

合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステムと 術中情報共有システムに関する研究開発 (162101001)

Research and Development in Surgical Navigation System with Complications Prediction
Function and Intra-operative Information Sharing System in Neurosurgery

研究代表者

佐藤生馬 公立はこだて未来大学
Ikuma Sato Future University Hakodate

研究分担者

堀瀬友貴[†] 楠田佳緒[†] 齋藤貴之^{††}
Yuki Horise[†] Kaori Kusuda[†] Takayuki Saito^{††}
[†]東京女子医科大学 ^{††}株式会社 iD
[†]Tokyo Women's Medical University ^{††}iD Corporation

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

概要

インテリジェント手術室での脳神経外科手術における情報共有を目的とし、高精細な映像情報などの術中情報を手術関係者がいつでも、どこでも情報の取得およびモニタリング可能な環境を構築する。さらに、取得した術中情報などより、手術工程や熟練医の技術・経験の可視化の実現と、手術中の状況より患者の術後を予測する合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステムにより、術者への意思決定支援を目標とする。

1. まえがき

脳腫瘍摘出術は特に熟練の知識と技術が必要とされていることから、手術状況および熟練医の手技・判断プロセスの詳細な可視化、術後合併症予測や術後生存率といった術後の状態の予測や遠隔地の熟練医からのコメントによる意思決定支援などによる治療の均一化が望まれている。本研究開発の目的は、JGNの実ネットワーク上(テストベッド)のSDN(Software Defined Network)対応ネットワークを活用した高信頼で安全な脳外科手術用情報共有環境を構築し、手術関係者がいつでも、どこでもモニタリングしコメント可能とするとともに、各医療機関の手術情報を共有可能とする。そして、ネットワークに接続された医療機関からの膨大な情報を用いた合併症予測型ナビゲーション機能と、未来予測型手術支援技術による5年生存率向上と術後合併症の低減を目指した新規な高度脳外科手術支援システムを実現する。

2. 研究開発内容及び成果

本研究は手術情報解析と手術情報共有システムに関する研究開発の2つからなる。そして、この2つの研究を実現するため複数の要素技術から構成される。具体的には、手術情報解析により、手術工程および熟練医の手術手技・判断プロセスの可視化、術後合併症予測や術後生存率といった術後の状態を予測して術者の意思決定を支援可能とする未来予測手術を実現するためのデータベースの構築である。そして、これらの手術情報解析技術を活用した高度な合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステムの実現である。同時に、手術工程同定による手術状況の可視化により手術工程に合わせてナビゲーションシステムでその状況に最適な情報を提示可能とする。また、手術情報共有システムによりネットワークを制御し、実際の医療 AP から JGN の実ネットワークを制御し、上記の手術情報解析結果である手術工程の可視化などを用いて遠隔地からのインテリジェント手術室(IOR)のモニタリングとコメントによる意思決定支援を実現する。

合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステム

20 症例分の覚醒下手術の情報を用いて合併症予測用データベースを構築し、手術状況と同期した推定脳機能位置呈示可能な合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステムを開発した。そして、本システムにより患者ごとに異なる脳機能位置を推定可能とし、臨床医とともに意思決定支援の妥当性および臨床的有効性を明らかにした。脳腫瘍摘出術における合併症予測用データベースとして、20 症例分の各患者の脳機能情報を示す脳機能位置を標準脳へ統合し、個人差のある脳機能情報を統計的に解析可能した。このデータベースには 20 症例で判明した脳腫瘍患者の脳機能位置 52 点が標準脳モデルに統合・登録されている。本統合手法は、術前・術中 MRI および脳機能位置を標準脳へ非線形に変形し統合手法は、脳機能位置のデジタル化、非剛体レジストレーションの前処理、術中 MRI から術前 MRI への有限要素法による非剛体レジストレーション、術前 MRI から標準脳モデルへの有限要素法による非剛体レジストレーションからなる。本ナビゲーションシステムは、過去症例の患者から得られた脳機能位置を、他の患者の脳の形に合わせて非線形変換することで患者個人の脳機能位置を推定し呈示する。同時に脳溝情報や DTI FA カラーマップを合わせて呈示する。また、手術状況を手術工程というモデルとして定義し、その手術工程を同定することで推定脳機能位置を必要とする手術工程にのみ呈示するなど、手術の状況に応じて必要な情報提示可能である(図 1)。

