脳内血腫除去術における定位的脳手術用内視鏡システムの開発と臨床応用

蛸名 国彦, 金 奉均, 鈴木 重晴, 岩渕 隆

Development and Clinical Usefulness of Stereotactic Endoneurosurgical System for Intracerebral Hematoma

Kunihiko EBINA, M.D., Bongyun KIM, M.D., Shigeharu SUZUKI, M.D., and Takashi IWABUCHI, M.D.

Department of Neurosurgery, Hirosaki University School of Medicine, Hirosaki, Japan

Summary : Since computed tomography (CT)-guided stereotactic surgery is essentially blind surgery, it always involves the risk of injuring viable brain tissue and vessels. Thus, we have developed a new endoneurosurgical system for stereotactic brain surgery. This system consists of a neuroendoscope made of a Selfoc® long rod-shaped deflective distribution lens 1.0 mm in diameter, a special ultrasonic aspirator for fragmentation and aspiration of hard blood clots, a micromanipulator and a specially designed stereotactic attachment device, so that they can be accurately inserted into the optimum position from any direction.

We have applied this stereotactic endoneurosurgical system to 30 cases of intracerebral hematoma comprising 12 putaminal, 11 thalamic, 4 subcortical, 2 brain stem, 1 cerebellar hemorrhage. The mean age was 65 years old, 79% of patients were over 60 years old, mean hematoma volume was 22 mL, mean rate of removal was 85%, and there was no intraoperative or postoperative hemorrhage. During removal of an intracerebral hematoma, intraoperative bleeding was prevented by the direct observation of microvessels in the wall of the hematoma cavity.

This system was developed to allow application of stereotactic techniques to endoscopic surgery. The stereotactic endoneurosurgery is considered to be less invasive, safer, and more accurate, as it can be applied to removal of intracerebral hematoma.

Key words :

- stereotactic operation
- endoneurosurgical system
- Selfoc® lens
- cerebral hematoma
- ultrasonic aspirator

はじめに

近年, 定位的脳内血腫除去術は CT, MRI などの画像診断の進歩や各種の装置の改良と相まって, 多くの施設において施行されている¹⁾³⁾⁶⁾¹⁰⁾¹⁴⁾¹⁵⁾. しかしながら, 本手術方法は, なお, 本質的には blind surgery であることか

ら, 新たな術中出血を惹起しかねない risk を常にかかえており⁹⁾, また, 効率的な血腫除去をはかれない場合も少なくない⁹⁾¹²⁾. そこで本格的な内視鏡下脳内血腫除去術をめざし, 定位的脳手術用内視鏡や急性期の硬い凝血塊吸引のための専用超音波吸引装置など定位的脳手術用内視鏡システムの開発²⁾・改良と臨床応用を進めてきたので報告する.

定位的手術用内視鏡システムの開発

1. 定位の脳手術用内視鏡の開発

今回開発を進めている内視鏡は、直径 1 mm の 1 本の長い円柱状の Selfoc® lens で構成されており²⁾¹⁸⁾、従来のような lens を重ね合わせることによる、空気接触面での反射損失がないことから、明るく解像力に優れた scope が可能となった。視野角も 70° と広い視野を確保している (Fig. 1A-1, 2)。観察範囲を広げるため、直視型と弱斜視型の 2 種類を用意、目的に応じて選択できる。

挿入用 probe 外筒 (Fig. 1A-3) を光学視管外套と共用することにより、挿入用外筒外径 4.5 mm に抑えながら、チャンネル径は 2.1 mm を確保できた。

硬い凝血塊や腫瘍などを破碎吸引するための超音波吸引 probe (Fig. 1A-5) や止血操作を可能にする laser probe や各種の鉗子 (Fig. 1A-4, 6, 7) などを自在に用いることができ、本格的な内視鏡脳手術を可能にしている。

Fig. 1 A: Endoneurosurgical apparatus. 1: neuroendoscope (straight type), 2: neuroendoscope (oblique type), 3: outer probe for endoscope with irrigation cock (4.5 mm in outer diameter), 4, 6, 7: biopsy probes, 5: oscillating probe (2.0 × 1.2 × 310 mm). B: Improved ultrasonic aspirator system.

