

# 高精度な脳腫瘍摘出手術を支援する術中MRIシステム

Intraoperative MRI System Supporting Precision Neurosurgery for Brain Tumor Removal

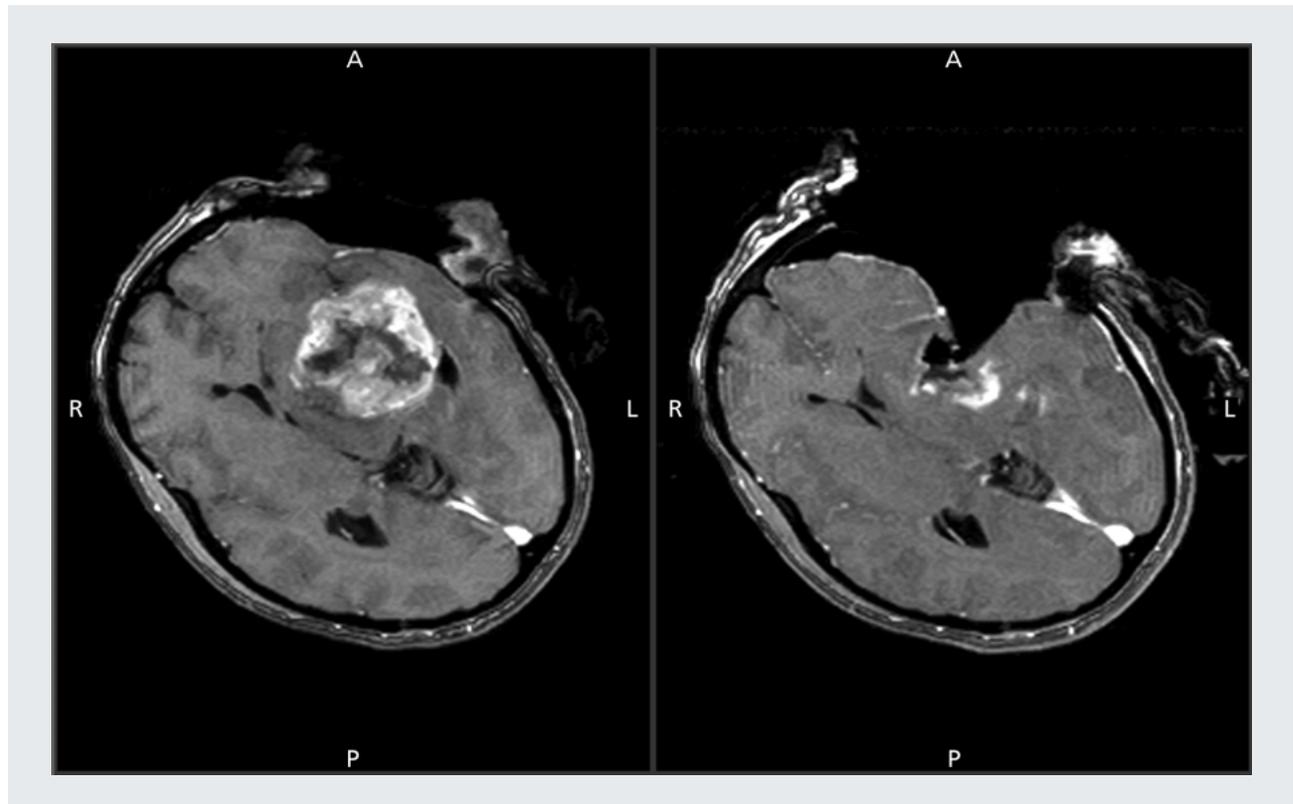
小澤 紀彦 Norihiko Ozawa

白川 洋 Hiroshi Shirakawa

渡部 滋 Shigeru Watanabe

村垣 善浩 Yoshihiro Muragaki

伊関 洋 Hiroshi Iseki



注:略語説明 A (Anterior:前), P (Posterior:後), R (Right:右), L (Left:左)

図1 術中MRIで撮影した脳腫瘍摘出前(左)と摘出後(右)の頭部画像

手術室に設置した株式会社日立メディコの0.3 T オープンMRI「AIRIS」で術中に撮影した脳腫瘍摘出前と摘出後の頭部造影T1強調画像(横断面)を示す。左の画像中央の白い高信号領域が脳腫瘍である。(写真提供:東京女子医科大学)

