

令和元年5月25日現在

機関番号：32653

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16338

研究課題名(和文) 仮想孔の概念を用いた胸腔鏡手術支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of Thoracoscopic Surgical System based on Concept of Virtual Incision

研究代表者

堀瀬 友貴 (Horise, Yuki)

東京女子医科大学・医学部・特任助教

研究者番号：70749233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：胸腔鏡手術では、肋骨によって手術器具を挿入する孔の位置が制限され、最適な器具配置で操作を行うことは難しい。そこで、仮想的に孔を追加する“仮想孔の概念”を用いて、任意の場所に孔を設けることができる新しい手術支援システムを開発した。

提案システムは、中心部が半円形状をした手術デバイスと専用把持アームで構成され、通常の直線手術器具と同じ5自由度(伸縮・軸回転・開閉・球面運動)で操作が可能である。本研究では2種類のプロトタイプデバイスと専用把持アームを開発し、基本的な動作確認と呼吸器外科医による主観的評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

胸腔鏡手術支援システムは、仮想孔という新しい概念を用いて開発しており、従来の手術と比べて、器具配置の最適化により操作性が向上し、手術時間の短縮や治療成績の向上、また癒着が生じた際には追加の孔を設ける必要がなく整容性の向上も期待される。患者と医師の両者にとってメリットの高いシステムであり、社会的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：In thoracoscopic surgery, the port position for surgical instruments is limited by costal bones and it is difficult to operate with the optimal instrument placement.

Therefore, we have developed a new surgical support system that can provide ports at arbitrary locations using the "concept of virtual incision" that virtually adds incisions.

The proposed system consists of a surgical device with a semicircular at center part and a dedicated holding arm, and it can be operated with the same 5-DOF (extension and contraction, axial rotation, opening and closing, and spherical movement) as a normal straight surgical instrument has. In this study, two prototype devices and a dedicated grasping arm were developed, and a basic operation test and a subjective evaluation by a respiratory surgeon were performed.

研究分野：医用システム

キーワード：内視鏡手術 胸腔鏡 仮想孔

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

肺がんや食道がんの治療方法として、これまで胸部を数十センチ切開して行う開胸手術が一般的であったが、近年では、電子機器などの発達により、胸部に複数の孔をあけて細長い手術器具とカメラ（胸腔鏡）を挿入して行う胸腔鏡手術の利用が活発となっている（図1）。胸腔鏡手術は、従来の開胸手術と比べて傷が小さく、痛みも少ないなど、患者の体への負担が小さく整容的な手術である。しかしながら、図1（b）に示すように、胸腔鏡手術では手術器具を肋骨の間から挿入するため、孔の位置が制限され、腹部を対象とした腹腔鏡手術と比べて手術の自由度が低い。器具を挿入する孔の位置は、手術のパフォーマンスに大きく関係し、手術対象に応じた最適な位置に設けることが望ましい。また、孔の位置が最適ではなかった場合は、整容的な問題から容易に新たな孔を設けることはできない。よって、胸腔鏡手術は、従来の開胸手術よりも低侵襲で整容的な理由から利用が進んでいるが、孔の位置の制限により手術範囲が限られているという現状である。

胸腔鏡手術を支援するシステムとして、世界的に用いられているのが da Vinci（Intuitive Surgical 社）という手術ロボットである。da Vinci はマスタ・スレーブ方式で制御され、医師が患者から離れた場所でマスタを操作し、患者側にあるスレーブのロボットを動作させ、遠隔で手術が行える。da Vinci の大きな特徴として、従来の開胸・開腹の操作スタイルで手術が行え、内視鏡手術に慣れていない医師でも手術を行うことができる。また、マスタとスレーブ間での動作比の調整や手ぶれ補正機能、3次元内視鏡映像の利用により、人の能力では難しい精密な操作が可能となる。しかしながら、da Vinci ではスレーブのロボットアームが衝突しやすく、複数の孔が近接している場合はさらに操作が困難となる。また、全体的に大型であるため地方の小さな病院では利用が難しく、一台3億円と高価で、多額の維持費も掛かると言われている。da Vinci 以外にも、ドイツで開発された Radius Surgical System という手術器具が胸腔鏡手術で利用され、先端部分が屈曲することで操作領域を増やしているが、十分とは言えない。さらに、通常の手術とは異なる新しい操作を覚える必要があるため、操作に慣れるまでに時間を要するなど、胸腔鏡手術では未だに多くの課題が残っている。

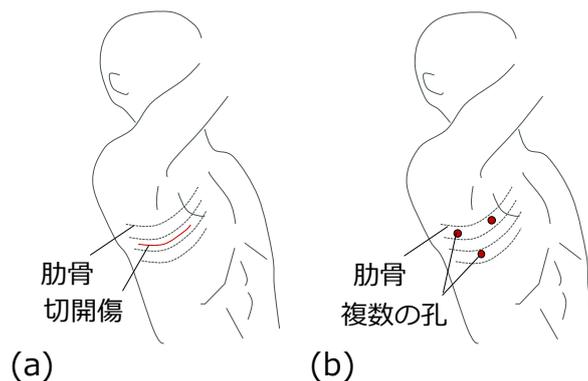


図1. 呼吸器外科での術式 (a)開胸手術, (b)胸腔鏡手術

2. 研究の目的

呼吸器外科では、電子機器等の工学技術の進歩により開胸手術から複数の小さな孔に手術器具を挿入して行う胸腔鏡手術が主流となっている。しかしながら、胸腔鏡手術では肋骨によって孔の位置が制限され、消化器を対象とした腹腔鏡手術とは異なり、自由に孔の位置を決めることができない。一方で我々はこれまでに仮想的に孔を追加する“仮想孔の概念”を提案しており、体壁を介して体内外で器具を連動させることで、あたかもそこに孔があいており、その仮想孔から手術器具を挿入して操作している感覚を医師に与えることができる。本研究では、肋骨によって手術器具を挿入する孔の位置が制限される胸腔鏡手術に対し、仮想孔の概念を導入した手術支援システムを提案し、胸腔鏡手術における課題解決（操作領域の拡大、医師の負担軽減）を目指す。