2. 超音波吸引装置の改良

その後、本システム専用の超音波吸引装置の改良も進めてきたが、probe 先端で最も効率的な縦振動が得られるよう、probe 外径 (2.0 mm)、内径 (1.2 mm)、有効長 (310 mm) を決定した。共振周波数 23 kHz, 最大出力 35 w, 12 段階に微調整が可能で、最大振幅 90 μm と、原型に比し、倍近い性能向上を達成している (Fig. 1B)。

3. 装着固定装置の改良

定位手術装置に内視鏡超音波吸引装置などを確実に装着固定し、正確かつ自在に操作しうる micromanipulator を試作した (Fig. 2A-6)。また、装着固定装置も把持固定部位を歯車構造にして、slip out のない、より安全な構造に改良した (Fig. 2A-5)。内視鏡 (Fig. 2A-3)、超音波吸引装置 (Fig. 2A-1) に加え、光源 (Fig. 2A-4) と超小型軽量 (25 g) video-camera (Fig. 2A-2) を set したところである (Fig. 2A)。

Fig. 2 A: Stereotactic endoneurosurgical system. 1: ultrasonic aspirator, 2: miniaturized video camera, 3: neuroendoscope (Selfoc® rod lens 1.0 mm in diameter), 4: light guide, 5: attachment system, 6: micromanipulator, 7: probe holder, 8: Komai's stereotactic frame. B: Flexible CT-table fixation device.

Fig. 3 Case 1. A: Preoperative CT scan showing a left thalamic hematoma spread to the midbrain. B: Intraoperative endoscopic photograph. With use of the ultrasonic aspirator (arrow), a hard blood clot was aspirated strongly. C: Postoperative CT scan showing disappearance of most of the clot.

4. 可変式 CT 台固定装置の開発

脳内出血症例などにおいては、意識障害などにて舌根沈下をきたし、気道確保が必要になることもしばしば経験するところであるが、これらの状態に対処するために、可変式 CT 台固定装置を試作した。楽な体位で target 決定のための CT 検査ができるばかりでなく、座標の基準線のずれも抑えられることから、ガントリーの角度を調整するだけで、その後の座標点の計測がスムーズにできる (Fig. 2B)。

5. CT 自動座標点計測ソフトの利用

(東芝 Xspeed:ステレオタクテス)の利用

target 設定時には CT コンピューター内蔵ソフト:ステレオタクテスを使用することにより、座標軸、座標点を瞬時のうちに計測することができる (Fig. 5A)。

臨床応用

現在までに、本システムを用い脳内血腫吸引除去術を 30 例に施行したが、男性 18 例、女性 12 例、年齢は 30～81 歳、平均年齢 65 歳、60 歳以上が 79% と開頭術に比し、やや高齢の傾向にある⁹⁾¹²⁾。発生部位別では、被殻出血 12 例、視床出血 11 例、皮質下 4 例、脳幹部 2 例、小脳出血 1 例で開頭手術に比し視床脳幹部出血の割合が多い⁹⁾¹²⁾。平均血腫量は 22 mL、摘出率 85% で、全摘出例は 30 例中 10 例であった。術中・術後出血は認められなかった。発症から手術日までの期間は 1～17 日、平均 4.7 日であった。

症例呈示

次に本システムを用いての興味ある症例を呈示する。

＜症例 1＞ 急性期脳幹部出血への応用と強力な吸引装置の効用。

症例は 70 歳、男性。左視床部から、中脳にかけて直径 25 mm ほどの血腫が認められた (Fig. 3A)。JCS 100、筋力 1/5 と血腫 size に比してかなり不良なことから発症 2 日目に本システムを用いて血腫除去術を試みた。

target を血腫深部に設定し、内視鏡下に血腫の吸引除去を進めた。

血腫は急性期のため、まだかなり硬く、通常の用手的吸引では、ほとんど排出しえなかったが、我々の超音波吸引装置を用いると、極めて効率よく、強力に吸引排出することができた (Fig. 3B)。