## 1.はじめに

外科手術では、病変の治療と術後合併症の防止が同時に求められる。その典型的な例として、脳神経外科における脳腫瘍(しゅよう)の摘出手術では、病変を最大限に摘出することが再発を防止し治療のために必要である。しかし、病変の摘出に伴い周辺の正常組織、特に機能領域を損傷すると、運動麻痺や言語障害といった重篤な術後合併症を来すことがある。したがって、摘出すべき病変の位置と保護すべき神経などの機能領域の位置を明確に示すことが求められている。

このような要求に応えるため、術前に撮影した患者のMRI (Magnetic Resonance Imaging:磁気共鳴撮像)やCT(Com-

puted Tomography:コンピュータ断層撮影)の画像上に手術操作を行っている位置を示すことができる、手術ナビゲーションが広がっている。しかし、手術の最中には手術の操作や病変の摘出に伴う臓器の移動・変形が発生するため、術前の画像を参照するだけでは位置の正確性に疑問が残ってしまう。そのため、高精度な手術を行うには、術中にも病変の摘出具合や機能領域との関係を明示するような画像を得ることが求められている。

手術による治療効果は、通常は術後の検査で明らかとなるが、そこで不十分だと診断されれば再手術の検討も必要になる。すなわち、術前・術後の「診断」と術中の「治療」の間には

脳腫瘍などの高度な外科手術を支援する術中MRI(磁気共鳴断層撮影)システムが求められている。MRIは軟部組織のコントラストに優れ、神経などの機能領域を画像化できるという特徴がある。株式会社日立メディコは、漏洩磁場が小さく周辺機器への影響が少ないため、手術室への導入に適したオープンMRIを開発してきた。オープンMRIは、術中MRIとして使い、手術ナビゲーションシステムと組み合わせることにより、MRI画像上に術具の位置をカーナビゲーションのように明示することが可能である。東京女子医科大学では0.3 TオープンMRI「AIRIS」を手術室に導入し、脳神経外科では術中MRIを臨床に適用して成果を上げている。

このような壁が存在する。言い換えると、術前・術後の「診断」と術中の「治療」の境界をなくし、術中に「診断即治療」を行うことにより、安全性の高い正確な医療を実践することが求められている<sup>1)</sup>。

株式会社日立メディコは、オープンMRIを中核とし、手術ナビゲーションシステムとの連携が可能な手術支援システムを提供しており、実際に東京女子医科大学脳神経外科で臨床適用され、摘出率の向上と術後の合併症予防に実績を上げている(図1参照)。

ここでは、高度な脳腫瘍摘出手術を支援する術中MRIシステム、およびシステムの導入について述べる。

## 2. 術中MRIのニーズ

手術の最中に病変の位置や機能領域を最も明確に描出できると期待されているのは、MRIである。術中撮影装置としては、このほかに骨の描出に優れたCTや、リアルタイム性に優れた超音波診断器がある。しかし、繰り返し撮影する術中撮影において、CTは被曝(ばく)の影響を無視できず、超音波診断器は空間分解能が劣る。これに比べ、MRIは軟部組織のコントラストに優れ、多様な撮影方法によって全身のあらゆる部位で空間分解能の高い撮影が可能であり、さらに神経など機能領域の画像化も近年盛んに行われている。

画像の種類が豊富なMRIを手術室に装備する術中MRIを導入したいという高いニーズがある一方で、手術自体は従来の手術室で通常どおり行いたいという要望もある。しかし、手術室へMRIを導入するにあたっては、MRIが大きな磁石を内蔵し、ラジオ波を利用して撮影することから、手術室内の周辺機器との干渉を避けることが大きな課題となる。

## 3. 術中MRIシステム

### 3.1 術中MRI

株式会社日立メディコは、漏洩(えい)磁場が小さく(0.5 mT(テスラ)ラインが装置の周囲約1 m)周辺機器への影響が少ない垂直磁場方式のオープンMRI「AIRIS」(静磁場強度0.3 T)を1996年に開発し、その後も2002年には永久磁石型



図2 オープンMRIを用いた術中MRIシステム

手術はMRI装置の外で行い、撮影時には透明ドレーズ(掛け布)で術野を覆い、患者テーブルを挿入する。(写真提供:東京女子医科大学)

