

Neuronavigationによる手術支援 - 手術成績の向上をめざして -

吉田英人、伊東民雄、岡 亨治、尾崎義丸
佐々木雄彦、中川原穰二、中村博彦

中村記念病院 脳神経外科

Surgical Support with Neuronavigation: the Improvement of Surgical Results

Hideto YOSHIDA, M.D., Tamio ITO, M.D., Koji OKA, M.D., Yoshimaru OZAKI, M.D.,
Takehiko SASAKI, M.D., Jyoji NAKAGAWARA, M.D., and Hirohiko NAKAMURA, M.D.

Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital, Sapporo, Japan

Abstract:

Objective: We assessed a Neuronavigation system which had been developed to improve surgical results by using various kinds of devices.

Methods: We used Stealthstation TREON (Medtronic co.) as follows;

- 1) Grasping the location of biopsy simultaneously by using tumor forceps with SURE TRAK
- 2) Stabbing the silicon catheter toward the edge of a tumor before dural opening to prevent brain displacement
- 3) Deciding a location of corticotomy or an approach direction in deep white matter to preserve cortical function or to avoid an injury of pyramidal tract
- 4) Grasping a position of venous sinus and emissary vein to shorten operation time as well as to reduce a quantity of hemorrhage

Result: We were able to improve surgical results, especially in functional outcome.

Conclusion: Neuronavigation system contributed to improvement of operation results by using the different devices in each case.

Key words: Neuronavigation, SURE TRAK, Surgical results

要 旨

【目 的】 Neuronavigationを手術支援として用い、種々の工夫をすることにより手術成績の向上を目指す。

【方 法】 Stealth Statio TREON (Medtronic社) を以下に示すように用いた。

1) SURE TRAKを腫瘍鉗子に取り付け、生検する部位

をリアルタイムに確実に把握する。

2) 脳変位による影響を抑制するために、硬膜切開に tubingを行い、予定された摘出を確実に行う。

3) 皮質の機能温存、白質線維（錐体路）の障害による後遺症をできる限り避けるために、皮質切開部位や深部白質における進入方向を決定する。

4) 静脈洞やemissary veinの位置を確実に把握すること

によって、手術時間の短縮、出血量の軽減を得る。
【結果】以上の方法を応用することにより手術の達成度、機能予後ともに向上が得られた。

【結論】Neuronavigationはその機能にそれぞれの症例に応じた工夫を加えることによって、手術成績の向上に貢献する。

I. 序文

近年、コンピューターの処理能力が飛躍的に向上し、それに伴い医療分野へのコンピューターの進出がめざましい。

脳神経外科の領域においても例外ではなく、3次元画像の処理方法の進歩も相まって、Neuronavigationというreal-timeに術中操作部位を明確に指し示すsystemが開発され、発達してきた^{14) 15) 16)}。

脳腫瘍、とりわけgliomaなどは境界が不明瞭なことが多く、またそれが白質に存在する場合には、指標となるlandmarkが少なく、十分な摘出にはそれ相応の経験と配慮が必要と思われる。また腫瘍がeloquent area近傍であるならばなおのことである。そのような腫瘍の摘出に際してのNeuronavigationの利用は、安全にそしてより確実に摘出を行うということが可能とした^{2) 5) 12)}。

当院においてもNeuronavigationが導入されて以来、gliomaの摘出に主に使用してきた。しかし、それのみではなく、様々な場面において手術成績の向上をめざしてNeuronavigationを利用している。その工夫についてを報告する。

II. 対象と方法

対象は2001年10月にNeuronavigation systemが導入されてから、2002年10月までの症例で、神経膠腫：22例、頭蓋底腫瘍：13例、髄膜腫：7例、転移性脳腫瘍：8例、下垂体腫瘍：8例、その他：3例の計61例に用いた (Table 1)。

手術前日に頭皮上、または前額部、顔面等に6から9箇所にfiducially markerを張り付けた。これはCT、MRIともに画像上、皮膚と判別がつきやすいようなmarkerであり、塩化マグネシウムを含包している¹¹⁾。その後に画像を撮像するわけであるが、対象となる病変により、plane MRI、増強MRI、CT等を使い分けた。撮像に用い

