原著

小児脳神経外科領域における minimally invasive neurosurgery

新井 一 宮嶋 雅一 屋田 修
菱井 誠人 鈴木 一成 佐藤 潔
飯塚 有応*

Minimally Invasive Neurosurgery for Pediatric Patients

by

Hajime Arai, M.D., Masakazu Miyajima, M.D., Osamu Okuda, M.D.,
Makoto Hishii, M.D., Kazunari Suzuki, M.D., Kiyoshi Sato, M.D., and
Yuo Iizuka, M.D.*

from

Departments of Neurosurgery and *Radiology, Juntendo University School of Medicine

The present status of minimally invasive pediatric neurosurgery is described on the basis of the authors' recent experiences. These include the applications of interactive image-guided neurosurgery, neuroendoscopy, interventional neuroradiology, etc., for pediatric patients. The new technologies of surgical navigation and image analysis makes it possible to resect such intrinsic brain lesions as glioma and cortical dysplasia with minimum invasiveness. Neuroendoscopy also is an important technique among minimally invasive procedures, and hydrocephalus and some intracranial cystic lesions can safely be managed by third ventriculostomy and cyst fenestration, respectively. The rapid expanding applications of endovascular therapy of the brain also is true in pediatric neurosurgery, and vein of Galen aneurysmal malformations now can be safely treated with transarterial embolization. The aforementioned technologies are developing dramatically, and many neurosurgical diseases have come to be treated safely and less invasively. However, it should be stressed that, even with the new technologies, patient selection is a critical component in all neurosurgical operations.

(Received July 27, 1998; accepted October 28, 1998)

Key words : minimally invasive surgery, pediatric neurosurgery, navigation, neuroendoscopy, endovascular surgery

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 8: 315-324, 1999

はじめに

コンピューター技術を駆使した手術支援システムの開発, 内視鏡手術や血管内外科の導入, さらに functional MRI (magnetic resonance imaging) や magnetoencephalography に代表される脳機能の画像表示など, 近年の脳神経外科領域における技術進歩には目覚ましいものがあり, その結果さまざまな疾患に対して, 従来に比

べより低侵襲な方法で外科治療を行うことが可能になった. このような minimally invasive neurosurgery に対する期待と要望は, 腫瘍や血管性病変など対象となる疾患を問わず非常に大きなものであるが, 実際にどの程度の実効性をもって行われているのか疑問な点もある. 本稿ではわれわれが最近経験した症例を呈示し, 小児脳神経外科領域において minimally invasive neurosurgery がどのように実践されているのかを紹介する.

順天堂大学医学部脳神経外科 / 〒113-8421 文京区本郷 2-1-1 (連絡先: 新井 一)

Address reprint requests to: Hajime Arai, M.D., Department of Neurosurgery, Juntendo University School of Medicine, 2-1-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8421, Japan

*同放射線科

Fig. 1 Case 1 : An 11-year-old boy with cerebral astrocytoma

SurgiScope viewing slices (A~D) and intraoperative photograph (E). Tumor is defined as an area encircled by purple line in standard triorthogonal slices of SurgiScope. Green cross indicates bottom of tumor which was spotted by laser pointer in the operative field under the microscope (white arrowhead).

術中支援システムの応用

【症例 1】

患者: 11 歳, 男児

痙攣発作で発症, 他院で頭蓋内腫瘍性病変を指摘され, 当院に紹介入院となった. 頭部 MRI では左前頭葉内側の脳実質内に T1 強調画像で低信号, T2 強調画像では高信号の病変を認めた. 同部位はガドリニウムにより造影されず, また, 病変に接する頭蓋骨は菲薄化していた. 本症例に対して, Leica-Elektro 社製手術支援システム SurgiScope を用いて腫瘍摘出術を施行した (Fig. 1A~D). 本装置では, 画像処理ワークステーションと天井懸架型の手術顕微鏡が連動しているため, 術前にワークステーション上で立案した手術計画に従って, 手術顕微鏡を自動的に作動させることが可能である. また, 顕微鏡に組み込まれた光源から発せられるレーザー光線がポインターとなり, 術野の位置や顕微鏡の進入方向を表示するため, 従来の手術支援システムと異なりポインターデバイスは不要となる.

