

手術室 CT を利用した脳神経外科手術

北井隆平¹, 井戸一憲¹, 土田 哲¹, 竹内浩明¹,
石井久雅¹, 佐藤一史¹, 吉田一彦¹, 半田裕二¹,
久保田紀彦¹, 長谷川喜也², 指江浩之², 梅田俊一³,
福田 悟⁴, 山口明夫⁵

¹福井医科大学脳神経外科 ²同放射線部 ³同手術部 ⁴同麻酔科 ⁵同第一外科

はじめに

脳神経外科手術において、手術中にその達成度を評価するため、超音波装置や X 線による術中透視など種々のモニター装置が利用されてきた。近年、CT^{1,2)}や MRI^{3)~5)}を利用した定位的生検術、血腫除去術が普及し、術中の画像の重要性が認識されるようになってきた。外来患者も利用する一般の MRI や CT 室を使用する施設もあるが、我々は手術室に専用 CT を設置し、清潔環境下において術中に CT を撮影し、種々の脳神経外科手術に応用しているで、その経験を述べる。

方法と対象

1997 年 4 月に手術室内にヘリカル CT (X vision/SP, Helical CT, 東芝社製) を設置した (Fig. 1a)。対象は脳腫瘍、頸椎疾患、頭部外傷、脳血管障害などの脳神経外科領域の患者である。予定手術では脳神経外科医、麻酔科医に加え、手術部専任放射線技師 1 名が CT 撮影を行う。脳神経外科手術は腹臥位や側臥位など複雑な体位を取ることが多く、術中に体位変換を行うことは困難を伴う。そこで、術中 CT 撮影

時には、体位を変換することなく、CT が撮影できることを基本理念として、手術台、頭部固定器を新たに購入改良した。手術台は電動油圧式手術台 (MST-7200BXD, 瑞穂医科工業)、頭部固定器はカーボン製の 4 点固定器 (CXF-1, インテグラニューロサイエンス社製)、3 点固定器 (メイフィールド型 A-2003, オハイオメディカル社製) (Fig. 1b) を使用した。CT 撮影時には、患者体位を変更することなく、寝台の高さを上下し、CT ガントリー内に患者を挿入する。通常 CT では患者台が移動するが、本 CT ではガントリーが患者の頭側方向に移動し撮像する。ヘリカルスキャンによる 3D 構成画像や矢状断、冠状断の 2D 画像も即座に再構成が可能である。撮影中の術者、看護婦、技師、麻酔科医被曝対策として、手術室の隣に遠隔操作室を設置した。CT 操作室中に呼吸、心電図、呼吸等の総合麻酔モニターを設置し、手術室、操作室の両方で患者監視が行えるようにした⁶⁾。手術器具で改良したものは以下のものである。CT 撮影時に問題となるアーチファクト対策としてカーボン製の鼻孔開閉器⁷⁾、最長 290 cm まで伸縮可能な長い接続チューブ (REF 451004, Portex 社製)、頸部手術用プラスチックフレームである。