Case summary

| | |
|----------------------------------------------------|------------|
| Glioma (including biopsy) | : 22 cases |
| Skull base tumor | : 13 cases |
| Meningioma (including skull base lesion) | : 7 cases |
| Metastatic tumor | : 8 cases |
| Pituitary adenoma | : 8 cases |
| Others | : 3 cases |
| Total | : 61 cases |

Table 1

た機種は、MRIはSIEMENS社製MAGNETOME Symphony 1.5T、CTは同社のSomatome Plus4 Sを使用した。

Navigation systemは光学式 navigation である、StealthStation TREON (Medtronic社)を使用した。

画像データはDICOM3規格のデータを、CD-Rまたはmagneto-optical diskを介してNeuronavigation本体に入力し、付属のsoftwareであるMACH 4.1を用いて、3D-modelの作成、surgical planの作成などを行った。

III. Neuronavigationの術中使用方法とその工夫

全身麻酔後、Mayfield頭部固定器にて患者の頭部を固定し、そこにreference archを取り付けた。その後、頭皮マーカーの位置情報を本体に入力し、さらに誤差補正を行った。誤差は概ね1mm前後であった。

1. Surgical Microscope Navigation

手術用顕微鏡 (OPMI NEURO/NC4, ZEISS) にはその位置情報を示すマーカーとして、12個の赤外線発光ダイオード (LED) が取り付けられており (Fig. 1)、Neuronavigation本体と接続することにより、その位置情報をNeuronavigationに認識させることができる。あらかじめNeuronavigation本体にて、脳腫瘍の3D-modelを作成しておくことにより、手術用顕微鏡の視野内に腫瘍の輪郭を緑色の線にて表示させることができる (Fig. 2)。

その境界線を指標として腫瘍の摘出を行った。

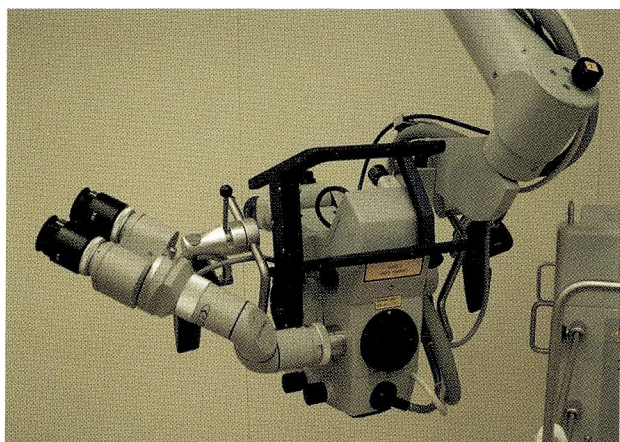


Fig. 1: 手術用顕微鏡。
青色のフレームに12個のLEDが付いている

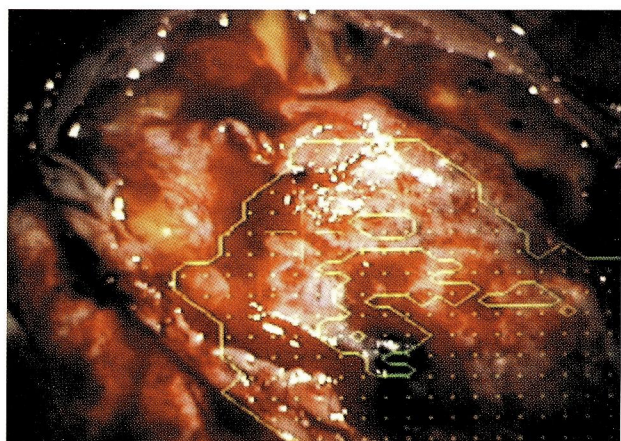


Fig. 2: 顕微鏡視野。
外側の線が腫瘍の最大を示すシルエットラインであり、内側が焦点位置にある腫瘍を示す

2. SURE TRAK

様々な手術器具に取り付けることにより、それをプローベとして機能させることのできるものである。SURE TRAKと、手術器具の先端、後端との位置関係を基準として認識するため、しなるような器具でなければ理論的にはどのような手術器具もプローベとすることができる (Fig. 3)。