内視鏡にて直視下に、血腫吸引状況を観察しながら吸引 probe を少しずつ抜いてきたり、また洗浄水の注入を調節し、血腫を吸引 probe の先まで押し出すことにより、血腫をきれいに排出することができ、その後の出血の有無も確認できた。本例の場合、皮膚切開開始から、皮膚縫合終了まで (skin to skin) 30 分前後で終了した。

術後の CT では、ほぼ血腫が全摘され、減圧されているのが認められた (Fig. 3C)。

術後の経過も良好で、手術 2 か月後、意識清明、杖歩行にて退院している。

<症例 2> 内視鏡による血腫腔内小血管の視認と術中出血の回避.

症例は 44 歳, 男性. 最大径 55 mm (55 × 30 × 40 mm) の右被殻出血例であるが (Fig. 4A), この症例の場合, 血腫吸引を続けていると, 突然壁内小血管が専用超音波吸引 probe に吸い込まれてきた. 幸いこの超音波吸引 probe は probe の肉厚や長さ, 出力と probe の縦振動振幅の調整などにより, このような小血管でも温存できるように開発したが, このまま吸引を続けていたら, 術中出血をきたした可能性がある (Fig. 4B).

本症例の場合, 急いで吸引チューブそのものをはずして血管からの離脱をはかることができ, ことなきを得た. このようなことが可能なのも内視鏡下に観察し, 緊急事態をすばやく把握できたからであり, この内視鏡システムの有用性をもっとも発揮できた場面といえる.

<症例 3> 大きな血腫でも one burr hole のもと内視鏡下手術で全摘可能.

症例は 81 歳, 女性. 左被殻部出血例で, 血腫は前後径 80 mm, 横径 30 mm ほどである (Fig. 5B). 通常の定位手術においては, 吸引操作そのものが blind であることから安全性と血腫吸引効率などを考慮して, target を血腫の中央部に設定することが多いと思うが, 本システムにて, real time で吸引状況を把握しながら種々操作ができることから, このように, 大きな血腫でも, 血腫深部に target を設定し (Fig. 5A), 血腫の長軸方向から approach して, probe を引き抜きながら効率よく血腫を除去することにより, 全摘可能になる (Fig. 5C).

<症例 4> 後頭葉内皮質下血腫全摘により全盲状態から劇的に視力・視野の回復.

症例は, 69 歳, 女性. 全盲状態から視野の改善の得られた症例である.

3 年前 (H 2. 1. 24), 左同名性半盲で発症し, CT では, 右の頭頂後頭葉に大きな血腫がみられたが (56 × 40 × 24 mm), 保存的に治療していた (Fig. 6A).

10 か月後の視野表では, 左同名性四半盲が残存していた.

それから 2 年後 (H 4. 7. 3. 15:00), 外出から帰って, まもなく両眼視力, 視野の低下に気づき, 3 時間後には両眼とも光覚程度まで低下し, 当科を受診した (18:00).

対光反射は両眼直接間接とも prompt で, いわゆる皮質盲 (cortical blindness) の型と思われる. 血圧は 211/116 mmHg と上昇していた.

CT にては, 対側の左頭頂後頭葉皮質下に直径 30 mm (30 × 20 × 20 mm) ほどの出血がみられる (Fig. 6B).

一般に脳卒中による皮質盲の場合, 視力・視野の予後は

Fig. 4 Case 2. A: Preoperative CT scan revealed a large hematoma in the right putaminal region. B: Intraoperative endoscopic photograph. Small blood vessels (arrowheads) in the wall of the hematoma cavity are clearly demonstrated.

Fig. 5 Case 3. A: Intraoperative CT scanning calculation of the coordinates of the evacuation target going by stereotactes. The target was set on the deep side, and the approach was made from the direction of the long axis of the hematoma. B: Preoperative CT scan showing a left massive putaminal hematoma. C: Postoperative CT image revealed aspiration of most of the hematoma.

