

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21591867

研究課題名（和文）脳神経外科画像誘導手術における高度な画像統合技術確立に関する研究
 研究課題名（英文）Development of an advanced image-fusion method for image-guided neurosurgery

研究代表者

藤井 正純 (FUJII MASAZUMI)

名古屋大学・医学系研究科・助教

研究者番号：10335036

研究成果の概要（和文）：

我々は手術前の脳画像と、脳変形の伴う術中 MRI 画像を統合する高度な画像統合技術「変形フュージョン」を非剛体レジストレーションの手法を用いて開発した。さらに、これを用いて術中の脳変形に伴う錐体路の偏位に関する推定と PET 画像への応用を行い、本手法の有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed an advanced image-fusion method, “Reshape&fuse”, between preoperative MRI and intraoperative image with deformity. Correct estimation of intraoperative shift of the pyramidal tract and application of this method to PET image were successfully achieved, demonstrating efficacy of this method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・脳神経外科学

キーワード：脳外科手術機器学、画像誘導手術、変形フュージョン

1. 研究開始当初の背景

近年術中 MRI など術中の脳画像撮像が可能になり、手術室への導入がすすんでいる。術中 MRI を行うことで、従来のナビゲーションの最大の欠点であったブレインシフトと呼ばれる術中の脳変形による著しい精度低下を克服することができる。しかしながら、手術中に行える撮像には、時間的な制約や性能による制約があるため、術前に行ったすべての画像を術中に行うことは困難である。そこで、変形を伴った術中の脳画像と、変形の伴わない術前の脳画像とを適切に統合することで、術中にこれらの画像を利用すること

ができるようになり、手術支援として有力と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、術前の MRI 画像と脳変形を伴った術中画像を適切に統合することを目的とする。本手法を「変形フュージョン法」（英語名“Reshape&fuse method”）と命名する。また、本手法を用いて、術中の錐体路の推定や PET 画像への応用を行い、本技術の有用性を検証する。図1に変形フュージョン法概念を示す。画像Aを基準となる術前画像とし、術前の種々の画像B、Cは、画像A

へと fusion される。画像 A を本手法で変形して脳変形のある術中画像へ重ね合わせることで、術前画像の特徴を備えた仮想的術中画像 A' が生成される。同じ変形操作を適用することで B'、C' が生成される。

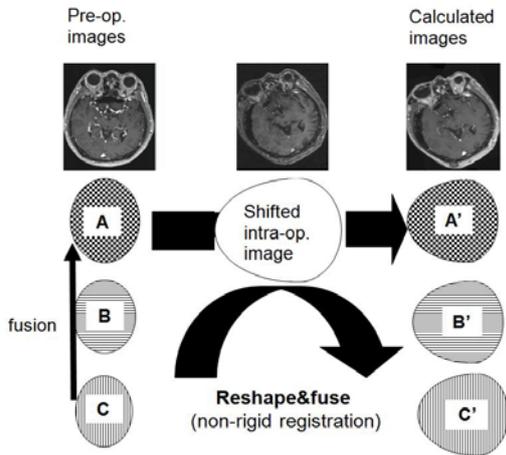


図 1：変形フュージョン法（Reshape&fuse method）の概念図

3. 研究の方法

(1) 変形フュージョン法と術中錐体路の偏位の推定

術中の錐体路の推定を前提として、以下に本手法につき概説する。本手法では、Rueckert らによる非剛体レジストレーション手法を応用して術中画像と術前画像の統合を行う。この手法は、術前と術中の MRI 装置から得られる構造情報の画像（T1 強調画像など）からブレインシフトなどの術中の脳の状態を推定して術前画像に反映することで術中と術前の画像を統合する手法である。この手法を用いて術中の錐体路の推定は以下の手順で行う。

まず、術前の DTI 画像からトラクトグラフィにより錐体路を描出し、錐体路領域とそれ以外の領域から構成される 2 値画像を作成する。次に、術中の脳の変形状態を計算するために、術前の T1 強調画像と術中の T1 強調画像に非剛体レジストレーション手法を適用する[1]。この時、皮膚や頭蓋骨による誤変形を抑制するため処理対象をあらかじめ抽出した脳実質領域に限定する。非剛体レジストレーションにより求めた、術前画像から術中画像への変形パラメータを術前の錐体路の 2 値画像に対し適用して変形させることで、術中の錐体路の状態を推定する。ここで、2 値画像をあらかじめ作成して変形したのは、DTI 画像を単純に変形させるとテ