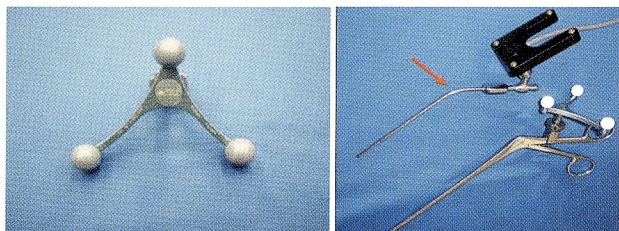


Fig. 3: SURE TRAK。
左: SURE TRAK本体
右: 実際に手術用器具に取り付けたところ

(1) Open biopsy

Open biopsyを目的とした手術においては、脳への損傷はできる限り最小限にとどめたいところである。腫瘍鉗子に取り付けることにより (Fig. 4)、それを同時にプローベとして機能させることが可能となり、腫瘍鉗子が入る程度の皮質切開で済ますことができる。また術中に画像を確認しながら、正確に目的とした部位の生検が可能となる。



Fig. 4: 腫瘍鉗子。

(2) Tubing

開頭後の髄液の排出や脳浮腫による脳の膨隆が、脳の偏位の原因となることは以前より指摘されている^{15) 17)}。その影響をできる限り小さくするために、脳室ドレナージに使用するチューブの先端を腫瘍辺縁に向けて刺入し、境界部分の目安とした¹⁷⁾。

SURE TRAKを脳室ドレナージチューブに取り付け、術前または術中に決定した部位をtargetとして、硬膜を開放する前にチューブが刺入できる程度のみ硬膜を切開して、Neuronavigationにて確認しながら刺入した (Fig. 5)。

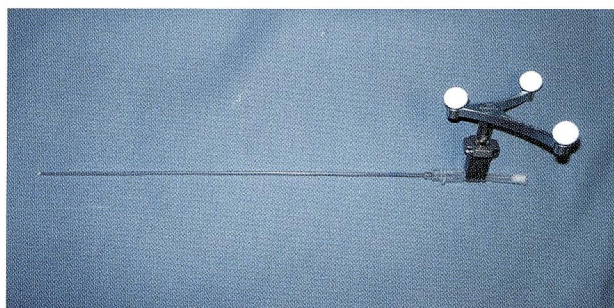


Fig. 5: 脳室カテーテルにSURE TRAKを取り付けた。

【症例1】

75歳、男性。左側頭葉から頭頂葉にかけて存在する、著明な周辺浮腫を伴った神経膠芽腫の症例である。

手術に際しては側頭葉から進入することとしたが、脳浮腫が著明であり、硬膜切開後の脳の膨隆が予想され、Neuronavigation上との誤差が大きくなることが懸念されたため、進入部位近傍より腫瘍の下端、上端をtarget pointとし、tubingを行った。

摘出はそのチューブを指標として行い、予定通りの摘出が可能であった (Fig. 6)。

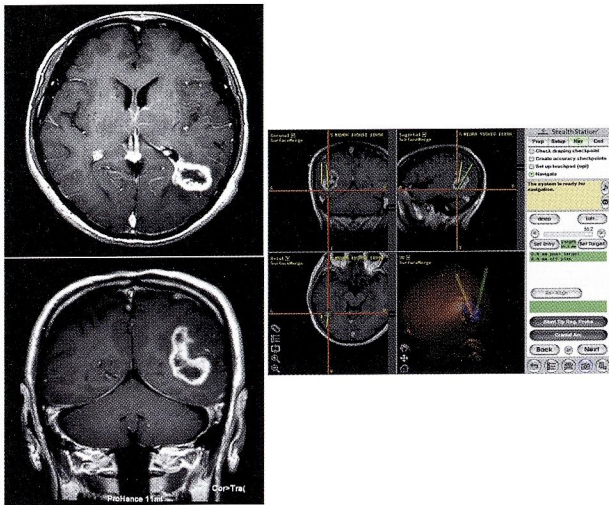


Fig. 6: 症例 1.

