

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 27 日現在

機関番号：32610

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592145

研究課題名(和文) 仮想現実による頭皮投影型新規脳手術ナビゲーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a novel augmented reality navigation system to project brain surgery on the scalp

研究代表者

丸山 啓介 (Maruyama, Keisuke)

杏林大学・医学部・学内講師

研究者番号：10345192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：脳神経外科手術前の画像より、手術に必要な3次元的な画像処理が行えるシステムを構築した。Macintoshコンピュータに画像処理ソフトOsiriXおよび可視化ソフトParaview、Windowsワークステーションに画像処理ソフトAmira、およびiPadソフトKiwiViewerを導入した。得られた画像をコンピュータのディスプレイ上ではなく頭皮上に投影するaugmented reality(仮想現実)が実現可能な、Kinectセンサー搭載型プロジェクターアームを開発した。

研究成果の概要(英文)：We developed an imaging processing system to obtain three-dimensional images based on neuroimaging before neurosurgery to utilize during surgery. We introduced imaging processing software OsiriX and visualization software Paraview for Macintosh computer, simulation software Amira for Windows workstation, and iPad software KiwiViewer. We newly developed a specialized projector arm equipped with Kinect sensor to project three-dimensional images directly on the scalp instead of computer display to realize augmented reality.

研究分野：脳神経外科学

キーワード：脳神経外科 医用画像 手術シミュレーション 手術ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究者らはこれまで脳の画像情報を脳神経外科手術に応用する経験の蓄積があり、特に脳の白質線維の研究をはじめ多くの研究成果を上げてきた (Maruyama K, et al., J Neurosurg 107:721-726, 2007、Maruyama K, et al., Int J Radiat Oncol Biol Phys 70:1330-1335, 2008、Maruyama K, et al., J Neurosurg 111:520-526, 2009 など)。主として定位放射線治療や手術ナビゲーションなどと組み合わせて脳神経外科手術をより機能的により安全に行うための支援ツールとなる手法を研究してきた。

(2) 2011 年になり、Augmented reality の手法を手術に応用する論文が腹部外科領域にて報告された (Volonte F, et al.: Augmented reality and image overlay navigation with OsiriX in laparoscopic and robotic surgery: not only a matter of fashion. J Hepatobiliary Pancreat Sci 18:506-509, 2011)。これは、手術前にあらかじめ得られた画像をコンピュータディスプレイ上ではなく、直接体表上に投影することにより目標とすべき部位を得て手術に役立てる手法である。上記報告は腹部消化器消化器外科における応用で、腹部以外の臓器での報告は脳を含めこれまでにはない。

2. 研究の目的

以上の背景から今回我々は、腹部外科学の領域で最先端技術として行われている augmented reality の手法を脳神経外科手術のナビゲーションシステムとして応用するシステムを開発することを着想した。

3. 研究の方法

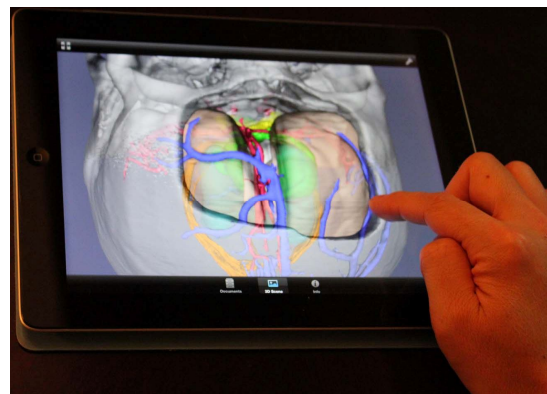
(1) まず医用画像処理を行うためのソフトウェア OsiriX および Amira を設置する。手術のためにあらかじめ施行した頭部 MRI、CT、脳血管撮影の DICOM 画像を OsiriX および Amira で読み込み、皮膚と骨、腫瘍、脳室など目標となる構造物の 3 次元的画像を作成する。脳室など CT などで比較的描出されやすい構造物を目標とする場合は OsiriX を用いる。頭皮と腫瘍など、異なる複数の層の画像を選択的に描出する画像処理を要する場合は複雑な画像処理が可能な Amira を用いる。画像処理時間や獲得可能な画像情報などにつき比較し、より簡便で汎用可能な画像処理方法を追究する。

