

審査の結果の要旨

氏名 薬 寛

本論文は口腔がんの化学療法治療のひとつである超選択的動注法を支援するための画像誘導カテーテル治療支援に関する研究を取り扱っている。超選択的動注法は口腔がん組織の栄養動脈に対し、カテーテルを浅側頭動脈・後頭動脈から挿入し留置することで、抗がん剤の選択的投与を一定期間にわたり連続して行うことを可能とする治療法であり、高い臨床的有効性を示す。しかしカテーテル操作には熟練を要し、放射線造影下での長時間の操作が求められることから、術前・術中画像を用いたカテーテルナビゲーション手法の開発が期待されている。本論文は術中に3次元超音波画像計測可能な血管部位の形状計測結果と、カテーテルに装着した電磁気式位置トラッキングシステムにより得られるカテーテル先端軌跡により、術前に撮影した精細なX線CT画像から作成された血管モデルを変形することで、カテーテル治療中の血管位置を同定し、術中超音波では観察できない顎動脈・顔面動脈・舌動脈等の分岐部位置を推定し、カテーテル操作を誘導するカテーテルナビゲーションシステム実現に必要な基盤技術開発を行っている。

第1章では口腔がんの超選択的動注法を用いた化学療法の概要と、3次元超音波再構成技術の概要を示し、第2章で本研究の目的を述べている。第3章では超選択的動注法に対するカテーテルナビゲーション実現のための課題と具体的なナビゲーション手法を提案している。第3章では血管の3次元再構築のために必要となる2次元超音波画像診断装置プローブの電磁気式位置トラッキングシステムによる3次元超音波画像計測システムの実装に必要な、超音波断層像と3次元位置計測装置手法の相対関係を校正のための新しい手法を提案している。具体的には電磁気式位置トラッキングシステムのポインタのみを用い、特定の校正用ファントムを用いることなく超音波画像座標と、電磁気式位置トラッキング座標系の対応を示すデータ列を収集し、RANSACアルゴリズムを適用して、その変換行列を算出する手法を提案・実装した。従来報告されていた幾何学的形状が既知のファントムを用いる校正方法より有意に短い時間(約10分程度)で、従来報告されていた制度と同程度のRMS誤差で1.2mm

の校正ができることを実験により示した。またこの手法で構成したフリーハンド超音波画像計測システムを用い、精度 2.1mm でカテーテルナビゲーションが可能であることを示している。第4章では第3章で開発したフリーハンド3次元超音波システムを用いて表在血管像を3次元再構築する方法として、血管の超音波ドップラ画像の特徴量と形状に関する拘束を考慮することで、ノイズやアーティファクトを多く含む血管超音波画像から、血管分岐部も含めて安定してセグメンテーションする手法、ならびに血管に挿入したカテーテルの先端軌跡から血管の中心線軌跡を推定する手法を提案している。ファントム実験ならびに動物実験により、安定して血管セグメンテーションが可能であり、血管がカテーテル挿入により変形したとしてもある程度その変形を補正して血管再構築が可能であることを示している。第6章では第3-5章で開発した技術を総合して、超選択的動注法支援のためのナビゲーションシステムを試作し、血管分岐部を持つ樹脂製血管ファントムモデルを用いて、超選択的動注法でのカテーテル操作を模擬した実験を行っている。具体的には術前CT画像計測に相当する設計データ、血管像のフリーハンド3次元再構築、カテーテル挿入操作とカテーテル先端軌跡の計測、フリーハンド3次元再構築血管3次元モデルとカテーテル先端軌跡の計測結果をもとに、術前CT画像に相当する設計データを変形し、カテーテル挿入時の血管分岐部位置の推定を行う実験を実施している。その結果カテーテル操作や、体位変換による周囲組織の変形を模擬した血管位置の変位があったとしても、血管分岐部を3mm程度の誤差で推定できる可能性を示唆するデータを得た。第7章では本研究全体に対する考察と、臨床応用可能なシステム開発のために残された課題を議論し、第8章で結論を述べている。

以上の研究成果は、臨床的効果が優れていることが示されている口腔がんの化学療法治療のひとつである超選択的動注法を、より簡便に実施可能とする画像誘導ナビゲーションの実現に向けて、その基礎となる複数の手法を提案している。ファントム実験により人体に対する影響が少ない術中超音波画像計測と、カテーテルに集積可能な電磁気式位置トラッキングシステムを用いて、術中放射線被曝量を抑制しつつ、患者の体位姿勢変化やカテーテル操作による血管変形が存在したとしても安定して目的の血管分岐部近傍までカテーテルを誘導できる可能性を示しており、臨床的に有用なシステム実現への基礎的な知見を与えている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。