左上: 増強MRI軸位断像

左下: 増強MRI冠状断像

右: Neuronavigation画面; 腫瘍最下端にtargetをおいている

3. 皮質切開と進入方向

Neuronavigationを用いて、皮質切開する部位の把握を目的に使用した。また、深部への進入方向の決定にも使用した。

【症例2】

30歳、女性。左頭頂葉、前頭葉皮質下に存在する2個の海綿状血管腫の症例にNeuronavigationを応用した。あらかじめdiffusion tensor imageにて皮質脊髄路が血管腫の外側を走行していることがわかっていたため、頭頂様内側に皮質切開を設けることとした (Fig. 7)。

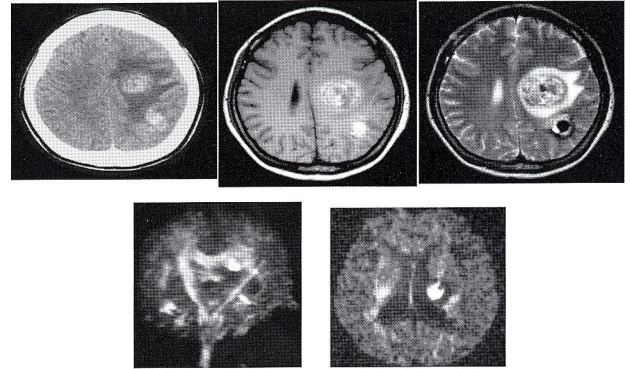


Fig. 7: 症例 2.

左上: CT像

中上: MRI T1強調画像

右上: MRI T2強調画像

下段: diffusion anisotropic image

傍側脳室の血管腫を摘出した後、別の皮質切開を設けてもう一つの血管腫を摘出する予定であったが、Neuronavigation上のシミュレーションで同一切開から比較的近い部位にて行えることがわかり、非常に有用であった (Fig. 8)。

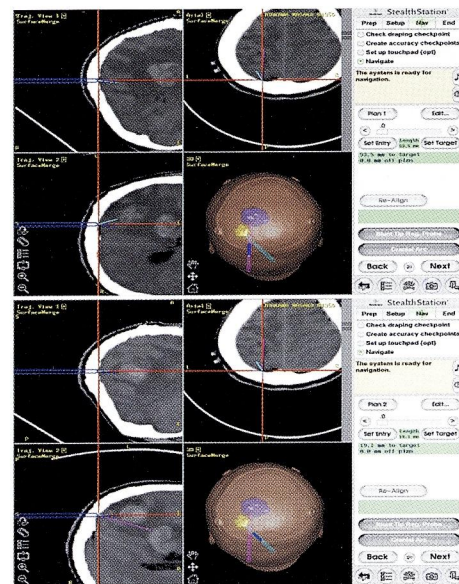


Fig. 8: 症例 2.

[Neuronavigation画面]

左: 内側の海綿状血管腫への進入方向

右: 同一皮質切開部位から外側の海綿状血管腫への進入方向

IV. 結 果

gliomaの摘出に使用したものが20例であった。19例は予定通りの摘出を行えたが、1例は残存してしまい後日再手術となっている。

また、craniotomyの際に使用したものは14例であり、13例が満足のいく開頭を行えている。1例はframeの固定がしっかりされておらず、設定完了後に動いてしまうという初歩的な失敗をしてしまった。幸い大事には至っていない。