手術は, 左前頭部正中側の腫瘍直上に小開頭を設け行われた. 硬膜を開き脳表を露出すると, 病変に一致して脳回の腫脹と脳溝の平坦化を認めたが, 病変の正確な局在を直視下に確認することは不可能であった. SurgiScope を用いて, MRIT2 強調画像で高信号域に描出

される病変を切除した (Fig. 1E). 術後経過は順調で, 患児は新たな神経症状を呈することもなく退院となった. 病変の組織診断は astrocytoma であった.

神経内視鏡の応用

【症例 2】

患者: 13 歳, 男児

中脳水道狭窄症に伴う水頭症に対して, 10 歳時に初回の脳室腹腔短絡術が他院で施行された. しかし, その後短絡管機能不全を頻発し, 合計 7 回の短絡管入れ替え術を経て当院に紹介となった. 当科入院時の頭部 CT (computed tomography) では側脳室・第 3 脳室はスリット状であったため (Fig. 2A), まず短絡管システムを CODMAN-MEDOS programmable shunt valve に変更し, 厳重な監視のもと設定圧を徐々に上昇させ脳室サイズの増大を図った (Fig. 2B). 側脳室および第 3 脳室が拡大し, 内視鏡下での third ventriculostomy が可能と判断した時点でこれを施行した (Fig. 2C). 冠状縫合上で正中より右に約 3cm の位置に burr hole を穿ち, ここから軟性鏡を右側脳室に導入, さらにモンロー孔を経由して第 3 脳室に進入し, その底部を穿破, 開放した. third ventriculostomy 施行後約 2 年が経過した現在, 脳室サイズは術直後と大きな変化はないものの, 患

Fig. 2 Case 2: A 13-year-old boy with aqueductal stenosis

A : CT scan at admission showed small ventricle with ventriculoperitoneal shunt.

B, C : Following revision of the shunt system with a CODMAN-MEDOS programmable shunt valve, a slight increase in ventricular size was noted (**B**), and the third ventriculostomy finally was performed (**C**).

Fig. 3 Case 3: A 4-year-old girl with cystic lesions of bilateral cerebellopontine angles

A~D : Preoperative T1-weighted MR images (**A, B**) shows low-intensity cystic lesions of bilateral cerebellopontine angles. The cerebellum and brain stem are markedly compressed. The lesions are seen to be homogeneous and of high intensity on T2-weighted images (**C, D**).

E~H : Postoperative T1- and T2-weighted MR images respectively show decrease in cyst size following endoscopic fenestration.

Fig. 4 Case 4: Vein of Galen aneurysmal malformation

A~C: There was a dilated median vein of the prosencephalon with the choroidal supply prior to treatment.

D~F: The lesion was transarterially embolized with N-butyl-cyanoacrylate.

A, B, D, E: Lateral and anteroposterior views, respectively, of right internal carotid arteriogram

C, F: Anteroposterior view of vertebral arteriogram

児は頭蓋内圧亢進症状を呈することもなく良好な状態である。

【症例 3】

患者：4 歳，女児

失調性の歩行を主訴に来院，頭部 MRI にて両側小脳橋角部に嚢胞性病変を認め入院となった (Fig. 3A~D)。画像診断上クモ膜嚢腫と診断，脳幹と小脳は嚢腫により著明に圧排されており，その所見は臨床症状に合致するものであった。本症例に対して神経内視鏡下に嚢腫・脳槽開放術を施行した。左右の乳様突起の後方に burr hole を 1 つずつ穿ち，ここから軟性鏡を嚢腫内に導入し，第 7・8 脳神経の上下で嚢腫壁を穿破，嚢腫と脳槽の間に交通をつけた。術後 3 カ月の時点で，MRI 上嚢腫の縮小を確認 (Fig. 3E~H)，また術前認めた失調性歩行も著明に改善した。