(2) (1)にて得られた詳細な脳神経外科手術用画像を頭皮上に投影するための専用のプロジェクタを開発する。眼球や鼻根部、外耳、後頭骨隆起などの体表のマーカーで位置合わせを行う。投影する位置に応じた画像の投影の精度や誤差につき検討し、これを可能な限り低減すべく対応を行う。

4. 研究成果

(1) 脳神経外科手術前の画像情報を入手し、それを 3 次的に再構築して手術に必要な位置、角度、倍率が得られるような画像処理が行えるシステムを構築した。すなわち、既存の Macintosh コンピュータに画像処理ソフト OsiriX を導入し、専用の Windows ワークステーションに Amira を導入した。まず、頭部 MRI、CT、脳血管撮影の DICOM 画像を OsiriX および Amira に取り込んだ。皮膚と骨、腫瘍、脳室など目標となる構造物の 3 次元的画像を作成した。脳室など CT などで比較的描出されやすい構造物を目標とする場合は OsiriX を用い、頭皮と腫瘍など、異なる複数の層の画像を選択的に描出する画像処理を要する場合は Amira を用いて複雑な画像処理を行った。上記 2 種類の画像処理ソフトの使い分けに関して、実際に双方の画像処理時間や獲得可能な画像情報などにつきその優劣、利点・欠点を比較検討を行った結果、OsiriX は簡便で比較的単純な画像処理に適しており、画像処理時間も短時間で可能であった。一方で、Amira は異なる複数の構造物を高い精度で描出することができ、複雑な画像処理を行うことが可能であったが、画像処理に要する時間は 2 倍～4 倍程度を要した。

(2) 画像処理ソフト Amira を用いた画像処理を通常の手術例で用いることにより画像処理の操作を安定させた。また、作成した画像を手術室まで持ち運びが可能なように、iPad に出力するソフトウェアを検索し、KiwiViewer を発掘するに至った (下図)。この操作を安定させ、この知見について学会発表および論文発表を行った。



(3) (1)および(2)と同時進行にて、(1)および(2)の作業にて作成した画像をコンピュータのディスプレイ上ではなく頭皮上に投影するためのプロジェクタの選定作業を行った。画像処理や出力を得意とする業者クリプトンに研究目的・内容を伝達し、プロジェクタのデモンストレーションを行った。第 1 号機はコンパクトで可動性には優れていたものの、頭皮に投射するには光量が不足しているのが致命的であった。これは購入には至ら

ず、サイズを大きくしても光量を確保し、また専用の運搬架台を設置することとし、さらに改良を進めて最終案を決定した。自立式のアームを開発し購入するに至った(下図)。



(4) 通常はコンピューターディスプレイのような平面に投影すべきものを頭皮のような曲面に投影するに際して誤差が発生する。その計算を行った結果、辺縁部での誤差が非常に大きくなることがわかった。これをそのまま導入するには誤差の発生状況を詳細に検討しなければならないため、誤差を低減する方策を練り直し、頭皮のような球状の面に画像を投影する技術を保有する技術者の検索を行った。その結果、電気通信大学の工学博士が保有していることが判明した。この研究者からの助言を得て、投影誤差を低減させるため、Microsoft社のKinectセンサーを取り入れた。当初は初版であるKinectセンサー v.1を試用したが、精度に問題があることが判明した。その後改良型であるv.2がMicrosoft社より市販されたためこれを導入し、これを用いて頭皮および顔面の形状を元に投影に際しての位置合わせ作業を行った。ただし、これを安定運用するには精度の問題で調整が必要であることも判明した。このため、この研究はこの段階で完結することとし、別の研究事業に引き継ぐのが妥当であると判断するに至った。

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19件)

