

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月3日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2009～2011
課題番号：21390473
研究課題名（和文） ユーザーインターフェース重視の腹腔鏡用細径多自由度鉗子の開発と NOTES への展開
研究課題名（英文） Development of multi-DOF forceps with intuitive user interface for laparoscopic surgery
研究代表者
岩中 督（IWANAKA TADASHI）
東京大学・医学部附属病院・教授
研究者番号：90193755

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、新生児の狭小な体内でも直感的に使用可能な、腹腔鏡用細径多自由度鉗子を開発することである。先端に屈曲1自由度と屈曲部よりも先の先端部長軸回り回転1自由度、把持の1自由度の計3自由度を持ちながら、鉗子径3.5mmかつ屈曲部よりも先の長さが15mmという持針器を開発した。シミュレータを駆使して作成した操作部を接続して評価実験を施行した結果、縦方向の運針を従来型持針器よりも容易化することが確認できた。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study was to develop a thin needle driver with multiple degrees of freedom (DOFs) for neonatal laparoscopic surgery. A needle driver with 3 DOFs, a 3.5 mm diameter, and 15mm tip length was proposed and implemented in this study. An intuitive user-friendly interface was developed on the basis of the results of simulator experiments. Our novel needle driver made vertical suturing easier than a conventional needle driver.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・小児外科学

キーワード：腹腔鏡手術，小児外科，医工連携，術具開発，持針器

1. 研究開始当初の背景

小児外科領域においても内視鏡手術は普及し、噴門形成術など今や従来法に代わって標準術式となったものもある。しかし、開胸・開腹手術と比較すると高度な技術が

必要とされ、また、現在の鉗子では、図1に示すような横方向の運針は容易であるが、縦方向の運針は困難であるという理由から、

全ての疾患が内視鏡手術で行われるまでには至っていない。

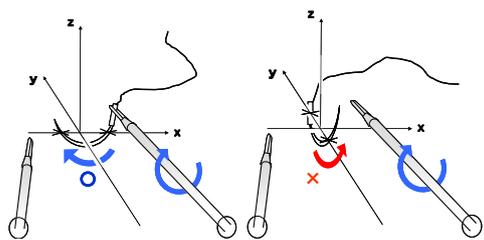


図1：横方向運針（左）と縦方向運針（右）

さらに小児外科には、疾患が多様であるが各疾患の症例数は少ないという特徴がある。こうした制約の中で少しでも早く技術を習得し、安全で確実な内視鏡手術を行うことが可能となるようなデバイスの開発が求められている。

近年、人間よりも繊細な動作や人間には不可能な動作が可能なる手術用ロボット（da Vinci®）に手術を行わせることによって、より質の高い外科手術を提供するロボット手術という分野が発展している。術者が直感的にロボットを操作することが可能なインターフェース（サージョンコンソール）を有する大変優れたデバイスであるが、新生児領域の手術が行えるほど繊細な構造を有しておらず、そもそも日本での臨床使用はまだ承認されていない。また、1台2億円以上と高価であり、メンテナンス料も勘案すると普及には程遠い。

また、すでに市販されている多自由度鉗子（Radius®）があるが、多自由度であるがゆえに操作が複雑となり習熟に時間を要することや、鉗子径が太く（10mm）屈曲部の先端が長いこと小児外科には不向きであるという問題を有している。また、その他の開発中デバイスも同様の問題を有している。

2. 研究の目的

- (1) 操作者の使いやすさを重視した、細径で多自由度をもつ腹腔鏡用鉗子（持針器）を開発すること。
- (2) 外科手術の更なる低侵襲化を目指し、小児外科領域においても経管腔的内視鏡手術（natural orifice transluminal endoscopic surgery; NOTES）が行えるような手術器械の開発へ向けて、鉗子開発の際に用いた技術を展開していくこと。

3. 研究の方法

本研究は、東京大学大学院工学系研究科光石研究室との共同研究である。縦方向の運針が可能となるような小児腹腔鏡手術用の持針器を開発するにあたり、針を把持する先端部と術者が実際に手で持つ操作部に分けて開発することとした。

(1) 持針器先端部の開発

細径でありながら多自由度を有する鉗子の駆動を可能とする機構の開発を行った。鉗子の仕様は、新生児にも使用可能となるように鉗子径を3.5mmとし、また、多方向運針を容易化するために、鉗子先端部の自由度を屈曲1自由度（ $0\sim 90^\circ$ ）、屈曲部よりも先の先端部長軸周り回転1自由度（ $\pm 180^\circ$ ）、および開閉（把持）1自由度の3自由度とした。

(2) 操作部の開発

多自由度持針器の各自由度（屈曲、回転、把持）を操作するために利用可能な体の部位（母指、示指、中指、手首など）の候補を列挙したあと、各候補部位の動作方向を分類していった（図2）。

