

頭蓋底腫瘍摘出術における ナビゲーションシステムの有用性

竹本安範 藤津和彦 市川輝夫
武田行広 宮原宏輔 松永成生

IRYO Vol. 60 No.7 (453-458) 2006.7

要 旨

2001年1月より2005年12月まで光学式ナビゲーションシステム (Stealth Station TREON, Medtronic Sofamor Danek 社, Minneapolis, MN) 支援下で24例の頭蓋底腫瘍摘出術を行った。この使用経験をもとにナビゲーションシステムの頭蓋底外科における有用性を検討した。内訳は髄膜腫11例, 神経鞘腫4例, 下垂体腺腫4例, 形質細胞腫2例, コレステロール肉芽腫2例, 類上皮腫1例, 腫瘍の部位別に分類すると鞍上部/傍鞍部8例, 鞍結節部/前床突起部6例, 錐体斜台部5例, 大孔部2例, 頭蓋外伸展3例であった。ナビゲーションは全例において問題なく行われ, 大きな髄膜腫における栄養動脈の早期処理, 腫瘍に埋没した主幹動脈の確保, 頭蓋底, 頭蓋外に侵潤した腫瘍の切除, 再手術の際などに重要な役割を果たした。ナビゲーションシステムは頭蓋底外科においてより安全で確実な手術を行うためにきわめて有用な手術支援機器であると考えられた。

キーワード ナビゲーションシステム, 頭蓋底腫瘍, 頭蓋底手術

はじめに

手術ナビゲーションシステムはCT・MRIなどから得られた3次元的情報を術野の座標に還元統合し, 手術を誘導しようとの概念で開発実用化され, 脳神経外科領域では急速に普及されつつある。術者はリアルタイムで操作部位の位置, 進入方向を画像情報の中で知ることができる非常に有用な手術支援装置である。最近ではfunctional MRIやtractographyあるいは脳磁図などの脳機能画像との統合が行われた

り¹⁾²⁾, 術中MRIや超音波エコーで画像情報のupdateを行いbrain shiftを克服する試みもなされており³⁾, 発展が著しい分野である。頭蓋底外科においては脳脊髄液排除による手術中の偏位がは起こりにくいという大きな利点があり, ナビゲーション手術のよい適応である^{2),4)-7)}。われわれは導入当初より積極的にこれを用い, 安全かつ迅速な手術を行うためにはどういった使用法が有効であるかを検討してきた。本稿では頭蓋底腫瘍手術におけるナビゲーションシステムの使用経験を述べるとともに, その有用性と問題点を論じる。

国立病院機構 横浜医療センター脳神経外科
別刷請求先: 竹本安範 国立病院機構横浜医療センター 脳神経外科
〒245-8575 横浜市戸塚区原宿3-60-2
(平成18年1月6日受付, 平成18年4月21日受理)

対象と方法

2001年1月より2005年12月まで光学式ナビゲーション

Usefulness of Neuronavigation System for Skull Base Tumor Surgery

Yasunori Takemoto, Kazuhiko Fujitsu, Teruo Ichikawa,
Yukihiko Takeda, Kousuke Miyahara and Shigeo Matsunaga

Key Words : neuronavigation, skull base tumor, skull base surgery

ョンシステム Stealth Station TREON (Medtronic Sofamor Danek 社, Minneapolis, MN) 支援下で頭蓋底腫瘍摘出術を行ったのは24例 (男性8例, 女性16例, 年齢12-71歳, 平均50.5歳) である。そのうち再手術例は2例であった。内訳は髄膜腫11例, 神経鞘腫4例, 下垂体腺腫4例, 形質細胞腫2例, コレステロール肉芽腫2例, 類上皮腫1例であった。腫瘍の部位別に分類すると鞍上部/傍鞍部8例, 鞍結節部/前床突起部6例, 錐体斜台部5例, 大孔部2例, 頭蓋外伸展3例であった。

手術術式としては, orbitozygomatic approach⁸⁾⁻¹⁰⁾, frontobasal approach¹¹⁾, transpetrosal approach¹²⁾⁻¹⁴⁾ など種々の頭蓋底アプローチが用いられた。

術前の撮像はCT (GE HiSpeed FX/i) を使用した。2 mm 幅, 2 mm 間隔で撮影した造影CTの画像データを用い, 6-7個のfiducial markerでregistrationを行った。

