

審査の結果の要旨

氏名 胡 衍

本論文は「低侵襲光線力学的診断・治療法のための軟性同軸レーザー誘導照射内視鏡」と題し、7章から構成される。

現在手術における局部腫瘍診断は、MR画像や病理組織学に基づく診断結果等の非実時間データに基づいて腫瘍の位置を判別するため、術中の真の腫瘍位置と現実の位置の齟齬が生じる可能性がある。手術中局部腫瘍診断としての光線力学的診断はこのような誤診の可能性を下げる方法である。現在の光線力学的治療用の内視鏡はレーザーと同軸ではなく、レーザーを照射する範囲をコントロールできず、周辺正常組織や血管を傷つけることがある。そこで本研究では、低侵襲的に患部へ到達し患部を観察する光線力学的診断(PDD)、および、光線力学的治療(PDT)用レーザー照射による治療を同時に可能とする、新しい診断・治療デバイスを提案・開発することを目的としている。具体的には、細径軟性内視鏡の光ファイバ束にPDT用レーザーを誘導し、任意画像における位置にレーザーをポジショニングすることで選択的に患部対象を照射するデバイスを試作した。これにより、正常組織・血管への侵襲を抑えた治療が可能となる。

第1章では、本論文の背景として、腫瘍診断・治療の現状および低侵襲手術の必要性について述べ、光線力学的診断と治療の原理や現在の内視鏡技術の問題点を述べている。また、低侵襲術中治療で、診断・レーザー照射範囲をコントロールできるデバイスについて議論している。

第2章では、本研究で提案する診断・治療のための軟性同軸レーザー誘導照射内視鏡システムの提案を行い、本研究の位置づけおよびシステム設計のスペックを詳述している。まずレーザー内視鏡の要求仕様を検討し、観察とレーザー伝達の観点から内視鏡の光学系を設計している。観察用光学系の、対物レンズ系、ファイババンドル、接眼レンズ系の仕様を述べている。レーザー光学系としては、レーザー光の伝達効率、レーザースポット径、ビーム変更角度について検討し、また、腫瘍診断のための光と、治療用のレーザーの反射光とを遮断することで、照射目標を同一内視鏡で観察可能とするシステムについて述べている。

第3章では、前章で検討した結果に基づいて、内視鏡システムの光学系設計を詳述している。内視鏡としての光学系の設計、および、同軸で逆方向にレーザーを伝播させる光学系設計を両立させている。

第4章では、本レーザー内視鏡システムの構成部品の仕様を述べている。ここでは歪みの小さい画像を得るためのカメラキャリブレーションの実装と、画像座標とステージ移動距離の関係を調整するためのステージキャリブレーションの提案および実装を行っている。また、内視鏡画像を取り込み、目標範囲の選択、ステージの制御、レーザー装置の制御を行うソフトウェアについて述べている。

第5章では、各種性能評価実験および、in-vitro の PDD 反応の評価実験を詳述した。具体的な実験項目としては、前章の内視鏡の観察光学系、内視鏡画質、視野範囲、解像度と色収差の評価をそれぞれ行っている。また、レーザ照射については、レーザ出力の伝達効率、レーザスポット径とレーザ出力密度の評価を行い、レーザ出力伝達効率が低い原因について検討している。さらに、レーザ内視鏡全体の評価として、レーザ誘導範囲、照射位置決め精度、スキミングのパラメータについて、in-vitro 実験で評価実験を行っている。最終的に開発したシステムにおけるレーザ照射の最大位置決め誤差は 0.67mm となり、要求仕様である誤差の 1.25mm より小さいことを実証した。また、5ALA の患部への導入を模擬した PDD の in-vitro 実験を行い、PDD モードでの蛍光画像の撮影が可能であることを示した。

第6章では、各評価実験の結果を基にしたシステムの全体的な考察および、in-vivo 実験を行うための課題の整理、臨床使用に向けた内視鏡の防水化、照明系の改善などについて述べている。また開発システムにさらにナビゲーション機能を付加したシステムの提案および、将来的な展望について述べている。

第7章では、本研究で得られた成果をまとめ、軟性同軸レーザ誘導照射内視鏡の基盤技術が確立できたこと、および、今後の低侵襲的な光線力学治療の高度化が十分期待されることを結論としている。

上述した一連の成果によって、本論文は同一の軟性内視鏡での術中診断と同軸レーザ誘導照射治療の可能性を示したといえ、医療への貢献も大いに期待できる結果が得られた。また、今後多く行われると予測される薬物併用による低侵襲腫瘍診断かつ治療を行う医療機器・デバイスの設計論にもつながるものであり、その技術的な意義も大きい。以上要するに、本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。