

医療用3Dワークステーションで学ぶ

脳神経外科手術戦略 シミュレーション

井川房夫

島根県立中央病院脳神経外科・
医療局次長

中富浩文

杏林大学医学部脳神経外科主任教授

山田茂樹

名古屋市立大学大学院医学研究科
脳神経外科学講師

編集

中外医学社

序文

現在、新型コロナウイルス感染症が第5類に分類された世界で、学会も通常に行われるようになり、術前シミュレーションの発表も聴講できるようになってきた。

これからの脳神経外科医は開頭手術以外にも非侵襲的治療が発展し、様々な選択肢がある。最も妥当と考えられる治療法は多岐にわたり、より少ない経験で安全確実な治療結果が求められる。私共は、術前シミュレーションは手術経験値を上げることができる有用なツールと考えており、異論は少ないと思われる。また、経験のある術者では、術前シミュレーションにより、予期せぬ最悪の事態を想定できるため危機管理にも役立つと考えている。しかし、同時に煩雑で時間を要してしまうことも否めず、そのため世の中に浸透していないと考えられる。

本書は、医療用3Dワークステーションを用いた術前シミュレーションを放射線技師さんの協力も得ながら、できるだけ簡便に行う具体的な例を学び、各施設でより良い方法を構築していただきたいという思いで作成した。したがって、できるだけ多くの症例を疾患別に供覧し、術前シミュレーションの具体的方法、かかった時間などを記載した。

本書では、図や動画を多くし、スマートフォンで動画が見えるよう、視覚的にもポイントがわかりやすく、実践に役立つ構成とした。繰り返し確認し、実際の臨床に役立てていただきたい。

編集には、杏林大学脳神経外科 中富浩文先生、名古屋市立大学脳神経外科学 山田茂樹先生に加わっていただきご指導いただいた。ご執筆をお願いした先生方は、術前シミュレーションに造詣が深く実際に活用されている方々である。ご多忙にもかかわらず、実臨床に沿ってわかりやすく解説していただき、この場を借りて厚く御礼申し上げます。本書は必ずや若い脳神経外科医、放射線技師の方々のお役に立てると確信しており、ひいては多くの患者さんに貢献できたら幸いである。最後になったが、本書にご協力いただいたすべての方々に心より感謝申し上げます。

令和6年1月 第17回日本性差医学・医療学会終了時

島根県立中央病院 脳神経外科
井川 房夫

3

診療放射線技師と“一緒”に画像作成することが大切

3D シミュレーション画像に一番必要なことは何か？

シミュレーション画像を議論する場合、画像処理装置の性能やテクニック、新しいアプリケーション使用の話題になることが多いが、本来、画像処理に最も重要なことは、至適な元画像である。至適な元画像とは、CT、DSA (digital subtraction angiography)、MRI で造影のタイミング、シーケンス、画像再構成など様々な撮影項目を網羅し、至適な画像診断を行うことができる画像である。そのためには施設内で統一された撮影マニュアル^{1,2)}の作成が必要である。

脳血管 CTA (volume scan) の一例³⁾

○主な目的や適応疾患

脳血管疾患（脳動脈瘤、脳動静脈奇形、脳血管狭窄、静脈洞血栓症など）

○ポジショニング

仰臥位、左右対称にして顎を引き OM ラインで行う。

○撮影範囲や造影のタイミングは、医師からの検査目的コメントや病名から、事前に打ち合わせを行っている。キーワード方式を用いることで医師の指示としている。

- ・くも膜下出血の動脈瘤検索目的、脳動静脈奇形、静脈洞血栓症などのときは全脳撮影する。
- ・動脈瘤検索目的の初回検査では静脈相も全例撮影する。
- ・経過観察時は前回の造影スキャン開始時間、瘤の場所などを事前に確認する。
- ・造影剤セットは単純スキャン撮影前に行う。

撮影条件などは、装置や、施設により多少の違いは存在するが、検査オーダーに検査目的を細かく記載することで、より至適な造影検査ができる。細かい取り決めや、画像検査を依頼する脳神経外科医師も診療放射線技師と“一緒”に行うことで、至適な検査が行える。

