

## 論文の内容の要旨

# 論文題目 仮想現実技術を用いても膜剥離による脳変形とクリップ選定を可能にした脳動脈瘤クリッピング手術シミュレータの開発

氏名 庄野 直之

脳動脈瘤に対するクリッピング手術は、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が、難易度と合併症リスクが高いにも関わらず全ての脳神経外科医が直面しうる手術である。加えて、代替療法である脳動脈瘤コイル塞栓術がデバイスの発展とともに隆盛してきている。だが現時点では、クリッピングでしか治療できない脳動脈瘤があるのも事実である。

我々はこの手術を支援するために術前に使用可能で、脳や動脈瘤のリアルタイム変形機能とクリップ選択機能を実装した仮想現実手術シミュレータを開発した。また、そのために必要な医用画像処理の効率化技術を開発した。後者については、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」というシステムを開発した。前者については、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。具体的には、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。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。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。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。

それぞれ開発したシステムの評価のため、ユーザーテストを行った。後者の画像処理効率化については、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。前者の脳動脈瘤ク

リッピング手術シミュレータについては、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。患者固有のリアルタイム脳変形を有するシステム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た。