

SDN を用いた先進脳外科手術環境と診断支援環境の構築

Constructing the Environment of Advanced Brain Surgery and Diagnosis Supporting over the SDN

○藤野雄一¹, 佐藤生馬¹, 永井智大², 伊関洋³, 村垣善浩⁴, 正宗賢⁴

1. 公立はこだて未来大学 システム情報科学部, 2. 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科,
3 早稲田大学 理工学術院先進理工学研究科, 4. 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所

○Y. Fujino¹, I. Sato¹, T. Nagai², H. Iseki³, Y. Muragaki⁴, K. Masamune⁴

1. Faculty of Systems Information Science Engineering, Future University Hakodate, 2. Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate, 3. Faculty of Science and Engineering, Waseda University, 4. Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical University

1. はじめに

脳腫瘍摘出術は、術後合併症を考慮しながら患者毎に異なる腫瘍の位置や脳の構造・機能を踏まえた腫瘍摘出を行う、非常に高度な手術である。実際には、腫瘍摘出において執刀医は知識や経験に基づき、手技や経験により脳構造や機能を把握しながら、手術を行っている。手術の術後5年生存率の向上と術後合併症の減少を目指して、東京女子医科大学(以下女子医大)は、手術室の環境や機器を高度化した IOR (Intelligent Operating Room)と、手術中の状況を瞬時に判断可能なように術中情報を統合し、確認が可能な手術戦略デスクが提案している[1]。IORは、術中に開頭時に脳自身の重みにより変形してしまい、術前に撮像した MRI で確認できた腫瘍位置が異なってしまう現象を補間するため、オープン MRIを常備し、術中に開頭状態で MRI 撮像が可能な手術室である。開頭時には、術前に MRI などにより得られた腫瘍の画像情報を手術ナビゲーションシステムにより術者に提示することにより、手術支援を行う。また、各種医療情報はカメラなどで映像情報とし、一元的に確認できる環境である。手術戦略デスクでは、手術現場の各種情報が図1に示すように複数のモニタ上で共有できる手術戦略デスクを有し、経験豊富な医師が手術現場から離れた場所から指示することが可能としている。これらの環境は上記目的を達成させる方法の一つとなっている。IORにて得られた各種手術情報は、手術戦略デスクに送信されるが、同時にデータベース(DB)に蓄積され、術後に解析される。

伊関等は手術環境、腫瘍摘出状況、ナビゲーション情報、各種医療情報を同期して記録し、その情報を解析することにより、脳腫瘍摘出率、術後合併症発生率、5 年生存率の関係を明確にし、術後の状況を術中にある程度予測可能な”未来予測手術”を提案している[2]。 ”未来予測手術”は、外科医と彼を支援するスタッフ、環境、戦略支援デスクに加え、コンピュータベースでの科学的根拠に基づいた意思決定を支援する環境である。これらの情報を収集するために、IOR を発展させた SCOT (Smart Cyber Operating Theater) も提案している[3,4]。これにより、熟練脳外科医師以外でも腫瘍摘出術が可能となり、また若手医師教育にも資することができる、としている。

このような手術環境の整備により術後の5年生存率の向上、術後合併症の減少が図られており、広島大学、信州大学など他の高度医療機関が注目している。これらの医療機関が SCOT と手術戦略デスクの導入を検討する際、その運用、各種情報の活用など、女子医大からの助言などが重要である。また、手術室情報の共有は脳腫瘍手術の発展にも欠かせない。このように、”未来予測手術”を実現するためには多数の手術状況情報、患者情報、予後情報、確定診断情報などが必要であり、今後、SCOT の環境を実現予定の機関と連携して、その情報を共有することが必要となる。

我々は、”未来予測手術”を実現させるための環境として、各地域に設置された SCOT 間を安心、安全なネットワークで接続し、各地域から得られた手術情報を蓄積、解析し、将来的にはリアルタイムで術中に伝達する、“SDN を用いた術中情報共有システム”を提案している[5,6]。個人情報である医療情報をネットワークで転送するにはセキュリティの確保が欠かせない。また、図1に示すような各種医療画像、情報を転送する際には情報の種類に応じた安定した QoS が必要である。さらに、複数の医療機関を接続する際、常時、専用線にて接続すると膨大なコストがかかるため、オンデマンドで必要な時に必要な帯域のクラウドネットワークを構成できることが望ましい。このような条件を満たすネットワークとして我々は SDN の採用を検討した。本報告は、SDN を用いて上述した医療情報をオンデマンドで、QoS を確保しながら転送する情報共有環境を示し、さらに、取得した手術映像、各種情報から手術工程を同定、解析し、高度な診断支援が可能な AI を用いた未来予測診断支援環境について述べる。