診療放射線技師と“一緒”に画像作成することが大切？

診療放射線技師と一緒に作成するメリットは、3D 画像作成に至適な条件の画像に、再構成し直すことができることである。転送されている画像は、汎用性の高い画像であり、3D 作成はその時の診療放射線技師の能力により多少変化することがある。そのため施設独自のマニュアルの整備や、認定機構の設立が行われ、画像等手術支援認定診療放射線技師の需要も高まっている。汎用画像は全体の検索には優れているが、例えば脳動脈瘤から血管が分岐しているかを精査する場合、汎用画像だけでは、診断に悩む場合も多く、3D 作成も難しい。その時に、至適な処理を再度可能な診療放射線技師と“一緒”に画像作成することで、至適な診断可能な再構成画像を作成することができ、3D 作成も容易になる (図 1, 2)。

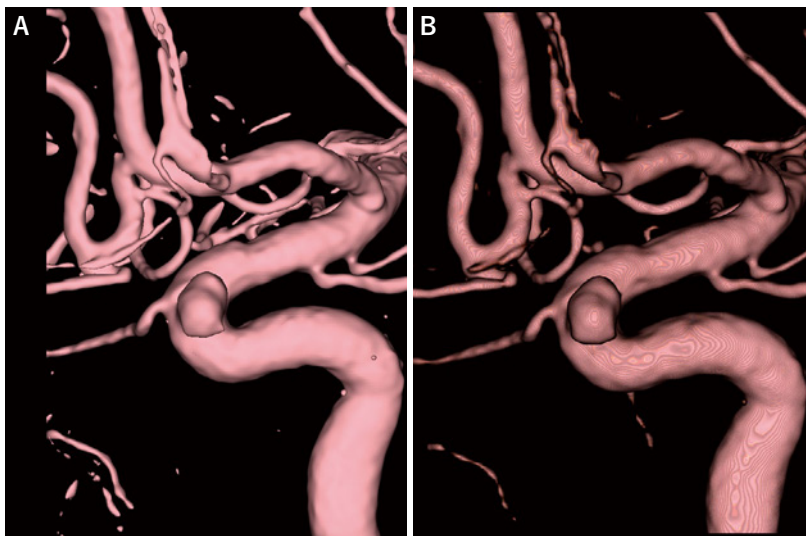


図 1 ▶ 拡大再構成の有無による 3D 画像の違い

拡大再構成画像 (A) の方が、血管が細かく表示され、動脈瘤の構造が明瞭に観察できる。

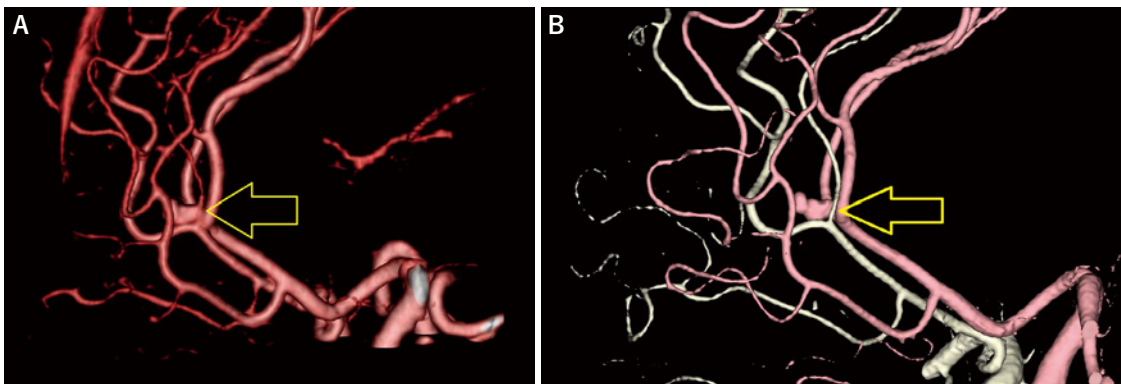


図 2 ▶ 汎用画像と至適画像で作成した 3D 画像の違い

汎用画像 (A) では動脈瘤から血管が分枝しているようにも見えるが、至適画像 (B) では、動脈瘤と並走する、別の血管であることが分かる。

画像等手術支援認定診療放射線技師とは？

画像等手術支援認定とは、画像診断装置から生成される画像の質の向上を図り、手術に関連する支援画像における医療安全の確保、および標準医療を担保できる技能を有し、所定の要件を満たして日本診療放射線技師会が認定した者をいう。認定資格をきっかけに標準化されて、均質な 3D 画像を作成できるように各施設の診療放射線技師は取得を目指す必要がある。