1. 丸山 啓介, 山口 竜一, 野口 明男, 佐藤 栄志, 塩川 芳昭: 脳室内出血を主体とする破裂脳動脈瘤の治療. 脳卒中の外科 42(6): 447-452, 2014, DOI: 10.2335/scs.42.447, 査読あり
2. Maruyama K, Kin T, Saito T, Suematsu S, Gomyo M, Noguchi A, Nagane M, Shiokawa Y: Neurosurgical simulation by interactive computer graphics on iPad. Int J Comput Assist Radiol Surg 9:1073-1078, 2014, DOI: 10.1007/s11548-014-0993-0, 査読あり
3. Maruyama K, Koga T, Niranjana A, Kondziolka D, Flickinger JC, Lunsford LD: Radiosurgery for brainstem arteriovenous malformation. Prog Neurol Surg 27:67-72, 2013, DOI: 10.1159/000341639, 査読なし
4. Maruyama K, Kurita H, Yamaguchi R, Noguchi A, Shiokawa Y: One stage clipping of bilateral middle cerebral artery aneurysms via the bilateral pterional keyhole approach. Neurol Med Chir (Tokyo) 53:148-152, 2013, DOI: 10.2176/nmc.53.148, 査読あり
5. 丸山 啓介, 小林 啓一, 田中 雅樹, 野口 明男, 土屋 一洋, 小林 邦典, 永根 基雄, 塩川 芳昭: 脳腫瘍の術中navigationで参照する適切な融合画像の選択. CI研究 35(1):13-20, 2013, 査読あり, <http://www.cigakkai.com/journal/index.html>
6. Maruyama K, Koga T, Niranjana A, Kondziolka D, Flickinger JC, Lunsford LD: Radiosurgery for brainstem arteriovenous malformation. Prog Neurol Surg 27:67-72, 2013, DOI: 10.1159/000341639, 査読なし
7. Maruyama K, Kurita H, Yamaguchi R, Noguchi A, Shiokawa Y: One stage clipping of bilateral middle cerebral artery aneurysms via the bilateral pterional keyhole approach. Neurol Med Chir (Tokyo) 53:148-152, 2013, DOI: 10.2176/nmc.53.148, 査読あり
8. Koga T, Maruyama K, Kamada K, Ota T, Shin M, Itoh D, Kunii N, Ino K, Terahara A, Aoki S, Masutani Y, Saito N: Outcomes of diffusion-tensor tractography-integrated stereotactic radiosurgery. Int J Radiat Oncol Biol Phys 82: 799-802, 2012, DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.11.046, 査読あり
9. Ikeda T, Maruyama K, Ito N, Utagawa A, Nagane M, Shiokawa Y: Serum pentose-dine, an advanced glycation end product, indicates poor outcomes after acute ischemic stroke. J Stroke Cerebrovasc Dis 21: 386-390, 2012, DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2010.10.004, 査読あり
10. Koga T, Shin M, Maruyama K, Kamada K, Ota T, Itoh D, Kunii N, Ino K, Aoki S,