血管内外科の応用

【症例 4】

患者：在胎 41 週で経膈分娩にて出生した女児

出生時，体重と頭囲はおおの 3,388g と 34.2cm であった。在胎 36 週の時点で胎児超音波検査により頭蓋内正中に嚢胞性病変を指摘され，出生後の MRI，MR angiography によりガレン大静脈瘤と診断され，当院に入院となった。脳血管造影では，右脳梁辺縁動脈と両側の後脈絡動脈が，拡張した median vein of the procencephalon (MVP) と短絡を形成していた (Fig. 4A~C)。入院時，軽度心拡大を認める以外に特記すべき神経学的異常所見もなく，Lasjaunias¹⁶⁾ の Neonatal Evaluation Score (NES) (Table 1) によると，患児は 14 点と評価された。このために期待的に治療を行うことを計画したが，生後 4 カ月を過ぎるとジギタリス投与

Fig. 5 Case 4: Vein of Galen aneurysmal malformation

Mid-sagittal sections of T1-weighted MR image before (A) and one month after (B) embolization. Marked shrinkage of the mass after treatment is observed.

Table 1 Neonatal Evaluation Score¹⁶⁾

Cardiac function	Respiratory function
5 Normal	5 Normal
4 Non-treated overload	4 Polypnea. Bottle finished
3 Failure stable under treatment	3 Polypnea. Bottle not finished
2 Failure unstable under treatment	2 Assisted ventilation. N 1 saturation-FI O ₂ > 25 %
1 Necessity of ventilation	1 Assisted ventilation. N 1 saturation-FI O ₂ < 25 %
0 Resistant to treatment	0 Assisted ventilation. Desaturation
Cerebral function	Renal function
5 Normal	3 Normal
4 Infraclinical isolated EEG anomalies	2 Transitory anuria
3 Non-convulsive intermittent neurological signs	1 Instable diuresis under treatment
2 Isolated convulsive episode	0 Anuria
1 Seizure - Permanent neurological signs	
Hepatic function	
3 No hepatomegaly. Normal function	
2 Hepatomegaly. Normal function	
1 Moderate or transient hepatic insufficiency	
0 Coagulation disorder. Elevated enzymes	

Declined embolization: 7 ≤ Emergency embolization: 8 ≤, ≤ 12 Delayed embolization: 13 ≤

にもかかわらず心不全が増悪した。さらにうつ血性肝機能障害と脳室拡大を併発したため、生後6カ月の時点で経動脈的塞栓術を施行、右後脈絡動脈にマイクロカテーテルを導入し N-butyl-cyanoacrylate を用いて短絡を閉塞した (Fig. 4D~F)。治療後に施行した MRI および CT では、治療前には拡張していた MVP は縮小しており (Fig. 5)、臨床症状も著明に改善し、約1カ月で退院となった。

吸収性骨固定プレートの応用

【症例 5】

患 者: 生後2カ月の男児

生後1カ月の検診で頭蓋の変形を指摘され、当院に紹介となった。頭蓋単純写、頭蓋3次元CTにより metopic synostosis と診断された (Fig. 6A, B)。本症例に対して、頭蓋前半部の拡大を目的に頭蓋形成術を施行した。患児を仰臥位とし冠状皮膚切開をおき、骨膜上に頭皮を翻転、眼窩上部では骨膜下に剝離を進め、眼窩から頭頂部に至る広い範囲で頭蓋骨を露出した。両側前頭開頭に引き続き眼窩上縁を一塊に除去し、前頭骨片と眼窩上縁の内板に骨切りを加えた後に、徒手的にその変形を矯正した。また、頭頂骨と側頭骨にも骨切りを加え、これを外方に押し広げて頭蓋冠を拡大せしめた。骨の固定に関しては、患児の年齢を考慮し吸収性骨固定プレート・スクリューシステムを使用した。湾曲を矯正した眼

A|B|C|D

Fig. 6 Case 5: A 2-month-old boy with metopic synostosis

- A, B: Preoperative 3-dimensional CT (3D-CT) scans indicate ridging of the metopic suture, flattening of the frontal bone, and flaring of the parietal bone.
 C, D: Postoperative 3D-CT scans show result of cranial reconstruction. Bifrontal bone and orbital rim were recontoured with radial osteotomies and internal cutting, respectively. The parietal region is expanded laterally with parallel-oriented osteotomies of the anterior parietal bone.