1 前頭側頭開頭術

まずこの章の最初は、脳神経外科手術の基本であり、最も使用頻度の高い代表的な開頭アプローチである前頭側頭開頭術からシミュレーションできるようになっていただきたい。前頭側頭開頭は、大脳最大の脳溝であるシルビウス裂から前頭葉と側頭葉を分けて、前頭蓋底深部の視神経や内頸動脈から前大脳動脈や中大脳動脈の広範囲を術野とする 1960 年代初頭に確立された世界共通の基本開頭術である^{1,2)}。Pterion (テリオン) をメルクマールに開頭するため、Pterional approach (テリオナル アプローチ) とよばれる³⁾。

脳動脈瘤や脳腫瘍などの疾患や病変部位によって開頭の範囲をアレンジすることも多いが、施設や術者によってもバリエーションが多い。

そこで、まずは自施設で過去に行われた典型的な前頭側頭開頭術後の頭部 CT 画像を 3D で観察し、**図 1** と比較して自施設ではどのような特徴があるかを見つけて欲しい。

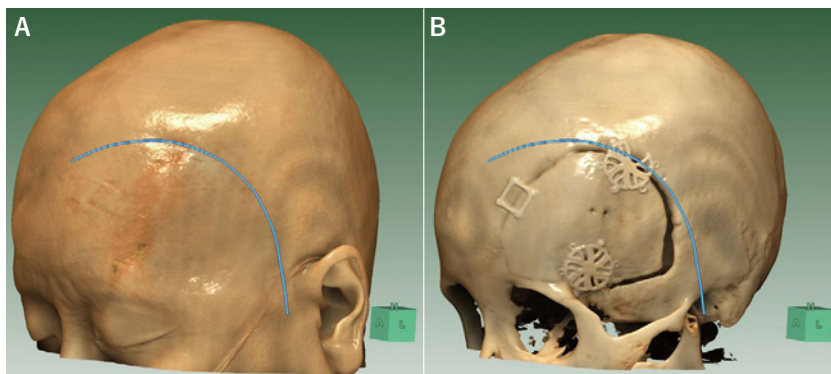


図 1 ▶ 左前頭側頭開頭術後の頭部単純 CT 検査

使用画像データ: 頭部単純 3D CT scan (1 mm スライス)

3D ワークステーションソフト: 3D ボリュームアナライザー SYNAPSE VINCENT (富士フイルム株式会社) の『3D ビュー』アプリを使用。

頭皮 (A) と頭蓋骨 (B) を観察。額に手術創が残らないように髪の毛の生え際の内側に、皮膚切開線 (水色) をおさめて開頭する。

最適な術野を作るためのポイント

- 体位と頭位: 仰臥位で手術用ベッドの背板を 15°~30° ほど挙上して、頭蓋内圧を下げる。頭部

最適な術野を作るためのポイント

- 体位: 仰臥位で手術用ベッドの背板を $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ほど挙上して、頭蓋内圧を下げる。
- 頭位: 回旋せず正中位で、前頭蓋底が床面に対して垂直にするのがスタンダードだが、前交通動脈や視交叉、トルコ鞍などの頭蓋底側を主に観察したい場合には顎を引いて前屈させ、第三脳室近傍など頭蓋底から離れた場所を主に観察したい場合には顎を上げて背屈させる。図1の症例の末梢性前大脳動脈破裂によるくも膜下出血に対する両側前頭開頭・脳動脈瘤頸部クリッピング術前後の造影 CT 画像 (図2) と嗅窩部髄膜腫 (olfactory groove meningioma) の術前の造影 CT 画像 (図3) を提示する。前頭蓋底へのアプローチが必要となる嗅窩部髄膜腫では、より前屈させた方がよい。
- 皮膚切開: 開頭範囲から皮膚切開線を考える。前頭蓋底近くまで開頭する場合は、耳 (珠) の前まで皮膚切開を伸ばす。皮膚切開線はできるだけ頭頂側 (後方) にした方が、切開線は長くなるが対面した時に手術瘢痕が目立たず、整容面に優れている。ここが POINT。
- 帽状腱膜と骨膜の剝離: シミュレーションでは皮膚と帽状腱膜、骨膜を区別して切開、剝離することは難しく、これらは一緒に顔面の方へ翻転する。実際の手術では、開頭で前頭洞が開放

