

## 総 説

# 脳神経外科診療における脊椎脊髄外科： 顕微鏡手術による廣大無辺の世界

高 見 俊 宏

大阪医科薬科大学医学部外科学講座脳神経外科学特務教授

**要旨：**脳神経外科という呼称は、日本では「脳外科=Brain surgery」として簡略化されることがあるため、「脳=Brain」専門の外科診療科として誤解を生じることが多いのが実情だろう。欧米の脳神経外科診療は神経学を基礎とし、もとより脳・脊髄・末梢神経を広く診療対象として包括してきた。一方で、日本の脳神経外科診療は一般外科から派生して誕生し、当初は頭部外傷、そして脳卒中診療へと拡大してきたため、脳神経外科医が脊椎脊髄疾患の手術を行うことに馴染みが薄いのが現状である。脳神経外科医による脊椎脊髄手術は、顕微鏡手術の技術革新とともに発展してきたと言える。顕微鏡による精緻で安全な手術は、結果的に低侵襲手術となり、治療成績の向上に寄与してきた。本稿では、臓器重量が約30グラムにすぎない小型精密臓器である脊髄の内部に発生した腫瘍の手術治療について、手術を最適化する重要ステップを紹介しながら、顕微鏡手術による廣大無辺の世界を共有する。

Key words: 顕微鏡手術, 脊髄腫瘍, 脊椎脊髄手術, 髄内腫瘍, 脳神経外科

### 1. 脳神経外科医による脊椎脊髄手術

脳神経外科医が脊椎脊髄疾患の診療に従事していることに違和感を覚える方もおられると思う。しかし、国際的には脊椎脊髄疾患の手術治療は整形外科医と脳神経外科医が切磋琢磨する分野となっており、整形外科・脳神経外科の双方に得意・不得意な手術があり、お互いの利点を生かしながら診療精度および手術治療の安全性向上に努めているのが現状であろう。脳神経外科という診療

科呼称は日本独自で、欧米ではNeurosurgery, Neurological surgery, Neuologic surgeryあるいはNeurochirurgiaなどと呼ばれ、日本以外のアジア圏では「神経外科」と呼ばれることが通常で、神経学を基礎として手術治療を担う外科診療科を体現している。日本では「脳外科=Brain surgery」として簡略化されることがあるため、「脳=Brain」専門の外科診療科として誤解を生じることが多いのが実情だろうと思う(図1)。しか



図1 日本と米国における脳神経外科発展の違い

し、1965年6月医療法第70条に診療科名として脳神経外科が加えられたときには、「脳、脊髄及び末梢神経に関する外科」として定義されており、一般社団法人日本脳神経外科学会ホームページには(<https://jns-official.jp/>)、「社会と共に歩み、脳と脊髄をまもる脳神経外科」のスローガンが掲げられている<sup>1)</sup>。

脊椎脊髄手術の発展には、欧米の脳神経外科医が大きく貢献してきた。代表的な例として、腰椎椎間板ヘルニア摘出術のLove法(Love JG, 脳神経外科医)、頸椎前方固定術のCloward法(Cloward RB, 脳神経外科医)などがある<sup>2)</sup>。実際に、米国では脳神経外科医による脊椎脊髄疾患の外科診療がとて盛んであり、脳神経外科診療における脊椎脊髄疾患の割合は極めて高く、診療体系(臨床・研究・教育)における大きな柱になっている。実際に、米国の整形外科および脳神経外科レジデント(専門専攻医師)が経験する手術数の比較に関する統計では、脳神経外科レジデント期間中の脊椎脊髄手術数がとても多く、脳神経外科専攻医教育における重要課題となっていることが読み取れる<sup>3)</sup>。一方で、日本の診療体系では、脳神経外科医が脊椎脊髄疾患の手術を行うことに馴染みが薄いのが現状だろう。しかしながら、世界的な潮流に従い、日本の脳神経外科医が脊椎脊髄手術を担う機会が徐々に増えてきた。1986年に当時の有志の脳神経外科医が集まり「脳神経外科医が脊椎脊髄疾患について討議する全国的な研究会」を組織し、この研究会が現在の日本脊髄外科学会(<http://www.neurospine.jp/>)となり、「脳神経外科診療における脊椎脊髄外科領域を代表する学会」として発展してきた<sup>4)</sup>。現在では、日本脳神経外科学会の脊椎脊髄診療を代表する分科学会として認定されている。

## 2. 顕微鏡手術の技術革新

脳神経外科における手術治療が発展した経緯においては、顕微鏡手術による精緻な手術手技を導入したことが大きな要因であろう。近代外科手術に顕微鏡が導入されたのは1950年代頃とされている<sup>5)6)</sup>。最初は耳鼻咽喉科領域で始まり、徐々に眼科および脳神経外科領域で広まったとされる。脳神経外科領域では、手術顕微鏡による拡大立体視は脳神経外科手術に革命をもたらし、脳手術はもちろんのこと、脊椎脊髄手術における精緻な手術手技の確立の原動力となった。顕微鏡による精緻で安全な手術は、結果的に低侵襲となり、手術成績の飛躍的な向上に繋がったとされている。手術顕微鏡の発展としては、拡大視立体視だけでなく、カウンターバランス方式の安定したスタンド、オートバランス機構による操作性

