

原 著

## 悪性神経膠腫の手術における手術支援機器の工夫について

脳神経外科

八重垣 貴 英      福 永      幹      下 間 惇 子      田 中      伯  
山 本 祥 太      宮 前 誠 亮      枝 川 光 太 朗      堀 内      薫  
玉 置      亮      飯 田 淳 一

Improvements in surgical support equipment for malignant glioma surgery

Takahide Yaegaki, Motoki Fukunaga, Atsuko Shimotsuma, Haku Tanaka, Shota Yamamoto,  
Seisuke Miyamae, Kohtaroh Edakawa, Kaoru Horiuchi, Ryo Tamaki, Junichi Iida

Abstract

Surgery for brain tumors, including malignant glioma, requires the support of various surgical support devices. While today's neurosurgeons have to master these devices, it is necessary to devise ways to make them easier to use in accordance in each hospitals. We will present two surgical cases of malignant glioma in our department, and particularly introduce the innovations in use of the intraoperative navigation, intraoperative neurophysiologic monitoring and stereotactic frame.

**Key words** : Malignant glioma, Intraoperative navigation, Intraoperative neurophysiologic monitoring,  
Stereotactic biopsy, Fence post technique

### 要 約

悪性神経膠腫をはじめ、脳腫瘍の手術においては、様々な手術支援機器のサポートが必要となる。それらの機器を使いこなすことは今日の脳神経外科医にとっては Common Technique とすべき事柄である一方、簡便に使えるような工夫が現場の環境に合わせて行われるべきである。当科における悪性神経膠腫の手術症例を2例挙げ、特にナビゲーション、モニタリング、定位脳手術用フレームを使用する上での工夫を紹介する。

### は じ め に

悪性神経膠腫において、摘出可能な病変であれば、合併症を起こさずに腫瘍を最大限切除・摘出することが患者の予

後に影響する。<sup>1)</sup> また、深部の病変など、摘出不能であれば、診断確定のために安全な生検術が検討される。

これらの操作を安全に行うためには、適切な位置把握をするための術中ナビゲーションや、麻痺等の障害が起こっていないか確認するための術中モニタリング等、様々な手術支援機器の補助が不可欠である。

当科でも、多くの手術支援機器を併用して安全な手術を心がけているが、長年の使用経験に基づいて様々な工夫を行っている。代表症例を2例示し、当科における手術支援機器の使用状況について紹介する。

## 症 例 提 示

### 症例 1：フェンスポスト法による腫瘍摘出

#### 病歴

60歳代男性。数日前からの「計算ができない」「文字が書けない」などの症状を主訴に近医を受診した。既往に糖尿病と高血圧を有する喫煙者でもあったことから脳卒中が疑われ、同日当科へ緊急搬送となる。来院時、意識はほぼ清明だが、失書・失算・手指失認・左右失認を呈しており、麻痺や感覚障害はなかった。MRIを撮像したところ脳血管障害の所見はなかったが、左頭頂葉に造影効果を伴う腫瘍性病変を認め周囲の浮腫像を呈していたことから、緊急入院での加療となった。(Fig 1 左)

血管造影等の術前検査を経て、High Grade Gliomaの可能性が高いと考え、開頭腫瘍摘出術を行う方針となった。

#### 術中初見

手術は、全身麻酔下に右下パークベンチポジション体位をとり、経頭蓋 MEP とナビゲーションをセットアップして行った。ナビゲーション画像を参考にしながら、腫瘍の直上を十分にマージンを取って開頭した。

術中迅速病理診断にて、Grade III以上の悪性神経膠腫の所見が得られた。角回自体は腫瘍の首座であり、上述の通り既に Gerstmann 症状が出ていることから、これ以上麻痺等の機能障害を起こさない範囲での全摘出を目標とした。肉眼所見としては、腫瘍の中心部は正常脳と異なる色調であったが、やはり境界は不明瞭であり、フェンスポスト法での摘出を選択した。