窩上縁をポリ乳酸製のプレートとスクリューを用いて側頭骨に強固に固定、ついで前頭骨片を眼窩上縁と硬膜に吸収性の糸で緩やかに固定した。術後の頭蓋の形態は良好で (Fig. 6C, D), 骨の固定性にも大きな問題はなかった。また、術後約1年の経過でプレートは頭皮上から触知不能となり、生体への吸収過程が確実に進行しているものと思われた。

考 察

1 術中支援システムの応用

1986年にRobertsら²⁶⁾により報告された frameless stereotaxyはその後のさまざまな技術的進歩を経て、主として頭蓋内病変に対する術中支援システムとして広く利用されるようになった³⁾⁹⁾¹⁵⁾²³⁾²⁸⁾。frameless手術支援システムでは、患者の頭部にレジストレーション用のマーカーを取り付けてCTやMRIを撮影し、これらの画像情報をワークステーションに取り込み、術前に手術計画を立案することが可能である。さらに手術室では患者頭部のマーカーを位置計測装置で計測し、画像と患者頭部とのレジストレーションを行い、術前の画像情報と実際の手術操作をリアルタイムに対比させることができる。最近では、術野の位置を画像の上に表示するだけの受動的な手術支援システムに加え、ロボット技術の導入により、術前に設定した画像上の任意の標的に手術頭

微鏡を自動的に誘導する能動的な手術支援システムも開発されている。今回われわれが使用した SurgiScopeは、この能動的な手術支援システムに該当するものである。このような術中支援システムは、小児例、成人例を問わず脳神経外科手術一般に広く活用され得るが、第3脳室近傍の astrocytoma やてんかん患者での cortical dysplasia の切除など小児脳神経外科領域における有用性は高い²⁷⁾。

今回呈示した症例は左前頭葉に局限した astrocytoma の男児であったが、SurgiScopeを使用してMRI T2強調画像上高信号に描出される病変を、小開頭下に短時間のうちに切除することが可能であった。小児 astrocytoma は成人に比べ一般的に予後のよいことが知られているが、術中支援システムを活用した確実な腫瘍除去術の実施により、治療成績がさらに向上するものと期待される。今回呈示した症例では病変が脳表近くに存在していたこともあり、従来より術中支援システムの基本的な問題点として指摘されてきた脳偏位 (brain shift) も、大きな障害にはならなかった。しかし、深部病変の手術では、術中の髄液流出や脳の牽引によって生じる脳の偏位・変形は不可避であり、このような状況下では、ワークステーション上で立案した手術計画と実際の術野との間に誤差が生じてくることになる。現時点ではこの誤差を補正する有効な手立てはないが、将来的には術中CTやMRIの使用により対応可能になるもの