図1 共有する各種手術室情報[2]

2. IOR と SCOT

2.1 IOR

IOR は手術室内にオープン MRI や多数の医療機器を導入した手術環境で、脳腫瘍摘出術において IOR により術中の状況が可視化され、術後合併症を考慮した腫瘍摘出率向上が実現された[2]。IOR は、多数の高度な医療機器を導入し、術前・術中に得られた情報を可視化・共有化した高度な情報誘導手術を可能とする手術室である。IOR 内に存在する主な医療機器は、オープン MRI や手術ナビゲーションシステム、手術顕微鏡などがある。これら手術機器により頭部の開頭後に発生する脳の変形(ブレインシフト)に対応することが可能となり、術中の脳の構造を可視化することができる。また、これら手術機器を用いて術後合併症を考慮した覚醒下脳腫瘍摘出術や手術戦略デスクによる術者の意思決定支援が行われている。図 2 に IOR の手術顕微鏡、ナビゲーションシステムの様子を示す。

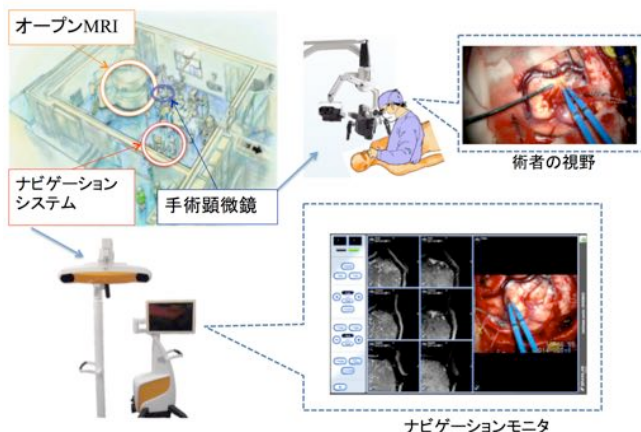


図 2 手術顕微鏡, ナビゲーションシステム

2.2 SCOT

一方、SCOT は手術室を 1 つの医療機器ととらえ、手術室内でやりとりされるあらゆる情報を機器間で共有し活用可能な手術環境である。各種医療機器はネットワークで接続され、一元的に表示される。

女子医大等は AMED の支援を受け、2016 年 6 月に医療機器をネットワークで連携・接続させ、手術の進行や患者の状態を統合的に把握し、手術の精度や安全性を高める SCOT に関する成果を発表した[7],[8]。"最終目標モデル"プロトタイプが女子医大に、"基本仕様モデル"が広島大学病院に設置された。SCOT では、医療機器をそれぞれの機能や役割に応じてパッケージ化され、それらを共通のインターフェースで接続し、手術室全体をネットワーク化する。SCOT 内に配置されている各種医療機器は ORiN (Open Resource interface for the Network)と呼ばれる通信インターフェースを用いてネットワークで接続される。ORiN とは、工場内の各種装置に対して、メーカー、機種の違いを超え、統一的なアクセス手段と表現方法を提供する通信インターフェースであり、パソコンのアプリケーションソフトウェアから、異メーカー・新旧のロボット、PLC、NC 工作機械などの制御装置の情報を共通の方法でアクセスするための標準仕様で、ORiN2SDK として実用化さ

れている。SCOT では、(株)デンソーがこれらを医療用にカスタマイズした OPeLiNK を活用し、医療機器のネットワーク化を推進している。具体的には、医療機器の基本データや術中画像、手術器具の位置情報、患者の生体情報など各種医療機器から発生する情報を OPeLiNK で統合し、4K モニタに一元的に表示することにより視認性を高めている、これらの情報は DB に蓄積され、術後の解析に使用される。図 3 に ORiN, OPeLiNK を用いた医療機器のネットワーク概要を示す。また、図 4 は SCOT 内の 4K モニタまわりの状況を示す。

