

審査の結果の要旨

氏名 小林 匡治

本論文は、「血管形状の3次元形状モデリングとパラメータ化に関する研究」と題し、全5章から構成される。

循環器疾患は我が国の死因において、悪性新生物（がん）につぐ重篤な疾患である。循環器疾患の主要因となる動脈瘤や動脈狭窄症は、特異な血管形状に発症することが知られている。本研究は、循環器系疾患における腹部大動脈瘤および脳動脈瘤と血管形状との関連性を探るために、医用画像からの血管3次元形状モデリングシステムの開発とともに、血管中心線と血管内腔曲面を用いて、3次元血管形状を定量化する手法を開発することを目的とする。

第1章の「序論」では、研究背景として、2つの循環器系疾患に焦点を当てている。1つ目は、腹部大動脈瘤に対する血管内治療の中長期成績に関わる問題点として、有害事象とステントグラフト形状の関連性を述べた。もう1つは脳動脈瘤であり、ウィリス動脈輪における動脈瘤好発部位や動脈瘤破裂に関わる形状要因について述べている。血管形状と血流は血管疾患の有害事象と関連性があるが、計算科学における先行研究では、その関連性は2次元血管形状に留まっている。3次元血管形状と血流との関連性を解明するためには、医用画像が持つノイズに対して、血管中心線の曲率・振れ率と血管内腔曲面の Gaussian 曲率を精度高く計測する手法が課題となることを述べている。

第2章は、「血管の3次元形状モデリングシステムの開発」と題され、モデリングシステムの4つの機能、セグメンテーション処理、中心線抽出、血管内腔曲面の再構築、形状パラメータ計測の観点で、既存システムとの差異を述べた。本システムの特徴は2つあり、血管中心線と血管内腔曲面の定量化と、血流シミュレーションのための3次元血管形状モデリングである。

第3章は、「血管中心線の曲率・振れ率の解析及び定量化」と題され、血管中心線に対して曲率・振れ率の定量化を行うスプラインフィッティング手法の提案と検証および医用画像への適用を行う。本スプラインフィッティング手法は、5次のスプライン基底関数次数、3次・4次のペナルティ項の微分次数、AICを用いたペナルティ項の係数決め、AICの σ 設定から構成される。医用画像の持つノイズとして、医用画像の標本化、血管セグメンテーション凹凸に起因する中

心線ノイズの2種類に着目して検証を行った。検証によって、本手法は曲率・捩れ率の誤差を最小化することを示した。検証結果を踏まえ、腹部大動脈瘤に留置されたステントグラフトと、動脈瘤が生じている内頸動脈サイフォン部の2種類の症例に対して本手法の適用を行った。1つ目は、ステントグラフトがずりあがることで術後10か月に腸骨動脈から抜けた症例について、医用画像から血管中心線抽出を行い、曲率・捩れ率に対する考察を行った。2つ目は、内頸動脈サイフォン部の曲率・捩れ率と動脈瘤発生位置の関係について述べた。特に捩れ率の反転の議論は既存研究にない知見を与える。

第4章は「血管内腔曲面の形状パラメータ化とその応用」と題し、血管内腔曲面に対して **Gaussian** 曲率の定量化を行う手法の提案と医用画像への適用を行う。本手法は、任意トポロジ対応の3角形型スプライン関数化を利用した血管内腔曲面3角形パッチの頂点における **Gaussian** 曲率の計算手法、血管中心線と血管内腔曲面の連結手法、連結手法を利用した曲面の平滑化手法から構成される。連結手法を用いた曲面の平滑化手法は、**Laplacian** 平滑化で生じる **shrink** 問題を回避することを定量的に示しただけでなく、**Gaussian** 曲率を参照ながら平滑化の度合いを決めることが可能であることを述べた。

第5章は「結論」であり、本研究により得られた成果・知見とその一般性について述べ、今後検討すべき課題をまとめている。

以上より、本論文において示した、医用画像の持つノイズに対して血管中心線の曲率・捩れ率と血管内腔曲面の **Gaussian** 曲率を精度高く計算する手法や、血管中心線と血管内腔曲面の連結手法は、新たな医学的知見を提供するだけでなく、機械学習への応用と **Computer Assisted Surgery** への展開を考慮しており、既存の3次元形状モデリングシステムの枠組みを超えた研究となっている。

よって本論文は博士(学際情報学)の学位請求論文として合格と認められる。