- Masutani Y, Igaki H, Onoe T, Saito N: Integration of corticospinal tractography reduces motor complications after radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 83: 129-133, 2012, DOI: 10.1016/j.ijrobp.2011.05.036, 査読あり
11. Koga T, Maruyama K, Tanaka M, Ino Y, Saito N, Nakagawa K, Shibahara J, Todo T: Extended field stereotactic radiosurgery for recurrent glioblastoma. *Cancer* 118: 4193-4200, 2012, DOI: 10.1002/cncr.27372, 査読あり
- [学会発表](計 28 件)
1. 岡田 啓、脊山 英徳、鳥居 正剛、岡村 耕一、丸山 啓介、山田 深、傳法 倫久、塩川 芳昭: CEA 周術期における INVOS のパターン解析. 第 44 回日本脳卒中の外科学会, 広島, 2015.3.27
 2. 丸山 啓介、野口 明男、金 太一、久米 賢、塩川 芳昭: Eloquent AVM に対する iPad での術前シミュレーション. 第 44 回日本脳卒中の外科学会, 広島, 2015.3.26
 3. 丸山 啓介、横井 秀格、山口 竜一、野口 明男、甲能 直幸、塩川 芳昭: 傍鞍部腫瘍に対する耳鼻科との 4 hands endonasal surgery. 第 2 回手技にこだわる脳神経外科ビデオカンファレンス, 東京, 2015.1.24
 4. 丸山 啓介、金 太一、野口 明男、永根 基雄、塩川 芳昭: iPad を用いたコンピュータグラフィックスによる術前シミュレーション操作. 第 73 回日本脳神経外科学会総会, 東京, 2014.10.9
 5. Okada K, Maruyama K, Torii M, Okamura K, Seyama H, Yamada S, Dembo T, Shiokawa Y: Experience of IN Vivo Optical Spectroscopy during and after carotid endarterectomy. 12th Japanese-Korean Friendship Conference on Surgery for Cerebral Stroke, Osaka, 2014.9.27
 6. Maruyama K, Tanaka M, Okada K, Noguchi A, Shiokawa Y: Multimodality surgery including preoperative simulation for vascular malformations in the eloquent area. 12th Japanese-Korean Friendship Conference on Surgery for Cerebral Stroke, Osaka, 2014.9.26
 7. 久米 賢、丸山 啓介、山口 竜一、野口 明男、塩川 芳昭: 傍鞍部腫瘍に対する endoscopic skull base surgery. 第 19 回日本脳腫瘍の外科学会, 東京, 2014.9.12
 8. 岡田 啓、丸山 啓介、金 太一、野口 明男、永根 基雄、塩川 芳昭: コンピュータグラフィックスによる術前シミュレーションと iPad での閲覧の有用性. 第 14 回日本術中画像情報学会, 東京, 2014.7.12
 9. 丸山 啓介、横井 秀格、山口 竜一、野口 明男、甲能 直幸、塩川 芳昭: 傍鞍部腫瘍に対する endoscopic skull base surgery の適応と限界 (シンポジウム「Endoscopic skull base surgery ~ 適応と限界 ~ 2」). 第 26 回日本頭蓋底外科学会, 幕張, 2014.6.19
 10. Maruyama K, Yokoi H, Yamaguchi R, Noguchi A, Kono N, Shiokawa Y: Optimization of the role of endoscope in transsphenoidal surgery. 6th World Congress for Endoscopic Surgery of the Brain, Skull base, and Spine, Milan, Italy, 2014.4.14
 11. 丸山 啓介、末松 慎也、宮崎 功、木崎 直人、野口 明男、塩川 芳昭: Eloquent area 血管奇形への術前シミュレーションを併用した集学的手術. 第 43 回日本脳卒中の外科学会, 大阪, 2014.3.14
 12. 丸山 啓介、山口 竜一、野口 明男、塩川 芳昭: 経鼻経蝶形骨アプローチにおける内視鏡の役割の最適化 (シンポジウム「内視鏡操作」). 第 20 回日本神経内視鏡学会, 山梨, 2013.11.7
 13. 丸山 啓介、末松 慎也、野口 明男、五明 美穂、宮崎 功、小柳 正道、塩川 芳昭: 頭蓋底腫瘍に対する術前・術中ツールを駆使した手術戦略. 第 72 回日本脳神経外科学会総会, 横浜, 2013.10.16
 14. 田中 雅樹、丸山 啓介、塩川 芳昭: Free software DICOM viewer を用いた外傷性頭蓋内血腫画像の検討. 第 72 回日本脳神経外科学会総会, 横浜, 2013.10.16
 15. 丸山 啓介、末松 慎也、野口 明男、塩川 芳昭: 術前・術中画像ツールを駆使した安全な脳腫瘍の手術. 第 18 回日本脳腫瘍の外科学会, 大津, 2013.9.19
 16. 丸山 啓介、野口 明男、五明 美穂、宮崎 功、小柳 正道、土屋 一洋、塩川 芳昭: 頭蓋底手術支援のための多種の術前・術中画像使用の刷新 (シンポジウム「頭蓋底外科における術前シミュレーション」). 第 25 回日本頭蓋底外科学会, 名古屋, 2013.6.26
 17. 末松 慎也、丸山 啓介、小林 啓一、土屋 一洋、永根 基雄、塩川 芳昭: 脳腫瘍の術中ナビゲーションへの多モダリティ画像の融合. 第 46 回多摩脳神経外科懇話会, 多摩, 2012.11.8
 18. 丸山 啓介、山口 竜一、野口 明男、塩川 芳昭: 傍鞍部腫瘍に対し経鼻・開頭手術をいかに選択すべきか. 第 71 回日本脳神経外科学会総会, 大阪, 2012.10.19
 19. 島田 大輔、小林 啓一、丸山 啓介、田中 雅樹、原 由紀子、土屋 一洋、永根 基雄、塩川 芳昭: Glioma の摘出範囲決定における PET 画像融合の有用性. 第 71 回日本脳神経外科学会総会, 大阪, 2012.10.18
 20. Shimada D, Maruyama K, Okamura K, Noguchi A, Shiokawa Y: Clinical analysis of

