

令和元年5月31日現在

機関番号：21601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04948

研究課題名(和文) 術中情報を統合した4Dマルチレイヤーナビゲーション・手術支援プラットフォームの開発

研究課題名(英文) Development of a New 4-Dimensional, Multilayered, Surgery-Assisting Platform with Multimodal Optico-Radiological Image Integration (MORI)

研究代表者

藤井 正純 (FUJII, MASAZUMI)

福島県立医科大学・医学部・准教授

研究者番号：10335036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：脳外科手術では顕微鏡・内視鏡画像はもちろんのこと、蛍光画像や脳血流画像など光学系術中診断が導入され、さらに脳機能マッピングなど機能情報が加わるなど高度化が進んでいる。本研究では、これら手術室で得られる各種の光学系画像を、MRI、CTなど放射線画像と統合する技術開発を行った(Multimodal Optico-Radiological Image Integration; MORI)。実際の臨床例において、脳機能野の詳細かつ客観的な位置の同定、術中の蛍光診断に基づく残存腫瘍の同定が可能であった。今後さらに本技術を発展させることで、従来にない有機的な手術情報プラットフォームの実現が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MORIによる高度な画像統合技術は、これ自体が従来の光学式・磁場式と異なる新たな手術ナビゲーション機能の実現につながるとともに、それと同時に、これまでの単純な手術ビデオ映像記録を超える、MRI、CT、PETなど臨床放射線画像情報と手術情報を統合した3次元の有機的な情報の経時的記録(=4次元の手術情報プラットフォーム)として機能することが期待される。これにより、今後の手術安全、臨床情報の詳細解析等につながるはずである。

研究成果の概要(英文)：There have been remarkable advancements in the neurosurgical operation theaters, such as operative microscopes, endoscopes, fluorescence imaging and blood flow imaging. Moreover, intraoperative brain mapping has become common to localize and evaluate brain functions. In our study, we have developed a new image integration technology which allow us to fuse among various optical imaging modalities and radiological images, such as images of MRI and CT (Multimodal Optico-Radiological Image Integration; MORI). We have confirmed usefulness of the technology in several clinical settings, demonstrating that it enable us to identify both functional brain areas obtained by intraoperative brain mapping, and remnant tumor infiltrating brain areas shown by intraoperative fluorescence imaging on anatomical images. The technology could enhance future development of a new and comprehensive surgical information platform.

研究分野：画像誘導手術

キーワード：MORI ナビゲーション 画像誘導手術 術中MRI 画像融合技術

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

近年、脳神経外科手術では、顕微鏡・内視鏡画像はもちろんのこと、蛍光画像や脳血流画像など光学系術中診断が導入され、さらに脳機能マッピングなど機能関連情報が加わるなど高度化が進んでおり、手術中に可視光による観察情報だけでなく、組織に関する情報や血流情報など多様な情報が得られる。しかしながら、手術室で得られるこうした光学系画像(optical images)は、手術前あるいは手術中に行われる各種診断画像(放射線診断画像; radiological diagnostic images)とは画像モダリティが異なるため、容易に対応関係を求めることができない。すなわち、5 アミノレブリン酸 (5 ALA) による蛍光観察を行って手術中に脳腫瘍組織の残存の有無を評価しても、蛍光発色を観察した領域が MRI などの放射線診断画像上、どの領域に相当するのか正確・客観的な情報を得ることが難しい。同様に、脳血流解析画像を手術中に得たとしても、これを正確に放射線診断画像に重畳することができない。脳機能マッピングでは、脳表あるいは切除した後の白質上に複数の電極を設置したり、あるいは番号を表記したタグを留置したりして、電極ないしタグの各々について、術中に記録した脳機能マッピング所見が関連づけられるが、これらの電極・タグの位置が診断画像上のどの部位であるのかを客観的に示すことが困難であるため、これらの機能情報を放射線診断画像と関連づけることができない。これらの多様な手術中の情報が、診断画像と直接関連づけることができないことは、臨床情報の総合分析の妨げになっており、有機的な評価が困難である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、手術室で得られる各種の光学系画像と、MRI、CT、PET など術前あるいは術中に得られる放射線診断画像と統合する技術の開発を行うことで、これまでなかった有機的な手術情報プラットフォーム (4D マルチレイヤーナビゲーション・手術支援プラットフォーム) の実現に繋げることである。