キーワード intraoperative CT, neurosurgery

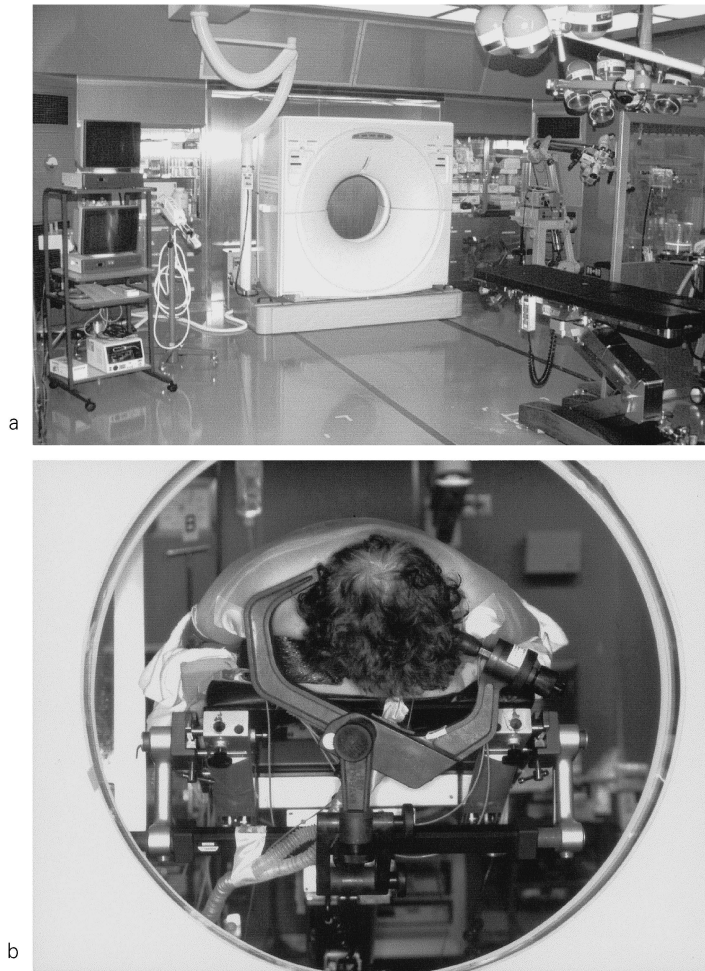


Fig. 1.

a : Intraoperative CT kept in the operating theater.

b : The head was set in three-pointed carbon frame in CT scanner.

結 果

1997年4月から2001年1月まで193例の手術において術中CTを行った。内訳をTableに示す。脳深部に位置する脳腫瘍、頸椎症、外傷、脳血管障害を中心に使用例が多い。導入初期は予定手術で使用していたが、現在では頭部外傷、脳血管障害等の緊急手術にも使用してい

る。本法を利用した脳腫瘍摘出術について述べる。深部の髄膜腫では腫瘍と脳組織の境界が不鮮明になることがあり、術中に手術達成度を評価することは非常に意義がある (Fig. 2a, b)。深部に付着部位をもつ髄膜腫では3D CTにより付着部位の確認、腫瘍被膜に沿って走行する中大脳動脈、前大脳動脈の位置が確認される (Fig. 2c, d)。下垂体病変に対しては経蝶形骨

2001年2月8日受理

別刷請求先 〒910-1193 福井県吉田郡松岡町下合月23-3 福井医科大学脳神経外科 北井隆平

Table. The Summary of Surgical Cases with Using Intraoperative CT

Neurosurgical Cases Used with Intraoperative CT	
1. Intracranial Tumors	98
Pituitary Tumors (TS Surgery)	34
Meningiomas	24
Gliomas	15
Schwannomas	6
Others	19
2. Cervical Lesions (OPLL & Disc)	66
3. CVD	18
4. Trauma	11
Total (1997 Apr.~2001 Jan.)	193

洞手術が選択されることが多いが、視野が狭く深いいため、本方法による手術支援が大いに役立つ。鞍底開窓部分と内頸動脈の位置の確認や側方進展した残存腫瘍の観察に有用であった。MRIと同様に下垂体病変が矢状断、冠状断で観察が可能であった (Fig. 3)。聴神経腫瘍では腫瘍摘出の評価にも有用である。本腫瘍は脳幹に付着した小脳橋角部槽の腫瘍部分の摘出ばかりでなく、内耳道内部の腫瘍摘出にも応用できる。内耳道内の腫瘍に対しては、後頭下開頭では錐体骨を後方より切削する必要があるが、あまり深く切削すると髄液漏、顔面神経麻痺が危惧される。CTでは骨の評価が容易に行えるため、骨切除の範囲が術中に簡単に同定可能であった (Fig. 4)。頭蓋底部の骨腫瘍にも有用