まず、ナビゲーション画面を確認しながら、刺入点を6箇所設定した。それぞれの刺入点を処理し、摘出範囲を取り囲むように6本の穿刺針(ポスト)を挿入した。穿刺針には吸引管の内筒を用い、そこに7cmに切った脳室ドレーンを外筒として装着した。十分な深さまで穿刺したら、脳室ドレーンを残して内筒を抜去した。(Fig 1 右)

次に、ポスト同士をつなぐように全周性に摘出を進めた。摘出深度は、脳室ドレーン先端の白い部分に達するまでとし

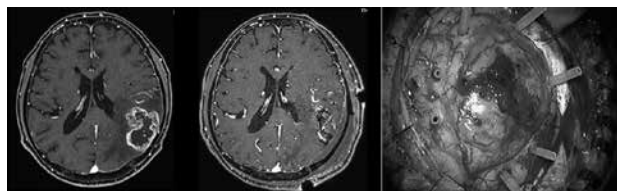


Fig 1 症例 1, フェンスポスト法による腫瘍摘出

左：術前(左)術後(右)のGd造影T1MRI画像。左大脳半球に造影効果を伴う腫瘍性病変を認め周囲に浮腫を伴う。術後画像では過不足なく全摘出されていることがわかる。

右：術中初見。ナビゲーション補助下に腫瘍の周囲を取り囲むよう脳室ドレーンを挿入したところ。

た。全周性に処理したあと、深くならないように注意しながら底面の切離を行った。

病変を一塊に摘出した後、5-ALAの蛍光反応を確認しながら残存部位の摘出を行った。この際、定期的にMEP(運動神経誘発電位)を測定して、術後に麻痺が生じないように心がけた。十分な止血を行い、BCNU Wafferを留置して手術を終えた。

#### 術後経過

術後造影MRIでは、腫瘍の残存なく、必要以上の摘出もされていないことが確認された。病理組織診ではGlioblastoma, IDH wildtypeと診断された。

術後合併症や新たな神経脱落所見もみられず、放射線化学療法を経て独歩退院となった。

### 症例 2：定位的脳生検術

#### 病歴

90歳代女性。認知機能の急速な低下を主訴に来院。MMSEで15/30点の認知機能低下を認め、造影MRIにて脳梁近傍に浮腫を伴う多数の腫瘍性病変を確認した。(Fig 2 左)画像所見から悪性神経膠腫もしくは中枢神経原発悪性リンパ腫(PCNSL)が鑑別に挙がり、定位的脳生検術による診断を行う方針となった。

#### 手術準備

MRI画像を元に穿刺角度のプランニングを行った。運動野などを避けるため、後方からの穿刺とし、血管や脳溝を通らないよう注意した。(Fig 2 中)

既往に慢性心不全を有していることから局所麻酔での手術も検討したが、術前の耐術能評価では問題ないと判断され、また認知機能低下により安静を保つことが困難であったため、全身麻酔下での手術を選択した。

後方からのアプローチなので腹臥位での生検も検討されたが、フレーム装着や体位変換の安全性を考慮し、仰臥位のまま頭部を挙上しての手術を選択した。

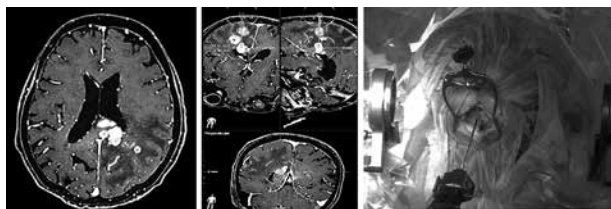


Fig 2 症例 2, 脳梁近傍の悪性神経膠腫に対する定位的脳生検術

左：術前のGd造影MRIT1強調画像。脳梁近傍に腫瘍性病変が散見され、周囲に浮腫を伴う。

中：術前の穿刺プランニング画面。運動野を避けて後方からアプローチ。右：定位的脳生検術の様子。

## 術中初見

全身麻酔導入後、頭部に定位脳手術用フレーム（エレクタ製 LEKSELL）を装着し、一旦退室して頭部 CT を撮影した。撮影したフレーム付き CT を、術前のプランニングデータと融合し、穿刺の角度・座標を算出した。