結 果

症例の一覧を Table 1 に示す。全例において2.0 mm 以内の精度が得られ満足いくナビゲーション手術を行うことができた。全摘出18例, 亜全摘出6例であった。

術前症状の改善が9例 (37.5%) に認められ, 不変12例 (50%), 悪化3例 (12.5%) であった。術後新たに神経症状を生じたものは一過性のものを含めると7例 (29.2%) であった。そのうち永続したものはワレンベルグ症候群1例, 顔面神経麻痺およ

び嚥下障害1例, 軽度の左片麻痺1例の計3例 (12.5%) であり, 一過性のは顔面知覚障害1例 (2週間で回復), 動眼神経麻痺4例 (1例は左片麻痺を来したものと同一症例, すべて1.5~3ヵ月で回復) であった。そのほか, 髄液漏を1例, 創部感染を1例, 咽頭浮腫を1例に生じた。死亡例はなく全例独歩退院した。

頭蓋底外科へのナビゲーションシステムの導入で有効であったのは以下のごとくであった。

1. 大きな髄膜腫における栄養動脈の早期処理
2. 腫瘍に埋没した主幹動脈の同定と確保
3. 頭蓋底, 頭蓋外侵潤した腫瘍の切除範囲の確定
4. 再手術におけるオリエンテーション

これらではナビゲーションシステムはきわめて有効であり手術時間の短縮, 出血量の減少, 腫瘍摘出率の向上に大きく寄与したものと考えられた。

以下に具体症例を示す。

〈症例1〉

49歳, 女性。視野障害, 嗅覚消失にて発症した大きな前頭蓋底髄膜腫の症例。腫瘍の後端では両側の内頸動脈を巻き込んで発育し, 腫瘍栄養動脈は眼動脈経路で前頭蓋底より多数入り込んでいた。

手術所見: frontobasal approach を行い, まず腫瘍付着部を凝固切離しつつ内減圧する操作を行いながら深部に進んでいった。ある程度処理した後はナビゲーションシステムで到達深度を確認しながら同様の操作を繰り返した。はじめは著しかった出血も次第にコントロールされていった。蝶形骨平面部まで達した後, 両側内頸動脈, 視神経管をナビゲーション

Table 1 Clinical summary of the 24 cases

No.	age	sex	histology	tumor location	surgical approach	resection	complication
1	28	m	rec. pituitary adenoma	suprasellar-nasal cavity	frontobasal	subtotal	none
2	52	f	plasmacytoma	petrous bone	orbitozygomatic	total	lt. Facial sensory loss(transient)
3	59	f	meningioma	foramen magnum	transcondylar	total	rt. Wallenberg syndrome
4	46	m	plasmacytoma	sellar-clivus-extracranial	extended frontobasal	subtotal	CSF leakage
5	12	m	meningioma	cavernous sinus	orbitocranial	total	none
6	49	f	meningioma	tuberculum sellae	frontobasal	total	none
7	58	f	schwannoma	Meckel cave	orbitozygomatic	total	none
8	61	m	meningioma	anterior clinoid	orbitocranial	total	lt. Oculomotor palsy(transient) ,infection
9	58	f	schwannoma	infratemporal fossa	orbitozygomatic, transmandibular	total	none
10	57	m	epidermoid tumor	Meckel cave	orbitozygomatic	total	none
11	40	f	meningioma	orbita-tuberculum sellae	orbitocranial	subtotal	none
12	49	f	meningioma	tuberculum sellae	frontobasal	total	none
13	52	f	cholesterol granuloma	petrous bone	anterior transpetrosal	total	none
14	61	f	rec. meningioma	cavernous-pretroclival	far lateral suboccipital	subtotal	lt. facial palsy, dysphagia
15	70	f	meningioma	foramen magnum	far lateral suboccipital, C1 laminectomy	total	none
16	59	f	meningioma	anterior clinoid	orbitocranial	total	rt. oculomotor palsy(transient) lt. hemiparesis
17	55	m	pituitary adenoma	cavernous sinus	pterial, anterior clinoidectomy	total	none
18	71	f	meningioma	anterior clinoid	pterial	total	rt. oculomotor palsy(transient)
19	65	f	pituitary adenoma	suprasellar-parasellar	orbitocranial	total	rt. oculomotor palsy(transient)
20	46	f	meningioma	jugular foramen-extracranial	transmandibular	subtotal	pharyngeal edema
21	49	f	schwannoma	petrous bone	posterior transpetrosal	total	none
22	32	m	rec. pituitary adenoma	suprasellar-nasal cavity	frontobasal	subtotal	none
23	56	f	schwannoma	petroclival	far lateral suboccipital	total	none
24	27	m	cholesterol granuloma	petrous bone	anterior transpetrosal	total	none