と思われる。

② 神経内視鏡の応用

神経内視鏡による手術は、内視鏡単独で行うものと顕微鏡手術の支援システムとして利用されるものに大別されるが、小児脳神経外科領域においても両者ともにその有用性はきわめて高い。特に、水頭症に対して内視鏡下に第3脳室底を開放する third ventriculostomy は、成人例ばかりでなく小児例においても一定の治療成績を期待し得るもので、短絡管設置に伴うさまざまな合併症を考えれば、脱短絡管を可能とする本法がきわめて魅力的であることはいうまでもない¹⁴⁾²²⁾。しかし一方で、third ventriculostomy の最もよい適応とされる中脳水道狭窄症であっても、2歳以下の症例では満足すべき治療結果が得られなかったり、Chiari type II malformation に伴う水頭症であっても、年長児では third ventriculostomy の有効な症例があるなど、水頭症病態は多彩であり、third ventriculostomy の適応となる病態の評価がきわめて重要な課題になってくる¹³⁾。また、今回呈示した症例2のようにすでに短絡管が設置されている症例や、slit ventricle syndrome を呈するような症例であっても third ventriculostomy は有効であるが²⁵⁾、やはり適応の決定と治療の実施にあたっては十分に慎重な態度が望まれることはいうまでもない。われわれは Oka ら²²⁾の方法に準じて軟性鏡を側脳室前角から第3脳室に導入し、Fogarty バルーンカテーテルを用いて第3脳室底にストーマを設けている。この際、脳底動脈、後大脳動脈、さらにそれらの穿通枝を損傷せぬよう、術前に 3-dimensional fast spin echo (3DFSE) 法による頭部 MRI 正中矢状断像を作成し、第3脳室底近傍の解剖を理解したうえで手術に臨んでいる。

両側性の小脳橋角部クモ膜嚢腫と診断された症例3では、内視鏡下に嚢腫・脳槽開放術を施行し良好な治療結果を得た。従来、私たちはクモ膜嚢腫に対しては嚢腫・腹腔短絡術を施行してきたが、短絡管依存症を呈する症例を少なからず経験したことから¹⁾、最近ではまず内視鏡下に嚢腫を開放し、臨床上あるいは画像上改善のみられない症例にかぎって嚢腫・腹腔短絡術を行うようにしている。Third ventriculostomy やクモ膜嚢腫に対する嚢腫・脳槽開放術以外にも、隔壁を有する多房性の水頭症や脳室内嚢胞性疾患に対する治療、さらに脳室内腫瘍の生検など神経内視鏡の用途は広いが、出血に対する処置法などはいまだ万全とはいえず、現時点においてはその限界と pitfall を十分に認識したうえでの使用が望まれる。光学系機器の更なる進歩はいうまでもないが、内

視鏡手術のための周辺機器の開発や前述の術中支援システムの誘導下に行う内視鏡手術の導入など、今後の発展が期待されるところである。

③ 血管内外科の応用

最近の血管内外科の進歩には目覚ましいものがあり、これについては本稿で触れるまでもないが、小児脳神経外科領域においても従来難治とされてきたガレン大静脈瘤が、血管内外科の導入により比較的安全に治療されるようになってきた。1987年に Johnston ら¹²⁾はガレン大静脈瘤の外科的治療について総括した論文を発表したが、その治療成績は決して満足のいくものではなかった。これに対して血管内外科は侵襲が少なく、また一定の治療効果を期待し得ることから²⁾⁴⁾⁷⁾¹⁷⁾、現在ではガレン大静脈瘤に対して第一義的に選択されるべき治療法と考えられている。経動脈的塞栓術が基本的な手技となるが、カテーテルを短絡近傍に導入することが困難な場合には、経静脈的塞栓術²⁾⁴⁾や transtorcular embolization¹⁹⁾などが施行される。

しかし一方で、新生児期に発症する重症例ではいかなる塞栓術も無効となる場合があるなど、血管内外科に限界があるのも事実である。Lasjaunias¹⁶⁾は新生児ガレン大静脈瘤の臨床像を心機能、脳機能、肝機能、呼吸機能、腎機能に注目して評価し、それらを点数化 (Neonatal Evaluation Score; NES)、このスコアを治療適応決定の指針とした。すなわち Lasjaunias¹⁶⁾によれば、NES が7点以下の最重症例は積極的な治療の対象にはならず、NES 8点以上が血管内治療の適応となる。さらに NES 8点以上の症例のうち、NES が8~12点の場合には患児の救命を目的とした緊急の塞栓術が、また NES が13点以上の軽症例では、患児の成長を待ちより安全な条件下で塞栓術を施行すべきとしている。今回呈示した症例では、生後1カ月の時点での NES は14点であったため、待期的な治療の適応と判断し患児の成長を待った。しかし、経過観察中に心不全が増悪し、さらにうつ血性肝不全と水頭症が進行、またガレン大静脈瘤自体の拡大も明らかになったため、生後6カ月の時点で血管内治療に踏み切った。新生児の血管は脆弱なためカテーテル操作などにより容易に損傷することが知られているが、本症例では生後6カ月ということもあり、大きな問題もなく塞栓術を施行することができた。本症、特に新生児症例の治療を考えるうえで、血管内外科の技術的な側面は無視できるものではなく、操作性の優れたカテーテルの開発などにより、その治療成績が向上する可能性は十分にある。また、新生児学のさらなる進歩に