手術操作がしやすい様に頭部を挙上させた状態で固定した。血管撮影にて血流豊富な腫瘍と考えられたことから、術中出血に対応できるよう、手術は穿頭ではなく小開頭で行った。

フレームの目盛りを、算出した座標に合わせて設定し、生検を行った。（Fig 2 右）必要な検体量が得られるまで操作を繰り返し、穿刺部からの出血がみられないことを確認して、閉頭した。

## 術後経過

術後に新規の神経脱落症状はなかった。術後 MRI 画像でも術後出血がなく穿刺部位も適正であることが確認された。病理組織診断では Giant cell glioblastoma, NOS と診断され、通院にて放射線化学療法を行った。腫瘍の退縮と浮腫の改善が得られるとともに認知機能の改善も得られた。

## 考 察

### フェンスポスト法について

症例 1 のように境界不明瞭な悪性神経膠腫を摘出する際、術中ナビゲーションシステムを用いて、MRI 画像と実際の術野を照らし合わせながら操作を行う必要がある。しかし、摘出操作によって Brain Shift が起こってしまう為、手術が進むに連れてナビゲーションシステムの信頼性は低下する。<sup>2)</sup>特に脳腫脹が強い症例においてはその傾向が顕著となる。そこで、摘出操作が始まる前に予め摘出範囲をマーキングする方法として、フェンスポスト法が有効である。<sup>3)</sup>

手術中は、切離面をフェンス（壁）に見立て、各フェンスの端の支柱（ポスト）を脳表から刺入することになる。当施設では、ポストとしてナビゲーションマーカーを付けたロッドに、短く切断した脳室ドレナーを装着して使用している。（Fig 3 左）穿刺の際は術野とナビゲーション画面の両方を確認しなければならない。そこで、助手が術野を見ながらロッドを把持し、術者がナビゲーション画面を見ながら助手に手を添えて誘導するという具合に共同作業を行っている。

ナビゲーション画面を参照する際は、通常軸位断などの画像では刺入方向にある血管などが把握できないことから、穿刺針の方向に沿った断面画像（インライン画像）を確認しながら穿刺を進めることが必要となる。ただし、インライン画像は普段見慣れている画像とは異なるため、オリエンテーションを失う可能性が伴う。そのため、事前に用意した 3D 画像を同時に表示しておくことで、刺入している角度を 3 次的に把握することも大切である。（Fig 3 右）適切にポストを刺入すれば、その後の摘出操作は、ポスト間を繋ぐよう

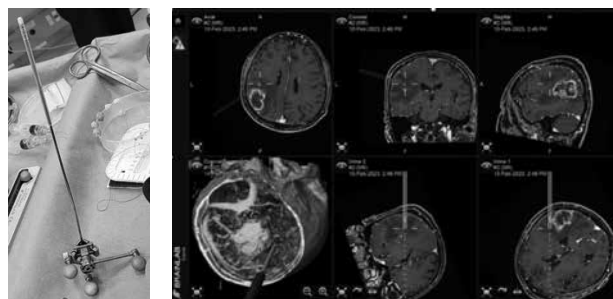


Fig 3 フェンスポスト法におけるポストの刺入

左：フェンスポスト法における穿刺用ロッド

吸引管の内筒を穿刺針とし、7 cm に切断した脳室ドレナーを外筒として使用

右：穿刺中のナビゲーション画面

上段の軸位・冠状・矢状断だけでなく、穿刺針の方向に応じてスライスされた Inline 画像を用いることが重要だが、見慣れないスライスなので、左下の 3 次元画像も参照して立体的に方向を把握する必要がある