Abbreviations: f:female m:male rec.:recurrent CSF: cerebrospinal fluid

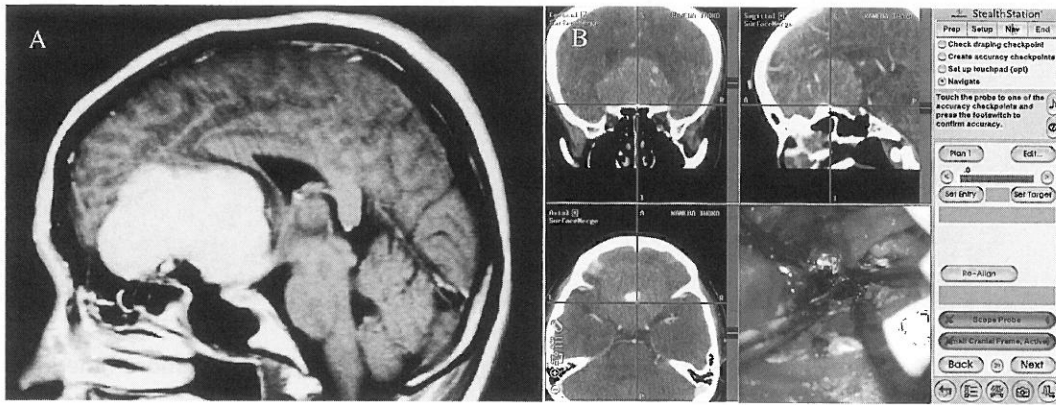


Fig. 1 Case 1. A: Pre-operative magnetic resonance imaging (MRI) showing a large tuberculum sellae meningioma encroaching upon the carotid arteries. B: The neuronavigation system was quite useful for detaching the tumor attachment on the skull base, and for detecting the carotid arteries.

ンシステムで確認し慎重に剥離，これを確保した。このあと大きく腫瘍を内減圧し，前大脳動脈との癒着を剥離，腫瘍を全摘した。

新たな神経症状の出現なく，術前の視野障害は改善した。

〈症例 2〉

52歳，女性．左外転神経麻痺で発症した錐体骨先端部の形質細胞腫の症例．腫瘍の主座は錐体骨内で左内頸動脈は腫瘍内を貫通しており，脳血管撮影上淡い腫瘍濃染像を認めた。

手術所見：左 orbitozygomatic approach で硬膜

外より腫瘍に接近した．ナビゲーションシステムで腫瘍の位置を確認しつつ錐体骨を削除し，腫瘍を露出した．ナビゲーションシステムにて内頸動脈の走行を把握しこれを確保した．腫瘍内の内頸動脈を全長にわたり剥離し，周囲の腫瘍を摘出していった．腫瘍は海綿静脈洞方向にも伸展していたが洞内への侵潤はなく全摘出できた。