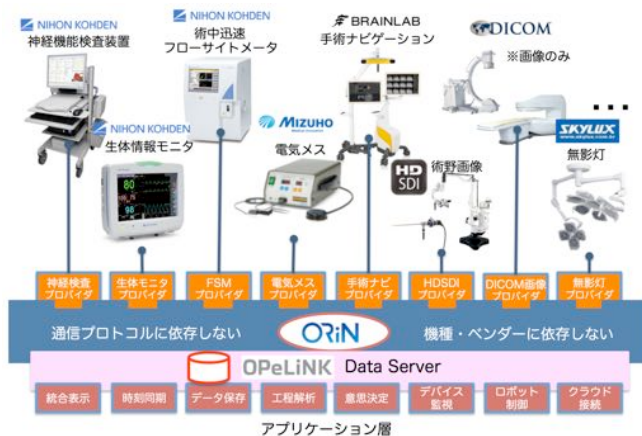


図 3 OPeLiNK による SCOT 内ネットワーク接続 (女子医大 正宗氏 提供)



図 4 SCOT 内4K モニタまわりの状況(女子医大)

3. SDN

SDN の概念を図 5 に示す。SDN はデータプレーンを担う SDN スイッチとコントロールプレーンを担う SDN コントローラで構成されている。SDN コントローラを API 経由で遠隔から操作することでネットワークポリシーを即座に操作することが可能である。SDN コントローラから制御メッセージを各 SDN スイッチに送信することでトラフィック制御を行う。

SDN コントローラと SDN スイッチ間を繋ぐ API はいくつかあるが、Open Networking Foundation が中心となって標準化が進められている OpenFlow があり、最も盛んに研究が行われている[9]。

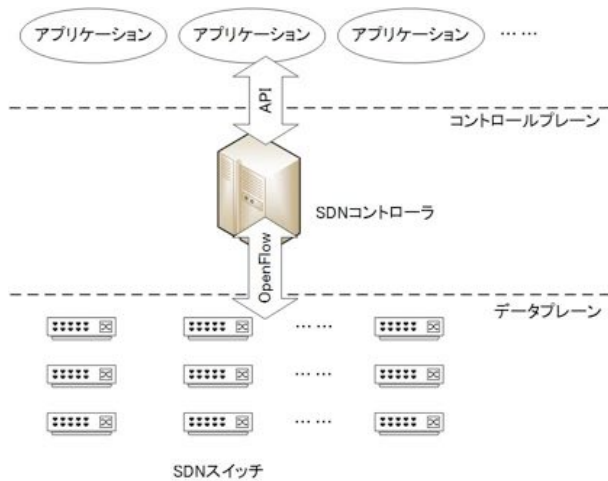


図5 SDN の概念

OpenFlow は SDN コントローラが SDN スイッチに対し指示を行う際に用いられるプロトコルである。OpenFlow は対応したネットワーク機器であれば、外部から OpenFlow で定義されているメッセージを各機器に転送することで制御を行い、ネットワーク全体を1つのソフトウェアで管理することが可能となる。パケットの転送制御方法には各種アクション、条件が定義されている。SDN コントローラはアクションと条件の組み合わせを SDN スイッチに対して指示することで複雑なトラフィック制御を実現している。これによりネットワーク管理者は自由なネットワーク制御が可能となる。

4. SDN ベース術中情報共有システム

4.1 システム概要

上述したように SCOT は最新の医療機器を備えた脳腫瘍摘出手術環境であり、今後、本 SCOT を備えた医療機関が増えていくことが想定される。我々は、これらの SCOT を有する医療機関を SDN で接続し、各種医療情報、術中情報を蓄積・共有可能な環境を構築中である。さらに、蓄積された膨大な患者情報、術中情報、確定診断情報などから手術工程同定、手技解析などを行い、熟練医師のノウハウ、暗黙知などの抽出にチャレンジしている。公立はこだて未来大学(以下未来大)と女子医大を SINET5, JGN で接続し、女子医大にて発生した手術情報を蓄積する。将来的には、SCOT を導入した医療機関も接続し、情報を共有する。図6に本研究の概要を示す。

