

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K19951

研究課題名(和文) 知的視覚化コンピュータグラフィックスによる手術シミュレーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of virtual reality surgical simulation system using smart visualization computer graphics

研究代表者

金 太一 (Kin, Taichi)

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：90447392

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：全体として当初の予定通り達成した。画像処理におけるレジストレーションとセグメンテーション法に関して精度を保ったまま半自動化を達成した。医用画像と微小解剖情報に関して、薄板スプライン法での融合や、脳幹モデルを用いたレジストレーション法はいずれも十分な精度を達成した。62症例の手術症例(脳幹部海綿状血管腫、血管芽細胞腫、グリオーマ、脳動静脈奇形)に対して手術シミュレーションとしての有用性や精度を検証し、それぞれ定量的な有意差をもって提案技術の有用性が示された。開発ソフトウェアのユーザビリティに関して評価し、その結果をフィードバックさせてソフトウェアをブラッシュアップした。

研究成果の概要(英文)：We achieved as planned. Semi-automation was achieved while maintaining accuracy with respect to registration and segmentation method in medical image processing. Regarding medical images and micro anatomical information, fusion of thin plate spline method and registration method using brainstem model all achieved sufficient accuracy. We verified the clinically usefulness and precision as surgical simulation for 62 cases (brain stem cavernous malformation, hemangioblastoma, glioma, cerebral arteriovenous malformation) with the proposed technique. I evaluated the usability of the development software, and fed back the results to brush up it.

研究分野：脳神経外科

キーワード：医用画像 手術シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

外科手術検討に必要な視覚的情報として、患者自身から得られる生体仮想情報である医用画像、参考書などから得られる解剖情報を中心とした知識、現実空間である手術野、の3つがあげられる。これら3つの情報は手術検討や手術を安全にすすめる上で最も重要で欠かすことのできないものである。手術検討ではこれらを綿密に比較検証する必要があるが、それぞれが可視情報として独立しているため、医師はこれらの情報を頭の中で融合して比較して手術検討を行わなければならない。すなわち、このプロセスは現状では、医師の知識や思考上でのみ比較・検証されているといえる。よって、現状の手術検討では客観的精度や再現性に乏しく、他者への情報共有も困難であることから、教育的観点からも課題となっている。本研究ではこれらの情報を融合し、相互対話が可能となる手術シミュレーションシステムを開発・臨床応用することによって、医師の思考や知識を視覚化(知的可視化)することを目指す。

2. 研究の目的

医師の知識や思考の可視化を目指すべく、医用画像情報、参考書、現実空間を融合させたコンピュータグラフィックス(CG)構築方法を開発し、その臨床的有用性を評価する。開発にあたっては直感的、容易であり、かつ誰もが正確な操作がおこなえるようなユーザインターフェースを備えるものとする。

本研究の学術的な特色・独創的な点、および予想される結果と意義は下記の1)-6)となる。1)視覚情報において、医師の知識や思考を可視化する研究は、渉猟した限りは皆無である。2)医用画像情報と教科書情報を融合させた報告は、渉猟した限りは皆無である。3)CGなどの仮想情報を現実空間

へ投影する技術(拡張現実)の報告は多くあるが、本研究はその逆で、現実空間情報を仮想空間へ投射するものである。本研究責任者のこれまでの研究で、従来の拡張現実法による手術シミュレーションは臨床的に有用性が高くないとされている。4)本法は医用画像、参考書、手術所見の情報を相補的に補完し、相互対話的にシミュレーション可能となるので、従来の画像診断に比べ、診断率や手術シミュレーションの精度向上をもたらす、安全で確実な手術加療遂行をサポートすることが可能となり得る。5)本システムによって、これまで医師の頭の中でしかおこなうことができなかった思考を可視化することが可能になり、これまで不可能であった詳細な手術検討方法が明確に可視化されるので、教育的効果は飛躍的に高まると考えられる。6)グラフィカルユーザインターフェースを重視した画像ビューワに、高度先進的医療機器が経験の浅い医師や研修医でも十分に容易かつ的確に扱うことが可能となる。

3. 研究の方法

本研究プロジェクトは下記1)-5)を平行して進める。1) 医用CG構築の自動化、2) 微小解剖計算ポリゴンモデルの作成、3) 医用CGと微小解剖計算ポリゴンモデル融合方法の開発、4) 本研究システムのソフトウェアの開発、5) 本システムの臨床評価・ユーザビリティ評価。