ンソル情報が保存されないためである。

本手法を評価するために、高磁場の術中 MRI 装置を備える名古屋セントラル病院の BrainSUITE で行われた手術症例 6 例のデータを使用した。BrainSUITE では術中の DTI 画像を撮影できることから、①術前の DTI から作成した錐体路、②本手法により推定した術中の錐体路、③術中の DTI から作成した錐体路、を比較した。錐体路のトラクトグラフィの作成には東大放射線科開発のフリーウェア dTV を使用した[2]。

本手法により変形する前と後の錐体路の距離は、錐体路の 2 値画像に対して細線化を施して中心線を求めた後 [3]。任意の Axial スライスを 5 スライス選択し、各スライスにおいて中心線間の距離を計測して平均をとった。また偏位方向の推定についても同時に評価した。

(2) PET 画像への応用

C^{11} メチオニン PET 画像を術前に撮影し、これを術前 MRI、T1 強調画像に fusion しておく。a)における手順と同様に T1 強調画像を術中 T1 強調画像に変形フュージョンを行う。この変形操作を術前の PET 画像に適用することで、術中の脳変形を加味した PET 画像を生成する。これを術後に撮影を行った実際の MRI 画像、PET 画像と比較検討した。

文献

- 1) D. Rueckert, L. I. Sonoda, C. Hayes, et. al. Nonrigid Registration Using Free-Form Deformations: Application to Breast MR Images, IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 18, no. 8, pp. 712-721, 2001.
- 2) Y. Masutani, S. Aoki, O. Abe, et. al. MR diffusion tensor imaging: recent advance and new techniques for diffusion tensor visualization, European Journal of Radiology, vol. 46, pp. 53-66, 2003.
- 3) J. Toriwaki, H. Yoshida, Fundamentals of Three-Dimensional Digital Image Processing, Springer, London, 2009.

4. 研究成果

(1) 変形フュージョン法と術中錐体路の偏位の推定

結果を表 1 と図 2 に示す。表 1 は、6 例の症例において本手法を用いた結果（錐体路の実際の偏位距離、推定した錐体路と実際の錐体路との距離、偏位方向の推定の評価）をあらわす。術中の錐体路は、術前と比べて実際には平均 6.1 ミリメートル偏位していた。これを本手法を用いた推定では、全例で正しく偏位の方向を推定しており、かつ、平均 3.1 ミリと統計学的に有意な短縮が得られた。

図2では、代表症例2例を示した。Case1では錐体路は術前（緑）から術後（黄）へと内側へ偏位した（上段左）。これを变形フュージョンによる推定でほぼ一致が得られた（上段右）。またCase2では、術前（緑）から術後（黄）へ外側へと偏位がみられたが、正しく推定が行われた（下段右）。

	Distance before registration	Distance after registration	Estimation of Shift direction
Case 1	6.4	3.4	○
Case 2	3.9	1.4	○
Case 3	5.8	3.7	○
Case 4	11.1	6.0	○
Case 5	6.2	2.2	○
Case 6	3.2	2.0	○
Ave	6.1	3.1	

P<0.01 (t-test)

表1 錐体路の偏位距離(mm)と推定方向の評価

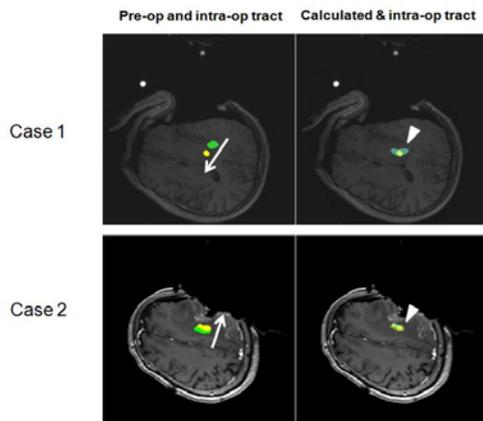


図2 代表症例2例における錐体路の推定

(2)PET 画像への応用

1例の脳腫瘍手術症例について図3に結果を示す。Aは術前のMRIT1強調造影画像（上段）と¹¹CメチオニンPET画像（下段）を示す。Bは術前T1強調造影画像をもとに、变形フュージョン法を適用して術中画像へと重ね合わせることで、新たな画像を生成した（右上）。この变形操作をPET画像に適用し、術中のPET画像に相当する画像を生成した（右下）。この画像では、腫瘍の摘出腔前方領域に、なおメチオニンの集積領域が存在することを示

唆した。Cは術後の画像検討を示す。T1強調画像（上段）では残存する腫瘍影を指摘できないが、PET画像では腫瘍摘出腔前方領域にメチオニン高集積領域の存在を認めた。この結果は、变形フュージョン法による推定と一致した。