術後一過性に軽度の左三叉神経症状が出現したが約 2 週間で消失，左外転神経麻痺は改善した．術後放射線治療を行い 3 年間再発はない。

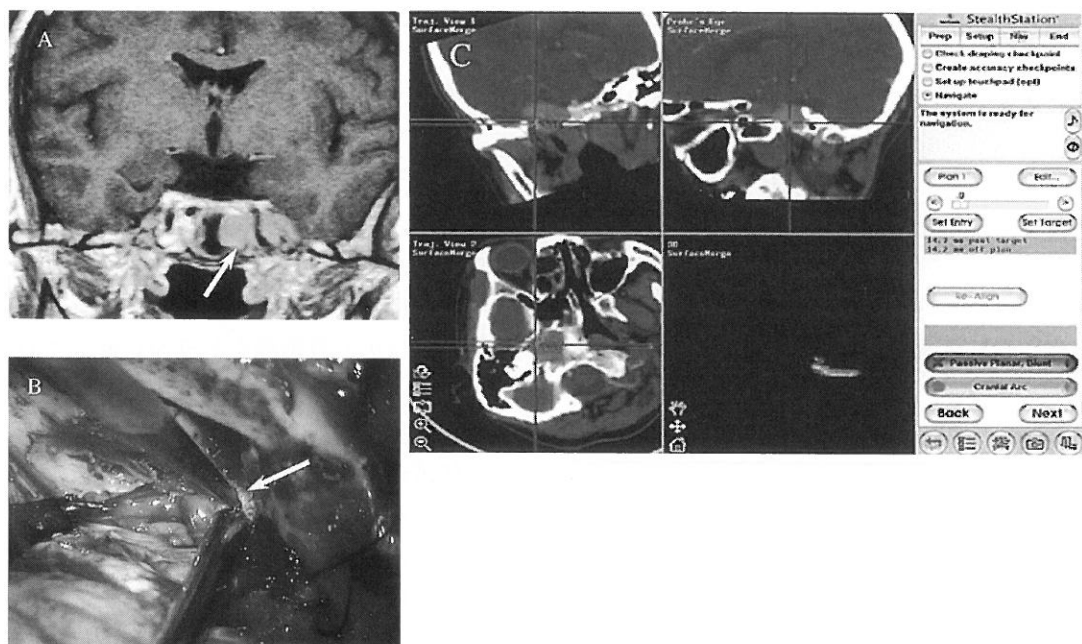


Fig. 2 Case 2. A: Coronal MRI with contrast enhancement showing a plasmacytoma in the petrous bone with involvement of the left carotid artery (arrow). B, C: The neuronavigation pointer is pointing to the carotid artery (arrow in B).

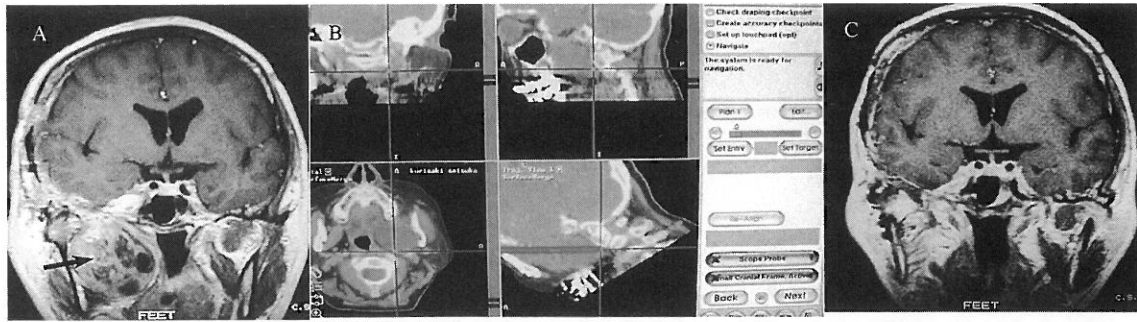


Fig. 3 Case 3. A: An enhanced MRI after the initial surgery, showing a residual tumor in the infratemporal fossa (arrow).

B: The tumor margins were delineated by the neuronavigator at various stages of the operation.

C: Postoperative MRI showing total removal of the tumor.

〈症例3〉

58歳，女性。めまい，歩行障害，右顔面知覚障害，咽頭違和感にて診断に至った巨大な右三叉神経鞘腫の症例。腫瘍は頭蓋内では脳幹を強く圧迫し，卵円孔を通じて頭蓋外へ伸展，側頭下窩に大きな腫瘤を形成し咽頭を圧迫していた。このため2段階手術を計画した。

手術所見：第1回目の手術では右 orbitozygomatic approach にて頭蓋内部分の摘出を行った。卵円孔を境に頭蓋内部分はすべて摘出し脳幹の圧迫も解除された。第2回目の手術では前回同様の骨切除を行い硬膜外にアプローチした。ナビゲーションシステムで確認しつつ卵円孔を開放，顎関節突起を切断し下顎骨を後方に偏位させた。外側翼突筋を一部切断し腫瘍に達した。これにより形成された側頭下窩の手術窓から大きく咽頭方向にのびた腫瘍を摘出していった。手術窓がせまく直視下のオリエンテーションが困難であったため，ナビゲーションシステムで解剖学的位置を確認し，摘出範囲を把握しながら操作を進めた。幸いに周囲との癒着はそれほど強固でなく全摘出が可能であった。