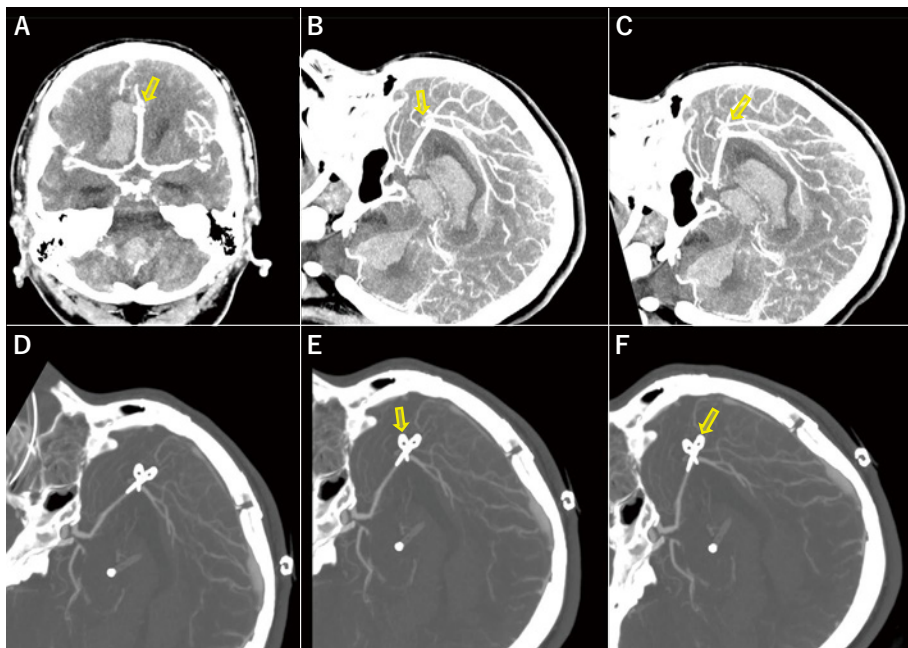


図2 ▶ 末梢性前大脳動脈に対する両側前頭開頭クリッピング術の頭位

図1と同一患者 (末梢性前大脳動脈破裂によるくも膜下腔) の術前 (A~C) と術後 (D~F) の頭部造影 3D CT scan (0.75 mm スライス)。

Slab MIP (厚みをもった最大値投影画像) の軸位断 (axial view, A) と矢状断 (sagittal view, B~F) で観察。脳動脈瘤 (A~C の黄色矢印) に対して、前頭蓋底が床面に対して垂直方向からアプローチすると、開頭野から最も脳動脈瘤まで最も短い距離で到達できる (B, E)。 15° 後屈すると脳動脈瘤よりも先に中枢側前大脳動脈本幹を確認しやすく (D)、 15° 前屈すると前大脳動脈本幹と同じ軸から観察できる (C, F)。

1 側脳室内腫瘍

術前検討のポイント

側脳室内に発生する腫瘍の中には、悪性リンパ腫や胚細胞性腫瘍のように生検術でよい腫瘍から、全摘出を目指すべき腫瘍まで、多様なものが含まれる。したがってまずは画像診断から腫瘍型を鑑別し、手術目的を決定することから術前検討が始まる。生検を目的とする手術では、近年では小開頭あるいは穿頭でシリンダー型リトラクターと軟性鏡を用いた手術が低侵襲であり広く行われるようになってきている。一方で、高い摘出度を目指す必要のある脳室内腫瘍や易出血性腫瘍、脳室内構造への癒着が疑われる腫瘍などに対して適切な視野のもと安全で確実な操作が可能であるか、について事前にアプローチを詳細に検討しなくてはならない。本稿では、基本的に全摘出を目指す腫瘍に焦点を絞り、3Dワークステーションを活用した手術戦略シミュレーションについて概説する。

深部病変である脳室内腫瘍には、正常脳組織を通過しなければ通常は到達できない。そのため各病変に適切にアプローチする際には、脳室ドレナージの経路選択の概念が基盤となる。つまり、多少の挫傷や出血があっても症状を出しにくいような領域を経由して病変に到達する。しかしながら大きな腫瘍や脳室拡大を伴う腫瘍では、脳室や表面あるいは深部の動静脈が変形して、脳室ドレナージのような通常の骨表の目印が必ずしも参考にならないこともある。そのような場合は、3D画像が特に有効となる。

シミュレーション準備とエフォート

以前当院では外科医が1症例あたり3~4時間かけて3D画像を作成していた。現在はBrainlab社のBrainlab® Elementsを使用しており、MRIやCTからきわめて短時間にtractographyまでを含む3D画像が利用可能となりエフォートは大幅に低下した。