## 3. 研究の方法

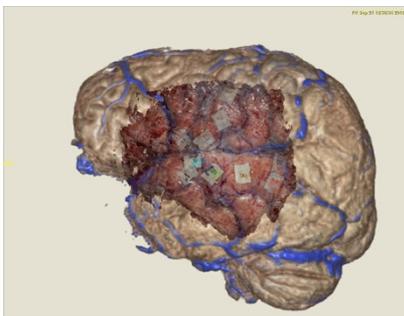
本研究のコアとなる技術は、光学系画像と放射線診断画像の融合技術である。我々は、これを Multimodal Optico-Radiological Image Integration; (MORI) と称している。手術顕微鏡による白色光光源によるステレオ画像から脳表 3次元形状を復元し、この結果と術前(ないし術中)の解剖画像 (MRI, T1 強調画像) とを融合して統合画像を生成する。ついで 5ALA 蛍光画像、熱画像、レーザースペックル脳血流画像など任意の光学系画像を先の白色光光源による手術顕微鏡画像と融合し、一方、MRI (拡散強調画像、T2 強調画像など)、CT、PET など任意の放射線診断画像は、先の解剖画像と融合することで、光学系・放射線診断系すべての画像の融合が可能となる。また、これらすべての情報を持つ 3次元的な統合画像プラットフォームを生成することができる。更に、手術の開始から時間軸に沿って光学系画像を収集して適宜 MORI 処理を行うことで、最終的に 4次元的な情報プラットフォームが作成できることになる。

## 4. 研究成果

ファントム実験での精度検証を行い、実際の臨床例での検討を行った。

図1は、覚醒下手術における脳機能マッピング所見(タグ情報)の MRI 画像との融合と、これによる詳細な局在評価を行ったものである。

図1-A



覚醒下手術症例で背景は MRI 画像から生成された脳表の 3D 画像である。これに MORI 処理を施して、手術野の顕微鏡画像を重畳している。脳表に置かれたタグが写りこんでいる(青、緑、黄色、橙で色づけしてある)。

図1-B

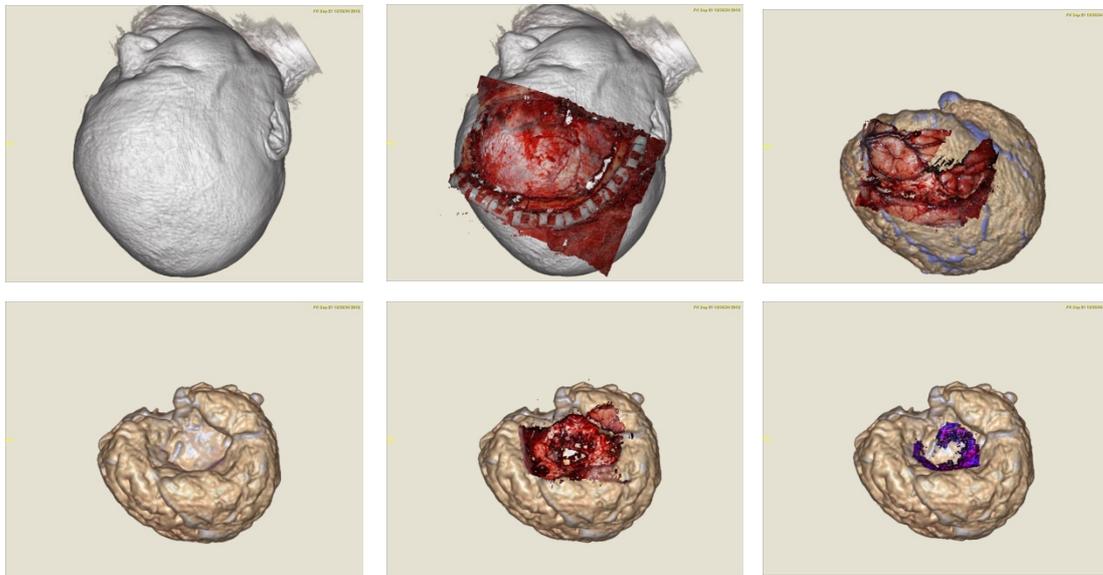
前図の症例で、タグ位置を MRI (T1 強調造影) の軸切断面上に重畳表示したもの。4つのタグ位置が通常の診断画像上に表示されている。