術後顔面知覚障害は永続したが，眩暈，歩行障害は消失した。

考 察

一般に頭蓋底外科手術は脳の底面に到達するために神経血管を内包する頭蓋底の骨を広く削除する必要がある，また病変自体も重要な血管，神経組織に絡みついている。そのため，術者には高度の技術，解剖学的知識が要求される。近年，頭蓋底腫瘍の治療成績は様々な手術法の開発，手術支援器具や放射

線外科の発達などにより大きく向上した。とはいえ，他の分野と比較するとその mortality, morbidity はまだまだ高いといわざるを得ない。その中でいかに安全かつ迅速に手術を行うかという観点からみるとナビゲーションシステムの果たす役割は非常に大きいものと思われる。

ナビゲーションシステムは，1.手術アプローチの計画とシミュレーション，2.術中オリエンテーション，3.重要な神経血管組織の同定，4.腫瘍摘出範囲の把握などの各段階において重要な情報を術者に与えてくれる³⁾⁻⁵⁾。

手術の基本戦略として早期に腫瘍の栄養動脈の処理を行うことの重要性は周知のことである。とくに大きく血流豊富な髄膜腫では頭蓋底付着部を凝固切離することにより出血が減じその後の手術操作が格段に楽になる。しかし付着部の処理を一義的に考えて手術を進めるとどうしても視野は狭くなり，オリエンテーションがつきにくくなってしまふのが難点である。さらに頭蓋底髄膜腫では主要血管，脳神経が付着部辺縁に接しているか巻き込まれていることがしばしばあり，注意を要する。これに対処する方法の1つは広く骨切除を行う頭蓋底アプローチであり，もう1つはナビゲーションシステムであると考えられる。症例1の如くナビゲーションシステムにて付着部処理がどこまで進んだかを確認しながら手術を行うと進行はスムーズになり，安全性も向上する。

また，症例2のように腫瘍に埋没した主幹動脈を確保する場合についても同様である。腫瘍を切除しながら埋没した血管を探すのは過度に慎重になり，いたずらに時間を消費してしまうものである。ナビゲーションシステムにて手術の早い段階で主幹動脈を確保し剥離しておくとの後の手術操作を技術的にも

精神的にも楽に行うことができ、結果的に手術時間の短縮、出血量の減少につながるものと思われる。

頭蓋底に侵潤した腫瘍の場合は解剖学的ランドマークが破壊されていることが多く、さらに頭蓋外にまで伸展すると病変の広がりをも把握できないことがしばしばある。これは経験数が限られることも相まって術者を不安に陥れるものである。ここにおいてもナビゲーションシステムは有力なツールになり得る。症例3で示したように大きく側頭下窩まで伸展した腫瘍でも比較的狭い頭蓋底のスペースから摘出することが可能であった。

再手術の場合も積極的にナビゲーションシステムを用いるべきと思われる。出血しやすくまた、神経組織を損傷してしまう可能性が高いため癒着剥離が最小限となってしまうことが常であり、ランドマークを確認できないこともしばしばある。術中オリエンテーションのためにはナビゲーションシステムはきわめて有用である。

ナビゲーションシステムの問題点として Brain shift をはじめ registration に関することなどが一般的に挙げられているが³⁾⁵⁾、ここではとくに以下の2点を述べておく。1つは光路の遮蔽の問題である。現在のナビゲーションシステムの多くは光学式システムを採用しており、その光路を術者、助手あるいは手術顕微鏡などが遮ってしまうとナビゲーションが機能しなくなる。このため術者および助手がどの位置で手術操作を行うかを予想してカメラと reference frame を配置する必要がある。また手術顕微鏡がポインターを隠さないように手術顕微鏡の焦点距離を長くして、術野と顕微鏡の間にできるだけ空間を作る工夫も必要である。それでもしばしば光路が遮蔽され、ナビゲーションのために円滑な手術進行が妨げられてしまう。この問題点の解決においては、より洗練された磁場式システムの開発など今後の技術発展に期待したい。もう1つは現段階では脳神経、穿通動脈までは画像描出できず、これらまでナビゲートすることはできない点である。頭蓋底手術合併症の多くをまさにこの脳神経障害、穿通枝梗塞が占めているのである。これらを温存するためにはやはり術者の熟練、経験が何よりも重要である。ナビゲーションは手術支援装置の1つであって、過大に評価しそれに頼るのは禁物であり、頭蓋底手術を行う者は常に知識の習得、技術向上に研鑽を積みなければならない。