の向上、高精細画像の記録が可能となり、最近では高精細3D録画機能、蛍光観察技術、4K 3Dビデオ技術による外視鏡としての利用、手術顕微鏡アシスト内視鏡、ナビゲーション画像とのリンク機能、手術関連情報の顕微鏡視野へのオーバーレイ機能(いわゆるPicture in picture機能)など、拡大立体視以外の多くの機能を装備するに至っている。技術革新としての様々な可視化機能が追加され、現在の手術顕微鏡は高精細・多機能型の手術映像装置と位置付けることができる(表1)。さらに、最近の脳神経外科手術では内視鏡あるいは外視鏡手術も盛んとなっており、今後は顕微鏡、内視鏡、そして外視鏡の3つの方向性が互いに融合しながら発展していくものと期待される。しかし、顕微鏡手術における基本原則は拡大立体視であることに変わりなく、接眼レンズの奥には肉眼、手術ルーペあるいは内視鏡では実感することができない術者独自の広大無辺の世界が広がっている。

## 3. 小型精密臓器(脊髄)の内部に発生した髄内腫瘍の手術

脳と脊髄は一体となり中枢神経を構成するが、成人脳(大脳、小脳および脳幹)の重量が約1500グラム程度に対して、脊髄は長さが40センチにもかかわらず重量は約30グラムにすぎない。重量的には僅かな神経組織だが、その構造は超精密であり、四肢・体幹・内臓機能を含めた神経機能全体を担っている(図2)<sup>7)~9)</sup>。小型精密臓器の内部あるいは周辺に腫瘍が発生すると、極めて厄介なこととなる。脊髄腫瘍の中でも、脊髄内部から腫瘍が発生する髄内腫瘍の疾患頻度は極めて少ないため、個々の医療施設において治療実績を積むことが難しいのが現状であろう。

髄内腫瘍の代表は上衣腫、海綿状血管腫(正確には腫瘍ではなく血管奇形に分類される)、血管芽腫、星細胞腫であり、総じて病理学的に良性腫瘍の比率が高いが、悪性腫瘍も存在する。良性腫瘍の治療では、精緻で安全な手術をすることで、中長期的に良好な予後が期待できる。一方で、悪性腫瘍の場合には、手術のみでは不十分

表1 高精細・多機能型の手術映像装置としての手術顕微鏡機能

- 高精細3D録画機能
- 蛍光観察技術
- 外視鏡としての利用(4K 3Dビデオ技術)
- 手術顕微鏡アシスト内視鏡
- ナビゲーション画像とのリンク機能
- 手術関連情報の顕微鏡視野へのオーバーレイ機能

**Every points or lines within the spinal cord parenchyma are vital for neurological function.**

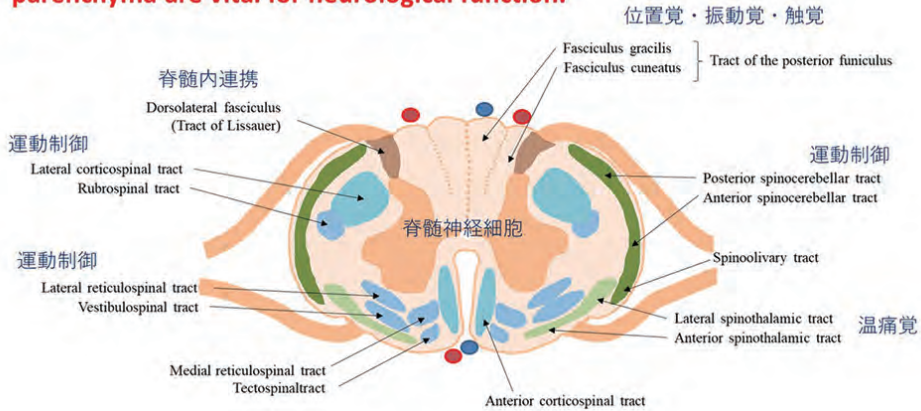


図2 脊髓横断面：脊髓内部の神経路局在



図3 脊髓切開経路の選択

であり、術後療法が治療予後に大きく影響する。現状では脳悪性腫瘍に準じて術後療法を計画するが、残念ながら中長期の良好な予後(生存率あるいは無増悪生存期間)を期待することは難しい。良性腫瘍あるいは悪性腫瘍のいずれにおいても、手術では腫瘍摘出と神経機能維持とのベストバランスを達成することが最重要課題となる。術後神経合併症を最小限とするためには精緻な手術操作が前提であり、手術精度を高めるためには(1)神経モニタリングによる神経機能監視、(2)蛍光観察技術による術中画像支援、(3)最適な脊髓切開経路の選択、そして(4)腫瘍境界の露出と剥離操作が重要となる<sup>10)</sup>。脊髓切開経路の選択においては、腫瘍露出および剥離操作に伴う脊髓実質障害を最小限にすることが望ましく、髄内腫瘍の局在によって大きく3通りの経路が可能である(図3)。

