous angiomaを摘出するさいに、術中MRIはナビゲーションや摘出度の判定に有用	AVMやCavernous angiomaを摘出するさいに、術中MRIはナビゲーションや摘出度の判定に有用	
術中MRIを導入したときには、時間通りに開始する脳外科手術はわずか10.5%だった。遅れる原因について検討して開始時間を早める努力をしたことにより、8ヶ月後にはほぼ100%の症例で予定時間に脳外科手術が開始された。	術中MRIという多職種が関連する施設のインフラにおいても、問題点について整理し改善策を実施することで、効率的な施設運用ができる。	High field, 1.5T
Feasibility of anaesthetic provision for paediatric patients undergoing off-site intraoperative MRI-guided neurosurgery: the Singapore experience from 2009 to 2012.	麻酔科的準備を行えば、子供病院から術中MRI施設への小児患者の安全な移動が可能である。	High field, 1.5T
術前のMRIを用いたFlameless navigation biopsyと低磁場MRIによるbiopsyを比較した。診断率や合併症率には差がなかったが、手術室滞在時間は78分 vs 111分であった。	低磁場MRIを用いた術中ナビゲーション生検術は、術前の高磁場MRIを用いた生検術と差はなかった。	low field, Pole Star N20
連続30例の言語領域のグリオーマの手術を覚醒下手術による言語マッピングと3T術中MRIを用いて行った。腫瘍体積評価による摘出術の中央値は92.5%で、60%で腫瘍全摘術が行われた。術中MRI後に37%(11/30)で追加切除を行った。	言語領域のグリオーマの手術には、覚醒下手術と術中MRIが有用である。	High field, 3.0T
Monopolar刺激による皮質下マッピングの結果は、術中DTIよりも術前DTIのほうがより強く関連した。術中MRIによるDTIは36%(9/25)の症例で、描出できなかった。	皮質下刺激によるマッピングとDTIをくみ合わせることで、腫瘍摘出が安全に行える。	High field, 3.0T
全摘出できた割合は、覚醒下手術50%、全身麻酔下手術は60%。永続的神経症状が残ったのは覚醒下手術で5%、全身麻酔下手術で20%であった。	術中MRIと覚醒下手術により神経症状の改善が期待される	low field, 0.23T
下垂体腺腫摘出後に、術中MRIで写る残存病変は50%(70/140人)で3ヶ月以内に縮小し、63人は完全に腫瘍が消失した。残存腫瘍が小さい場合や初回手術例が、腫瘍縮小の予後因子であった。	術中MRIで観察される下垂体腫瘍の残存病変は3ヶ月以内に縮小する。	High field, 1.5T
42人の小児視神経・視床下部神経膠腫の予後についての報告	専門家の役割について:iMRIを用いると、さらに腫瘍を摘出できる可能性がある	
膠芽腫21例について、42箇所ROIを設定し、残存病変の評価に造影剤を用いたダイナミック撮影法について評価した。Climing typeと定義したintensityの急峻な上昇タイプが見られた部位では、明かな腫瘍塊が見られた。Low amplitude typeでも、正常組織の中に腫瘍細胞の浸潤をみとめた。(いずれも造影病変であるが、腫瘍量が異なっていた)	膠芽腫手術において、術中MRI撮影時の腫瘍塊の同定には、ダイナミック撮影法が有用である。	High field, 1.5T
LGG 20人・HGG 25人の腫瘍摘出後のMRSについて検討した。T2 high領域・Gd非造影領域では、LGGで10/12人・HGGで8/12人でCho/NAA・Cho/Cr比が上昇しており、腫瘍細胞の残存を認めた。HGGの造影領域では術前とおなじCho/NAA・Cho/Crの上昇を認めた。	術中MRSによるCho/NAA・Cho/Crの上昇は、Gd非造影・T2高信号域において残存腫瘍の同定に有用な方法であった。	

No.	タイトル	著者	雑誌・書籍	テーマ
300	Usefulness of image guidance in the surgical treatment of petrous apex cholesterol granuloma.	Pietrantonio A, D'Andrea G, Fama I, Volpini L, Raco A, Barbara M.	Case Rep Otolaryngol. 2013;2013:257263.	術中MRIを用いたケースレポート
301	[Image-guided Surgery for Motor Eloquent Area Glioma Supported by Intraoperative MRI].	Nakahara N, Takebayashi S, Tanei T, Hirano M, Fujii M,	No Shinkei Geka. 2013 ;41(12):1047-63.	運動野近傍グリオーマに対する術中MRI支援画像誘導手術(日本語総説)
302	Determining the utility of intraoperative magnetic resonance imaging for transsphenoidal surgery: a retrospective study.	Jan Coburger, Ralph König, Klaus Seitz, Ute Bätzner, Christian Rainer Wirtz and Michal Hlavac	J Neurosurg. 2013 Dec 13.	術中MRIを用いた下垂体腫瘍摘出の有用性
304	Frameless Stereotactic Functional Neuronavigation Combined with Intraoperative Magnetic Resonance Imaging as a Strategy in Highly Eloquent Located Tumors Causing Epilepsy.	Sommer B, Grummich P, Hamer H, Bluemcke I, Coras R, Buchfelder M, Roessler K.	Stereotact Funct Neurosurg. 2013 Dec 20;92(1):59-67.	腫瘍摘出

主な結果	結論・コメント	システム
錐体尖部コレステリン肉芽腫摘出時に術中MRI・CTの融合画像を用いたナビゲーションが有用であった	錐体尖部腫瘍においても、術中MRI+CTの融合ナビゲーションが有用	High field, 1.5T
最もその有用性が期待される運動野近傍グリオーマの摘出術において、術中MRIを用いた画像誘導手術は極めて有用だった)	運動野の腫瘍摘出においても、術中MRIは有用である	
術中MRI導入前後について下垂体腺腫の摘出度・神経症状の改善・合併症について検討した。術中MRI使用の有無は76例・67例であった。6ヶ月後の残存病変は術中MRIの有無でそれぞれ35%・41%であった。全摘術を予定した場合の全摘割合は、術中MRI有で91%(40/48)、無しで73%(37/51)であった。6ヶ月後の視力の改善は術中MRI有無でそれぞれ31%・23%であった。	下垂体腫瘍摘出において術中MRIを併用することで、摘出度が上がり、視力の改善も期待できる。	High field, 1.5T
19人のてんかんを合併したグリオーマ患者を術中MRIを用いて手術を行った。74%(14/19)で全摘術が行われた。11%(2例)で神経症状が悪化したが、79%の患者でてんかん発作が無くなった。	術中MRIを用いることにより、グリオーマの摘出率が上がり、てんかん発作も無くなった。	High field, 1.5T