全61例中、失敗と考えられるものは前述の2例のみで、残り59例は満足のいく結果に終わっている (Table 2)。

| Result | | |
|----------------------|---|----------|
| Removal of glioma | : | 20 cases |
| Predefined removal | : | 19 cases |
| Re-operation | : | 1 case |
| Craniotomy | : | 14 cases |
| Satisfactory results | : | 13 cases |
| Unfortunate results | : | 1 case |

| Total result | | |
|--------------|---|----------|
| Success | : | 59 cases |
| Failure | : | 2 cases |
| Side effects | : | 0 case |

Table 2

V. 考 察

Neuronavigationは、フレームをつけて行う定位脳手術が発展し、確立されたものである^{7) 11) 13)}。その基本的な使用目的は、境界が不明瞭な腫瘍の摘出があげられよう。そのような腫瘍の摘出に使用することの頻度は高いが、それ以外の目的にも非常に有用である。術前に皮膚切開、開頭部位などのplanningはもちろんのこと、生検、適切な開頭、進入部位や方向の確認などが、手術中に確実に把握することができる。

本システムに付属しているSURE TRAKというdeviceを用いることにより、様々な使い慣れた手術器具をプローベとして機能させることができる。手術器具の先端と尾部との距離が一定であり、確実にSURE TRAKを取り付けられるものであればどんなものでも使用可能である。

腫瘍鉗子に取り付けopen biopsyを数例行ったが、術前に予定した部位の生検を確実にに行えることができた。また、術中に追加して行いたい場合にもNeuronavigation上にて再度、planningを行えば可能であり、その点でも有用と思われる。

Neuronavigationの使用の際に常に問題となるのが脳の偏位である。髄液の排出による沈み込み、脳浮腫による膨隆と原因は様々であるが^{15) 17)}、これを如何に補正するかが重要である。術中エコー、術中MRIなども応用されてきてはいるが^{1) 10)}、別の機器が必要となるなど簡便には行えない。

そこで、硬膜開放前に腫瘍の辺縁に向けて脳室ドレナージ用のチューブを刺し、その先端が画像上の腫瘍の境界となるようにした。実際には前述の通り、チューブを刺入するだけである。その後硬膜を開放するが、脳の偏位とともにチューブも移動するので、先端は境界部分にあると考えられる。あとは通常の方法にて、チューブを目安にしながら腫瘍の摘出を行った¹⁷⁾。摘出時にはチューブが動かないように配慮する必要がある、多少チューブが邪魔と感じるなどの欠点もあるが、度々プローベで確認しながら進めていく必要がなくなり、時間の短縮にもつながった。

腫瘍摘出の際には、その腫瘍の存在部位に開頭部位を正確に設けることは必須であり当然のことである。もちろんその際にもNeuronavigationは有用ではある¹⁴⁾。前頭開頭などの場合には、前頭洞の開放が必要不可欠な場合を除いては、術後の合併症を避ける意味で開放しない方が良いと思われる。そのような場合には前頭洞ぎりぎりの部位にまで開頭を正確に行うことが可能である。

また、主に聴神経鞘腫の摘出時に際しては、当院ではlateral suboccipital approachを用いているが、視野の拡大のためにtransvers sinusをまたいで開頭を行っている。その際にもNeuronavigationは有用である。asterionを目安にtransvers sinusの位置を推測することは可能ではあるが⁹⁾、正確にsinusの位置を把握しsinusの損傷を確実に避け、出血量を軽減させることにも役立つ。

深部白質に病変が存在している場合には皮質切開は必要不可欠ではあるが、その皮質がもつ機能をできる限り温存することが重要である。また皮質切開は必要最小限にとどめるべきであり、重大な後遺症を残してしまうことのない様な部位を選択する必要がある。様々な機能画像をnavigationに取り込むことも可能であるため^{4) 18)}、そ

の際にもNeuronavigationを用いれば、皮質切開する部位を確実に把握することができる。

手術台などを傾けたりすることにより、landmarkの少ない深部白質などではdisorientationに陥ることもある。その際にもNeuronavigationを使用することにより、皮質切開を加えた部位から病変部までの進入方向をreal-timeに確認することが可能であり、安全に不安無く進入することが可能である。また、深部白質における錐体路などがdiffusion tensor imageなどにて描出されることが可能となっている^{3) 6) 8)}。それを利用することにより、錐体路の損傷を避けるべく進入することも可能である。

