

KINEVO

峯 裕¹⁻⁴⁾ Yutaka MINE 武藤 淳⁵⁾ Jun MUTO

- 1) 独立行政法人国立病院機構東京医療センター脳神経外科
〒152-8902 東京都目黒区東が丘 2-5-1
- 2) 社会福祉法人恩賜財団済生会支部神奈川県済生会横浜市東部病院脳神経センター
- 3) 慶應義塾大学医学部生理学教室
- 4) 独立行政法人国立病院機構栃木医療センター臨床研究部
- 5) 藤田医科大学医学部脳神経外科学

I. はじめに

脳神経外科手術は、病変部の拡大視と立体視を可能とする光学機器を用いた鏡視下手術を中心に発展してきた。術野を拡大する光学機器は30年ごとのinnovationがあり、1960年代には顕微鏡、1990年代には内視鏡が導入された。これら光学機器の進歩・導入により、詳細な外科解剖などの知見が加わり、新たな手術技術が開発されてきた¹⁻³⁾。神経内視鏡の導入から約30年が経過した2010～20年代に入り、新しく外視鏡が脳神経外科に導入された^{4, 5)}。特にこの数年の間に高解像度3D外視鏡が登場して、様々な疾患に使用されつつあり⁶⁾、鏡視下手術は新たな段階に入ったように感じられる。しかし、報告はあるものの、実臨床への導入はまだごく一部の施設・疾患に限られている印象が強い。顕微鏡からの変更や機種を選定も含め、外視鏡の導入や使用を躊躇されている先生方や施設が多いのではないと思われる。本稿では現在国内で使用されている機種の内、KINEVO 900 (Carl Zeiss) に関してその特徴と使用の実際に関して自験例を提示して概説し、近年の話題を述べる。

II. 外視鏡としてのKINEVO 900

これまで脳神経外科手術での観察術野の拡大は顕微鏡が中心であった。顕微鏡は多層レンズを用いて肉眼視で観察している。それに対して、外視鏡は主にカメラとモニタを用いて術野拡大を得るシステムである。内視鏡から発展したものと顕微鏡から発展したものと大きく分けることができる。術者は3D偏光メガネを掛けたモニタ観察で立体視を獲得し、3Dモニタを見ながら内視鏡手術のようなhand-eye coordinationで手術手技を行う(Heads-up surgery)。一般的に、顕微鏡よりも視線、すなわち観察方向(角度)が自由であること、モニタを見ながらの手術のため術者・助手の姿勢が一定で安楽なこと、患者の体位も楽なこと(仰臥位で施行可能な手術が多い)、そして、カメラと術野の間隔があり(400 mm以上)、いわゆるworking spaceが広く自由度が高いことが特徴である。

KINEVO 900は、本特集で扱う外視鏡の中で唯一の手術用顕微鏡から発展した機種(顕微鏡発展型)である。通常どおり手術顕微鏡として使用可能であるのと同時に、後述する長い焦点距離を利用した外視鏡としての利用も可能である。

Ⅲ. KINEVO 900の特徴

KINEVO 900は、スタンド機構を持つ3Dカメラを装着した顕微鏡である。焦点距離が200～625 mmと広範囲であり、光学ズーム（ズーム比1：6）により最大約16倍の拡大を得ることができる。長い焦点距離を利用して、4K3Dカメラ、55 inch 3Dモニタの組み合わせにより3D外視鏡として使用可能となっている⁷⁾。スタンド本体に付属する2面の24 inch モニタにて、タッチパネルによる顕微鏡の各種設定と制御、また、手術ライブ画像の観察が可能である。機能的な特徴としては以下の様な点が挙げられる。

①光学ズームと4K3Dカメラによる高精細画像

顕微鏡筐体内にICG機能を搭載した4K3Dデジタルカメラを鏡基部に完全内蔵したはじめての機種である。他の手術用顕微鏡と同様に多数のレンズを用いた光学ズームにより獲得した拡大画像を4K3Dカメラで撮影し、55 inch 3Dモニタに映し出して観察する。他機種では少ないレンズで得た画像を4Kなどの高解像度カメラで撮影し、デジタルズームによりピクセルを拡大するため、大画面での拡大画像再生はやや不鮮明となる可能性がある。それに対してKINEVO 900は光学ズームで得た拡大画像を4Kカメラで撮影するため、拡大画像の情報量が多く、画像は非常に鮮明である。また、明瞭な術野と多くの術者が使い慣れている顕微鏡下手術に、機器を入れ替えることなく、すぐに切り替えることが可能である点は大きな利点である。