【平成27年度】

(1) 医用CG構築の自動化

本研究責任者が既に考案した医用CG作成方法は、症例によっては構築に数時間を要することが課題である。よって、これの自動アルゴリズムを開発し、ソフトウェアに実装させる。本医用CGでは、特に以下の2つの画像処理過程に時間を要する。すなわち、本研究責任者が考案した、multi-modal

individualizing tissue threshold 法 (サーフェスレンダリングにおいて1種類の画像データを複数の領域に分割してそれぞれに最適な閾値を設定する方法) と、正規化相互情報量法の初期値設定方法 (同系統の医用画像同士からレジストレーションし、1つの医用画像を複数の領域に分割することによって、他種類の医用画像を高精度でレジストレーションできる方法) の2つである。本研究責任者がこれまで作成した600症例の医用CG構築手法を帰納的に解析し、その手法を自動化する。これら2つの画像処理を自動化することによって、融合3次元画像構築時間の短縮を目指す。プログラミング及びソフトウェアへの実装は本研究責任者が行う。

(2) 微小解剖計算ポリゴンモデルの作成
本研究の知識の視覚化には微小解剖計算モデルが必要であり、このポリゴンモデルを作成する。現在市販されている脳計算解剖ポリゴンモデルは、微小解剖構造が重要な脳神経外科領域では臨床的に使用できるレベルには達していない。一方でプリミティブポリゴンから微小解剖計算モデルを作成することは多大な時間を要する。よって本研究では市販脳計算解剖モデルから、脳神経外科手術検討に必要なレベルの微小解剖計算ポリゴンモデルを作成する。作成にはモデリングソフト (Modo[®]、Mama[®]、ZBrush[®]) を用いる。モデリングは本研究責任者がおこなう。

(3) 医用 CG と微小解剖計算ポリゴンモデル融合方法の開発

2次元微小解剖計算モデルと医用CGとの融合

2次元微小解剖計算モデルと医用CGとのレジストレーションにはランドマークを用いた薄板スプライン法を用いる。2次元微小解剖計算モデルは参考書等からJPEGフォーマットで抽出する。ランドマークには

特徴的な解剖点を用いる。

3次元微小解剖計算ポリゴンモデルと医用CGとの融合

医用CGと微小解剖計算ポリゴンモデルとの融合方法を開発し、ソフトウェアに実装する。異なる複数の解剖組織の座標系を一致 (レジストレーション) させる必要があるが、ベースモデルとして脳幹ポリゴンモデルを使用する。その理由は、脳を中心に存在する脳幹は何かしらの医用画像に描出されているので、ほぼ全ての症例でベースモデルとして使用できることが見込まれるからである。医用CGと微小解剖計算ポリゴンモデルそれぞれの脳幹モデルをiterative closest point法でレジストレーションする。次いで、その位置姿勢変化量を基準に他の解剖モデルをレジストレーションする。

(4) 本研究システムのソフトウェアの開発
上記1～3を実装させたソフトウェアを開発する。ソフトウェアの根幹部分は既に本研究責任者が開発済みである。本ソフトはグラフィカルユーザーインターフェース経験の浅い医師や研修医でも十分に容易かつ的確に扱うことが可能となる。ソフト開発エンジンにはUnity Pro 4[®]を用いて、本研究責任者が作成する。本ソフトはマルチプラットフォームに対応させる。

(5) 直感的に的確に操作できるユーザーインターフェース

本研究における画像処理ソフトウェアの使用方法において、取扱い説明書を読まなくても操作できるようなユーザーインターフェースにする。具体的には組織毎に透明化ボタンをビューワ下端に設置し、その他にはデータロード、スナップショット、取扱い説明、機能設定ボタンのみとする。

【平成28年度】

(1) 臨床的有用性の評価

完成させたシステムを臨床応用する。東京

大学医学部付属病院脳神経外科における手術症例を対象とする。従来の手術と比較し、手術シミュレーションとしての優位性や精度を検証する。対象疾患と評価項目は、脳幹部海綿状血管腫手術における脳神経線維及び脳神経核の局在、血管芽細胞腫手術における流入動脈と流出静脈の同定、頭蓋底髄膜腫手術における脳神経の同定とその走行、グリオーマ手術における言語野（脳表電気刺激と diffusion tensor tractography および機能 MRI との比較）、脳動静脈奇形手術における流入動脈と流出静脈の同定とする。症例数は上記疾患をそれぞれ 10 例とし、計 50 症例とする。

