

技術とシステムの融合による 次世代の脳神経外科手術

～情報統合型手術室smart ORとともに歩む、私たちの挑戦～

◆Summary
Next-Generation Neurosurgical Surgery through the Integration of Technology and Systems ~ Our Challenge in Advancing Cerebrovascular Surgery with the Information-Integrated Smart Operating Room ~ An information-integrated operating room (smart OR) was established with the construction of a new hospital, placing imaging and digital information at its core. By integrating intraoperative CT, angiography, and AR-based navigation, the system supports intraoperative decision-making, team-based surgery, and next-generation education. This article outlines a comprehensive surgical environment designed specifically for modern cerebrovascular surgery.



はくようかい
札幌柏葉会病院 院長

中山若樹

要旨・新病院の建築を機に、情報とイメージングを中核とした情報統合型手術室 (smart OR) を構築した。術中CT・血管造影・ARナビゲーションを連動させ、判断支援、チーム医療、教育を包括的に支える新たな脳神経外科手術環境を紹介する。

手術の質を決めるのは、術者の技量だけではない。どの情報に、いつ、どのようにアクセスできるか。情報を統合し、判断を支えるために構想・実装した「情報統合型手術室 (smart OR)」の全体像を紹介する。

はじめに

近年、術中画像診断機器や手術支援デバイスの進歩により、手術室は単なる作業空間ではなく、複数の情報と機器が有機的に連携する「統合システム」として再定義されつつある。特に脳神経外科手術では、顕微鏡下の精緻な操作に加え、血管構築や血流動態、電気生理的な神経活動、そして神経や頭蓋底骨との3次元的位置関係を多角的に把握することが、手術精度を大きく左右する。

当院では、新病院建築にあたり、ゼロベースから脳神経外科手術室の在り方を再考し、情報とイメージングを中核に据えた「情報統合型手術室 (smart OR)」を構築した。「smart OR」は「Seamless Multi-Access for Reliable Treatment Operating Room」の頭文字からとっており、継ぎ目なく (seamless) あらゆるものにアクセスできる (multi access) ことを目的とし、ひいては、それが次世代の術者を育てる教育・伝承につながることを意識している。本稿では、その設計思想とシステム構成、実際の脳血管外科手術における運用、さらに、

1年間の使用経験から得られた知見について概説する (図1)。

術中イメージング装置のマルチアクセスと手術室内照明演出

smart ORの中核となるのは、2つの主手術室を軸に構成された多層的イメージング環境である。各手術室は約10m×9mと十分な広さを確保し、術者・コメディカルに加え、教育や議論を目的とした複数人の立ち入りを前提とした空間設計とした。

両手術室の隔壁には自走式スライディングガントリーCTを格納し、2つの手術室双方において患者を手術台上で開頭された状態のまま術中CT撮像が可能である。さらに、一方の手術室にはロボットアーム式Cアーム血管造影装置も備え、CTと血管造影の双方を柔軟に使い分けられる「多層ハイブリッド」環境を実現している (図2、図3)。

また、手術室の照明には、壁と天井の境界部に白い照明と青い照明をブレンド調色できるコーニス照明を配置した。壁面の収納や埋込み装置は、ほぼ全て白色シートで化粧してステンレスむき出しを極力排除し、照明の青味が壁面に映えるようにした。囲いに覆われたコーニス照明としているため、照明がモニター画面に映り込まずに済む。青は心を落ち着かせ、集中力を高める効果を持つ。手術室全体の照度は、天井のダウンライトで担保しつつ、手術の局面に応じて青の色味を変化させ、手術の質の向上に寄与する (図4)。

顕微鏡視野内ナビゲーションと多層ハイブリッド機能の連動

各手術室には、4K対応の高性能手術顕微鏡を配備し、ICG蛍光造影や血流解析、内視鏡補助を

備えている。さらに、顕微鏡視野内に投影される拡張現実 (augmented reality: AR) ナビゲーション・システムは、このsmart ORの重要な構成要素の一つである。ARは、各種画像診断装置によって作成さ