4.2 SINET 上での JGN ネットワーク構成

日本国内には学術情報ネットワークとしての SINET と高速ネットワークテストベッドとしての JGN が存在する。今回、未来大と女子医大を接続するために図7に示すような、SINET5とJGNを用いたネットワークを構成した。新たな SCOT 導入病院との接続は、SDN にて新たなオーバレイネットワークを構成することにより実現する。

北海道での JGN のアクセスポイント(以下 AP)は、従来は札幌に存在したが、近年の見直しなどにより撤退したため、一端、SINET にて未来大から札幌まで接続し、そこから同 AP がある仙



図6 SDN ベース術中情報共有システム概要

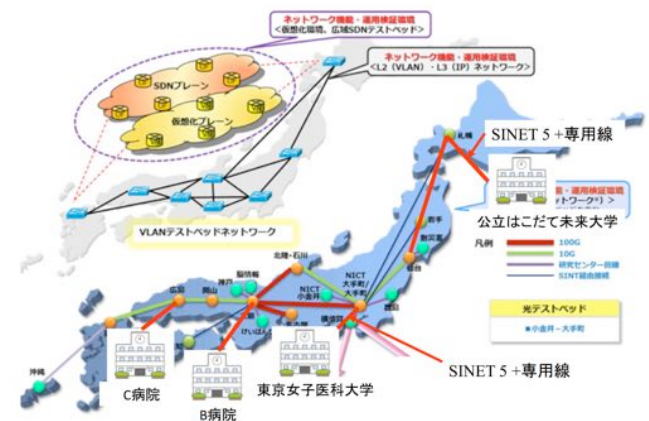


図7 SINET5とJGNを用いた接続模様 (NICT 資料に追記)

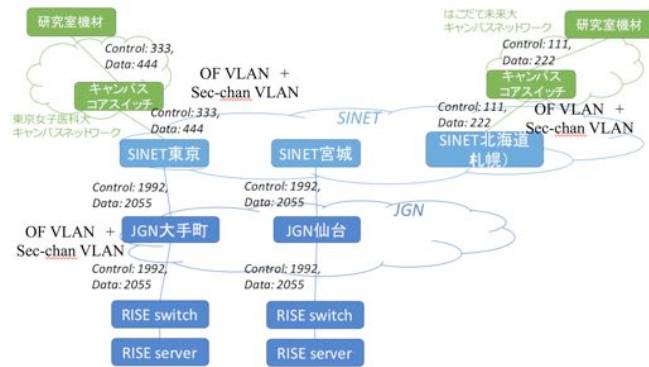


図8 ネットワーク構成

台まで伸ばす。SINET 宮城から JGN 仙台 AP に接続し、その先は大手町 AP まで JGN で接続する。JGN の大手町 AP から再度、SINET 東京回線を使用して女子医大まで伸ばす。ただし、SDN コントローラによる制御は JGN 内のみで可能となる。このネットワーク構成を図8に示す。

本研究は昨年度から3年間計画で進めており、今年度はオーバレイネットワークによる画像転送、O3 プロジェクトの成果である ODENOS の機能を用いた制御を予定している。O3 は NEC、NTT、NTT コミュニケーションズ、日立製作所、富士通 5 社共同による研究開発プロジェクト「Open Innovation over Network Platform」(プロジェクト愛称: O3 (オースリー) プロジェクト) であり、総務省の委託研究「ネットワーク仮想化技術の研究開発」に基づくもので、複数の広域ネットワークインフラを統合管理するプラットフォームやアプリケーションなど、広域ネットワークのさまざまな要素を総合的に SDN 化することを目指したプロジェクトである [10]。本研究

の来年度計画は QoS 制御, 低遅延ネットワーク構成制御などを予定している. 図 9 に ODENOS を含めた構成を示す 5],11].

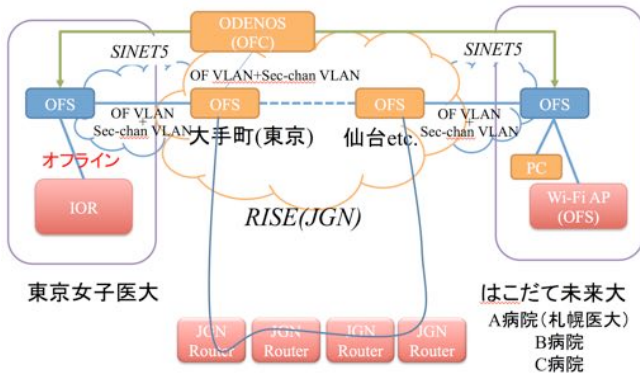


図 9 ODENOS を含めた構成

上図の構成では, ODENOS の配下にある SDN コントローラを介して札幌医科大学など他の病院との接続も容易に可能であり, 今後, 要望に応じて他地点の追加接続を検討する.