(2) ユーザビリティ評価

東京大学医学部付属病院脳神経外科の臨床医 15 人を対象に本システムのユーザビリティを評価する。対象群を医師経験年数に分け、本システムソフトウェアのビューワ機能に関して、取扱い説明を受けずに、操作方法を習得するまでの時間を評価する。コントロール群には同施設で日常的に使用されている画像処理ソフトウェア Amira® とする。また、自由アンケート形式で本システムのユーザビリティを評価してもらい、システムのブラッシュアップにフィードバックする。

4. 研究成果

全体として当初の予定通り達成した。

平成 27 年度は下記を達成した。成果発表は学会発表 6 回、論文 2 編（いずれも英文、査読あり）、著書 2 編であった。

(1) 医用 CG 構築

の自動化：本研究責任者がこれまでに作成した 600 症例の医用 CG 構築手法を帰納的に解析し、画像処理におけるレジストレーションと multi-threshold 法に関して半自動化を達成した。レジストレーションの自動化に関しては従来 1 時間を要していたもの

が約 1/5 程度に短縮された。multi-threshold 法に関しては約 1/2 程度の時間短縮と作業量の減少が見込めた。またセグメンテーションの精度が向上した。これらは東京大学医学部付属病院の症例で引き続き活用されている。

(2) 微小解剖計算ポリゴンモデルの作成：プリミティブポリゴンから大脳、脳室、脳動脈、線条体などの微小計算ポリゴンモデルを作成した。これにより今まで存在しなかった微小解剖レベルの教科書的な 3 次元 CG を扱えるようになった。

(3) 医用コンピュータグラフィックスと微小解剖計算ポリゴンモデル融合方法の開発：医用 CG と紙媒体の 2 次元微小解剖情報とをランドマークを用いた薄板スプライン法によって融合させることに成功した。臨床 20 症例に応用し、その誤差は $0.64 \pm 0.88\text{mm}$ （平均 \pm 標準誤差）であり、臨床医療で使用するに十分な精度を達成できた。また脳幹モデルをベースとして用いたレジストレーションの位置姿勢変化量を基準に他の解剖ポリゴンモデルをレジストレーションし、臨床で使用するに十分な精度を達成した。

(4) 本研究システムのソフトウェア開発：開発エンジン Unity Pro4 を用いて、上記 (1)-(3) の機能を実装したソフトウェアを開発した。

平成 28 年度の目標は、臨床的有用性の評価およびユーザビリティ評価であったが、概ね予定通り達成した。具体的には 62 症例の手術症例に対して手術シミュレーションとしての有用性や精度を検証した。評価項目は予定通り、脳幹部海綿状血管腫における白質線維および脳神経核の同定、血管芽細胞腫における流入動脈と流出静脈の同定、グリオーマ手術における言語野同定、脳動静脈奇形における流入動脈と流出静脈の同定とし、それぞれ定量的な有意差をもって、

提案技術の有用性が示された。また開発ソフトウェアのユーザビリティに関して評価し、その結果をフィードバックさせてソフトウェアを開発した。開発ソフトウェアは下記著書の付録として公開した。国際学会発表1回、国内招待講演2回、論文3編(英文2編、和文1編、いずれも査読有り)、著書3編であった。

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 4件)

1. Yoshino M, Nakatomi H, Kin T, Saito T, Shono N, Nomura S, Nakagawa D, Takayanagi S, Imai H, Oyama H, Saito N. Usefulness of high-resolution 3D multifusion medical imaging for preoperative planning in patients with posterior fossa hemangioblastoma: technical note. *J Neurosurg*. In press. doi: 10.3171/2016.5.JNS152646.
2. 金 太一, 中富 浩文, 斎藤 季, 吉野 正紀, 庄島 正明, 中川 大地, 辛 正廣, 小山 博史, 斉藤 延人. 手術シミュレーションのインパクト. *脳神経外科ジャーナル*. 25(8): 622-630, 2016.
3. Yoshino M, Kin T, Ito A, Saito T, Nakagawa D, Ino K, Kamada K, Mori H, Kunimatsu A, Nakatomi H, Oyama H, Saito N. Feasibility of diffusion tensor tractography for preoperative prediction of the location of the facial and vestibulocochlear nerves in relation to vestibular schwannoma. *Acta Neurochir (Wien)*. 157(6): 939-46. 2015. doi: 10.1007/s00701-015-2411-y
4. Yoshino M, Saito T, Kin T, Nakagawa D, Nakatomi H, Oyama H, Saito N. A Microscopic Optically Tracking Navigation System That Uses High-resolution 3D Computer Graphics. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 55(8): 674-9. 2015. doi: 10.2176/nmc.tn.2014-0278

[学会発表](計 9件)

1. 金太一, 中富浩文、庄野直之、野村征司、斎藤季、小山博史、斉藤延人. コンピュータグラフィックスを用いた手術シミュレーション. 日本脳神経外科学会第75回学術総会. 招待講演. 2016年10月1日. 福岡国際会議場(福岡県・福岡市)
2. 金太一、野村征司、庄野直之、斎藤季、庄島正明、辛正廣、中富浩文、小山博史、斉藤延人. 脳腫瘍手術における術前血管画像. 第36回日本脳神経外科コンgres総会. 招待講演. 2016年5月21日. 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)
3. Nakagawa D, Kin T, Shojima M, Nomura S, Shono N, Saito T, Oyama H, Saito N. Surgical simulation of aneurysm clipping with multimodal fusion 3-dimensional computer graphics. 5th Mt. Bandai & Pan-Pacific Joint Neurosurgical Convention. 2016年4月9日. Phnom Penh, Cambodia
4. 金太一、中富浩文、庄野直之、野村征司、中川大地、斎藤季、庄島正明、小山博史、斉藤延人. 術前シミュレーションの進歩. 招待講演. 第25回脳神経外科手術と機器学会. 2016年3月24-26日. 新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市)
5. 金太一、中富浩文、庄野直之、野村征司、斎藤季、小山博史、斉藤延人. 融合3次元画像を用いた手術シミュレーションの限界に関する考察. 第39回日本脳神経CI学会. 2016年1月30-31日. 日経ホール(東京都・千代田区)
6. 金太一、辛正廣、斎藤季、小山博史、斉

藤延人．コンピュータグラフィックスを用いた知的可視化を目指した頭蓋底内視鏡手術シミュレーション．第22回日本神経内視鏡学会．2015年11月5-6日．ホテル松島大観荘（宮城県・松島市）

7. 金太一、中富浩文、吉野正紀、野村征司、庄野直之、中川大地、斎藤季、庄島正明、今井英明、武笠晃丈、辛正廣、小山博史、斉藤延人．コンピュータ手術シミュレーションの進歩．日本脳神経外科学会第74回学術総会 招待講演 2015年10月13-15日．ロイトン札幌（北海道・札幌市）
8. 野村征司、金太一、斎藤季、庄野直之、中川大地、庄島正明、中富浩文、小山博史、斉藤延人．PC-MRAを用いた脳動静脈奇形の塞栓術後出血リスクの評価．日本脳神経外科学会第74回学術総会．2015年10月13-15日．ロイトン札幌（北海道・札幌市）
9. 金太一、武笠晃丈、田中將太、吉野正紀、中川大地、野村征司、庄野直之、斎藤季、小山博史、斉藤延人．拡張現実法を用いた覚醒下手術時の言語野同定における機能画像と脳表マッピングの検証．第17回日本ヒト脳機能マッピング学会．2015年7月2-3日．毎日新聞オーバルホール（大阪府・大阪市）

〔図書〕（計 3件）

1. 金太一．前大脳動脈瘤・椎骨脳底動脈瘤のすべて．メディカ出版．pp8-14．2016年．
2. 金太一．内頸動脈瘤（ICA Aneurysm）のすべて．メディカ出版．pp12-18．2015年．
3. 金太一．新NS NOW4 脳・脊髄腫瘍摘出のための引き出し．メジカルビュー社．2015年

〔産業財産権〕

出願状況（計 0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

金 太一（Kin, Taichi）
東京大学・医学部付属病院・助教
研究者番号：90447392

(2)研究分担者

（ ）

研究者番号：

(3)連携研究者

（ ）

研究者番号：

(4)研究協力者

（ ）