れる3Dシミュレーション画像を顕微鏡視野内に重ね合わせることで、病変と正常構造の立体的位置関係を直感的に把握する手段として有用であるが、これが多層ハイブリッド機能と連動していることに大

きな意義がある。

ナビゲーション・システムは、院内PACS及び画像解析プラットフォームと院内ネットワークで直結しており、術前に構築した3D画像だけでは

図1 手術室の全体構成模式図

主たる2つの手術室の隔壁にスライディングガントリーCT (SOMATOM Confidence Sliding Gantry CT: Siemens社) を格納し、いずれの手術室においても患者を手術台上に固定したまま術中CT撮像が可能である。第2手術室にはロボットアーム式Cアーム血管造影装置 (ARTIS pheno EX: Siemens社) を備え、多層ハイブリッド環境を構成している。

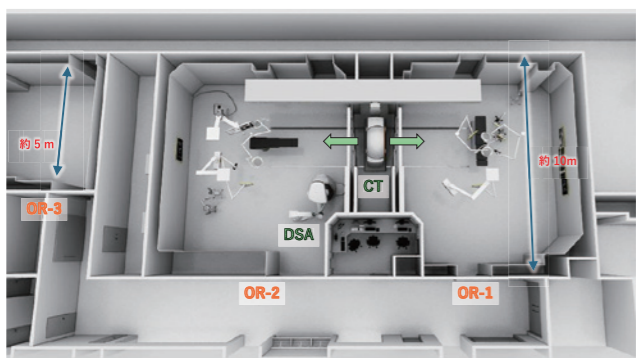


図2 第1手術室の実際の様子

左側壁面からCTガントリーが進入可能な構造となっている。対面壁には55インチ4K大型モニターを3面配置し、術中画像や各種モニタリング情報を表示する。手術台はMST-7300 (ミズホ社)。



図3 第2手術室の実際の様子

ロボットアーム式Cアーム血管造影装置は、撮像時以外は室内隅に退避する。CTは第1手術室と共用で、壁面格納庫から進入する。手術台はMaquet Magnus手術台システム (Getinge社)。



図4 手術室照明の工夫

白色光と青色光をブレンド可能な調光設計とし、ICG蛍光造影時には青色単色とすることで、モノクロの蛍光像の視認性を高めつつ、周辺スタッフの手元の作業は視認性を確保できる。





図7 (1) 第一手術室内における映像の出力先。①外回り医師用、②術者用、③直接介助看護師用、④麻酔科医用の4種類がある。部屋の奥にはCTが見える。(2) CTの対面にあたる壁面には大画面モニターが3枚設置されている。右端のモニターにはMEP・SEPの術中電気生理モニタリングの波形が出ているが、映像コントロール画面と切り替わる。

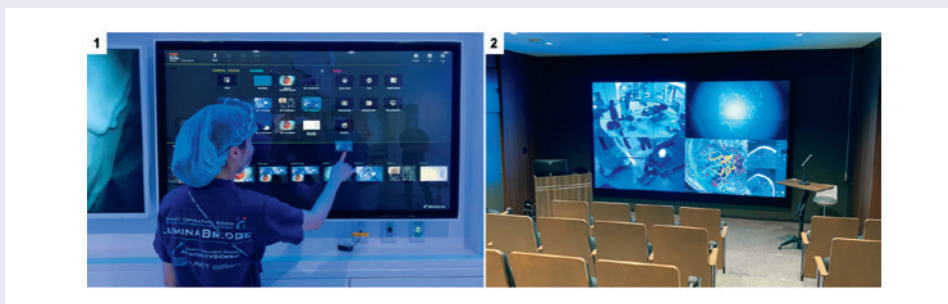


図8 (1) IP化された多数の映像の配信と配置をコントロールするBUZZ integrated video IP system (BrainLab社)。大型タッチパネルで直感的な操作が可能である。(2) カンファレンス室における超大型LCD video wall「UniSee (Barco社)」。手術室とつなぐ双方向型コミュニケーション・システム「Inter OR connect (BrainLab社)」の表示画面を担う。任意に映像ソースを選択してレイアウトを組み、直接音声ケーブルで手術室と対話する。