では世界最高磁場を誇る「Aperto」(静磁場強度0.4 T)や、2005年には脂肪抑制撮影「CHESS型RF FatSat」など高度な撮影を可能にした「AIRIS Elite」(静磁場強度0.3 T)を継続的に開発してきた<sup>2)</sup>。

ランニングコストが低く、診断するのに十分な画質を提供できるオープンMRIは、検査用として広く利用されている一方で、術中MRIとしても手術室へ導入され、臨床評価が進行している(図2参照)。特に、脳神経外科の開頭手術では、特製の頭部固定・MR受信用一体化コイルを東京女子医科大学および瑞穂医科工業株式会社と共同で開発した<sup>3)</sup>。

### 3.2 手術ナビゲーション

MRIやCTなどの画像を取り込み、病変や正常組織と術具の位置関係を術者に視覚的に知らせる手術ナビゲーションシステム<sup>4)</sup>が一般に利用されている(図3参照)。これは、カーナビゲーションシステムに例えることができる。カーナビゲーション(手術ナビゲーションシステムは、ドライバー(術者)が目的地(病変)にたどり着くために、現在地(術具の位置)を地図(医療用画像)上に表示するシステムである。

株式会社日立メディコが提供しているMRIなどの医療用画像はDICOM(Digital Imaging and Communications in

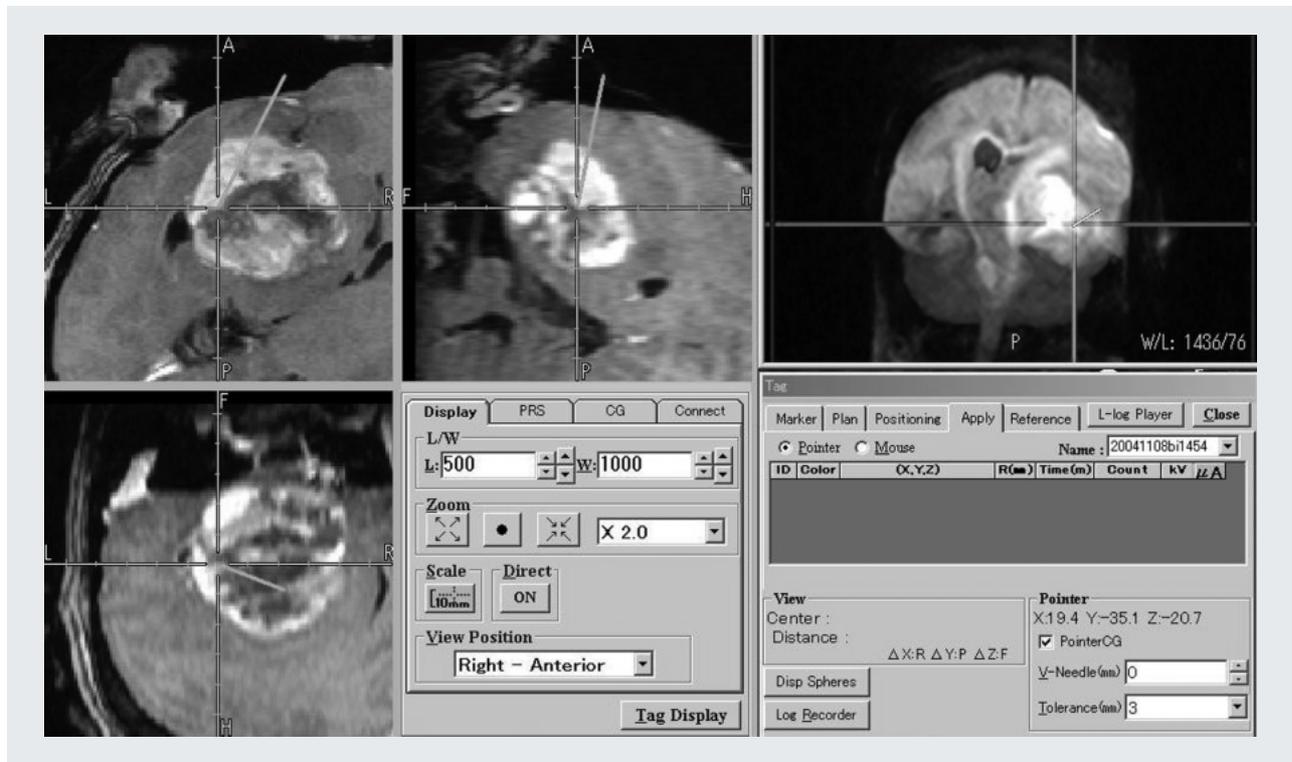


図3 脳腫瘍患者の手術ナビゲーション画面の例  
解剖学的な画像(造影T1強調画像)の3断面(左上:横断面,左下:水平断面,中央:垂直断面)と神経束の画像(右上:冠状断面の拡散強調画像)を示す。十字カーソルは、棒状に示された術具先端の位置を示す。(写真提供:東京女子医科大学)

Medicine)規格を有し、一般の手術ナビゲーションシステムへ取り込むことが可能である。