Fig. 6 Case 4. A: The CT image of the initial stroke showing a hematoma in the right parieto-occipital subcortical region. B: Preoperative CT scan of the second stroke showing a hematoma in the left parieto-occipital subcortical region. C: Postoperative CT scan revealed removal of the hematoma totally.

不良といわれているが、本例の場合も、その後視力・視野の改善の得られないことから、本システムを用いて approach することとし、7月10日 target を血腫深部に設定し、左後頭葉に one burr hole をおいて内視鏡下に血腫腔内を観察しながら、専用超音波吸引装置にて吸引を進めていった。

術後の CT では左頭頂後頭葉の血腫が全摘されている (Fig. 6C)。

なお、血腫壁内の小血管の biopsy 所見では、amyloid angiopathy は証明されなかった。

術直後より、再び光を取り戻し、視力・視野の改善傾向が認められ、手術2か月後には、再出血前近くまで、著明な視野の改善を得た(左同名性半盲+右上四半盲) (Fig. 7)。

本例は本内視鏡システム手術の最も劇的な効果の得られた症例の一つであった。

考 察

1970年代後半に始まった定位的脳内血腫除去術は、その簡便性と低侵襲性を認められ³⁾⁴⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、また術後脳血流量の改善⁹⁾や機能回復¹³⁾の面などからも評価されてきている。症例1のような視床・脳幹部出血¹⁾¹²⁾¹⁶⁾¹⁹⁾では、その20%近くが吸引療法の適応となっており、また高齢者、合併症を伴う患者⁶⁾などに対しても広く諸施設において施行されている⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾。しかし、いずれにしても本質的には blind surgery であることから、開頭手術に比して、その血腫除去効率や術後出血などの点でなお議論のあるところである。岩渕の集計報告⁹⁾では術後出血率は開頭手術法3.0%に比し、吸引療法は7.8%であり、倍以上の高率であった。また、血腫除去率も吸引療法は、通常50~70%で開頭手術法に比し、かなり低い傾向にある⁹⁾¹²⁾。

血腫吸引状況を直視下に観察しながら吸引しうるなら、的確な吸引操作が可能となり、血腫除去率の向上と術中・

Fig. 7 Visual field after endoneurosurgical evacuation revealed dramatic improvement from cortical blindness.

術後出血の低減に大いなる効果があると信じ、内視鏡システムの開発・改良を進めてきた²⁾。

本システムは Selfoc® lens 応用の内視鏡と硬い凝血塊吸引のための専用超音波吸引装置、定位手術手技応用のためこれらを装着固定するための装着装置の3つの主要機器から構成されている。

Selfoc® lens は¹⁸⁾、日本板硝子(大阪)が1968年、世界に先駆けて実用化に成功したレンズであり、一般には、屈折率分布型レンズ、または不均等媒質レンズとも呼ばれている。すなわち、化学的イオン交換法などにより、レンズ内部の屈折率が中心から外周に向かって低くなっているために、レンズ内に入射した光線は、レンズ内部で屈折を繰り返しながら、ほとんど減衰することなく先端部に進み、正位等倍実像を結像することができる。

このような特質から1本の長いロッド状レンズが可能となり、通常のリレーレンズのようにレンズを重ね合わせることによる空気接触面での反射損失や、レンズとレンズの間(空気間隙)での損失がないことから、細いにもかかわらず極めて明るく、解像力に優れた内視鏡をつくることができた。基底核部・視床部近傍の穿通枝や直径数ミクロンの血管も識別可能である。また明るさ、解像力とも幅方向で一様である。更に、超近接の1mmから無限遠まで明視できる深い観察深度と、広視野角をもつため狭い脳内でも正確な部位のオリエンテーションがつけやすく、手術操作が飛躍的に安全かつ確実なものとなった。観察範囲を広げるため弱斜視型(視野角60°)と直視型(視野角70°)の2種類を用意、使用目的に応じて選択できる。