5. 手術工程解析, 標準脳統合と”未来予測手術”

上述したネットワーク構成にて, 女子医大-未来大が接続されており, 女子医大にて得られた手術情報 (手術環境映像, 顕微鏡映像, ナビゲーション情報, 電気刺激電極・バイポーラ位置情報, 患者バイタル情報, 確定診断情報など) をネットワーク上に設置した DB に蓄積し, 解析に使用する. ここでの解析とは, 上記多数の情報をを用いて “未来予測手術” に繋がる情報を得ることであり, 以下の手順を検討している,

- ① 術前, 術中の MRI 情報を統合し, 新ナビゲーションシステムを構成
- ② 手術工程を定義し, 顕微鏡映像やナビゲーション情報から手術工程を同定
- ③ 多数の手術臨床例を取得し, 上記統合した脳情報を, 標準脳へ統合
- ④ 工程同定結果, 確定診断結果などから術中の診断支援 (未来予測) を可能とする解析法の提案
- ⑤ 未来予測手術用 DB の構成とリアルタイムでの未来予測情報の提供

上記手順において, DB 蓄積前後のデータ解析に関する具体的手法はまだ検討段階であるが, 以下に手術工程同定手法と標準脳統合手法に関して述べる.

5.1 手術工程同定

5.1.1 手術工程定義

脳腫瘍摘出術における執刀医が行う手術の流れや進捗状況を詳細に把握するため, その基礎要素となるナビ, 手術画像, 術前・術中 MR 画像を用いた手術工程同定手法を検討する 12]. 最初に手術工程を同定するため, 一連の手術の流れから工程を定義する. ここでは, 執刀医の手技や判断プロセスが大きく影響する覚醒下脳腫瘍摘出術における脳の開頭後から腫瘍

切除までの流れを対象とする. 対象とした症例の手術画像やナビから使用した術具の種類と術具の位置を工程定義の構成要素として手動で記録する. 記録した情報と臨床医との話し合いのもと 9 つの工程に定義した.

- P1. 手術準備
- P2. 術具位置確認
- P3. 皮質マッピング
- P4. 皮質時の脳機能確認
- P5. 凝固
- P6. 脳膜切開
- P7. 腫瘍切除
- P8. 白質マッピング
- P9. 白質時の脳機能確認

5.1.2 手術工程同定法

まず, 手術工程同定における特徴となる情報の抽出を行う. 情報の抽出は, MR 画像上における術具の位置, その近辺の脳溝抽出および使用する術具の 3 つとする. 術具の位置と脳溝の抽出は, 術前・術中 MR 画像とナビを用いる. 初めに, 術前・術中 MR から術中の脳溝画像を作成する. その後, 術中 MR 画像と脳溝画像上に術具位置を重畳させ, MR 画像上における術具位置と近辺の脳溝を抽出する. 使用する術具の抽出は, 顕微鏡画像を用いる. 顕微鏡画像から CNN(Convolutional Neural Network) と SVM(Support Vector Machine)により3種類の術具を抽出とした.

抽出した情報と定義した工程より手術工程を同定する. 手術工程の同定は, 抽出した情報を出力情報として, HMM (Hidden Markov Model)により定義した工程の中から工程同定を行った.

図 10 に工程同定の概要を示す.