に全周性に切離を行うことで比較的簡便に行えるため、従来の手術に比べて術者の技術力による差が出にくいことも利点である。

### 術中ナビゲーション画像の作成における工夫

先述の通り悪性神経膠腫の手術には術中ナビゲーションが必須だが、その際に脳表の血管を含んだ 3D モデルを用意することで 3 次的に術野を把握しやすくなる。もちろん脳溝の情報からも把握は可能だが、脳腫瘍の症例では多くが脳浮腫を伴っているため、病変に近い部位ほど脳溝が描出されないことがほとんどである。

ナビゲーションシステムは独自のデータ形式を使用しており、3D モデルが必要な場合は放射線技師ではなく執刀医自身が 1 から作成するよう想定されている。その一方で、通常の 3D ラボと違い、ほとんどすべての機種において Subtraction 機能（造影前後の差分を計算して血管を描出する機能）を有していない。

そういった理由から、術者はマウスを用いて手書きで血管を塗りつぶしていく作業を強いられることになるが、非常に多くの労力を要する上に精度が低く、また主観的な情報に左右されてしまう。機種によっては、ヒストグラムを用いて関心領域を自動選択する機能も有しているが、脳表の血管のみを選択しようとするとうまくも骨髄も選択されてしまい、分離することが困難である。

一方で、術前の造影 CT を撮影した際には、手術検討のために、放射線技師が 3D ラボの Subtraction 機能を用いて、詳細かつ客観的な 3 次元データを作成してくれている。この 3 次元データをそのままナビゲーションシステムに移行できれば、多くの労力が削減できるのみならず、術前検討に使用

している画像がそのまま術中ナビゲーションで使用できるというメリットを享受できる。そこで我々は、簡単な作業でナビゲーションシステムに移行する方法を考案し、日常的に使用している。

当施設の3DラボではZIOSTATIONというソフトウェアが使用されている。一般的な3Dラボと同様にSubtraction機能を有しているため、造影前の画像・動脈相の造影画像・静脈相の造影画像それぞれの差分を計算することで、客観的に血管が描出される。この3次元画像を、動脈、静脈、腫瘍などのオブジェクト毎に分離し、それぞれを640枚のスライス画像に切りなおしてPACSへと転送する。

転送された画像は白黒2値画像なので、再度ナビゲーションシステムに読み込み、全選択することで、簡単にそれぞれのオブジェクトを再構成できる。(Fig 4)

以上の作業は、慣れれば10分程度の定型作業として行える。この結果、当科で用いている術中ナビゲーション画像は非常に詳細な3次元データを有しているため、術中の位置判断やディスカッションが非常に容易となっている。この方法で作成した画像は、悪性神経膠腫以外の手術でも有用である。代表的な2例をFig 5に挙げる。

#### 術中モニタリング設定についての工夫

昨今の脳神経外科手術においては、MEPをはじめとした術中モニタリングによって、術中に予期しない合併症の発生を抑えることができるようになってきている。しかし、モニタリング機器のセッティングは煩雑で臨床工学技師等に委託している施設も少なくない。そのため、夜間の緊急症例などでは人手不足や技術的な問題から必要なモニタリングが行われていない施設も多いことが現状である。

当科では、平成25年よりモニタリング装置として日本光電 NeuroMaster MEE-1200(以下 MEE-1200)を導入している。導入当初は他施設と同様、使用できる症例に限られていたが、初心者でも使用しやすいプリセットとマニュアルを新たに作成し、全スタッフが自身で様々なモニタリングを行えるように工夫した。

モニタリングにおいて困難なのはまず機器の配線である。MEE-1200には多数の端子ボックスがあり、まずはそれらを本体に一つ一つ接続していく必要があった。そこで、端子ボックスをすべて1枚の盤面(以下、端子盤)に固定し、それらへつながるケーブルも1本に束ねることで設置を簡略化した。(Fig 6 左上)

次に、患者に刺入した電極の配線も困難であった。機器の初期設定では、例えば同じ Cz に刺入した針電極も、SEPを記録するときと ABR を記録するときでは別の端子に接続する必要があった。この作業は煩雑であるため、挿し間違いも起こりやすかった。そこで、刺入部位を整理してみたところ、一般的なモニタリングにおける刺入部位と端子の場所を1対