急性期の硬い凝血塊の吸引除去のためには Archimede-an screw の応用⁵⁾、SAS & A⁸⁾、超音波吸引装置の開発¹⁷⁾や、血腫腔内ドレナージ留置⁴⁾と urokinase 血腫溶解洗浄法³⁾⁷⁾¹¹⁾などが試みられ、それなりの効果が報告されてきている。

今回、我々がこれら急性期の硬い凝血塊の吸引除去のために、本システム専用として改良を進めてきた超音波吸引装置は、フットスイッチを踏むと、振動子の圧電素子(PZT)に本体のジェネレーターから発振周波数23kHzの交流電圧が加えられる。圧電素子には数 μm の振動が発生し、これをホーン部で拡大、発振棒の先端部分で最も効率的な縦振動が得られるよう、また、血腫腔内の小血管の損傷を可及的に少なくするように、動物実験など基礎的成果をふまえ、超音波吸引 probe の肉厚や長さ、出力と probe 縦振動振幅の調整を進め、発振棒(probe)の外径、内径、有効長を決定した。出力35wで最大振幅90 μm になり、 $2.0 \times 1.2 \times 310\text{ mm}$ (外径 $\times$ 内径 $\times$ 有効長)、 $2.0 \times 1.3 \times 310\text{ mm}$ 、 $1.8 \times 1.1 \times 295\text{ mm}$ の3種類である。

我々は、脳内血腫除去術における strategy として次の

手順が肝要と考えている。

1)内視鏡下に血腫腔内を直視下に観察しながら、2)targetを血腫最深部に設定し、3)血腫の長軸方向から approach、4)脳組織や血腫腔内の血管を損傷しないよう血腫吸引状況を確認しながら、5)徐々に probe を引き抜きながら、6)洗浄水(術中出血予防のため、生食100mlにトロンビン10,000単位を溶解したものをを用いている)の注入を上手に用いて probe 先端にむけて凝血塊を押し出す。6)急性期の硬い凝血塊除去には超音波吸引装置を効果的に用いる。血腫腔内の小血管を損傷しにくい点でも用手吸引より優れていると考えている。

また、超音波吸引装置は、その強力な吸引効果ゆえに、症例2に紹介したように、内視鏡下で直視下観察しながら用いなくてアッという間に脳組織や血管などを吸引してしまうことがあり、我々は超音波吸引装置を、より効率的に用いるためにも内視鏡システムは必須のものと考えている。

血腫の効率的吸引除去のためには、吸引装置の選択とともに、血腫深部における target の設定と可及的長軸方向からの approach の route の決定が極めて重要と考えている。そのため穿頭部位の決定は特に慎重にならなくてはならない。我々は穿頭部位の微調整のため、座標決定の際、必ず穿頭予定部位に marker を置いてCTを撮影し、その的確を期している。

こうすることにより、内視鏡下に血腫吸引状況を把握可能なことから、症例3のように大きな血腫でも、2カ所以上の穿頭⁷⁾による侵襲を加えなくとも除去可能となる。

また、谷中ら²⁰⁾は術前穿刺針の通過経路の重要性を強調し、穿刺経路の検討可能な coordinate software の有効性を報告している。

定位的脳内血腫除去術は内視鏡システムの応用により、より安全に、より効率的に手術操作を進めることが可能となることから、今後ますます、その新たな適応を拡げて行くことが期待される。

結 語

脳内血腫除去術に際して、定位的脳手術用内視鏡システムの応用により、専用超音波吸引装置の開発と相まって、視床・脳幹部出血や高齢者や合併症の多い患者においても低侵襲性のもと、より安全、より効率的に、速やかな手術操作が可能となり、臨床的にも効用大なるものと思われた。