[文献]

- 1) 小澤紀彦, 村垣善浩, 白川洋ほか: 術中拡散強調画像 (DWI) ナビゲーションシステム. 日コンピュータ外会誌 6 : 365-366, 2004
- 2) Rohde V, Spangenberg P, Mayfrank L et al: Advanced neuronavigation in skull base tumors and vascular lesions. Minim Invasive Neurosurg 48 : 13-18, 2005
- 3) 杉浦円, 伊関洋, 村垣善浩ほか: ナビゲーション術中 MRI とリアルタイムアップデートナビゲーション. 機能脳神外 40 : 94-95, 2001
- 4) Kurtsoy A, Menku A, Tucer B et al: Neuronavigation in skull base tumors. Minim Invasive Neurosurg 48 : 7-12, 2005
- 5) Sure U, Alberti O, Petermeyer M et al: Advanced image-guided skull base surgery. Surg Neurol 53 : 563-572, 2000
- 6) Wiltfang J, Rupprecht S, Ganslandt O et al: Intraoperative image-guided surgery of the lateral and anterior skull base in patients with tumors or trauma. Skull Base 13 : 21-29, 2003
- 7) 中尾直之, 北山真理, 中井園雄ほか: 頭蓋底髄膜腫摘出術へのニューロナビゲーションシステムの応用. 日コンピュータ支援外会誌 7 : 40-44, 1999
- 8) Fujitsu K, Kuwabara T: Zygomatic approach for lesions in the interpeduncular cistern. J Neurosurg 62 : 340-343, 1985
- 9) Fujitsu K, Kuwabara T: Orbitocraniobasal approach for anterior communicating aneurysms. Neurosurgery 18 : 367-369, 1986
- 10) Fujitsu K : Cranio-orbito-zygomatic approach to the cranial base. "Operative skull base surgery" (ed. Terrens MJ, Al-Mefty O, Kobayashi S). Churchill Livingstone, London ; pp189-205, 1997
- 11) Sekher LN, Nanda A, Sen CN: The extended frontal approach to tumors of the anterior, middle, and posterior skull base. J Neurosurg 76 : 198-206, 1992
- 12) Kawase T, Shiobara R, Toya S: Anterior transpetrosal-transstria approach for sphenopetroclival meningiomas. : surgical method and results in 10 patients. Neurosurgery 28 : 869-875, 1991
- 13) Al-Mefty O, Fox JL, Smith RR: Petrosal approach for petroclival meningiomas. Neurosurgery 22 : 510-517, 1988

14) Fujitsu K, Kitsuta Y, Takemoto Y et al : Combined pre-and retrosigmoid approach for petroclival meningioma with aid of a rotatable head

frame : peri-auricular three quarter twist-rotation approach : technical note. Skull Base 14 : 209-215, 2004

Usefulness of Neuronavigation System for Skull Base Tumor Surgery

Yasunori Takemoto, Kazuhiko Fujitsu, Teruo Ichikawa,
Yukihiro Takeda, Kousuke Miyahara and Shigeo Matsunaga

Abstract Between January 2001 and December 2005, neurosurgical navigation system (Stealth Station TREON, Medtronic Sofamor Danek, Minneapolis, MN) was used for twenty-four skull base tumors including 11 meningiomas, 4 schwannomas, 4 pituitary adenomas, 2 plasmacytomas, 2 cholesterol granulomas and one epidermoid cyst. The locations of the tumors were as follows ; 8 suprasellar/parasellar, 6 tuberculum sellae/clinoid, 5 petroclival, 2 foramen magnum, 3 with extracranial extension. The accuracy of the navigation was satisfactory in all cases. This system provided us useful information during surgical procedures such as vascular detachment of large skull base meningioma in an early operative stage, securing encased cerebral arteries, delineating extracranial extensive tumors, and resection of recurrent tumors. In conclusion, the neuronavigation system is an indispensable tool for skull base surgery to facilitate us safely and aggressively resecting the tumor.

Key Words : neuronavigation, skull base tumor, skull base surgery