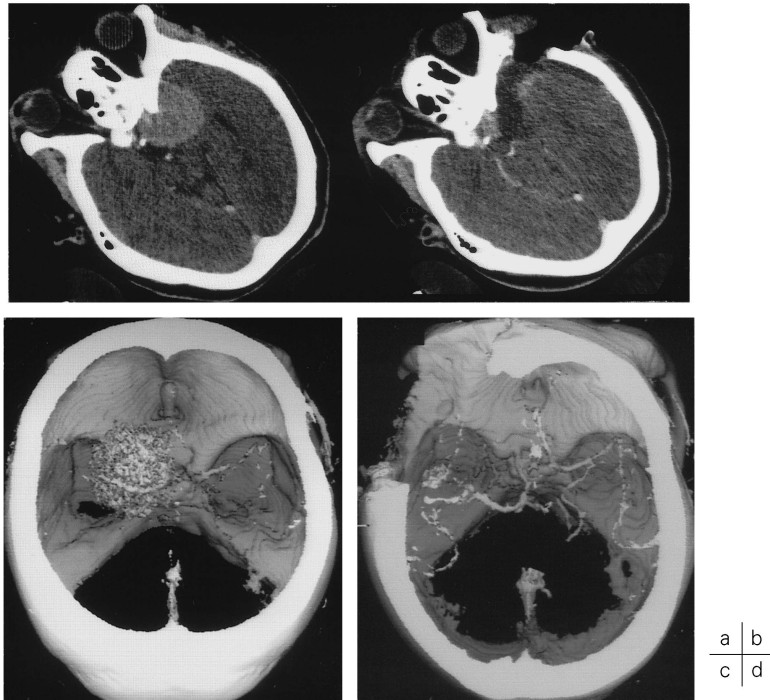


Fig. 2. Sphenoid-ridge meningioma
a : Left preoperative, b : Right intraoperative image. c : 3D image. middle cerebral artery at the posterior surface of the tumor and deviated anterior cerebral artery. d : Postoperative 3D-CT. Total resection of the tumor and intact major vessels.

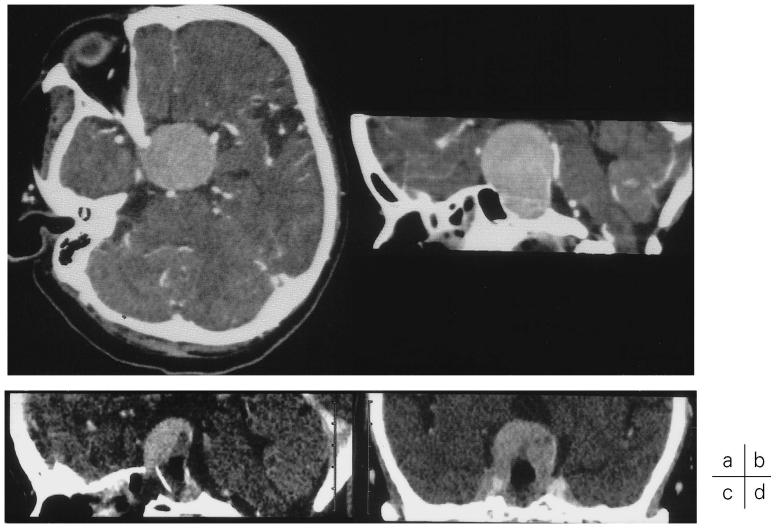


Fig. 3. Large pituitary adenoma (Intentional two-staged operation)
 a : Axial CT. b : Reconstructed sagittal image from intraoperative CT.
 c : Postoperative images, the bone window via transsphenoidal approach and low density of replaced fat. d : Reconstructed image, residual tumor around the both internal carotid arteries.

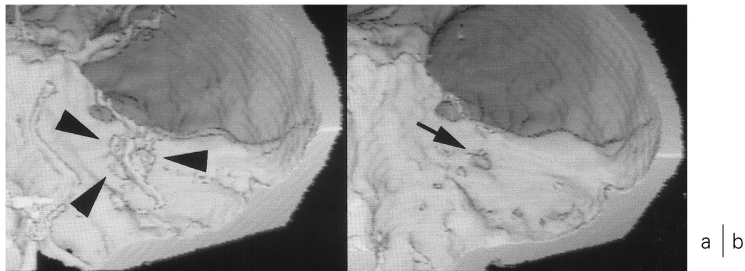


Fig. 4. Vestibular schwannoma
 a : Intraoperative 3D-CT, tumor in the CP angle and surrounded small artery. arrow head : tumor, b : arrow : opened internal acoustic meatus.

であり、深部に位置する病変ほど有用性が高い。頸椎病変に対しては椎間板切除、脊椎固定術、椎弓拡大術にも応用している。術中に除圧範囲が評価でき、後縦靭帯骨化症では病変の切除範囲が観察できる。頭部外傷は、直撃損傷ばかりでなく、打撲部位の反対側に病変が形成される反衝損傷が生じる。主たる血腫除去術中

に、他の二次的な脳損傷が手術中、あるいは手術終了直後にCTで同定できる。従来の術後中央放射線部CTで撮影するよりも時間的節約が大きい。脳血管障害においても、定位脳内血腫除去術や開頭血腫除去術に利用している (Fig. 5)。



Fig. 5. Intracerebral hematoma
a : preoperative CT, b : intraoperative CT. Totally evacuated hematoma.