Fig. 7 Pre-(A) and postoperative (B) 3D-CT scans of sagittal synostosis

Postoperative scans show result of whole-vault cranioplasty. Bifrontal and biparieto-occipital bone flaps were remodeled with radial osteotomies. Skull length was reduced by attachment of shortened midline bone.

より、重篤な心不全を伴う症例に対しての治療適応が拡大するとの期待もある。いずれにせよ、治療適応の有無、さらに治療実施の時期については、明確な指針をもって適切な判断を下すことが、今後もきわめて重要である。

④ 吸収性骨固定プレートの応用

頭蓋骨早期癒合に対する外科治療は、従来の suturectomy から頭蓋骨全域の骨再建を行う total cranial reconstruction へと変遷しつつある²⁴⁾。したがって、手術自体の侵襲は minimally invasive neurosurgery に逆行してより高度なものになるが、術後の頭蓋の形態など治療成績に注目するとやはり total cranial reconstruction が選択されることになる。例えば、従来 suturectomy のよい適応とされてきた sagittal synostosis に関しても、total cranial reconstruction を行うと術直後より頭蓋の変形を矯正することが可能で、長期的にみても満足すべき治療結果を得ることができる (Fig. 7)。しかし一方で、total cranial reconstruction に伴う手術侵

襲を軽減すべく、あらゆる努力が払われるべきであることはいままでもない。例えば、最近では頭蓋形成術の手術時間を短縮する目的で、術前に 3 次元 CT のデータから合成樹脂製の頭蓋骨実体モデルを作成し手術のシミュレーションを行ったり、手術に伴う輸血量を最小限にすべく術中の出血を特別な機器を使用して回収し、これを患児に輸血する“術中自己血輸血”の試みがなされている¹¹⁾。また、頭蓋形成術に頻用されるチタン製の骨固定用のプレートとスクリューに関しては、これらを小児、特に乳幼児に使用すると、時間の経過とともにプレートやスクリューが頭皮を穿破したり、脳内に埋没するなどの問題点が指摘されており⁶⁾⁸⁾、最近ではこのような合併症を回避する目的で、ポリ乳酸製あるいはポリ乳酸とポリグリコール酸合成の吸収性骨固定プレートの使用が試みられている⁵⁾。われわれも今回呈示した症例を含め 3 例の頭蓋骨早期癒合症の手術に、ポリ乳酸製のプレートとスクリューを使用した。プレート、スクリューともに大型で、術中の操作性に若干の難はあったが、骨の固定性は満足すべきものであった。このような吸収性骨

固定プレートは、通常1～2年程度で生体に吸収されるが、時にその吸収プロセスが不完全であったり、症例によってはプレートに対する慢性炎症反応が起こるなどの問題がある。さらに非常に高価である点もこれからの課題ではあるが、吸収性骨固定プレートは、今後小児脳外科領域において広く普及するものと予測される。