②進化した筐体・カメラ操作（アーム操作）

これまでの顕微鏡スタンドはカウンターバランス機構のいわゆるコントラバス・スタンドのため、

上方からの振動に弱かった。KINEVO 900では、スタンドとアームにかかる6軸の振動をモーターとセンサーにて制御するアクティブ制振機構を採用することで振動の影響を低減化している。この6つの軸を電動で動かす機構により、首振りのように観察部位が移動できる「旋回」、観察部位を平行移動できる「水平」、そして、観察部位（焦点部位）を変えずに円弧状に視線を動かすことができる「ポイントロック」の3種類のXY移動が可能となっている（図1）。特に「ポイントロック」は、焦点を固定（ロック）したままで、視野の中心を軸にして様々な方向・角度から観察ができるため、血管障害や腫瘍などの病変観察に力を発揮する。この3種類のXYモードはフットスイッチなどで大半の操作が可能であり、顕微鏡に触れることなく3次元的な広がりを持って、様々な位置・角度からの観察が可能となっている。すなわち、両手に手術器具を保持したハンズフリーの状態でも様々な観察がフットスイッチの操作のみで可能であり、利便性が極めて高い機構である。また、高倍率時に観察部位を見失うこと（disorientation）は、片手操作が多く、大きな動きになりやすい外視鏡特有の難点の一つであるが、手動ポイントロック機能により視線移動が容易かつ危険性を低減しうる。さらには外視鏡の位置を記憶するポジションメモリ機能により、術中の様々なポジションへの移動・復帰が可能な点も特筆される。

③多彩な蛍光観察

通常の明視野では困難な病変などを可視化する術中蛍光撮影は、現在脳神経外科手術になくはない技術である。KINEVO 900はICG（波長800 nm）、5ALA（波長400 nm）Fluorescein（波長560 nm）に対応し、様々な画像を投影するこ