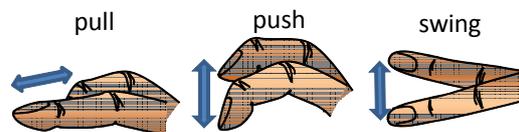


図2：示指は3種類の動作が可能

これらの利用可能な動作を把持，屈曲，回転に担当させた場合，非常に多くの組み合わせが構成されるが，一つ一つを詳細に検討して絞り込んだ。残った組み合わせをもとに操作部のプロトタイプを作成し，これらを用いてシミュレータ上で医師に運針動作を行ってもらい，直感的に使える操作部を選定した。

(3) 持針器の評価実験

完成した持針器先端部と操作部を接続し，小児外科医 6 名を対象とした評価実験を施行した。タスクは持針器挿入方向に対して横方向の 3 針連続運針と，縦方向の 3 針連続運針であり (図 3)，これを現在臨床で用いられている既存持針器 (3mm 径) で行った場合と開発した新型持針器を用いて行った場合について，刺入目標点と刺入点のずれ，刺出目標点と刺出点のずれ，運針時間を比較した。

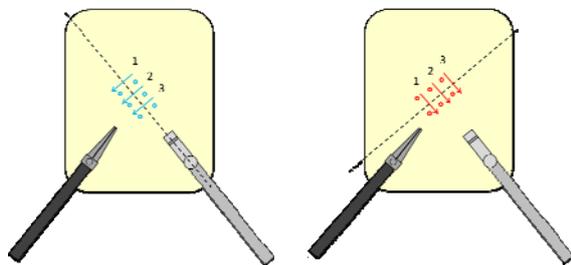


図 3：横方向 (左) と縦方向 (右) の運針タスク

持針器の開発に時間を要したため，NOTES 用手術器械への展開は行わなかった。

4. 研究成果

(1) 持針器先端部 (図 4)

屈曲と回転動作はかさ歯車を重ねた二重ベベルギア機構とし，把持動作に関しては，従来型持針器のようなハサミ型とは異なるピストン型の持針器を採用し，把持力の増

加を図った。鉗子径は 3.5mm，屈曲部よりも先の長さは 15mm とした。

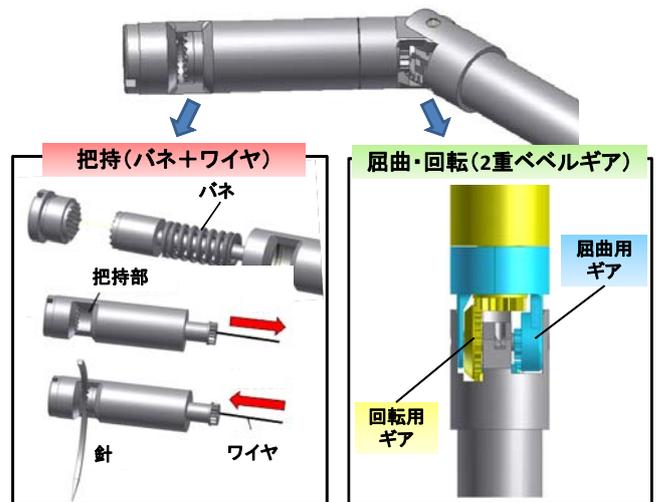


図 4：持針器先端部

(2) 操作部

最終候補は図 5 の 3 つであった。シミュレータ上での横方向と縦方向の運針タスク施行後に NASA-TLX を参考にした主観評価を行った結果，Type B が直感的に使用可能な操作部として最適であると判断した。



図 5：操作部の候補

回転ホイールと屈曲レバーの方向が異なっている。

(3) 評価実験

完成した持針器の外観を図 6 に示す。また，新型持針器と従来型持針器を比較した有用性評価実験の結果を図 7，8 に示す。刺入・刺出の正確性に関して，新型持針器と従来型持針器の間に有意な差は認められなかった。また，運針時間に関しても，両持針器間で有意差は認められ

なかった。しかし、従来型持針器を用いた縦方向運針では、刺入点と刺出点を単に通過しただけで運針が深層に達していなかったり、また、運針中に台座に過大な力がかかったり、左手鉗子による台座の圧迫が必要であったりするなどの問題が認められた。臨床使用においてこのような操作は臓器の損傷につながるため容認できるものではなく、縦方向運針に関しては、新型持針器の有用性が示されたとと言える。