1対応に整理することができた。これをラベルで記載することで、端子盤を見れば一目で接続端子がわかるようになった。(Fig 6 下)

さらに、ソフトウェアにも改善を行った。通常、複数のモニタリングを併用する場合などは、新たにプリセットを作成する必要があるが、当施設では全てのモニタリングのモニターを内包したプリセットを作成し、「レイアウト切替」を行うだけでモニタリングを切り替えることができるように工夫した。これにより、複数のモニタリングを同時に併用することも容易になった。(Fig 6 右上)

これらの工夫の結果、現在では予定手術から夜間の緊急手術に至るまで、全スタッフが自在に設定できるようになり、ほとんどの症例で活発に使用され、治療成績の向上に寄与している。

#### 定位的脳生検術について

悪性神経膠腫の治療は手術による摘出が第一だが、部位によっては直達手術が行えない症例も多い。しかし、特に中枢神経原発悪性リンパ腫との鑑別は、術前画像検査だけでは不十分で、化学療法を選択する為にも生検術が必要となる。

当センターでは脳深部刺激術を多く行っており、その経験から定位的脳生検術も積極的に行っている。

生検術は比較的安全で合併症のリスクは低いとされており、脳内出血などの一般的な合併症以外では生検の Tract に沿って腫瘍再発をきたした報告などがいくつかみられる。<sup>4)</sup>

局所麻酔でも行えるが、当施設では患者の負担を考慮し、可能であれば全身麻酔を選択している。通常は、フレーム装着状態後にCT撮影へと入室しなければならない都合上、全身麻酔下の手術であってもフレーム装着のみは覚醒下で行うことが多い。しかし、当施設では麻酔科の協力により、全身麻酔導入後にフレームを装着して、その状態でCT室へと入室することが可能となった。これにより、患者本人の苦痛や心理的負担を大幅に軽減することができた。

症例2では仰臥位での手術を行ったが、腹臥位での手術を要することも多い。

その場合、フレームのロッドと穿刺部位が干渉しやすく、頭位を Rotate して装着するなどの工夫も必要となる。術前にフレームのフィッティングなども行うことが望ましい。(Fig 7)

#### 結 語

悪性神経膠腫の手術において、当科で行っている手術支援機器の工夫について紹介した。術中の適正な位置把握には、解剖学的知識は前提として、様々な手術支援機器のサポートも重要となる。

特に今回挙げたナビゲーションやモニタリング、定位脳手術用フレームなどの機器を使いこなすことは今日の脳神経外

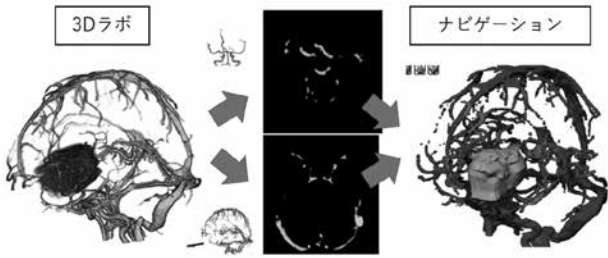


Fig 4 3D ラボの画像をナビゲーションシステムに簡単に移行する方法

左: 3D ラボにて Subtraction を用いて、詳細な 3D 血管モデルが作成される  
中: 動脈・静脈などのパーツに分けて、それぞれをスライス画像に変換する  
右: スライス画像をナビゲーションソフトへ転送し、全選択という形で 3D モデルを作成する

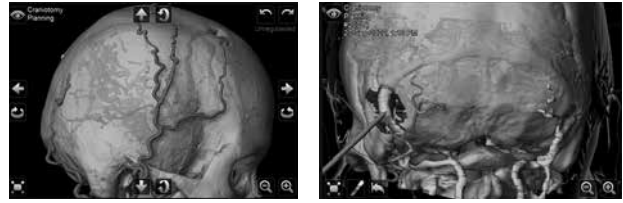


Fig 5 ナビゲーションにおける 3次元画像の術中活用例

(上): 30 歳代女性、もやもや病に対する外科的血管再建術。中硬膜動脈からの自然吻合を有しているため、開頭の際に同血管を損傷しないように注意する必要があります、ナビゲーション画像が役立った。