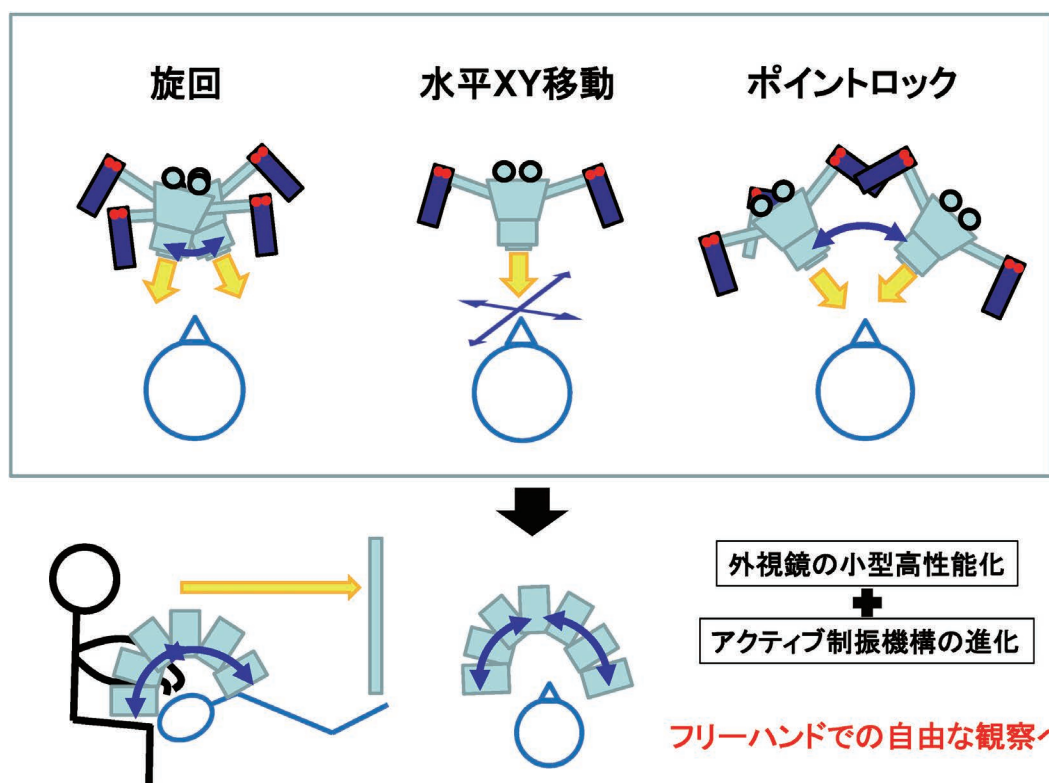


図1 3種類のXY移動機能

筐体とアームの6つの軸を制御することで旋回、水平XY移動、ポイントロックの動きがフットスイッチのみで可能である。筐体の小型化による可動性向上と制御機能の進化で、さらに自由な方向からの観察がフリーハンドで可能となりうる。

とが可能である。脳動脈瘤など血管障害手術で頻用されるICGは、これまでの顕微鏡と比して鮮明で室内を暗くしなくても観察可能であり、他の外視鏡とも遜色ない(図2, 3)。オーバーレイにより明視野でも観察可能(ただし2Dでの観察となる)であり、またFLOW 800により血流などの術中解析が可能であることも特徴である(図3A-C)。また、近年報告がある腫瘍内のICG貯留を確認して摘出すSecond window ICG⁸⁾やDelayed window ICGテクニック⁹⁾も使用可能である(図3D-G)。

④ナビゲーションとの連動

ナビゲーションリンクによりナビゲーションと連動可能な唯一の外視鏡である。具体的には、観察している焦点の合っている場所が画像上のどの

位置であるかをナビゲーションでリアルタイムに示すため、到達点がかみやすく、腫瘍局在や骨削除範囲などを瞬時に確認可能である。また、ナビゲーション画像を観察モニタ(3Dモニタ)内に映し出したり(図3H-K)、腫瘍輪郭や位置をオーバーレイ機能にて投射したりすることもできて、グリオーマや頭蓋底手術で効果的であると思われる。この大画面での情報融合は極力視線を変えずに手術操作することを可能とし、時間短縮に寄与しうるだけでなく、disorientationや様々なストレスを防止して手術の安全性を高めうると考える。

⑤QEVO (micro inspection tool)

