

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Development of a Trocar Insertion Device for Laparoscopic Surgery
著者(和文)	SUN JUNPENG
Author(English)	Junpeng Sun
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11187号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:只野 耕太郎,小俣 透,初澤 毅,中村 健太郎,石田 忠
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11187号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Sun Junpeng		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	只野 耕太郎	准教授	審査員	石田 忠	准教授
	審査員	小俣 透	教授			
		初澤 毅	教授			
中村 健太郎		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Development of a Trocar Insertion Device for Laparoscopic Surgery」と題し、全5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、腹腔鏡手術において手術器具を腹腔内に導入するためにトロッカーと呼ばれる筒状の器具を腹壁に挿入、設置する必要があることを述べている。一方、トロッカーを挿入する際には、過挿入によって臓器を損傷させてしまう危険性があり、実際に多数の事故報告があることを指摘している。特に最初のトロッカーの設置では、気腹が行われていないことおよび腹腔鏡による腹腔内の観察ができないことから過挿入による臓器損傷のリスクがより高く、作業に熟練度が要求されることを述べている。本問題に対してトロッカーそのものの高機能化や訓練システムなどによる解決の取り組みがあるものの、実用上課題があることを指摘している。そこで本研究では、市販のトロッカーに対して簡単かつ安全に腹壁への挿入設置が行えるデバイスを実現することを目的としている。

第2章「Trocar Insertion Force Characteristics」では、トロッカーを腹壁に挿入する際に生じる反力の特性について解析を行っている。はじめに、トロッカーの挿入速度および挿入方向周りの回転を任意に設定でき、反力を計測しながら挿入を行える実験装置を製作し、その構成について述べている。本実験装置によって、トロッカーの種類、挿入速度、挿入方向周りの回転の有無の条件による挿入反力の特性を、豚の腹壁を用いて実験的に調査している。その結果、ブレード付きの鋭いトロッカー、速い挿入速度、挿入方向周りの回転がある場合に挿入反力が小さくなることを確認している。一方、トロッカーの挿入方向への移動量に対する挿入反力の関係において、いずれの条件においても複数のピーク波形が観察され、2番目に現れる力のピーク値が最大となることを明らかにしている。挿入時の動画観察の結果と比較することで、2番目のピークの直後に現れる3番目のピークにおいて、トロッカーが腹壁を貫通することを確認している。本現象を、腹壁の組織層構成に基づいて解析し、最も大きい2番目の力のピークは筋肉層の貫通、直後に現れる3番目のピークは筋膜の貫通に伴うものであり、腹壁の最終的な貫通を検出するための情報として利用可能であるとしている。

第3章「Design of Trocar Insertion Device and Control System」では、第2章の結果に基づいて、トロッカー挿入デバイスの設計製作を行っている。本デバイスは使用者が片手で持てるピストル形状となっており、市販のトロッカーを清潔性を保ちながら搭載できる構造としている。トロッカー挿入動作には高い剛性を実現するため DC モータとボールねじを組み合わせた駆動機構を採用している。トロッカー保持部は、挿入力を低減するために、DC モータによって挿入方向周りに回転できる構造としている。また、挿入する際の反力を生成するために、腹壁表面を複数の吸引カップによって吸着し、空気圧シリンダを介して引き上げる機構を提案、実装している。空気圧シリンダには定位置を保つようなインピーダンス制御を適用することで、腹壁の変形を吸収するとともに第2章で調査した挿入反力を空気圧シリンダの内圧から推定できることを実験的に示している。最後に、豚の腹壁を用いた実験において、製作したデバイスがトロッカーを腹壁に安定的に挿入できることを確認している。

第4章「Automatic Stop Control Algorithm and Verification of Safe Insertion」では、提案するデバイスをより安全に運用することを目的として、トロッカーの過挿入を防止する自動停止機能の検討と構築を行っている。空気圧シリンダの駆動力から推定された挿入反力情報から、第2章で確認

された筋肉を貫通する際の力のピークを検出することで、腹壁の貫通を即時に判断し挿入動作を停止する方法を提案している。第3章で製作したシステムにおいて、本機能のアルゴリズムを構築、実装し、豚の腹壁を用いた実験による評価を行っている。その結果、腹壁貫通後のトロッカー先端の腹腔内への突き出し量が10 mm以下となり、従来の人の手による作業に比較し大幅に低減されたとしている。また、本デバイスを用いることで挿入設置に要する時間も40秒程度に短縮されることを確認し、本デバイスの有用性を示している。

第5章「Conclusion」では、本論文により得られた結果を総括するとともに今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、腹腔鏡手術に用いられるトロッカーを容易かつ安全に患者腹壁に挿入設置できるデバイスを新たに提案、試作し、実験によってその有効性を明らかにしたものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があると認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。