考 察

術中に CT を撮影し、手術モニターとして利用しようという試みは 1979 年の Shalit¹⁾らの報告が文献上最初であると思われる。当時は手術専用 CT 室ではなく、通常の CT 室において開頭手術が行われており、様々な制約があった。1984 年には Lunsford⁸⁾が手術室に CT を設置し、本邦では信州大学病院に Okudera⁹⁾らが導入したのが最初と思われる。現在ポータブル CT も開発され¹⁰⁾、術中 CT の応用は広がっている。一方で、手術室内に専用 MRI を設置し、応用する施設も増加している。

福井医科大学において手術室 CT を導入時に問題となった点を列挙し、その対策について述べる。検討項目は、1) 麻酔管理下に CT ガントリーが移動する際に気管挿管チューブや動静脈ラインを引き抜く可能性がある、2) 麻酔科医、脳神経外科医の被曝、3) 清潔術野に CT ガントリーが入るため落下細菌の増加、手術感染が増加する危惧、4) 頭部固定台、手術台による CT 画像上のアーチファクト、5) CT 機器操作の人員、特に緊急手術時での対応、6) CT 撮影に伴う麻酔時間、手術時間の延長、7) CT 機器設置に伴う手術室のスペースの問題、等である

1) 麻酔器械、モニターコードや気管挿管チューブ類については MRI と異なり、従来のものが使用可能である。麻酔機器、麻酔科医の位置は通常の手術よりも患者足側に位置するために長いチューブが必要となる。死腔の増大が予想されたが、CO₂ の貯留などの問題は見られなかった⁶⁾。ガントリー移動時の安全対策として、患者に装着してあるコード、チューブ類はすべて患者尾側に出すことにし、CT ガントリーは尾側より頭側にしか動かさないことを徹底している。脳神経外科医、麻酔科医の直視下で CT ガントリーを移動し、挿入している。現在まで術中 CT ガントリー移動によるトラブルは経験していない。

2) 脳神経外科医、麻酔科医の被曝について検討した。CT が患者に挿入された状態で術者が立つ位置をおおよそガントリーより 1 m と想定すると、その部位では 1 slice 当たり 12.8 μ Sv であった。放射線防護壁では線量の 98% がカットされるため、麻酔医が位置する防護壁後であれば被曝量は無視できるレベルであった¹¹⁾。術中循環動態が安定している患者では、操作室モニターにより監視しており、CT 撮影中に手術室に入る必要はない。スタッフが習熟してくるにつれ、撮影開始から撮像終了までの時間は短縮され、現在では 10 分程度であ

る。

3) 落下細菌のモニターを1か月に1度行っているが、クラス10000レベル(1立方フィート中に0.5 μm 以上の塵埃が10000個以下)の手術室清潔度が達成されている¹²⁾。CT導入後感染の増加は見られない。

4) 頭部固定台はカーボン製を基本としている^{7),13)}。頭皮を固定するピンがチタン製であり、アーチファクトの原因になっているため、改良中である。

5) 予定手術では手術室勤務の放射線技師一人で対応可能である。緊急手術時においては3D CTなど高度な画像処理は不可能であるが、通常のaxial像は術者、助手の2名の脳神経外科医で撮影している。

6) 導入当初は術中CT撮影に伴う一連の作業に約30分かかっていたが、現在では約10分に短縮している。

7) CTを設置している手術室の大きさは63 m^2 である。CTは壁側のドックに収納されている¹²⁾。手術顕微鏡、内視鏡装置、ドップラー血流計、ナビゲーターシステム、超音波吸引装置、SEPや神経刺激装置などの術中電気生理機能器械などを同時に手術室で展開しているが、実用上問題ない。

MRIとの比較について考察する。手術室CTの利点としてはMRI装置に比較して安価である。一定の高さの手術室であれば改築の必要はない。従前のほとんど手術器具を使用でき、設備投資は最小限ですむ。開頭手術において、特に脳深部の腫瘍などは、頭蓋骨の隆起や神経孔などの頭蓋骨を解剖学的な指標としている。この点、骨の描出能が高いCTは有利である。特に頭蓋底部の腫瘍では、腫瘍到達までの骨切除範囲と腫瘍との距離や、腫瘍摘出度が容易に判定できる。MRIでは冠状断、矢状断の画像が簡単に得られるが、本CTでも再構成は数分で完了する。3D CTによるCT angiographyが撮影可能で脳動脈瘤クリッピング術前後の状態が開頭中に判断できる。一方、

MRIの利点としては脳組織のコントラストが優れている。CTは放射線被曝が無視できないので、連続して透視装置を使用する方法ではMRIが有利である。Functional imageやMR angiographyなどのsoft wareもMRIの方が勝る。

謝 辞

手術室CTを利用するに当たり、機器を提供され技術協力をされた東芝メディカル株式会社、瑞穂医科器械工業株式会社のスタッフに謝意を述べる。また、運用に当たり、福井医科大学麻酔科、放射線部、手術部スタッフの多大な協力に感謝する。