(下): 60 歳代男性、顔面けいれんに対する微小血管減圧術。後頭蓋窩の開頭においては、横静脈洞や S 状静脈洞の位置を正確に把握することが低侵襲で安全な手術につながる。当施設の方法であれば静脈洞の描出も簡単に行える。



**プリセットの集約とレイアウト切替**

EP & Free-run  
一般的項目(Group 1)  
Ay 左足SEP  
Ay 右足SEP  
Ay 左手SEP  
Ay 右手SEP  
Ay 経頭蓋MEP  
Ay VEP/ERG  
Ay ABR  
Ay 顔面神経刺激  
Ay AMR(下顎刺激)  
Ay AMR(頰骨刺激)  
Ay Free-run  
直接刺激系(Group 2)  
Ay G2下位脳神経(経頭蓋)  
Ay G2下位脳神経(直接)  
Ay G2動眼神経  
Ay G2の経頭蓋MEP  
Ay G2中心溝同定SEP  
Ay G2脳表MEP  
Ay Free-run

切替

**電極のマッピング**

<b>刺激電極A</b> Bipolar 対極板 脳表刺激 頬骨枝 下顎枝	<b>刺激電極B</b> 左上肢 右上肢 左下肢 右下肢 左上肢 or 右上肢	<b>記録電極A(頭部一般)</b> Cz 右7cmC4 左7cmC3 Fz 右耳A2 左耳A1 VEP右O2 VEP左O1 右眼外 左眼外 声帯R- 声帯R+	<b>記録電極B(四肢、その他)</b> 左手- 左手+ 右手- 右手+ 左足- 左足+ 右足- 右足+ 脳表1 脳表2 脳表3 脳表4 アース
---	--	--	---

AMR MEP  
SEP  
中心溝同定(術側のみ)  
ERG  
アース

Fig 6 術中モニタリング設定の簡略化に関する工夫

(左上) 端子を盤にまとめることで機器の配線を簡略化した  
(右上) 全プリセットの集約により、レイアウト切り替えのみで複数のモニタリングを併用することが容易になった  
(下) 端子と穿刺部を 1対1 対応化することで、接続作業が簡便になった



Fig 7 腹臥位での定位的脳生検術

- ①第4脳室近傍の悪性リンパ腫 (Gd 造影 T1 強調画像)
- ②術前日に予めフレームのフィッティングを行った
- ③④頭位を Rotate してフレームを装着したことで、フレームのロッドと術野が干渉しないように装着することができた。

科医にとって Common Technique とすべき事柄であり、日常的に用いて慣れておくことが不可欠と考える。

そのためにも、いつでも簡便に使えるような工夫や、使用者によって精度に差が出ないようにする工夫が、現場の環境に合わせて行われることが望ましい。

## 文 献

- 1) Vuorinen V, Hinkka S, Färkkilä M, Jääskeläinen J. Debulking or biopsy of malignant glioma in elderly people - a randomised study. *Acta Neurochir.* 145: 5-10. 2003.
- 2) Nimsky C, Ganslandt O, Hastreiter P, Fahlbusch R. Intraoperative compensation for brain shift. *Surg Neurol.* 56: 357-365. 2001.
- 3) Yoshikawa K, Kajiwara K, Morioka J, Fujii M, Tanaka N, Fujisawa H, Kato S, Nomura S, Suzuki M. Improvement of functional outcome after radical surgery in glioblastoma patients: the efficacy of a navigation-guided fence-post procedure and neurophysiological monitoring. *J. Neurooncol.* 78: 91-97 2006.
- 4) Aichholzer M, Mazal C, Dietrich W, Bertalanffy A, Roessler K, Ungersboeck K. Epidural metastasis of a glioblastoma after stereotactic biopsy. *Minimal Invasive Neurosurg.* 44: 175-177 2001.