シミュレーション手順

- Step 1** 必要な画像の収集。技師へ術前3D画像作成に必要な情報を伝え、MRI、CTの撮像条件を確認する。特に3D-CT血管撮影では動脈と静脈の主にとどちらを中心に評価したいかを技師に伝える。穿通枝や細い栄養動脈の描出が必要であれば、血管撮影の施行と併用を検討する。
- Step 2** 技師と医師が共に3D画像を見ながら、実際の術野の角度に合わせた画像を作成したり、脳実質を除去したりして視覚効果の高い画像を作成する。
- Step 3** サーバー負荷を減らすため、作成した画像の中のキーフィルムのみを技師へ指定して電子カル

2 内視鏡手術

頭蓋咽頭腫における内視鏡下経鼻手術の利点は、発生母地である下垂体内が視交叉前方下から観察できる点である。従来開頭手術が主流であった頭蓋咽頭腫の手術は、その根治性の高さ
と脳・神経への負担の低減ゆえに、内視鏡下経鼻手術に移行しつつある^{1,2)}。多くの場合腫瘍は視交叉下面であり、鞍隔膜上の頭蓋内に位置する。この部位に到達するためにはトルコ鞍に加え鞍結節を開窓する必要がある。また必要に応じて、蝶形骨平面、鞍背、後床突起、斜台に削除を加えることにより、前方伸展、第三脳室伸展、下垂体後方伸展の症例にも応用できる³⁾。

術前検討のポイント

- 3D-CT の情報をもとに鼻腔 surgical corridor を確認する。上顎洞後壁上内側端にある骨構造 (orbital process 基部)、および蝶口蓋動脈のある翼口蓋窩をはさみ後方にある後部篩骨洞下壁を形成する骨構造 (sphenoid process) の術野への影響を確認する。骨の厚みがうすければ、圧排により容易に術野は確保できるが、丈夫な骨構造の場合ケリソンやドリルによる骨削除が必要となる。術野を外側に広げたいときには必要なステップとなる (図 1)。
- Case 1 における蝶形洞の広さ、中隔骨の形、鞍結節から前方へかけての術野の確保のため骨構造を確認する。視神経管内側の骨の厚み (しばしば厚く、術野確保にも重要) を観察。内頸動脈の走行、開窓範囲の確認をする (図 2)。
- 造影 MRI の 3D データをもとに、造影される正常下垂体、下垂体内の確認を行う (Case 1)。下垂体機能温存の摘出を目指す場合は、下垂体内の位置、走行を確認し、温存をはかる (図 3)。
- Intercavernou sinus (superior, inferior, posterior, basilar venous plexus) の存在、大きさを造影 3D-CT 静脈相で確認する。前頭蓋底の硬膜切開、鞍背・後床突起削除、鞍底から斜台硬膜の切開の際に、静脈出血の程度をある程度予測する。
- Case 2 では前方に伸びる石灰化成分と、左外側に大きく伸展した嚢胞の剝離のために、拡大蝶

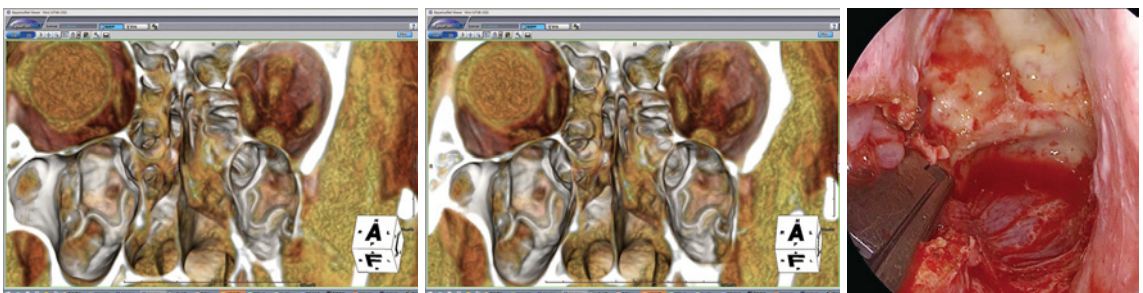


図 1 ▶ 鼻腔の surgical corridor の妨げとなる骨構造を確認

造影 3D-CT にて鼻腔構造を確認する。交差法で立体視できる。右は右側の上顎洞後壁につながる眼窩突起の一部をケリソンパンチで削除する術中写真。