文 献

- 1) Shalit MN, Israeli Y, Matz S, Cohen ML: Experience with intraoperative CT scanning in brain tumors. *Surg Neurol* 1982; 17(5): 376-382
- 2) Engle DJ, Lunsford LD: Brain tumor resection guided by intraoperative computed tomography. *J Neurooncol* 1987; 4(4): 361-370
- 3) Tyler D, Mandybur G: Interventional MRI-guided stereotactic aspiration of acute/subacute intracerebral hematomas. *Stereotact Funct Neurosurg* 1999; 72(2-4): 129-135
- 4) Wirtz CR, Knauth M, Staubert A, Bonsanto MM, Sartor K, Kunze S, Tronnier VM: Clinical evaluation and follow-up results for intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgery. *Neurosurgery* 2000; 46(5): 1112-1120
- 5) Black PM, Alexander E 3rd, Martin C, Moriarty T, Nabavi A, Wong TZ, Schwartz RB, Jolesz F: Craniotomy for tumor treatment in an intraoperative magnetic resonance imaging unit. *Neurosurgery* 1999; 45(3): 423-431
- 6) 柳本政浩, 木下義和, 武田明子, 新江 聡, 杉浦良啓, 後藤幸生: 麻酔管理面からみた術中CTのシミュレーションの検討. *日臨床麻酔会誌* 1988; 18(6): 570-573

- 7) 兜 正則, 久保田紀彦, 古林秀則, 他 : 脳神経外科手術のためのレーン方式移動 CT スキャナによる CT 撮影システム. 脳と神経 1998 ; 50 : 1003-1008
- 8) Lunsford LD, Parrish R, Albright L : Intraoperative imaging with a therapeutic computed tomographic scanner. Neurosurgery 1984 ; 15 : 559-561
- 9) Okudera H, Kyoshima K, Kobayashi S, Sugita K : Intraoperative CT scan findings during resection of glial tumours. Neurol Res 1994 ; 16(4) : 265-267
- 10) Butler WE, Piaggio CM, Constantinou C, Niklason L, Gonzalez RG, Cosgrove GR, Zervas NT : A mobile computed tomographic scanner with intraoperative and intensive care unit applications. Neurosurgery 1998 ; 42(6) : 1304-1310
- 11) 梅田俊一, 林 昌浩, 田中雅恵, 山越節子 : 術室内 CT 設置に伴う手術部の対応. 日手術医学会誌 1998 ; 19(2) : 261-263
- 12) 山越節子, 吉田理里子, 田中雅恵, 梅田俊一 : 術中 CT に伴う安全性の検討. 日手術医学会誌 1998 ; 19(4) : 487-489
- 13) 久保田紀彦, 佐藤一史, 北井隆平, 半田裕二, 古林秀則 : CT の術中応用. Clinical Neuroscience 2000 ; 18(9) : 37-40

Neurosurgical Treatment Guided by an Intraoperative Computed Tomography

Ryuhei KITAI¹, Kazunori IDO¹, Akira TSUCHIDA¹,
 Hiroaki TAKEUCHI¹, Hisamasa ISHII¹, Kazufumi SATO¹,
 Kazuhiko YOSHIDA¹, Yuji HANDA¹, Toshihiko KUBOTA¹,
 Yoshiya HASEGAWA², Hiroyuki SASHIE², Shunichi UMEDA³,
 Satoru FUKUDA⁴, Akio YAMAGUCHI⁵

¹Department of Neurosurgery, ²Radiological Technologist, ³Operating Room,
⁴Department of Anesthesiology, ⁵First Department of Surgery, Fukui Medical School
 Matsuokacho, Yoshida-gun, Fukui 910-1193

Intraoperative CT has been used in Fukui Medical University since 1997. Various neurosurgical procedures have been achieved using both the Helical CT scan and the Toshiba X vision/SP. We have used this technique in 193 cases : 98 brain tumors, 66 spinal disorders, 18 cerebro-vascular diseases, 11 head traumas. Instruments for intraoperative CT were developed, such as a head frame and nasal speculum made from carbon. Using these tools, images can be obtained in 10 minutes by skilled persons. Bone imaging was necessary, especially for deep seated meningioma or bone tumors. Intraoperative images significantly influenced surgical decision making. Planned surgical procedure was confirmed under anesthesia. Using this technique, intraoperative complications could be recognized early. This may help to improve patient outcome. Intraoperative CT scan is easier to use and more cost-effective than MRI in neurosurgical fields.