

審査の結果の要旨

氏名 庄野 直之

本研究は、破裂するとくも膜下出血をきたす脳動脈瘤をクリップで挟むことによって閉塞する手術である脳動脈瘤クリッピング術の、仮想現実手術シミュレータを開発する探索的研究である。また、その過程で必要となった医用融合三次元画像作成の効率化のための開発内容の検証も内含している。

以下のような開発成果と開発システムの検証結果を得た。

1. **MTIID (Multitissue Integrated Interactive Deformation)**という変形手法を開発し、組織ごとに独立して変形挙動を設定できる球体の集合による単純化された変形と、その制限として「仮想くも膜」などによる修正可能な接着（接続）を組み合わせた。また、医用画像にない情報として、手術器械などの寸法が正確なコンピュータグラフィックスモデルを作成した。
2. インターフェイスとしては、実際の手術に近づくことを目的とし、赤外線センサである **Leap Motion®**(Leap Motion, 米国)と顕微鏡に類似した手法で立体視可能なステレオスコープを活用した。**Leap Motion**によって手や道具の動きをシミュレータに入力した。ステレオスコープには、コンピュータで処理をしたサイドバイサイド方式の画像を表示するスマートフォンを組み込むことによって、立体視を実装した。
3. 前2者の開発要素と当施設で行っている医用融合三次元画像作成手法を元に、脳・動脈瘤のリアルタイム変形機能とクリップなどの手術器具を導入して、手術環境により近いインターフェイスによる手術シミュレーションシステムを開発した。なお、医用融合三次元画像については画像処理ソフトウェア **Avizo®**(Thermo Fisher Scientific, 米国)で行い、シミュレータの作成には画像処理ソフトウェア **Maya®**(Autodesk, 米国)と統合開発環境 **Unity®**(Unity Technologies, 米国)を使用した。ユーザーテストとして、未破裂脳動脈瘤連続8症例で術前に提案システムでシミュレーションしてもらった。また術前・術後に質問紙で調査を行い、その結果からクリップ選択やアプローチ選択をはじめとした手術支援に有用であることが示唆された。
4. 当大学情報理工学系研究科と共同研究により画像から組織や臓器を抽出する **segmentation** 技術に関して、当施設で使用されている **multi-threshold** 法を拡張した「**Threshold Field Painting**」という手法と、それを実現するプロトタイプソフトウェアである「**Volume Paint**」を開発した。ユーザーテストとして、従来手法の **expert** 3名に10症例の **MRI TOF** 画像からの異常血管抽出を提案手法と従来手法でランダムな順序で

行ってもらい、提案手法で工程の作業時間を有意に削減することが示された。また良好なユーザビリティも示唆された。異常血管での **segmentation** の高速化が可能と考えられた。

以上本論文による開発成果により、脳動脈瘤クリッピング手術のアプローチやクリップ選定が容易になり、動脈瘤にも応用可能な異常血管 **segmentation** の効率化が得られる可能性が示唆された。患者固有のリアルタイム脳変形やくも膜を動員した仮想現実手術シミュレータは渉猟した限り存在せず、新規性を有するシステムと考えられ、学位の授与に値するものと考えられる。