outcome after hemorrhage at the caudate nucleus. 11th Japanese-Korean Friendship Conference on Surgery for Cerebral Stroke, Seoul, Korea, 2012.9.15

21. Maruyama K, Kurita H, Yamaguchi R, Noguchi A, Shiokawa Y: One-stage clipping of bilateral middle cerebral aneurysms via pterional keyhole approach. 11th Japanese-Korean Friendship Conference on Surgery for Cerebral Stroke, Seoul, 2012.9.14
22. 丸山 啓介, 山口 竜一, 野口 明男, 塩川 芳昭: 傍鞍部腫瘍に対する経鼻・開頭手術の使い分け. 第 24 回日本頭蓋底外科学会, 東京, 2012.7.12
23. Maruyama K, Yamaguchi R, Noguchi A, Shiokawa Y: Surgical strategy for tuberculoma sellae meningioma after introduction of extended transsphenoidal approach. 63rd annual meeting of the German Society of Neurosurgery, 7th Joint meeting with the Japanese Neurosurgical Society, Leipzig, Germany, 2012.6.13
24. 丸山 啓介, 山口 竜一, 河合 拓也, 鳥居 正剛, 野口 明男, 塩川 芳昭: 脳動脈瘤クリッピング術を次世代に継承するための工夫. 第 41 回日本脳卒中の外科学会, 福岡, 2012.4.26

〔図書〕(計 7 件)

1. 丸山 啓介, 塩川 芳昭(分担執筆): 内頸動脈の画像診断とシミュレーション. 井川房夫、宮地 茂(編): 内頸動脈瘤 (ICA Aneurysm) のすべて 遠位部 (supraclinoid) —シミュレーションで経験する手術・IVR, メディカ出版, 大阪, 2015, pp5-9
2. 丸山 啓介, 塩川 芳昭(分担執筆): 側頭葉およびその近傍の腫瘍(中頭蓋窩も含む). 日本臨牀(別冊): 神経症候群(第 2 版) - その他の神経疾患を含めて -, 日本臨床社, 大阪, 2014, pp454-457
3. 丸山 啓介, 塩川芳昭(分担執筆): シミュレーションと手術の実際 末梢, その他. 井川房夫、宮地茂(編): 中大脳動脈瘤のすべて —シミュレーションで経験する手術・IVR, メディカ出版, 大阪, 2014, pp131-133
4. 丸山 啓介, 塩川芳昭(分担執筆): 脳の腫れ: 術中および術後の対応. 大畑建治(編): NS now No. 18 脳神経外科手術のトラブルシューティング, メジカルビュー社, 東京, 2012, pp 42-51

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸山 啓介 (MARUYAMA, Keisuke)
杏林大学・医学部・学内講師
研究者番号: 10345192

(2)研究分担者

(3)連携研究者

金 太一 (KIN, Taichi)
東京大学・医学部・助教
研究者番号: 90447392

鎌田 恭輔 (KAMADA, Kyosuke)
旭川医科大学・医学部・教授
研究者番号: 80372374

(4)研究協力者

橋本 直己 (HASHIMOTO, Naoki)
電気通信大学・情報理工学研究所・准教授
研究者番号: 70345354