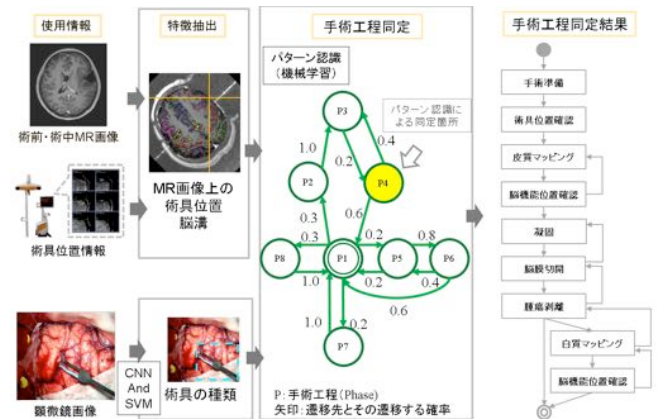


図 10 手術工程同定の概要

5.1.3 評価

本同定手法より過去に得られた臨床のデータを用いて精度を検証した. 提案手法より脳の開頭後からの約 30 分間の工程を同定した. 正解データと本手法で構築した自動同定結果を比較して精度を評価した. 手術工程の同定精度は, 全体の精度結果は 82%となった. その中でも, 電極を用いた工程同定の精度は 90%の精度があった. 一方で, バイポーラを用いた工程同定精

度は70%の精度であった[12].

5.2 標準脳統合

5.2.1 目的

脳腫瘍摘出手術には、事前に撮影されたMRIにて腫瘍の位置と脳機能の位置を確認し、術中に当該MRIにより確認された腫瘍の位置を医師自身が頭の中で合成し、手術を進めていく。しかしながら、脳は開頭時に重力の影響でブレインシフトし、術前に撮影された画像とは位置関係が異なることが多い。一方、IORではオープンMRIを使用し、開頭時のブレインシフトを伴った頭部を術中に撮像することができる。これを術中MRIと呼ぶ。この術中MRIは解像度が術前に撮像された画像(術前MRI)より劣るため、腫瘍位置を正確に確認するには術前MRIが適切である。そのため、術中MRIでのブレインシフトが起こっている腫瘍などの位置関係を、術前MRIへ変形してマッピングすることで、高解像度の術前MRIで確認する手法を検討してきた。さらに、“未来予測手術”へ適用するには、これらの画像を標準脳マッピングすることにより、頭部の状態が個人の特性などで異なる腫瘍状況を一元的にハンドリングでき、そのAIなどによる解析が容易になる。

5.2.2 標準脳統合法

術中の開頭によりブレインシフトした脳に対し、IORでは術中にMRIを撮像可能である。その際、患者の麻酔を弱め、意識を回復させ、脳に電気刺激を与えながら車などの絵を見せて、その回答を口頭でさせる。刺激位置が言語野であれば電気刺激により会話に影響がある。それにより、言語野を刺激していることを医師が認識する、これを覚醒化手術と呼んでおり、予後の合併症を最小限にとどめる方法である。電気刺激を行った脳表の位置を、ブレインシフトを伴った脳から患者の術前のMRIに変形し、電気刺激位置をマッピングし、さらに、個々人の頭部の異なる大きさ、異なる腫瘍状況などの位置関係を保持しながら標準脳へ変形する。我々は非線形

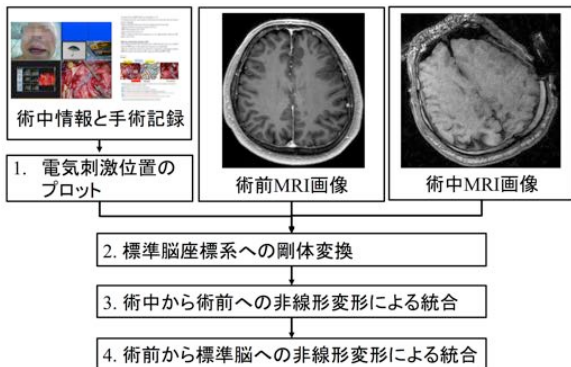


図11 標準脳への変換概要

変形によりこの変換を行った。図11に標準脳への統合手法の概要を示す。まず、電気刺激位置を、手術ナビゲーション情報を下に脳表上にプロットする。その際には、覚醒化での患者の反応を下に脳機能情報を同時にマッピングする。次に術前MRIと術中MRIは前処理を施された後、剛体変換により標