図 6：新型鉗子外観

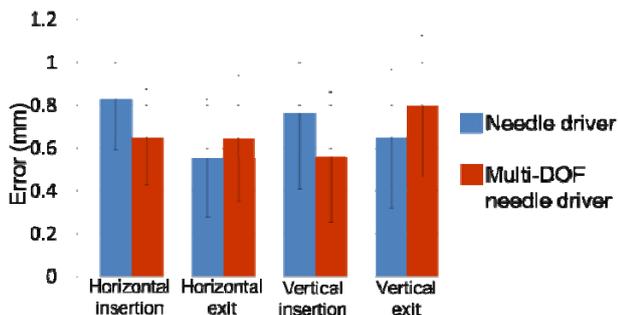


図 7：刺入と刺出の正確性

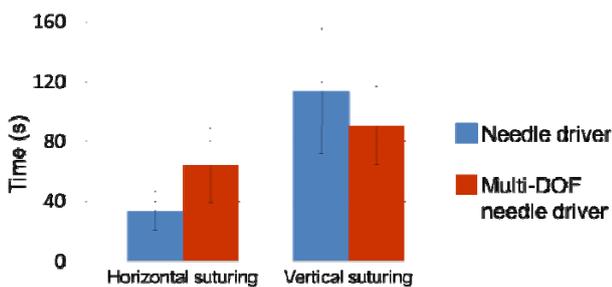


図 8：運針時間

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. Fujii M, Sugita N, Ishimaru T, Iwanaka

T, Mitsuishi M: A novel approach to the design of a needle driver with multiple DOFs for pediatric laparoscopic surgery. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 査読有, in press

[学会発表] (計 10 件)

1. 石丸哲也, 藤井雅浩, 杉田直彦, 光石 衛, 岩中 督: 先端に屈曲と回転の自由度を有する腹腔鏡用細径持針器の開発. 第 24 回 日本内視鏡外科学会 (2011. 12. 7 大阪)
2. 藤井雅浩, 篠原 誠, 杉田直彦, 石丸哲也, 岩中 督, 光石 衛: 小児内視鏡外科手術支援のための多自由度剪刃の開発. 第 20 回 日本コンピュータ外科学会 (2011. 11. 22 日吉)
3. 藤井雅浩, 杉田直彦, 石丸哲也, 岩中 督, 光石 衛: 小児外科手術支援のための多自由度持針器の開発. ROBOMECH 2011 (2011. 5. 28 岡山)
4. Masahiro Fujii, Kiyooki Fukushima, Naohiko Sugita, Mamoru Mitsuishi, Tetsuya Ishimaru, Tadashi Iwanaka: Design of Intuitive User Interface for Multi-DOF Forceps for Laparoscopic Surgery. 2011 IEEE International Conference of Robotics and Automation (2011. 5. 12, Shanghai, China)
5. 福島清暁, 藤井雅浩, 杉田直彦, 石丸哲也, 岩中 督, 光石 衛: 内視鏡手術用多自由度鉗子のための操作性を考慮した鉗子インターフェースの開発. 第 19 回 日本コンピュータ外科学会大会 (2010. 11. 4 福岡)
6. 石丸哲也, 福島清暁, 藤井雅浩, 杉田直彦, 光石 衛, 岩中 督: 多方向の運針を容易化する腹腔鏡用細径持針器の開

発. 第 23 回 日本内視鏡外科学会
(2010.10.19 横浜)

7. Fujii M, Fukushima K, Sugita N,
Ishimaru T, Iwanaka T, Mitsuishi M :
Multi-DOF forceps for robot-assisted
pediatric laparoscopic surgery.
The 24th International Congress and
Exhibition of Computer Assisted
Radiology and Surgery (CARS 2010),
(2010.6.24, Genova, Switzerland)
8. 藤井雅浩, 福島清暁, 杉田直彦, 石丸哲
也, 岩中 督, 光石 衛 : 小児外科手
術支援のための多自由度鉗子の開発.
ロボティクス・メカトロニクス講演会
2010 (2010.6.16 旭川)
9. 石丸哲也, 福島清暁, 杉田直彦, 光石 衛
, 岩中 督 : 腹腔鏡用極細径多自由度鉗
子の開発. 第 22 回 日本内視鏡外科学
会 (2009.12.3 東京)
10. 福島清暁, 友師悟, 杉田直彦, 石丸哲也,
岩中 督, 光石 衛 : 小児外科手術支援
のための極細径多自由度鉗子の開発.
ロボティクス・メカトロニクス講演会
2009 (2009.5.24 福岡)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :

取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩中 督 (IWANAKA TADASHI)
東京大学・医学部附属病院・教授
研究者番号 : 9 0 1 9 3 7 5 5

(2) 研究分担者

光石 衛 (MITSUISHI MAMORU)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号 : 9 0 1 8 3 1 1 0

杉田 直彦 (SUGITA NAOHIKO)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号 : 7 0 3 7 2 4 0 6

小泉 憲裕 (KOIZUMI NORIHIRO)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号 : 1 0 3 9 6 7 6 5

杉山 正彦 (SUGIYAMA MASAHIKO)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号 : 0 0 2 7 0 8 7 7

田中 裕次郎 (TANAKA YUJIRO)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号 : 9 0 3 8 2 9 2 8

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :