

令和元年6月14日現在

機関番号：32610

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K10371

研究課題名(和文) 脳内構造を疑似透視するプロジェクションマッピングの脳手術への応用

研究課題名(英文) Application of projection mapping for brain surgery to visualize intracranial structures

研究代表者

丸山 啓介 (Maruyama, Keisuke)

杏林大学・医学部・講師

研究者番号：10345192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：脳神経外科手術前の画像を頭皮上に投影すべく、Kinect V2で頭部の形状を感知し作成した3次元画像を投影した。3Dプリンタで作成した実物大頭部3次元モデルを2体4側に、さらに特殊な工学的処理を施すことにより 2.2 ± 1.1 mmの精度を得た。頭髪や手術時の麻酔に使用する挿管チューブ等を装着した限定的な環境での投影で 1.94 ± 0.37 mmの精度を得た。頭髪の影響を排除すべく、患者頭部に設置した光学マーカーの位置をモーションキャプチャーカメラで捕らえることでスマートグラス上に描出する作業も行くと機械的誤差は 3.1 ± 1.9 mm、2例の臨床例でも 2.1 ± 1.1 mmの精度を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳神経外科手術前の画像をコンピュータディスプレイではなく直接的に頭皮上で可視化するプロジェクションマッピングの有用性と限界を明らかにした。また、副次的にスマートグラス(メガネ型ウェアラブル端末)への描出の方法論も見出すことができた。これら拡張現実の方法論が確立しその有用性が証明されれば多くの脳神経外科手術の安全性を高めることが期待される。

研究成果の概要(英文)：To directly visualize pre-neurosurgical images, 3D images are to be produced and projected onto patient heads with the aid of Kinect V2 sensor. Projection onto four sides of two 3D-printed full-sized phantom heads led to the accuracy of 2.2 ± 1.1 mm by applying some specific computational processes. Projection under limited environment with patient hair or intubation tube, which is used during intraoperative anesthesia, provided the accuracy of 1.94 ± 0.37 mm. To thoroughly exclude the effect of patient hair, 3D images were also visualized in the smart glasses. Information of patient head position using optical markers was acquired by motion capture cameras, and mechanical accuracy was 3.1 ± 1.9 mm. Application to two clinical cases disclosed the accuracy of 2.1 ± 1.1 mm.

研究分野：脳神経外科学

キーワード：プロジェクションマッピング 拡張現実 脳神経外科

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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、脳の白質線維の研究、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。

2011年になり、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.: J Hepatobiliary Pancreat Sci 18:506-509, 2011)。目標とすべき部位を体表に映し出すことで体内の構造があたかも「透けて」見えるようにすることで手術に役立てる手法である。上記報告は腹部消化器外科における応用で、以来、複数の医学領域にこの技術が徐々に応用され始めている。

脳神経外科領域においては脳の構造物のごく一部を手術用顕微鏡の中に投影する報告はあるが、頭皮上に直接投影する報告はない。augmented reality (拡張現実) を利用したプロジェクションマッピングと呼ばれるこの手法を、今回我々は脳手術に応用するシステムを開発することを着想した。

2. 研究の目的

画像をコンピュータディスプレイ上ではなく直接頭皮上に投影する「プロジェクションマッピング」の手法を用いて脳内部の構造を擬似的に透けて見えるような状態を作り出し、それを脳手術に応用することを目的とする。頭部の放射線画像を画像処理ソフトウェアで読み込み、皮膚と脳、脳血管、腫瘍などの構造物の画像を作成する。まず、それを3Dプリンタにて作成した三次元的なモデルに投影し、誤差の検証を行う。次いで脳の表面の血管や血管病変・腫瘍の進展範囲の把握に使用し、さらに深部の構造物の描出に用いる。迅速かつ直接的に目標とする構造物を把握し脳手術をより安全・確実なものにすることを目指す。

3. 研究の方法

< 第1段階：画像処理 >

MRI、CTのDICOM画像を画像処理ソフトウェアAmiraに取り込む。皮膚と脳、脳血管、腫瘍など目標となる構造物の3次元画像をあらかじめ作成する。この結果を電気通信大学に持ち込み、プロジェクションマッピング専用のソフトウェアに読み込む。Kinect v2をセンサーとし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う。ここまでは先行研究ですでに構築したもの(右図)を用いる。

< 第2段階：誤差の検証 >

投影画像を手術に持ち込むに当たっては誤差検証作業が不可欠である。このため、3Dプリンタにて頭皮および脳内の構造物を含む三次元的なモデルを実物大で作成し出力する。脳の表面および深部の複数の構造物について、投影したものと三次元的モデルでの位置関係を比較し、その投影誤差を測定する。どの程度が手術における許容範囲となるかを検討し、投影の誤差がその許容範囲内となるように調整を行う。



三次元的なモデルでの誤差測定は5体を目安に繰り返し施行し、再現性についても検証する。

<第3段階：臨床応用>

脳の表面の血管の描出するため、脳虚血に体する浅側頭動脈-中大脳動脈（STA-MCA）吻合術 10 例を目安としてこの手技を適応する。この手術は脳の表層に位置する中大脳動脈に血管吻合を行うもので、通常は開頭を行った後に吻合の標的とする血管を探索することになるが、これをあらかじめ頭皮上に投影することにより、より安全に、より精度の高い手術を行うことを目指す。頭皮上に投影した血管の位置と、開頭して血管が露出した状態での血管の位置を比較し、その誤差を測定する。脳の表層に存在する脳動静脈奇形などの血管病変や表層に存在する腫瘍についても 10 例を目安として描出を行う。脳の手術においては標的となる病変のみならず、周辺の脳の機能をいかに温存するかが非常に重要な問題であるため、投影を行うにあたっては、対象となる病変だけでなく、温存すべき周辺の脳や神経、血管等についても描出を行う。

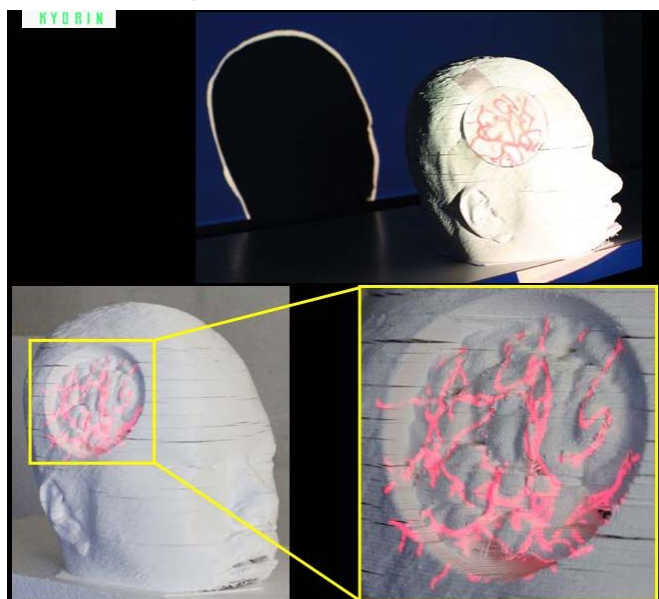
上記の投影の誤差が許容される範囲内であった場合、さらに深部の構造物の描出に用いる。特に開頭を行わずに盲目的に脳室を穿刺する手技は、従来よりその正確性に改善の余地のある手技である。このため、脳室穿刺を必要とする水頭症の患者 20 例を目安にこの技術を適応する。

4. 研究成果

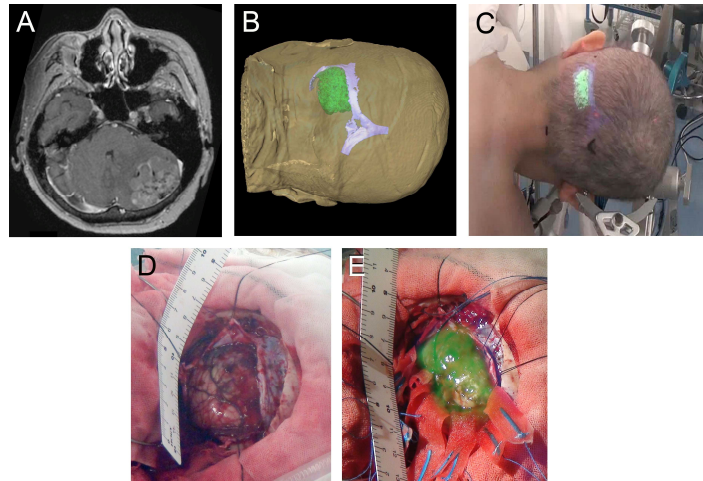
手術前にあらかじめ得られた画像をコンピュータディスプレイ上ではなく直接頭皮上に投影するプロジェクションマッピングを行うべく、まず第1段階として、画像処理および投影の環境を整えた。MRI、CTのDICOM画像を画像処理ソフトウェアAmiraに取り込んだ。皮膚と脳、脳血管、腫瘍など目標となる構造物の3次元画像をあらかじめ作成した。この結果を電気通信大学に持ち込み、プロジェクションマッピング専用のソフトウェアに読み込んだ。Kinect V2をセンサーとして頭皮及び顔面の形状を元に投影に際しての位置あわせ作業を行った。ここまでは先行研究ですでに構築したものをおおむね流用した。

第2段階として、投影画像を手術に持ち込むに当たって必要不可欠な、誤差検証作業を行った。3Dプリンタにて頭皮及び脳内の構造物を含有する3次元モデルを実物大で2体（4側）作成し出力した。脳の表面の構造物について、投影したものと3次元モデルでの位置関係を比較し、その投影誤差を測定した。精度を確保するための特殊な工学的な処理を施すことにより精度の向上に努め、最終的には投影誤差は、平均2.2mm、標準偏差が1.1mmと、手術に適応しうる精度を得ることができ（右図）かつこの精度には再現性についても確認された。また、この手法を脳手術に応用するための倫理委員会の申請を行い、審議を経た上で承認を得た。

その後、頭髪が存在する環境では投影の精度が低下することが判明したため、頭髪の影響を受けな



い、スマートグラス（メガネ型ウェアラブル端末）上に描出する作業に移行した。当初は術野から撮影した静止画に符合するコンピューターグラフィックスをスマートグラス上に描出した。モデルを使用した誤差測定の段階では投影誤差は $1.9\text{mm}\pm 1.1\text{mm}$ と許容範囲内であったが、臨床例へ適応したところ誤差が $3\sim 7\text{mm}$ 程度と、比較的大きく、臨床応用としては許容範囲にはないことが判明した。このため、既報告での手法を取り入れ、スマートグラスおよび患者頭部に光学マーカーを設置して、これらの位置をモーションキャプチャカメラで捕らえ、頭部に対するスマートグラスの相対的な位置に符合するコンピューターグラフィックスをリアルタイムに表示した。模型を使った機械的誤差は $3.1\pm 1.9\text{mm}$ と許容範囲であり、2例の臨床例でも投影の誤差は $2.1\pm 1.1\text{mm}$ であった（右図）。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 24 件)

1. Maruyama K, Watanabe E, Kin T, Saito K, Kumakiri A, Noguchi A, Nagane M, Shiokawa Y: Smart glasses for neurosurgical navigation by augmented reality. Oper Neurosurg 15: 551-556, 2018, 査読有
2. Iijima S, Chiba T, Maruyama K, Saito K, Kobayashi K, Yamagishi Y, Shibahara J, Takayama N, Shiokawa Y, Nagane M: Hepatosplenic gamma-delta T-cell lymphoma involving the brain: a case report. World Neurosurg 118: 139-142, 2018, 査読有
3. Abe Y*, Maruyama K*, Yokoya S, Noguchi A, Sato E, Nagane M, Shiokawa Y: Outcomes of chronic subdural hematoma with preexisting comorbidities causing disturbed consciousness. J Neurosurg 126:1042-1046, 2017 (*: equal contribution), 査読有
4. Yoshida H, Higashihara E, Maruyama K, Nutahara K, Nitatori T, Miyazaki I, Shiokawa Y: Relationship between intracranial aneurysms and the severity of autosomal dominant polycystic kidney disease. Acta Neurochir (Wien) 159: 2325-2330, 2017, 査読有
5. Yamagishi Y, Maruyama K, Kobayashi K, Kume S, Sasaki N, Yokoya S, Saito K, Shiokawa Y, Nagane M: Black hairy tongue after chemotherapy for malignant brain tumors. Acta Neurochir (Wien) 159: 169-172, 2017, 査読有
6. 丸山 啓介: 3D プリンタで出力するデータを作ろう, 日常診療に役立つ IT. 脳神経外科速報 27 (11): 1177-1181, 2017, 査読無
7. 丸山 啓介: iPad による手術シミュレーション, 日常診療に役立つ IT. 脳神経外科速報 27 (9): 945-948, 2017, 査読無
8. 丸山 啓介: 術前 3 次元シミュレーション画像を作ろう, 日常診療に役立つ IT. 脳神経外科速報 27 (7): 755-758, 2017, 査読無
9. 丸山 啓介: DICOM ファイルを操作しよう, 日常診療に役立つ IT. 脳神経外科速報 27 (5): 515-519, 2017, 査読無

10. Honda Y, Noguchi A, Maruyama K, Tamura A, Saito I, Sei K, Soga T, Ushiba K, Sakurai T, Shiokawa Y: Volumetric analyses of cerebral white matter hyperintensity lesions on magnetic resonance imaging in a Japanese population undergoing medical check-up. *Geriatr Gerontol Int* 15 (suppl. 1): 43-47, 2015, 査読有

〔学会発表〕(計 13 件)

1. 丸山 啓介、(以下 6 名略): 術前シミュレーションと多様なツールへの出力: 手術支援への有用性. 第 77 回日本脳神経外科学会総会, 2018
2. 丸山 啓介、(以下 8 名略): 拡張現実を応用したスマートグラスによる手術ナビゲーション. 第 27 回脳神経外科手術と機器学会 (CNTT), 2018
3. 丸山 啓介、(以下 5 名略): Augmented reality を応用したスマートグラスによる手術ナビゲーション. 第 47 回日本脳卒中の外科学会, 2018
4. 丸山 啓介、(以下 8 名略): Augmented reality を応用したスマートグラスによる手術ナビゲーション. 第 76 回日本脳神経外科学会総会, 2017
5. Maruyama K, Watanabe E, Saito K, Sato K, Yoshida H, Kume S, Noguchi A, Shiokawa Y, Nagane M: Novel augmented reality-based neuronavigation using smart glasses and clinical application to brain tumor surgery. 5th Quadrennial Meeting of the World Federation of Neuro-Oncology Societies, 2017
6. 丸山 啓介、(以下 4 名略): スマートグラスによる新規脳手術ナビゲーションと脳卒中の外科への応用. 第 46 回日本脳卒中の外科学会, 2017
7. 丸山 啓介、松本 淑恵、鳥居 正剛、青木 耀平、橋本 直己、野口 明男、塩川 芳昭: プロジェクションマッピングによる STA-MCA 吻合術における recipient artery 決定の試み. 第 75 回日本脳神経外科学会総会, 2016
8. 松本 淑恵、丸山 啓介、鳥居 正剛、青木 耀平、橋本 直己、野口 明男、塩川 芳昭: プロジェクションマッピングによる STA-MCA 吻合術における吻合血管の決定の試み. 第 16 回日本術中画像情報学会, 2016
9. 丸山 啓介、鳥居 正剛、青木 耀平、橋本 直己、塩川 芳昭: プロジェクションマッピングによる STA-MCA 吻合術における吻合血管の決定の試み. 第 45 回日本脳卒中の外科学会, 2016

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 橋本 直己

ローマ字氏名: Naoki Hashimoto

所属研究機関名: 電気通信大学

部局名: 大学院情報理工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 70345354

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。