疾患頻度の高い上衣腫の手術では(図4)、最初に脊髓背面を十分に露出して、最初に蛍光観察技術で血流状態を確認しておくことが望ましい。慎重に脊髓切開を行い、徐々に腫瘍背を長軸方向に充分露出する。次に腫瘍

側面から腹側面に向かって全周性に剥離するが、腫瘍塊が大きい場合には、超音波吸引装置による内減圧を追加する。剥離操作における重要点としては、1箇所剥離に固執せず、全周性に剥離を行うことを念頭に置く。上衣腫の手術における最後の難関は、腫瘍腹側正中での剥離操作である。腫瘍の端側から正中腹側へと腫瘍長軸に沿って進入していくと、脊髓腹側の中心部で固い線維性組織にあたる。前正中裂が腫瘍に陥入した部位である。脊髓腹側正中に存在する前脊髓動脈あるいは溝交連動脈からの栄養動脈を、腫瘍側で確実に離断しなければならない。腫瘍の上下方向から、術野を常に洗浄しながら顕微鏡下に直視することが必要である。脊髓自体は大変小さく、かつ脆弱な組織である。髄内腫瘍の存在によって、すでに脊髓実質は程度の差はあっても、必ず障害を受けていることを常に意識する必要がある。腫瘍摘出後に、腫瘍摘出腔での脊髓実質の微細血流が十分に温存されていることを確認する。精緻で安全な手術を行うことで、術後の機能維持のみならず、生活の質を維持することが可能となり、最終的に中長期的に良好な腫瘍制御に繋がる<sup>11) 12)</sup>。



図4 脊髄髄内腫瘍(上衣腫)。A: 術前。B: 術後

#### 4. まとめ

脳神経外科医による脊椎脊髄手術、顕微鏡手術の技術革新、そして小型精密臓器(脊髄)の内部に発生した髄内腫瘍の手術について記載した。脊髄腫瘍の手術における最重要課題は低侵襲性と機能温存を両立しながら、手術本来の目的である良好な腫瘍制御を達成することである。治療成績の向上は、総じて医療機器の技術革新に依存する部分が多いが、技術的成熟度も重要な課題である。手術における技術成熟度は医育機関における人材教育の総合力であろうと思う。脳・脊髄を臓器対象とする脳神経外科診療の広大無辺の世界に、多くの若者がチャレンジしてくれることを願う。

#### 文 献

- 1) 日本脳神経外科学会のあゆみ. <https://jns-official.jp/jns/ayumi>
- 2) 金 彪. 「神経外科」と脊髄外科を展望して. 脊髄外科 27(2): 101, 2013
- 3) Lad M, Gupta R, Para A, Gupta A, White MD, Agarwal N, Moore JM, Heary RF. An ACGME-based comparison of neurosurgical and orthopedic resident training in adult spine surgery via a case volume and hours-based analysis. J Neurosurg Spine 2021;35:553-563.
- 4) 一般社団法人日本脊髄外科学会の沿革. <http://www.neurospine.jp/original16.html>
- 5) Malis LI. Instrumentation and techniques in microsurgery. Clin Neurosurg 1979;26:626-636.
- 6) Yaşargil MG. Personal considerations on the history of microneurosurgery. J Neurosurg 2010; 112(6):1163-1175.
- 7) Parent A. Carpenter's Human Neuroanatomy 9th edition, Media, Pennsylvania, Williams & Wilkins, 1996
- 8) Waxman SG. Correlative Neuroanatomy, 23rd edition, Stamford, Connecticut, Appleton & Lange, 1996
- 9) Schuenke M, Schulte E, Schumacher U. THIEME Atlas of Anatomy, Head and Neuroanatomy, Stuttgart/Ner York, Thieme, 2007
- 10) Takami T, Naito K, Yamagata T, Ohata K. Surgical management of spinal intramedullary tumors: radical and safe strategy for benign tumors. Neurol Med Chir (Tokyo) 2015;55(4):317-327.
- 11) Nakanishi Y, Naito K, Yamagata T, Takami T. Health-Related Quality of Life After Microscopic Total Removal of Spinal Intramedullary Ependymomas in a Single-Institute 3-Year Prospective Study. World Neurosurg 2020;136: e614-e624.
- 12) Naito K, Umabayashi D, Kurokawa R, Endo T, Mizuno M, Hoshimaru M, Kim P, Hida K, Takami T. study group of intramedullary spinal cord tumors in the Neurospinal Society of Japan. Predictors of Progression-Free Survival in Patients With Spinal Intramedullary Ependymoma: A Multicenter Retrospective Study by the Neurospinal Society of Japan. Neurosurgery 2023; 93:1046-1056.