### 3.3 拡散強調イメージング

拡散強調イメージングとは、プロトンの拡散運動を強調したMRI画像を撮影する方法であり、従来の脳梗塞(こうそく)の診断に加え、近年では脳などの神経束を画像化する手法としても注目されている。複数の拡散強調画像を解析し、神経束の三次元的な走行を描出するトラクトグラフィーが普及しているが、手術の状況下では、1種類の拡散強調画像で運動神経(錐すい)体路を含む神経束の走行を描出する手法も有効である<sup>5)</sup>(図4参照)。

## 4 システム導入事例

### 4.1 導入事例の概要

東京女子医科大学では、0.3 TオープンMRI「AIRIS」を手術室へ導入し、2000年3月から術中MRIとして運用している。脳神経外科では、2006年5月までに脳腫瘍摘出手術など400症例に術中MRIを適用した。今後、他科への展開も検討されている。

### 4.2 腫瘍摘出率の向上

2000~2001年の脳腫瘍41症例(WHO(世界保健機構)分類による悪性度:10例, :15例, :16例)に関しては平均

摘出率が91%に達している<sup>3)</sup>。全国脳腫瘍統計では50~75%摘出が最も多い群であり<sup>6)</sup>、それに比べ大幅に改善している。この高い摘出率には、術中MRIにより、残留腫瘍の有

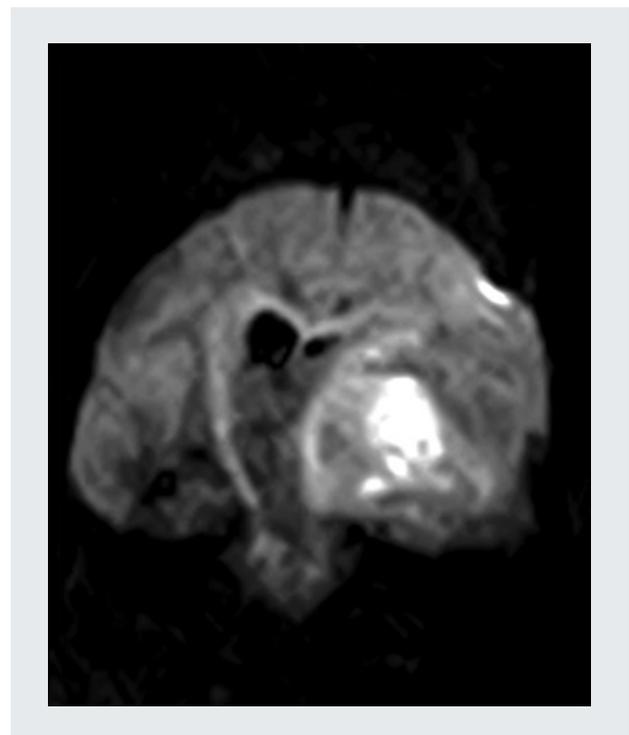


図4 脳腫瘍(中央の塊状の白い高信号領域)に圧排され、弓形の形状を示す運動神経(錐体路)を含む神経束の画像  
術中MRIで撮影した脳腫瘍患者の頭部拡散強調画像(冠状断面)を示す。(写真提供:東京女子医科大学)

無を確認できることが大きく寄与している。術中MRI画像で残留腫瘍を認めた場合は、引き続き摘出することができるためである。このとき、手術ナビゲーションの画像も更新することで、手術操作によって生じた脳実質の移動・変形(ブレインシフト)に対応し、いっそう正確な位置を提示することができる。