おわりに

以上われわれの経験した症例を中心に、より低侵襲な小児脳神経外科の実践について述べてきたが、先天性疾患の治療に関しては患児の出生前診断に始まり、新生児の全身管理など、産科医や小児科医と密なる関係を保つことが、minimally invasive neurosurgery を実践するうえでも重要になってくる。近年欧米では、妊娠初期に妊婦が葉酸を内服することにより神経管閉鎖不全症の約70%が予防されたとの臨床報告を受けて、ハイリスクな妊婦への葉酸投与が一般的なものになってきた¹⁸⁾²⁰⁾²¹⁾。このような神経管閉鎖不全症に対する予防医学的なアプローチは、まさに minimally invasive の典型といえる。さらに最近では、葉酸抵抗性の神経管閉鎖不全症についても、イノシトールにより予防可能とする基礎的な実験の報告もあり¹⁰⁾、われわれ脳神経外科医は外科技術のみにとらわれることなく、広い視野をもって小児脳神経外科を実践していくことが必要と思われる。

本論文の内容の一部は、第18回日本脳神経外科コンgres (1998年3月14日、名古屋)において発表した。

文 献

- 1) Arai H, Sato K, Wachi A, Okuda O, Takeda N: Arachnoid cysts of the middle cranial fossa: Experience with 77 patients who were treated with cystoperitoneal shunting. *Neurosurgery* **39**: 1108-1113, 1996.
- 2) Casasco A, Lylyk P, Hodes JE, Kohan G, Aymard A, Merland J-J: Percutaneous transvenous catheterization and embolization of vein of Galen aneurysms. *Neurosurgery* **28**: 260-266, 1991.
- 3) Drake JM, Rutka JT, Hoffman HJ: ISG viewing wand system. *Neurosurgery* **34**: 1094-1097, 1994.
- 4) Dowd CF, Halbach VV, Barnwell SL, Higashida RT, Edwards MSB, Hieshima GB: Transfemoral venous embolization of vein of Galen malformations. *AJNR* **11**: 643-648, 1990.
- 5) Eppley BL, Sadove AM, Havlik RJ: Resorbable plate fixation in pediatric craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* **100**: 1-7, 1997.
- 6) Fearon JA, Munro IR, Bruce DA: Observations of the use of rigid fixation for craniofacial deformities in infants and young children. *Plast Reconstr Surg* **95**: 634-637, 1995.
- 7) Garcia-Monaco R, De Victor D, Mann C, Hannedouche A, Terbrugge K, Lasjaunias P: Congestive cardiac manifestations from cerebrocranial arteriovenous shunts: Endovascular management in 30 children. *Child's Nerv Syst* **7**: 48-52, 1991.
- 8) Goldberg DS, Bartlett SP, Yu JC, Hunter JV, Whitaker LA: Critical review of microfixation in pediatric craniofacial surgery. *J Craniofac Surg* **6**: 301-307, 1995.
- 9) Golfinos JG, Fitzpatrick BC, Smith LR, Spetzler RF: Clinical use of a frameless stereotactic arm: Results of 325 cases. *J Neurosurg* **83**: 197-205, 1995.
- 10) Greene NDE, Copp AJ: Inositol prevents folate-resistant neural tube defects in the mouse. *Nature Med* **3**: 60-66, 1997.
- 11) Jimenez DF, Barone CM: Intraoperative autologous blood transfusion in the surgical correction of craniosynostosis. *Neurosurgery* **37**: 1075-1079, 1995.
- 12) Johnston IH, Whittle IR, Besser M, Morgan MK: Vein of Galen malformation: Diagnosis and management. *Neurosurgery* **20**: 747-758, 1987.
- 13) Jones RFC, Kwok BCT, Stening WA, Vonau M: The current status of endoscopic third ventriculostomy in the management of non-communicating hydrocephalus. *Minim Invas Neurosurg* **37**: 28-36, 1994.
- 14) Jones RFC, Stening WA, Brydon M: Endoscopic third ventriculostomy. *Neurosurgery* **26**: 86-92, 1990.
- 15) Kato A, Yoshimine T, Hayakawa T, Tomita Y, Ikeda T, Mitomo M, Harada K, Mogami H: A frameless, armless, navigational system for computer-assisted neurosurgery: Technical note. *J Neurosurg* **74**: 845-849, 1991.
- 16) Lasjaunias P: Introduction and general comments on intracranial arteriovenous diseases. in Lasjaunias P: *Vascular Diseases in Neonates, Infants and Children: Interventional Neuroradiology Management*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 1997, pp. 1-65.
- 17) Lasjaunias P, Garcia-Monaco R, Rodesch G, Brugge KT, Zerah M, Tardieu M, de Victor D: Vein of Galen malformation: Endovascular management of 43 cases. *Child's Nerv Syst* **7**: 360-367, 1991.
- 18) Laurence KM, James N, Miller MH, Tennant GB, Campbell H: Double-blind randomised controlled trial of folate treatment before conception to prevent recurrence of neural-tube defects. *Br Med J* **282**: 1509-1511, 1981.
- 19) Mickel JP, Quisling RG: The transtorcular embolization of vein of Galen aneurysms. *J Neurosurg* **64**: 731-735, 1986.
- 20) Milunsky A, Jick H, Jick SS, Bruell CL, MacLaughlin DS, Rothman KJ, Willett W: Multivitamin/folic acid supplementation in early pregnancy reduces the prevalence of neural tube defects. *JAMA* **262**: 2847-2852, 1989.
- 21) MRC Vitamin Study Research Group: Prevention of neural tube defects: Results of the medical research council vitamin study. *Lancet* **338**: 131-137, 1991.
- 22) Oka K, Yamamoto M, Ikeda K, Tomonaga M: Flexible endoneurosurgical therapy for aqueductal stenosis. *Neurosurgery* **33**: 236-243, 1993.