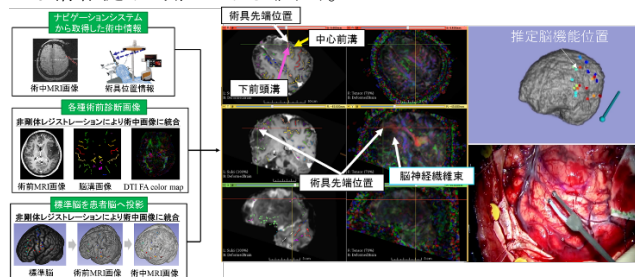


図 1 合併症予測型ナビゲーションシステム概観

合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステム
本提案システムを評価するため、手術工程同定精度および標準脳から個人脳への非剛体変換の精度を評価した。手術工程同定精度は、過去に取得した臨床データ(約2時間)を用いて、正解データと自動同定結果を比較し、同定精度を評価した。その結果、手術工程全体の同定精度は94.3%であり、なかでも脳機能マッピング工程の同定精度は97.2%であった。また、1秒間に1回行う手術工程同定処理は、75.08FPSで実行可能であった。標準脳から個人脳への非剛体変換の精度は、特徴的な脳溝上に取った17点の変形精度によって評価した。精度評価の結果は、非剛体変換の画像全体の変形精度は $3.5 \pm 0.9[\text{mm}]$ であった。また、この非剛体変換処理は170秒で実行可能であった。

JGN上における術中情報共有システム

女子医大AP-SINET-JGN-SINET-未来大AP環境下のみならず、広島大学医学部や信州大学医学部などのスマート治療室を導入した機関との接続を想定した情報共有システムとして、多種多様なネットワークを管理可能なODENOSを用いた情報共有システムを構築した。構築したネットワークは大手町を中心としたスター型である。セキュリティに関しては、本研究で使用するJGNはクラウドなネットワークであるが、共有するデータは個人情報を含まないデータとし、本年度は顕微鏡およびナビゲーションシステムからのフルHDの解像度の動画とした。また、接続に関しては、あらかじめ登録したPC間のみを接続可能とし、管理者以外に設定変更できないようにした。構築した環境における女子医大-未来大間の遅延は数十から100ms以内であり、データの共有や手術工程同定システムの結果を得るなどには問題ない速度を有していた。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究におけるアウトカム目標は短期的観点と長期的観定の2点を想定しており、目標に向けて医療機関と共同で研究開発を進めている。

短期的観点からは、脳外科手術において研究計画などに述べてきた手術ナビゲーション機能の高度化、すなわち、手術中に事前にMRIなどから得られた腫瘍情報、脳機能情報などを手術中にオープンMRIから得られた術中MRI画像に合わせて表示することにより、安全かつ正確に脳腫瘍の摘出を可能とする手術法を確立することである。また、本提案における高度脳外科手術手法の高度機能病院への展開支援として、術中に当該手術に関するベテラン医師の支援を、ネットワークを介して実施可能な環境の構築である。現在、上述してきた高度な脳外科手術を実施できるインテリジェント手術室環境は、研究協力者所属組織である東京女子医大などに限られているが、5年生存率の大幅な上昇などの実績からこのような環境を所望する医療機関が増えてきている。現在では広島大学医学部ではインテリジェント手術室を発展させたスマート治療室が導入・運用されている。さらに信州大学医学部も29年度には導入・運用し、東京女子医大も30年度にはスマート治療室を導入した。このような状況から、これらの医療機関と共同研究を行い、本研究における手術支援環境を提供し、高度な脳腫瘍摘出手術を可能とすることが短期的目標である。