例えばカンファレンス室を結ぶ双方向型コミュニケーション・システムも担っており、術中の映像と手術室内状況、そして音声を取りアルタイムに共有することができる。大型ビデオウォールを備えたカンファレンス室では、複数の映像を同時に表示しながら議論や指導を行うことが可能である(図8)。

さらに、手術顕微鏡下映像とその他の手術室内映像やモニター画面等を多画面で記録し、術者の音声コメントを自動的に紐付ける教育用レコーダーを導入した。術野のみならず、

この情報統合型手術室は、単に新しい装置の集合体ではなく、手術の戦略と判断を正確かつ具体的に形に落とし込む「器」であるという点で独自性がある。顕微鏡下視野映像を中心に、必要な局面で更新可能な術中情報を重ねること、そしてチーム全体で同じ状況認識を共有することで、手術の安全性と確実性が大いに高まると期待される。

また、手術室内外を結ぶ双方向型コミュニケーション・システムや多画面記録システムは、教育と技術継承の在り方を変えつつある。手技のみならず、判断過程やチームの動きまでを含めて共有・振り返ることで、経験を可視化し、再現可能な知として残すことができる。

手術は、あくまでも術者の手作業、手術技術が最も重要な基盤であることは言うまでもない。しかし smart ORは、確信をもって判断するための材料を即座に提示し、学びを次世代へと橋渡しする環境を提供する。術者としての技術伝承と洗練に加えて、この情報統合環境が、これからの脳血管外科医療の精度向上と発展をさせるものと期待している。

※ ※

中山若樹(なかがやま・なおき) ● 92年北海道大学医学部卒。95年よりカリフォルニア大学デービス校及び新潟大学脳研究所にて脳機能解析の研究に携わる。98年北海道大学院医学博士を取得。05年より北海道大学病院脳神経外科助教・講師・診療准教授を歴任。21年より柏葉脳神経外科病院(現・札幌柏葉会病院) 高度脳血管病センター長に就任。25年より同院長。

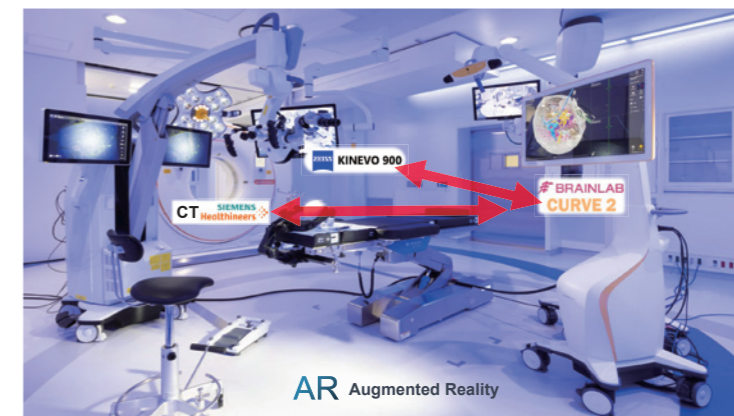


図5 第1手術室における拡張現実(augmented reality:AR)ナビゲーション「CURVE 2」(BrainLab社)。手術顕微鏡KINEVO 900(ZEISS社)とデジタル連動し、顕微鏡下視野の術野に術前の3D画像を半透過で投影することで、その時点では術野から見えない脳の奥や骨の奥にある構造物の立体的位置関係を直感的に把握できる。