準脳座標系へ変形する[13],[14]。次に、術中MRIから術前MRI

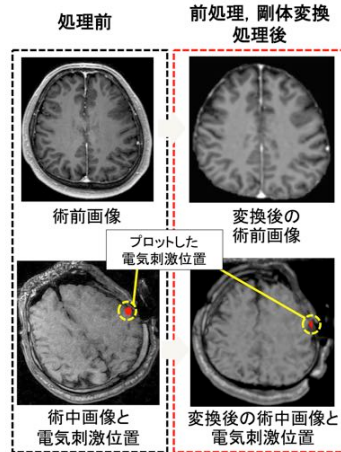


図12 剛体変換処理

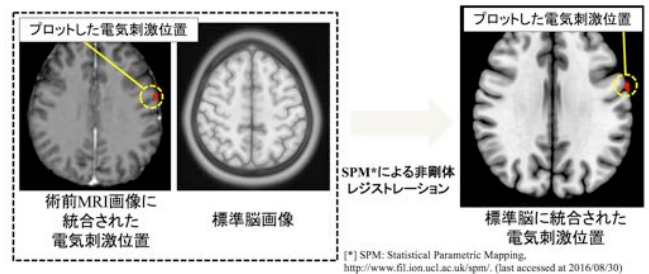


図13 標準脳座標系での術中MRIから術前MRIへの非剛体レジストレーション

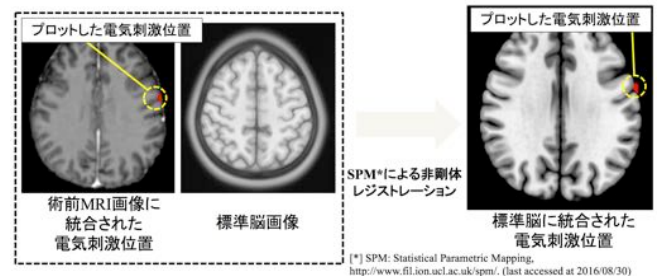


図14 術前MRIに変形された術中MRIの標準脳への非剛体レジストレーション

準の処理により、術中に実施した電気刺激位置が標準脳へマッピング、統合される。図12に術前、術中のオリジナル画像とそれらに前処理を施した後、標準脳座標系へ剛体変換した結果を示す。図13は標準脳座標系へ剛体変換された画像の術中MRIを術前MRIへ非線形変換を行った結果である。最後に図14は術中MRIに変換された患者のMRIを標準脳へ非線形変換を行った結果である。

このようにして術中に実施した覚醒化での電気刺激位置が標準脳へマッピングされ、患者の腫瘍部位と電気刺激で確認された脳機能が標準脳へ変形されて、各種情報がマッピングされたことになる。

5.2.3 評価

上述したように、術中 MRI でブレインシフトが起こっている腫瘍などの位置関係を、術前 MRI へマッピングし、さらに、“未来予測手術”へ適用するために、これらの画像を標準脳マッピングすることにより、頭部の状態が個人の特性などで異なる腫瘍状況と脳機能情報を一元的にハンドリングする手法を述べた。その評価として、

- 術中 MRI 画像から術前 MRI 画像への非剛体レジストレーション：全体の統合誤差： 3.1 ± 1.5 [mm]
- 術前 MRI 画像から標準脳への非剛体レジストレーション：全体の統合誤差： 5.2 ± 3.3 [mm]

との結果を得ている。現在、精度向上に関して継続して実験を行っている [13], [14]。

5.3 未来予測手術

伊関等は、脳腫瘍手術における“未来予測手術”を以下のように考えている。

- 十分な科学的根拠に基づき、医師の意思決定を支援
- 手術中もしくは術前の段階で、術後の状態を予測

IOR, SCOT は“未来予測手術”を想定したローカルな環境である [15]。現在、SCOT を導入する医療機関が増えてきており、当該環境を用いた手術症例事例は今後増大すると考えている。我々が提案している“未来予測手術を実現させるための環境”は、各地域に設置された SCOT を安心、安全なネットワークで接続し、各地域から得られた手術情報を蓄積、解析し、将来的にはリアルタイムで術中に伝達するシステムである。SCOT を新規に導入した病院から得られる症例事例は、上述した手術工程同定システムにより、術者の工程が詳細に同定、解析される。それにより、術者の手技が詳細に解析され、暗黙知として考えられていた手技を“見える化”できる可能性がある。また、標準脳統合システムにより、標準脳上で、各患者の腫瘍位置、電気刺激による機能位置、各種処理による脳機能情報、確定診断結果、5年生存率などが統合された DB に蓄積される。これらのデータを解析することにより、どの程度の腫瘍切除によりどのくらいの術後生存率を達成できるのか、等の情報をリアルタイムに術中に執刀医に知らせる事ができる。我々が提案するネットワークと手法により、“未来予測手術”の実現可能性を高めることができる、と考えている。