次に長期的観点からは、術前および術中の情報と術後の合併症情報所見などを、ネットワークを介してクラウド上にある脳外科手術情報をデータベースに蓄積し、これらを機械学習などにより、脳腫瘍摘出率と術後合併症の発生状況を解析し、腫瘍摘出率と術後合併症発生確率を予測、リア

ルタイムに術者に提供する、未来予測手術技術を確立することである。具体的には、これらの情報を上記高度脳外科手術が可能な医療機関や、通常の脳外科手術を実施している医療機関から上記ネットワークを介して大量に蓄積することにより、脳腫瘍摘出率と術後合併症の関係を統計的に明確化し、これらの情報から機械学習などにより腫瘍摘出率と術後合併症の予測を可能とする未来予測手術法を提供することにより、脳腫瘍摘出による5年生存率の増加とともに、術後合併症の大幅な低下による術後のQoL(Quality of Life)の上昇を実現することである。

4. むすび

本研究開発では、JGNの実ネットワーク上のSDN対応ネットワークを活用した高信頼で安全な脳外科手術用情報共有環境として術中情報共有システムを構築し、手術関係者がいつでも、どこでもモニタリングしコメント可能とするとともに、各医療機関の手術情報を共有可能とした。そして、ネットワークに接続された医療機関からの膨大な情報を用いた合併症予測型脳神経外科手術用ナビゲーションシステムを開発した。本ナビゲーションシステムは合併症を最小限とするために、患者個人の脳機能位置を推測し、これらの情報と脳溝や脳神経束情報などの脳構造の可視化により、医師の意思決定を支援可能とした。さらに、手術工程を90%以上の精度で同定可能とし、手術状況の可視化を実現した。この手術状況の可視化により、容易に手術流れの把握を可能とするとともに、手術工程に合わせた最適な情報を提示するなどの支援を可能とした。このほかに、術中情報共有システムにより、複数の拠点をネットワークに接続し、手術工程や手術状況などの情報を共有可能とし、遠隔地にいる熟練医からの支援を可能とした。

【誌上发表リスト】

- [1] M. Tamura, I. Sato, T. Maruyama, K. Ohshima, J. F. Mangin, M. Nitta, T. Saito, H. Yamada, S. Minami, K. Masamune, T. Kawamata, H. Iseki, Y. Muragaki, "Integrated datasets of normalized brain with functional localization using intra-operative electrical stimulation", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, <https://doi.org/10.1007/s11548-019-01957-7>
- [2] T. Nagai, I. Sato, Y. Fujino, M. Tamura, Y. Muragaki, K. Masamune, "Surgical process identification system using machine learning in awake surgery for brain tumor", 2019 IEEE 1st global conference on life sciences and technologies, vol. 1, 54-55 (2019/3/13)
- [3] K. Ohshima, I. Sato, T. Nagai, Y. Fujino, H. Yamada, M. Tamura, Y. Muragaki, K. Masamune, "Development of a method of integration of electrical stimulation positions into standard brain coordinate system", 32nd International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery, vol. 13 (suppl 1): S61-62 (2018/6/22)

【受賞リスト】

- [1] 永井智大、ライフサポート学会奨励賞、“覚醒下脳腫瘍摘出術におけるリアルタイム手術工程同定システム”、2019年3月16日
- [2] 永井智大、第26回日本コンピュータ外科学会論文講演賞、“覚醒下脳腫瘍摘出術における機械学習を用いた手術工程同定手法の提案”、2018年10月16日
- [3] 大島一真、ライフサポート学会奨励賞、“脳腫瘍摘出術における脳機能位置の標準脳への統合手法の提案”、2018年3月10日

【報道掲載リスト】

- [1] “プロジェクト学習で医療ニーズを具現化”、北海道医療新聞、2018年12月7日

【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

- [1] <http://www.intelligent-design.co.jp/rd/>