VI. 結 論

Neuronavigationは、その機能にそれぞれの症例に応じた様々な工夫を加えることにより、摘出度の向上、機能の温存、出血量の軽減、後遺症等の合併症の軽減に役立つ、ひいては手術成績の向上に貢献するものと考えられた。

文 献

- 1) Black PM, Moriarty T, Alexander E III, et al: Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applicants. *Neurosurgery* 41: 831-845, 1997
- 2) C. Rainer Wirtz, Friedrich K Albert, Martin Schwaderer, et al: The benefit of neuronavigation for neurosurgery analyzed by its impact on glioblastoma surgery. *Neurol Res* 22: 354-360, 2000
- 3) David J Werring, Ahmed T Toosy, Christopher A Clark, et al: Diffusion tensor imaging can detect and quantify corticospinal tract degeneration after stroke. *Neurol Neurosurg Psychiatry* 6: 269-272, 2000
- 4) Ganslandt O, Steinmeier R, Kober H, et al: Magnetic source imaging combined with image-guided frameless stereotaxy: a new method in surgery around the mortor strip. *Neurosurgery* 41: 621-628, 1997
- 5) Han-Jung Chen: Clinical Experiens in Neuronavigation. *Stereotact Funct Neurosurg* 76: 145-147, 2001
- 6) H Mamata, Y Mamata, Carl-fredrik Westin, et al: High-Resolution Line Scan Diffusion Tensor MR Imaging of White Matter Fiber Tract Anatomy. *AJNR* 23: 67-75, 2002
- 7) Iseki H, Kawamura H, Tanikawa T, et al: An image-guided sterotactic system for neurosurgical operations. *Stereotact Funct Neurosurg* 63: 130-138, 1994
- 8) 石亀慶一, 青木茂樹, 荒木力, 他: 頭部領域における拡散テンソルの臨床応用. *画像診断* Vol. 20, No.11: 1247-1254, 2000
- 9) J. Diaz Day, Manfred Tschabitscher: Anatomic Position of the Asterion. *Neurosurgery* 42: 198-199, 1998
- 10) Koivukangas J, Louhisalmi Y, Alakuijala J, et al: Ultrasound-controlled neuronavigator-guided brain surgery. *J Neurosurg* 79: 36-42, 1993
- 11) 森岡隆人, 西尾俊嗣, 池崎清信, 他: Frameless Navigation System (StealthStationTM) による Image-guided Neurosurgeryの経験. *脳神経外科* 27 (1): 33-40, 1999
- 12) O Suess, Th Kombos, R Kurth, et al: Intracranial Image-guided Neurosurgery: Experience with a new Electromagnetic Navigation system. *Acta Neurochir (Wien)* 143: 927-934, 2001
- 13) Patrick J Kelly, George J Alker, Jr, Stephan Goerss: Computer-assisted sterotactic Laser Microsurgery for the Treatment of Intracranial Neoplasms. *Neurosurgery* 10: 324-331, 1982
- 14) Rossler K, Ungersboeck K, Aichholzer M, et al: Frameless stereotactic lesion contour-guided surgery using a computer-navigated microscope. *Surg Neurol* 49: 282-289, 1998
- 15) Smith KR, Frank KJ, Bucholz RD: The NeuroStation: a highly accurate, minimally invasive solution to frameless stereotactic neurosurgery. *Comput Med Imaging Graph* 18: 247-256, 1994
- 16) Spetzger U, Laborde G, Gilsbach JM: Frameless neuronavigation in modern neurosurgery. *Minim Invas Neurosurg* 38: 163-166, 1995
- 17) T Kuroiwa, I Ohta: Operation Using a Frameless Stereotactic System with a Marker: Technical Note. *Minim Invas Neurosurg* 44: 163-166, 2001
- 18) 渡辺英寿: ニューロナビゲーターと脳磁図による中心溝の決定. *脳神経* 45: 1027-1032, 1993