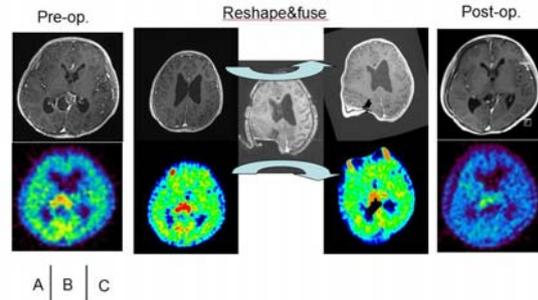


図3 PET画像への応用

(3)総括

本手法は本研究によってその有効性がしめされた。今後術中画像の普及に伴って、様々な臨床応用が期待される。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

1. 藤井正純、前澤聡、林雄一郎、中原紀元、森健策、吉田純、若林俊彦、術中MRIの現在と未来、脳神経外科ジャーナル、20:259-269, 2011 査読有り

2. 藤井正純、若林俊彦、術中MRIを用いた画像誘導手術、Brain and Nerve 61: 823-834, 2009 査読なし

3. 林雄一郎、森健策、藤井正純、梶田泰一、水野正明、若林俊彦、吉田純、非剛体レジストレーションによる術中の錐体路の推定-高磁場術中MRI装置による評価、J. JSCAS 11(3), 308-309, 2009-11-21 査読あり

〔学会発表〕（計11件）

1. 椎名諭、藤井正純、前澤聡、林雄一郎、森健策、若林俊彦、变形フュージョン法を用いた術中の錐体路の推定、第71回日本脳神経外科学会総会、2012/10/19、大阪

2. 林雄一郎、藤井正純、前澤聡、二村美也子、松井泰一、古場伊津子、堤ちあき、森健策、若林俊彦、画像情報処理による高度な脳神経外科手術支援、脳と心のセンター特別シンポ

ジウム、2012/9/22、名古屋

3. 藤井正純、術中 MRI を併用したグリオーマ手術 福島脳腫瘍講演会、2012/9/4、福島

4. Masazumi Fuji, Satoshi Maesawa, Yuichiro Hayashi, Norimoto Nakahara, Shigenori Takebayashi, Kenichiro Iwami, Hiroyuki Momota, Kuniaki Tanahashi, Atsushi Natsume, Jun Yoshida, Toshihiko Wakabayashi, Current Status of Image-guided Neurosurgery for Brain Tumors and Its Future Perspective, The 4th International Symposium of Brain Tumor Pathology, 2012/5/24, Nagoya

5. Masazumi Fujii, Yuichiro Hayashi, Satoshi Maesawa, Kensaku Mori, Yasukazu Kajita, Jun Yoshida and Toshihiko Wakabayashi, Estimation of Location of Pyramidal Tract During Glioma Surgery with "Reshape&Fuse" Method, 2012AANS Annual Scientific Meeting, 2012/4/14, Miami, USA

6. 藤井正純、前澤聡、林雄一郎、中原紀元、本村和也、島戸真司、百田洋之、夏目敦至、梶田泰一、吉田純、若林俊彦、術中 MRI—名古屋大学での経験—第 11 回術中画像情報学会、2011/6/18、名古屋

7. 藤井正純、術中 MRI を用いた脳腫瘍手術、第 4 回杉田記念フォーラム、2010/8/28、新潟県

8. 藤井正純、前澤聡、森健策、林雄一郎、梶田泰一、夏目敦至、伊藤元一、本村和也、中原紀元、吉田純、若林俊彦、脳外科における画像誘導手術の最前線—術中 MRI の現在と未来—、医用画像情報学会第 157 回年次大会、2010/6/5、名古屋

9. 藤井正純、若林俊彦、術中 MRI の現在と未来、第 30 回日本脳神経外科コンgres、横浜市、2010/5/8

10. 藤井正純、若林俊彦、術中 MRI の現在と未来、第 68 回日本脳神経外科学会学術総会、2009/10/14-16、東京

11. 林雄一郎、森健策、藤井正純、梶田泰一、伊藤英治、竹林成典、水野正明、若林俊彦、吉田純、末永康仁、3D virtual image を駆使した脳腫瘍画像誘導手術、第 28 回日本医用画像工学会大会、2009/8/4-5、名古屋

〔図書〕(計 1 件)

1. 藤井正純、前澤聡、林雄一郎、森健策、中原紀元、吉田純、若林俊彦、「脳腫瘍の外科、術中トラクトグラフィおよび白質直接刺激による MEP の有用性と、変形フュージョンによる術中錐体路推定の可能性」編集室なるにあ、2010、79-87

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 正純 (FUJII, Masazumi)

名古屋大学・医学系研究科・助教

研究者番号：10335036

(2) 研究分担者

森 健策 (MORI, Kensaku)

名古屋大学・情報連携統括本部・教授

研究者番号：10293664

(3) 連携研究者 なし