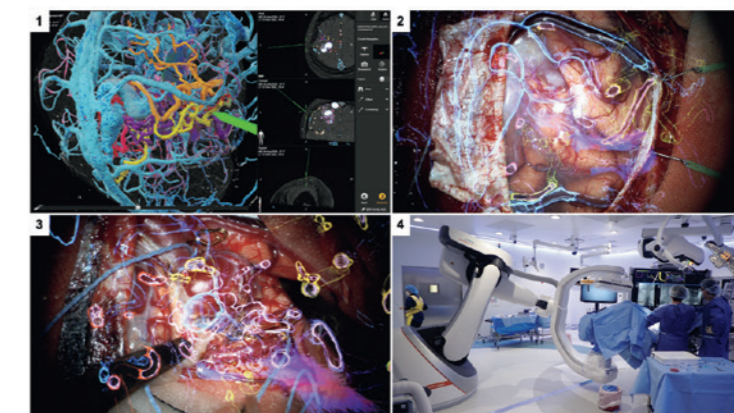


図6 脳動静脈奇形(AVM)手術におけるARナビゲーションの更新過程
(1) 術前3D-CTA等を基に構築した手術シミュレーション3D画像。(2) 顕微鏡視野内へのAR表示。(3) 手術進行に伴う位置ズレの出現。(4) 術中回転3D-DSA撮像を即時反映し、実態に合致したARナビゲーションを再構築する。

術中CTのルーチン活用と治療完遂性の担保

手術室内CTはARナビゲーションの補正だけではなく、日常手術の一部として位置付けている。血腫除去や腫瘍摘出後には、硬膜閉鎖前に撮像を行い、残存病変の有無を確認する。必要があれば即座に顕微鏡操作へ戻れる点は、治療完遂度の向上に直結する。

また、脳動脈瘤クリッピング術においては、術野から直接確認しにくい裏面の状態を術中3D-CTAで評価し、その場で修正可能とした。術後画像で初めて不十分さが判明する事態を回避できることは、術者にとって大きな安心材料である。

なお、全ての手術において、閉創後、麻酔覚醒前に手術室内でCT確認を済ませている。ゆっくりと落ち着いて麻酔から覚醒抜管し、別フロアの放射線画像検査部門に立ち寄ることなく、そのまま病室へ戻れることは、患者の負担をかなり軽減し、非常に有益である。

チームの意思決定を支えるデジタル映像情報のマルチアクセス環境

手術室内には、顕微鏡映像、術前画像、ナビゲーション映像、麻酔モニター、電気生理モニターなど、極めて多くの映像ソースが存在する。本手術室では、さらに人物を移すアームカメラや部屋全体を移す天井カメラも擁するが、これらを単に固定の場所に表示するのではなく、「誰が・どの局面で・どの情報を見るべきか」を重視し、映像のマルチアクセス環境を設計した。

あるいは血管造影装置を用いた回転3D-DISA画像を、手術の局面に応じて開頭されたままの状態でも撮像取得し、ナビゲーションへ反映させる運用を行っている。これにより、ARナビゲーションは、固定された術前情報ではなく、「更新可能な術中情報」として意義のあるナビゲーションとして生まれ変わる(図5、図6)。

なく、多層ハイブリッド機能で術中撮像した画像から作成される3D画像も即座に反映できる。脳血管外科手術では、髄液排出や脳実質・血管の展開により、術前画像との位置ズレが生じることは避けられない。smart ORは、このズレを術中に補正できる環境を備えている点に特徴がある。術中造影3D-CTAによる再構築像、あ

分割表示可能)は、大型タッチパネルで直感的にコントロールされる(図7)。

双方向型コミュニケーションと教育への展開

IP化された映像情報は、手術室内と手術室の外、

1年間の運用から見えた smart ORの意義と将来性

術者の姿勢や看護師の動きも含めて記録することで、手技の再現性やチーム医療の質向上に寄与している。