

審査の結果の要旨

氏 名 左 思 洋

本論文では、軟性の手術器具が重要組織を迂回して、患部に安全に到達でき、かつ器具の交換も安全に行なうことを可能とする柔剛可変ガイド管の開発・研究を行った。具体的には、柔モードで体内に挿入し、臓器を迂回して患部へ到達させた後に任意の形状でロックする機構として、Snake belly機構とDragon skin機構を負圧駆動による原理を考案した。これにより軟性手術器具が通過するための経路を確保できる。また更に、先端部能動的な屈曲機構として、一体化自由屈曲機構を開発し、考案した機構をガイド管プロトタイプへ実装・試作を行った。

本論文は8章からなり、第1章では低侵襲手術の現状を解説し、SPSとNOTESの臨床上の問題点及び軟性手術器具の進入経路を確保するための機器の開発の必要性を述べた後に、体内へ挿入する段階では柔状態を有し、患部に到達させた後に形状を固定する剛状態をもつ機器の開発の必要性について説明した。第2章では、本研究の目的として、体内への低侵襲なアプローチのため、軟性手術器具が進入可能な通路を作成するガイド管の開発を述べている。第3章では、体内組織の特性、ガイド管の体内進入方法および動力の伝達方法を検討した後に、「先端屈曲」機能の実現のための一体化2自由度屈曲機構、および「柔剛可変」機能を実現させるためのSnake belly機構とDragon skin機構を負圧駆動による原理について述べている。第4章では、前章での検討に基づいて実際に用いた機構と試作したガイド管プロトタイプシステムの構成を説明し、ガイド管プロトタイプの機能と特徴を述べている。第5章では、試作したガイド管について、機構学・力学的点からの性質について解析した。第6章では、開発したガイド管プロトタイプに対して、機構に関する基礎特性、MRI誘導下手術の可能性および動物による臨床環境での評価実験を行った。柔状態では0.5N以下の外力で、大きく湾曲可能に対して、1kPaの負圧を加えることで45N・cmのトルクに対する形状維持が可能となった。ガイド管をガントリ内に挿入したとしてもほとんどMRIに対する影響はないことが分かる。ガイド管の挿入によるS/N比の低下率は4.6%で非常に低く、画質の低下は見られなかった。造影剤チャンネルを導入することで、ガイド管の全体形状の確認が容易であり、さらに3つのMRI可視マーカを先端に配置することで、先端の向きを確認することが可能となった。MRIガイダンス下でのガイド管の使用可能性が示された。動物実験においては、体

内に侵入するアプローチを実施し、体内の胃の一部を切除出来ることを明らかとした。第7章では機構学的特性および評価実験の結果から本ガイド管の低侵襲手術への有効性について述べる。第8章は結論として、本ガイド管が次世代低侵襲手術への有効性を示したものだといえる。

本論文で開発した次世代外科手術のための柔剛可変ガイド管の特色は以下の3点である。1) 新しいSPS：本研究では、気腹法などの空間確保を行わずに、術具を挿入するポート数を1つのみで、体内深部組織に対する低侵襲治療が可能となる手術方法を開発した。この手術方法は今までまだ行われていない新しい手術方法であり、当該分野は国内外共に未踏の研究領域である。2) MPS：開発したガイド管を用いて、消化管を進入路として、隣接臓器を損傷せず安全に腹腔内へアプローチし、術中の軟性手術器具の動作を安定させることが可能となる。動物実験では2頭のブタを全身麻酔下でガイド管を用いて、胃部分切除術に成功した。3) MRIを用いた画像誘導手術：ガイド管の挿入における画像誘導技術の一つとして、MR画像の使用を想定した。本ガイド管は負圧を形状のロック原理としており、一方で樹脂を構造体として用いるため、MR対応性に優れると考えられ、MRIを用いた画像誘導手術が可能となる。

現在、柔軟状態から、剛性状態に切り替えることが可能であるデバイスの研究は世界的にも例が少なく、非常に独創的で将来性のある研究である。また軟性手術器具が通過するための経路を確保してから、様々な軟性手術器具を入れ替えることが可能であるため、手術時間の短縮が可能となる上に、軟性手術器具が空気に露出する時間が減り感染の可能性も低くなる。負圧駆動によるシンプルなロック構造でありながら、柔状態と剛状態の役割を同時に果たし、さらにはMRI下での使用も可能であるため、医療機器として実用性および安全性が非常に高いものと言える。

本論文は左氏が率先して研究を行い、従来のマニピュレータとは一線を画した独創的な“負圧制御による柔剛可変機構”を発案・試作開発したものであり、現在の内視鏡下手術よりも安全で低侵襲な手術が実現でき、従来困難であった治療法の開拓も可能である。また、新たな低侵襲手術方法を提案することにより、臨床にもたらす影響は大きく、研究の価値は多大であると言える。

以上により本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。