- 23) Olivier A, Germano IM, Cukiert A, Peters T: Frameless stereotaxy for surgery of the epilepsies: Preliminary experience: Technical note. *J Neurosurg* 81: 629-633, 1994.
- 24) Persing JA, Jane JA: Craniosynostosis. in Youmans JR (ed): *Neurological Surgery, Vol. 2*. Philadelphia, W.B. Saunders, 1996, pp. 995-1011.
- 25) Reddy K, Fewer HD, West M, Hill NC: Slit ventricle syndrome with aqueduct stenosis: Third ventriculostomy as definitive treatment. *Neurosurgery* 23: 756-759, 1988.
- 26) Roberts DW, Strohbehn JW, Hatch JF, Murray W, Kettenberger H: A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope. *J Neurosurg* 65: 545-549, 1986.
- 27) Stapleton SR, Kiriakopoulos E, Mikulis D, Drake JM, Hoffman HJ, Humphreys R, Hwang P, Otsubo H, Holowka S, Logan W, Rutka JT: Combined utility of functional MRI, cortical mapping, and frameless stereotaxy in the resection of lesions in eloquent areas of brain in children. *Pediatr Neurosurg* 26: 68-82, 1997.
- 28) Watanabe E, Mayanagi Y, Kosugi Y, Manaka S, Takakura K: Open surgery assisted by the neuro-navigator, a stereotactic, articulated, sensitive arm. *Neurosurgery* 28: 792-800, 1991.

要 旨

小児脳神経外科領域における minimally invasive neurosurgery

新井 一 宮嶋 雅一 屋田 修 菱井 誠人
鈴木 一成 佐藤 潔 飯塚 有応

近年の脳神経外科領域における技術進歩には目覚ましいものがあり、その結果、さまざまな疾患に対して従来に比べより低侵襲な方法で外科治療を行うことが可能になった。このような minimally invasive neurosurgery に対する期待と要望は、腫瘍や血管性病変など対象となる疾患を問わず非常に大きなものであるが、実際にどの程度の実効性をもって行われているのか疑問な点もある。本稿ではわれわれが最近経験した症例のうち、手術支援システムや神経内視鏡を用いた手術、血管内外科手術、さらに頭蓋骨早期癒合症に対する新しい手術などを紹介し、小児脳神経外科領域において minimally invasive neurosurgery がどのように実践されているのかを述べる。

脳外誌 8: 315-324, 1999