さらに、本ネットワークと DB により蓄積された脳腫瘍手術情報は術中の手術顕微鏡映像だけでなく、手術室俯瞰映像なども含まれている。これらの臨床での現場映像は、若手医師の教育にも活用される。特に、俯瞰画像は今後、4K、8K 化を予定しており、超高精細な術中俯瞰映像により、医師の手先の手技までも高精細に記録される。このような情報も上記、ベテラン医師の手技暗黙知を“見える化”する一つの要素となりうる。

6. おわりに

我々は SCOT の環境をネットワーク化することによる術中

情報共有システムを提案した。これにより、脳外科手術中工程を解析し、“未来予測手術”につなげることを目指している。今後、工程同定の高精度化、AI を用いた解析手法の明確化とともに、実際に未来大と女子医大を接続した情報共有システムの構築を目指す。さらには、SCOT を導入した医療機関の参加を促し、ネットワークを経由して多数の手術情報を収集し、DB の充実化と暗黙知情報の充実化を図る。

本研究開発は総務省 SCOPE (162101001) の委託を受けたものである。

参考文献

- 1] 伊関洋, et al. "インテリジェントオペ室・MRI 誘導手術対応システム" Medix 39 (2003): 11-17
- 2] 伊関, 村垣他, “手術戦略による外科手術支援”, 生体工学 49(5):661-663, 2011
- 3] Iseki, “SCOT (Smart Cyber Operating Theater) project: Advanced Medical Information Analyzer for Guidance of the Surgical Procedures”, JAPANESE- FINNISH JOINT SYMPOSIUM13- 15 December 2011 Helsinki, Finland
- 4] 岡本, 正宗, 伊関, 村垣, “次世代手術室 SCOT (Smart Cyber Operating Theater) の開発”, MEDIX VOL.66
- 5] 藤野, 佐藤, “高速ネットワーク上での医療情報通信実験と SDN へ向けて”, O3 プロジェクトシンポジウム 2016, 2016.3.23
- 6] 中田, 佐藤, 藤野, “SDN を用いたリモート戦略手術室の提案”, 信学技報 116(292), 13-16, 2016-11-09, Page : 13- 16, Publication year : Nov. 02, 2016
- 7] AMED 報道発表資料, “「スマート治療室」のプロトタイプモデルの完成—IoT を活用した各種医療機器の連携・接続の実証開発の加速化と、治療システムの臨床への適用検討を開始—” http://www.amed.go.jp/news/release_20160616.html
- 8] 日経デジタルヘルス 2016.6.18 <http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/061702646/?ST=health>
- 9] “OpenFlow Switch Specification”, ONF TS-006, 2012.6.25
- 10] ASCII, 2013.9.16 <http://ascii.jp/elem/000/000/825/825567/>
- 11] 桐葉, “総務省委託研究「ネットワーク仮想化技術の研究開発」成果報告”, O3 プロジェクトシンポジウム 2016
- 12] T. Nagai et.al, “Proposal for Identification and Modeling of Surgical Processes using Pre-operative and Intra-operative Information in Awake Surgery for Glioma”, International Journal of Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery(Int. J. CARS), 2017, 2017/6/23, Barcelona, Spain.
- 13] T. Noguchi, I. Sato, H. Shibata, Y. Fujino, H. Yamada, T. Suzuki, M. Tamura, Y. Muragaki, K. Masamune, “A Surgical Navigation System using an Integrated Image of Preoperative and Intraoperative MR Images with Sulci Recognition for Neurosurgery”, International Journal of Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (Int J CARS), vol. 11 (suppl. 1): S84-85, 2016.
- 14] T. Noguchi, I. Sato, T. Nagai, Y. Fujino, H. Yamada, T. Suzuki, M. Tamura, Y. Muragaki, K. Masamune, "A surgical navigation system using sulci recognition and diffusion tensor images in glioma surgery", CARS2017, 2017.06.23, Barcelona, Spain
- 15] 伊関, 村垣, 丸山, 田村他, “【術中画像の最前線でなにが起きているか】 手術場で示す新たな治療戦略 精密治療の現状 インテリジェント手術室から医療情報誘導手術室へ(解説/特集)”, 新医療, 41(5):76-79(2014/05)