#### 4.3 合併症の防止

拡散強調イメージングにより、機能領域である運動神経(錐体路)を含む神経束を術中に明瞭(りょう)に描出することができる。この画像を手術ナビゲーションに用いることによって術者は、自分が手術操作している位置が保護すべき神経束からの程度離れているかを視覚的に知ることができる。この直感的な方法と、従来から行われている電気生理学的な検査を組み合わせることにより、術中に運動機能の予期しない損傷を防ぐことができ、術後合併症の防止に役立っている<sup>7)</sup>。

#### 5. おわりに

ここでは、株式会社日立メディコの術中MRIシステムについて述べた。

術中MRIシステムは、手術の最中に病変、正常組織と機能領域を描出することを可能にする。このシステムの導入事例では、画像誘導手術によって病変を最大限に摘出しながら

術後の合併症を防ぐことに貢献した。「診断即治療」を行うことにより、現在の医療で求められている安全性の高い正確な医療を実践していると言える。今後も、臨床現場で求められるニーズを取り込み、機能向上に努める考えである。

この稿を執筆するにあたり、術中MRIシステムによる画像誘導手術の臨床評価に協力していただいた東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究所先端工学外科学分野の中村亮一氏に深く感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) H. Iseki, et al.: Intelligent Operating Theater Using Intraoperative Open-MRI, *Magnetic Resonance in Medical Science*, Vol.4, No.3, p.129-136(2005)
- 2) 宮脇, 外: オープンMRIの最新動向, *映像情報Medical*, Vol.37, No.14, p.135-140(2005)
- 3) 村垣, 外: 脳腫瘍完全摘出システムの開発に関する研究, 平成16年度NEDO研究成果報告書, プロジェクトID:00A45003a(2005.5)
- 4) 村垣, 外: 術中MRIによるリアルタイムナビゲーションの臨床, *新医療*, p.82-85(2001.6)
- 5) N. Ozawa, et al.: Pyramidal Tract Navigation based on Diffusion Weighted Imaging updated by intraoperative open MRI, *Proceedings of ISMRM*, 1256(2005.5)
- 6) Report of Brain Tumor Registry of Japan(1969-1996) 11th Edition, *Neurologia medico-chirurgica*, Supplement, Vol.43(2003.9)
- 7) 小澤, 外: 術中MRIを用いた拡散強調画像ナビゲーション, 第64回社団法人日本脳神経外科学会総会 学術シンポジウム 低侵襲手術の未来, *Neurologia medico-chirurgica*, 45, Extra issue, 165(2005.9)

#### 執筆者紹介



**小澤 紀彦**  
1999年株式会社日立メディコ入社, MRIシステム本部 設計部 画像グループ 所属  
現在, 東京女子医科大学大学院医学研究科先端生命医科学系専攻 先端工学外科学分野(博士過程)に所属し, 同大学との術中MRIシステムに関する共同研究に従事  
日本脳神経外科学会会員, 日本コンピュータ外科学会会員



**村垣 善浩**  
1986年東京女子医科大学 脳神経センター 脳神経外科医局 入局, 1988年から助手, 東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究所 先端工学外科学分野助手  
現在, 悪性脳腫瘍の集学的治療に従事  
医師, 医科学博士  
日本脳神経外科学会会員, 日本コンピュータ外科学会評議員, 日本Awake Surgery研究会運営委員



**白川 洋**  
1997年株式会社日立メディコ入社, MRIシステム本部 設計部 システムグループ 所属  
現在, 永久磁石型MRIのシステム設計に従事



**伊関 洋**  
1974年東京女子医科大学 脳神経センター 脳神経外科医局 入局, 2001年から助教授, 東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究所 先端工学外科学分野助教授  
現在, 情報誘導手術室, 医療安全工学の研究に従事  
医師, 医科学博士  
日本脳神経外科学会評議員, 日本コンピュータ外科学会理事, 日本エム・イー学会会員



**渡部 滋**  
1982年株式会社日立メディコ入社, 応用機器開発室 所属  
現在, 光トポグラフィ, インテリジェントオペ室などの応用機器開発に従事  
日本医学放射線学会会員, 日本磁気共鳴医学会会員  
日本脳神経CI学会会員, 日本コンピュータ外科学会会員