Plug & Playですぐに使用できる、完全オートクレーブ型(=ドレープ不要)のアシスト用内視

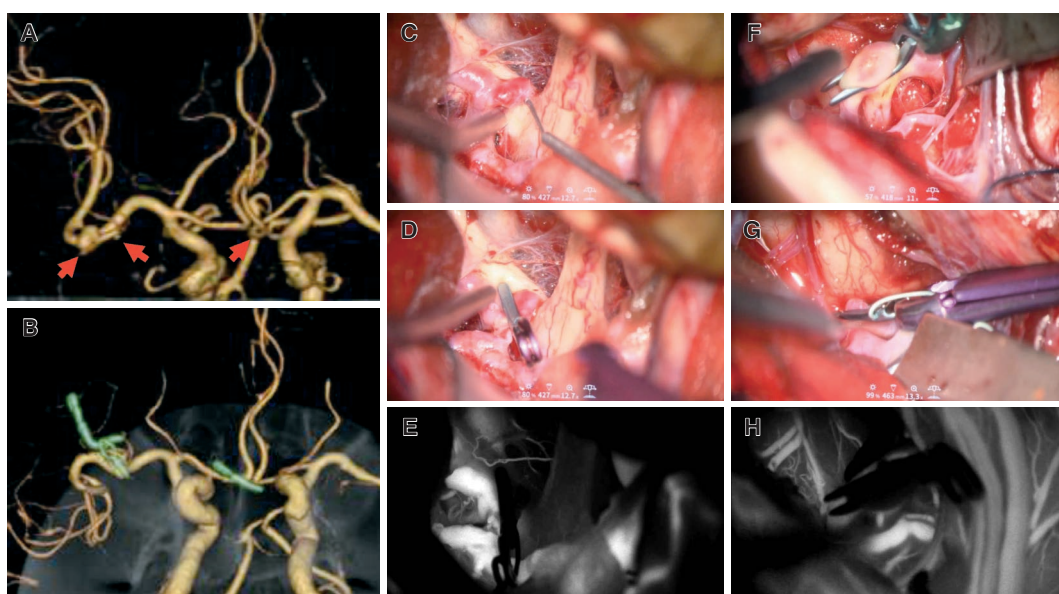


図2 外視鏡による動脈瘤クリッピング術

78歳女性・未破裂多発脳動脈瘤に対するクリッピング術。

A: 術前3D-CTA. Acom 4 mm, M1 2 mm, M1-M2 6 mmの動脈瘤を認める。

B: 術後3D-CTA. 動脈瘤は消失している。

C-H: 術中写真. Acom動脈瘤の剥離(C)とクリッピング(D)は遠近感の把握により安全な操作が可能だった。M1-M2(F)およびM1(G)のクリッピングも穿通枝などが明瞭に描出され安全に処置が可能であった。ICGは描出よく、動脈瘤消失が確認された(E, H)。

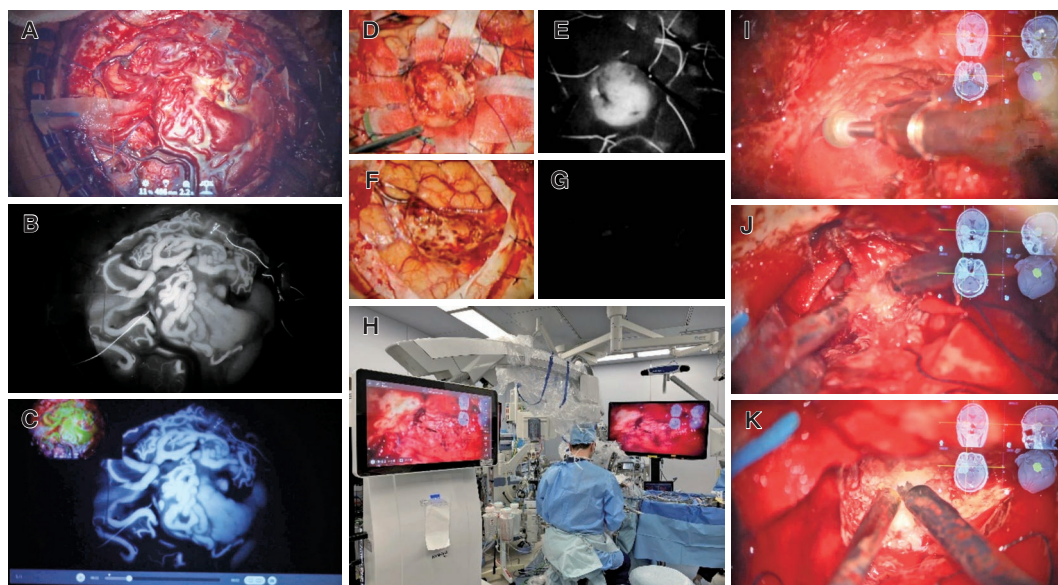


図3 様々な蛍光観察とナビゲーションの連動

A-C: 52歳男性, 右前頭葉・頭頂葉・後頭葉脳動脈静脈奇形. 明視野(A), ICG(B), Flow800(C). 様々な解析が可能となっている。

D-G: Delayed window ICGテクニックを用いた右前頭葉転移性脳腫瘍(肺がん)の術中所見. 明視野にて周囲脳から剥離中の腫瘍(D)は、近赤外線下で辺縁明瞭に蛍光発光し確認できた(E). 肉眼的摘出後(F, 明視野), 近赤外線下で蛍光は陰性で腫瘍全摘が確認された(G).