本論文の要旨は第23回日本脳卒中の外科研究会(1994年3月京都)において発表した。

稿を終えるにあたり、本システムの開発において、全面的にご協力いただきましたオリンパス光学の山口達也氏、窪田哲丸氏、

唐沢 均氏, 戸山初高氏, 茂野浩樹氏, 森山啓二氏ほか関係諸氏に深謝申し上げます。

文 献

- 1) Beatty RM, Zervas NT: Stereotactic aspiration of a brain stem hematoma. *Neurosurgery* **13**: 204-207, 1983
- 2) Ebina K, Andoh A, Takahashi T, *et al*: Development and clinical usefulness of a new neuroendoscope system for CT-guided stereotactic brain surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **30**: 401-407, 1990
- 3) 土井英史, 森脇 宏, 駒井則彦, ほか: 高血圧性脳出血に対する定位的血腫溶解排除法. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **22**: 461-467, 1982
- 4) 林 実, 長谷川健, 古林秀則, ほか: 高血圧性脳出血に対する定位脳手術的血腫除去. *脳神経外科* **9**: 1365-1371, 1981
- 5) Higgins AC, Nashold BS: Modification of instrument for stereotactic evacuation of intracerebral hematoma: Technical note. *Neurosurgery* **7**: 604-605, 1980
- 6) Hokama M, Tanizaki Y, Matsuo K, *et al*: Indications and limitations for CT-guided stereotactic surgery of hypertensive intracerebral haemorrhage, based on the analysis of postoperative complications and poor ability of daily living in 158 cases. *Acta Neurochir (Wien)* **125**: 27-33, 1993
- 7) 堀本長治, 山鹿誠一, 鳥羽 保, ほか: 巨大な高血圧性脳出血に対する定位的血腫溶解吸引術. *脳神経外科* **21**: 509-512, 1993
- 8) 伊藤治英, 向井裕修, 北村昭洋, ほか: 定位脳手術用 Aqua-stream and Aspirator (SAS & A) を用いた高血圧性脳内血腫除去術. *脳神経外科* **17**: 939-943, 1989
- 9) 岩渕 隆: 高血圧性脳出血(1)被殻出血. *脳卒中* **12**: 525-540, 1990
- 10) 金谷春之: 高血圧性脳出血の治療の現況—全国調査の成績より—. *脳卒中* **12**: 509-524, 1990
- 11) Mohadjer M, Eggert R, May J, *et al*: CT-guided stereotactic fibrinolysis of spontaneous and hypertensive cerebellar hemorrhage: Long-term results. *J Neurosurg* **73**: 217-222, 1990
- 12) 中井 昂: 高血圧性脳出血(2)視床出血. *脳卒中* **12**: 541-555, 1990
- 13) 興村義孝, 小野純一, 岩立康男, ほか: 軽症被殻出血例に対するCT誘導定位的血腫吸引術の評価. *脳神経外科* **19**: 611-617, 1991
- 14) 七條文雄, 松本圭蔵: CT-controlled stereotactic operationによる高血圧性脳内血腫除去術. その1 理論と手術術式について. *脳神経外科* **13**: 845-852, 1985
- 15) 七條文雄, 松本圭蔵: CT-controlled stereotactic operationによる高血圧性脳内血腫除去術. その2: 視床並びに大脳基底核部の小血腫除去例. *脳神経外科* **13**: 945-952, 1985
- 16) 高浜秀俊, 森井 研, 佐藤光弥, ほか: 高血圧性橋出血に対するCT定位血腫除去術—保存的治療との比較検討—. *脳神経外科* **17**: 733-739, 1989
- 17) 富田恵輔, 堀江周二, 行天徹矢, ほか: 高血圧性脳出血に対する血腫吸引術の手術成績; とくに急性期基底核部出血例について. 第1回脳出血ワークショップ講演集, にゅーろん社, 東京, 1986, pp 63-72
- 18) Uchida T, Furukawa M, Kitano I, *et al*: Optical characteristics of a lightfocusing fiber guide and its applications. *IEEE J Quantum Electronics* **6**: 606-612, 1970
- 19) 上田幹也, 森永一生, 松本行弘, ほか: 視床出血に対する定位的血腫吸引術の single photon emission CT による評価. *脳神経外科* **18**: 25-31, 1990
- 20) 谷中清之, 江頭泰平, 岡崎匡雄, ほか: Coordinate software の定位的血腫吸引除去術への応用. *脳神経外科* **18**: 623-629, 1990