図2は、手術の過程に沿って、経時的に開頭→脳表露出→腫瘍摘出後と順に MORI 処理を行って生成した 3

D 画像である。こうした 3D プラットフォームを時間軸に沿って記録することで 4D プラットフォームとなる。背景は MRI (T1 強調画像) から生成された頭皮・脳表の 3D 画像である。白色光源の顕微鏡画像だけでなく、5ALA 蛍光観察画像の MORI 処理による融合に成功した。

図 2



上段左；MRI (T1 強調画像) から生成した頭皮の 3D 画像。上段中央；上段左の 3D モデルに手術野の画像を重畳表示したもの。これによりどの部位で手術が行われているのかがわかる。上段右；MRI (T1 強調画像) から生成した脳表の 3D 画像に、通常の白色光源による手術顕微鏡に画像を重畳表示した。術野の脳皮質と MRI との融合が得られている。下段左；術中 MRI 画像 (T1 強調画像) から生成した 3D 画像。腫瘍摘出後に術中 MRI を撮像しており、腫瘍の摘出が行われたことがわかる。下段中央；下段左に通常の白色光源による手術顕微鏡画像を重畳表示したもの。下段右；5ALA の蛍光画像を重畳表示したもの。浸潤性腫瘍症例である本例では腫瘍摘出腔壁にピンク色の発色が残存していることがわかる。この領域が MRI 画像上、どの領域であるのか正確な位置情報が分析可能である。

MORI による高度な画像統合技術によって作られる 3D プラットフォームは、これ自体でナビゲーション機能の実現が可能であるという意味で赤外線・磁場を用いない新たなナビゲーション技術につながる。さらに、時間軸を付加して 4D プラットフォームとすることで、これまでの単純な手術ビデオ映像記録を超える、有機的な次世代の手術情報記録としても機能することが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

1. 林雄一郎, 藤井正純, 柴田睦実, Dilip Bhandari, 森健策 ステレオ手術顕微鏡画像からの脳表の 3 次元形状復元と術前 MRI 画像との融合による脳神経外科手術支援の検討, Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery; 2018, 330-338, DOI: <https://doi.org/10.5759/jscas.20.330>

〔学会発表〕 (計 2 件)

1. 林雄一郎, 藤井正純, 柴田睦実, Dilip Bhandari, 森健策 ステレオ手術顕微鏡画像からの脳表の 3 次元形状復元と術前 MRI 画像との融合による脳神経外科手術支援の検討, 第 27 回日本コンピュータ外科学会, 2018 年

2. 藤井正純 低・高・超高磁場 3 つの MRI 手術室と歩んだ 10 年, 第 19 回日本術中画像情報学会(招待講演), 2018 年

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：前澤 聡

ローマ字氏名：MAESAWA, Satoshi

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：脳とこころの研究センター

職名：特任教授

研究者番号（8桁）：90566960

研究分担者氏名：バガリナオ エピファニオ

ローマ字氏名：Bagarinao E.

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：脳とこころの研究センター

職名：特任准教授

研究者番号（8桁）：00443218

研究分担者氏名：森 健策

ローマ字氏名：MORI, Kensaku

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：情報学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：10293664

(2)研究協力者

研究協力者氏名：林 雄一郎

ローマ字氏名：HAYASHI, Yuichiro

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。