H-K: Stealth Station S8(日本メトロニック)との連動. 79歳男性, 蝶形骨縁髄膜腫. モニタ画像内にナビゲーション画像を投影することにより(H), 骨削除(I), 腫瘍減圧(J: 中頭蓋窩, F: 前床突起周囲)の位置を視線移動が少なく, リアルタイムに状況把握が可能である。

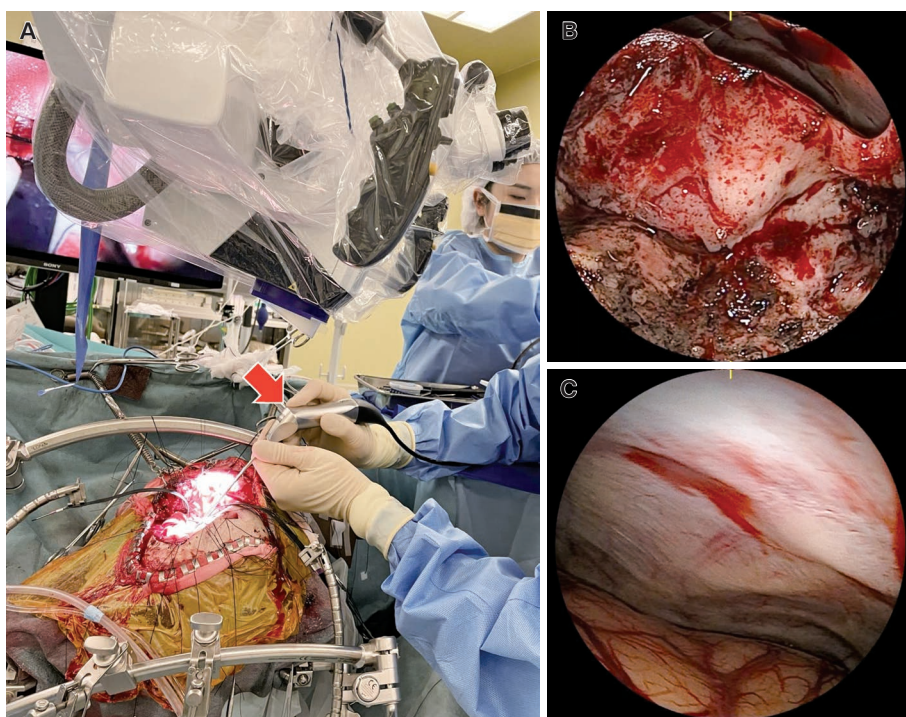


図4 QEVO

右後頭葉転移性脳腫瘍摘出時，術中の使用風景 (A, 赤矢印)．脳実質の影となる部分 (B) や小脳テント周囲の観察 (C) が簡便かつ迅速にできた。

鏡である。術中に深部や顕微鏡・外視鏡の影となる部分，また，穿通枝などの観察が必要となった場合に，新たに内視鏡システムを準備することなく観察が可能である。簡便・コンパクトであるが，図4に示すように十分な画質を得ることができる。ただし，角度が45°のみであること，連続使用時間（推奨8分間）やオートクレーブ回数（目安150回）に注意が必要である。

IV. KINEVO 900による外視鏡手術の実際

KINEVO 900における我々のセットアップを示す（図5）。顕微鏡手術の際に顕微鏡を設置する位置にホルダーまたは本体を設置して，スコープを適切な位置に移動させ観察する。通常400 mm

以上の焦点距離でスコープを使用するが，KINEVO 900のような顕微鏡発展型ではスコープに術者の頭などが接触しないよう注意が必要である。また，3Dモニタの位置は最も大切である。後述するhand-eye coordinationの問題があるため，術者と正対する位置にセットするよう心がける（図5）。術者の位置が頻繁に移動する必要がある手術の場合には，サブモニタの設置を考慮する。なお，術者とモニタの間隔は32 inchでは～1 m，55 inchでは1.0～1.5 m程度がよいとされる。助手の位置は色々と議論があるが，筆者は術者と並列に位置して術者と同じ感覚を体験させるように心掛けている。また，必要に応じて32 inchのサブモニタを助手に正対する位置に設置している。このようなことを注意することにより，モニタを

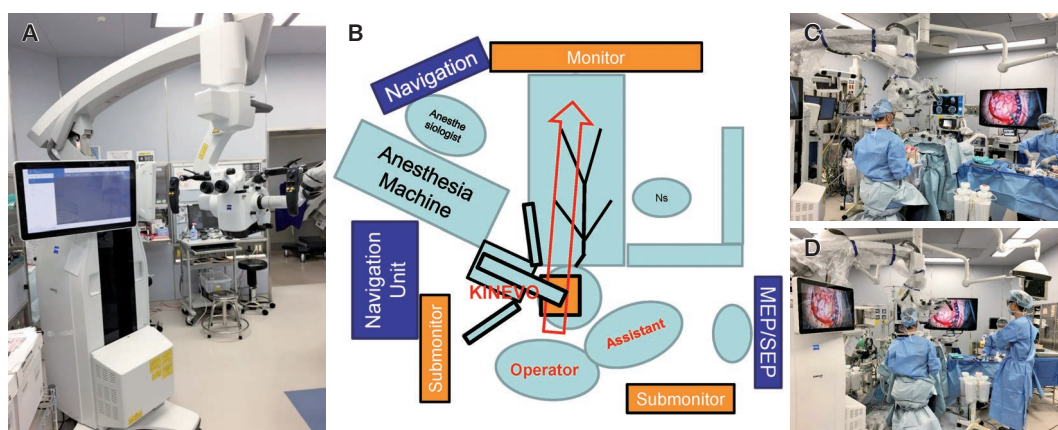


図5 外視鏡手術のセットアップの実際

A: 本体. B: 模式図. C, D: 術中写真. 我々の施設では顕微鏡と同様に置き, 外視鏡を術野近く固定する. 3Dモニタは術者と正対する位置にて手術する.

通した手術操作が可能である. 図2は前交通動脈瘤 (4 mm), 右中大脳動脈瘤 (M1 2 mm; M1-M2 6 mm) を持つ78歳女性の自験例である. 3Dモニタ画像は立体視や動脈瘤および両側 A1, A2, 穿通枝などの描出には問題がなく, trans-sylvian approachでのクリッピングを行っている. 明らかな合併症はなく, 術後1週間で独歩退院した. 術後3カ月の3D-CTAでは動脈瘤は消失している (図3D).

V. KINEVO 900による外視鏡手術の利点と難点

立体視可能な顕微鏡のみが担っていた微細な脳神経外科手術は, 立体視ができる3D外視鏡でも可能となり, 腫瘍摘出や脊椎疾患を中心に^{6, 8-15)}, 脳血管障害¹⁶⁾や機能的疾患¹⁷⁾にも使用されつつある. これまでの報告では, 外視鏡は顕微鏡に比べて良姿勢による術者負担の軽減, 手術スタッフ間の情報共有, 医学 (学生) 教育などに寄与しているとされる. しかし, これらの報告の多くは外視鏡としてORBEYEやVITOM 3Dを用いた研究である.

KINEVO 900に関しては, 血管障害における蛍光診断や描出力の高さ¹⁸⁾, グリオーマ手術における蛍光診断¹⁹⁾, QEVOの有用性²⁰⁾の報告が散見されるが, 外視鏡としての報告は少ない. 私見であるが, KINEVO 900の外視鏡としての利点は, 他機種と同様に画像の精度が高く, focus領域が広範囲で観察しやすいこと, 広いworking spaceで操作性が良好であること, 助手も術者の視点から積極的に手術に参加し指導が得られ, よい訓練となることが挙げられる. さらに光学ズームを用いた術野拡大により, 情報量が多く鮮明な画像を得られる点は, 血管障害など微細構造の観察が必須な疾患では有用と考える. また, アームの円滑かつ自由度の動作, ポジションメモリーなどによるハンズフリー操作, そしてナビゲーション連動は他機種にない機能であり, 腫瘍や頭蓋底疾患では威力を発揮しうる. 実際, 外視鏡として用いたときの血管障害における描出力と解析力の高さ²¹⁾やロボティックアーム・ポイントロック・ナビゲーションを用いたグリオーマ摘出の有用性²²⁾などが報告されている. 外視鏡の適応疾患は広く,

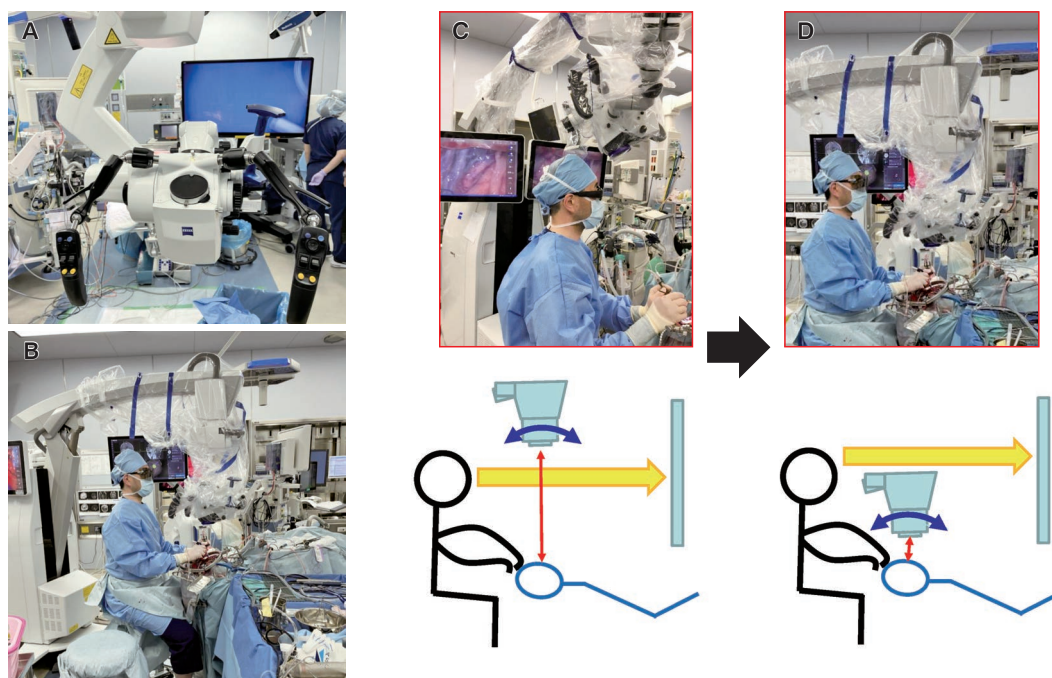


図6 KINEVO 900使用の改善点

A, B: 鏡筒を完全に除去することにより、スコープ(筐体)の取り回しを改善した。アクティブ制振機構もあり、可動性が高まっている。
 C, D: 倍率拡大のための工夫。当初は長い焦点距離を利用して上方(頭部近く)においていたが(C), 病変部位に近づけることにより、倍率拡大を得ている。筐体上方から3Dモニタを観察する(D)。

現在顕微鏡で行われている手術の多くが可能であるが、術中蛍光診断や解析が有用である腫瘍性病変や脳動静脈奇形・脳動脈瘤などに関してはKINEVO 900は特に有用であると考えられる。筐体の小型化やポジションメモリーとナビゲーションとの連動によるトラジェクトリーなどの自動追従の可能性など鏡視下手術進化も期待させる。

その他の利点としては、いつでも顕微鏡手術に戻ることができる安心感である。必要に応じて人間工学的に優れた外視鏡(デジタルアプローチ)と微細操作時には顕微鏡(光学アプローチ)を使い分けることが可能である。術野カメラとしてマクロ操作の記録にも有用である。また、マグネットによる対物レンズ接続やだぶつきをなくし、可動性を高めるオートドレーブ機能(ドレーブ吸引)

(チップ認証による)など、ドレーブも進化しており使いやすい。さらには、整形外科(脊椎・脊髄外科)、耳鼻咽喉科、形成外科など他診療科でも使用可能で汎用性の高さも魅力である。

一方、難点としては鏡体が大きく、取り回しにやや難があること、また、デジタルズームがないため、焦点距離が長い外視鏡使用時の最大倍率が顕微鏡使用時の倍率より劣ることが挙げられる。これらは鏡筒を外すこと(図6A, B)、また、外視鏡(筐体)を被写体に近接させて観察することで倍率を上げる工夫を我々は行っている(図6D)。外視鏡手術はmonitor surgeryであり、出血や腫瘍摘出など場面に応じた色調のこまめな調整、ズーム速度の確認、視線と操作の方向が異なるhand-eye coordinationの操作・感覚への習熟も大切である。

VI. おわりに

KINEVO 900は光学ズームによる高い描出力、ポイントロック機能など、優れた制御機構、ナビゲーションとの連動などの魅力がある。外視鏡と

しては、筐体と本体の大きさなどの問題点があるものの対処可能であり、腫瘍性病変などでは非常に有用である。顕微鏡と外視鏡のどちらでも使用可能である汎用性の高さは魅力であり、外視鏡導入へのステップとしてよい機体である。

文献

- 1) Nishihara T, et al: A transparent sheath for endoscopic surgery and its application in surgical evacuation of spontaneous intracerebral hematomas. Technical note. J Neurosurg 92: 1053-5, 2000
- 2) Kinouchi H, et al: Simultaneous microscopic and endoscopic monitoring during surgery for internal carotid artery aneurysms. J Neurosurg 101: 989-95, 2004
- 3) Nishiyama Y, et al: Endoscopic indocyanine green video angiography in aneurysm surgery: an innovative method for intraoperative assessment of blood flow in vasculature hidden from microscopic view. J Neurosurg 117: 302-8, 2012
- 4) Nishiyama K, et al: From Exoscope into the Next Generation. J Korean Neurosurg Soc 60: 289-93, 2017
- 5) Mamelak AN, et al: Initial clinical experience with a high-definition exoscope system for microneurosurgery. Neurosurgery 67: 476-83, 2010
- 6) Oretel JM, Burkhardt BW: Vitom-3D for Exoscopic Neurosurgery: Initial Experience in Cranial and Spinal Procedures. World Neurosurg 105: 153-62, 2017
- 7) 峯 裕, 武藤 淳: 脳血管障害に対する鏡視下手術の可能性. 脳外速報 30: 193-201, 2020
- 8) Muto J, et al: Intraoperative real-time near-infrared optical imaging for the identification of metastatic brain tumors via microscope and exoscope. Neurosurg Focus 50: E11, 2021
- 9) Muto J, et al: Intraoperative Real-Time Near-Infrared Image-Guided Surgery to Identify Intracranial Meningiomas via Microscope. Front Neurosci 16: 837349, 2022
- 10) Mamelak AN, et al: Infratentorial supracerebellar resection of a pineal tumor using a high definition video exoscope (VITOM). J Clin Neurosci 19: 306-9, 2012
- 11) Lee JYK, et al: Intraoperative Near-Infrared Optical Imaging Can Localize Gadolinium-Enhancing Gliomas During Surgery. Neurosurgery 79: 856-71, 2016
- 12) Moisi MD, et al: Advancement of Surgical Visualization Methods: Comparison Study Between Traditional Microscopic Surgery and a Novel Robotic Optoelectronic Visualization Tool for Spinal Surgery. World Neurosurg 98: 273-7, 2017
- 13) Khalessi AA, et al: First-in-Man Clinical Experience Using a High-Definition 3-Dimensional Exoscope System for Microneurosurgery. Oper Neurosurg (Hagerstown) 16: 717-25, 2019
- 14) Murai Y, et al: Preliminary Clinical Microneurosurgical Experience With the 4K3-Dimensional Microvideoscope (ORBEYE) System for Microneurological Surgery: Observation Study. Oper Neurosurg (Hagerstown) 16: 707-16, 2019
- 15) Takahashi S, et al: Pros and cons of using ORBEYE for microneurosurgery. Clin Neurol Neurosurg 174: 57-62, 2018
- 16) Izumo T, et al: Initial Experience of ORBEYE Surgical Microscope for Carotid Endarterectomy. Asian J Neurosurg 14: 839-42, 2019
- 17) Nagata Y, et al: The Multiscope Technique for Microvascular Decompression. World Neurosurg 103: 310-4, 2017
- 18) Nakao K, et al: Surgeon Experience of the Surgical Safety with KINEVO 900 in Vascular Neurosurgery: The Initial Experience. Asian J Neurosurg 15: 464-7, 2020
- 19) Hohne J, et al: Lighting Up the Tumor-Fluorescein-Guided Resection of Gangliogliomas. J Clin Med 9: 2405, 2020
- 20) Schebesch K-M, et al: QEVO - A new digital endoscopic microinspection tool - A cadaveric study and first clinical experiences (case series). Surg Neurol Int 10: 46, 2019
- 21) Acha JL, et al: Neurovascular Microsurgical Experience Through 3-Dimensional Exoscopy: Case Report and Literature Review. World Neurosurg 174: 63-8, 2023
- 22) Koizumi S, et al: A novel technique for fence-post tube placement in glioma using the robot-guided frameless neuronavigation technique under exoscope surgery: patient series. J Neurosurg Case Lessons 2: CASE21466, 2021