3. 研究の方法

提案の手術支援システムは、図2に示すように手術デバイスと専用の自在把持アームで構成される。手術デバイスは手元部、半円部、先端部に分かれており、胸壁に設けた実孔からデバイスを先端部から挿入した後、専用の自在把持アームを用いて手術台に固定する。半円部の中心点を仮想孔として、本デバイスを通常の直線手術器具のように操作することができる。胸腔鏡手術では、腹腔鏡手術のように二酸化炭素ガスは注入せず、大気下で操作することが一般的

であるため、提案システムではポート等は利用しない。手術器具を挿入する孔の大きさは通常3センチ程度と大きいため、本デバイスを先端部から挿入することは可能であると考えられる。

提案デバイスは、軸方向の伸縮と軸回転、手元および先端の開閉の3自由度の操作ができ、手元部を軸方向に押し込むと先端部が奥方向に伸びる。自在把持アーム先端のシステム取付部は半円部と同じ形状になっており、提案デバイスと把持アームを組み合わせることで、仮想孔を中心とした球面運動（2自由度）が実現でき、通常の直線手術器具と同じ5自由度で操作が行える。

本提案システムを用いることで、肋骨に依存せず任意の場所に孔を仮想的に設けることができ、これまで届くことが難しかった領域の処置が行えることで治療成績の向上や、操作している医師の負担軽減が期待できる。また、通常の胸腔鏡手術では、事前に計画を立てて最適な孔配置を決めているが、孔をあけた際に癒着を発見し、孔を設け直すことも度々生じる。提案システムを用いれば、把持アームのシステム取付部の固定場所や方向によって実孔周りに360度どこにでも仮想孔を設けることができ、追加の孔を設ける必要がなく、さらに整容的である。また、手術の途中で仮想孔の位置を何度でも変更できるため、柔軟性が高く、より高い治療効果が期待できる。

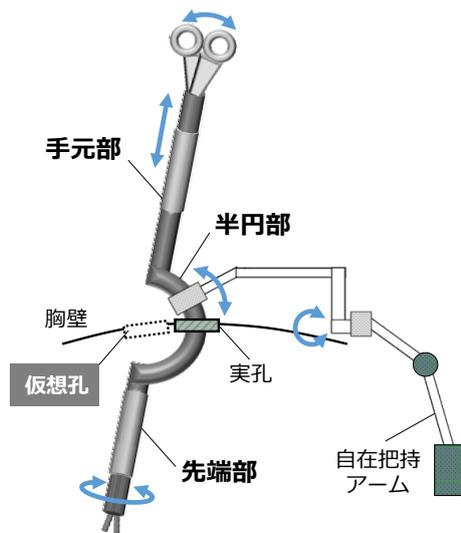


図2. 提案システムのコンセプト

4. 研究成果

提案デバイスのプロトタイプを2種類作成し、実現可能性について確認した（図3）。デバイスは通常の直線手術器具を活用し、手元部・把持部をそのまま用いた。半円部については円筒を指定の曲率に変形させており、円筒に沿って内部の手術器具が可動する仕組みである。通常の手術器具は円筒と棒で構成され、棒が軸方向に前後することで先端が開閉し、円筒を回転させることで軸回転を実現している。そこで、提案デバイスでは、通常の手術器具を長軸部で切断し、半円部を介して、円筒同士をトルクコイルで、棒同士をガイドワイヤで連結させた。これにより、半円部を介して手元部と把持部が連動し、伸縮と軸回転、開閉の3自由度が実現する。プロトタイプ1号機では本方法で作成したが、開閉が意図通りに行うことができず、半円部の湾曲部におけるワイヤの遊びや、トルクコイルとガイドワイヤ間の隙間が原因だと考えられた。そこで、プロトタイプ2号機では、トルクコイルとガイドワイヤの間のチューブを介し、両者の隙間を埋めることで遊びを減らすように試みた。結果として、開閉の操作が改善し、伸縮、軸回転についても大きな問題なく操作できることを確認した。

自在把持アームについては、手術室で用いられている内視鏡把持アームを活用し、先端に提案システム専用の取付部を組み合わせた（図4）。システム取付部ではシステムの半円部を挟み、半固定できる機構にしており、医師が簡単に操作できるようにねじ等は利用していない。取付部の素材はステンレスとの摩擦が少ないプラスチック素材を用いており、少ない抵抗でシステムを中心点周りに回転させることができる（図5）。取付部の根元側では、回転軸を設けており、半円部の中心点に沿って回転することで、提案システムは仮想孔を中心とした球面運動（2自由度）を行うことができる。また、ダンパーを取り付けることで、システムが急な姿勢移動が起こらず、安全な機構となっている。

開発した提案デバイスと自在把持アームを熟練の呼吸器外科医に操作していただき、臨床的視点から主観的評価を行った（図6）。結果として、ダンパーの影響で負荷が少し大きいという指摘を受けたが、コンセプトについては高い評価をいただき、通常の胸腔鏡手術だけではなく単孔式内視鏡手術への有用性についても示唆された。

今後は提案システムの改良を行い、物体移動タスクによる基本評価および臨床医による有用

性評価を行う。今回開発したデバイスはステンレス製であるが、将来的にはディスプレイも視野に入れ、プラスチックなどの別の素材を用いた開発も検討する。

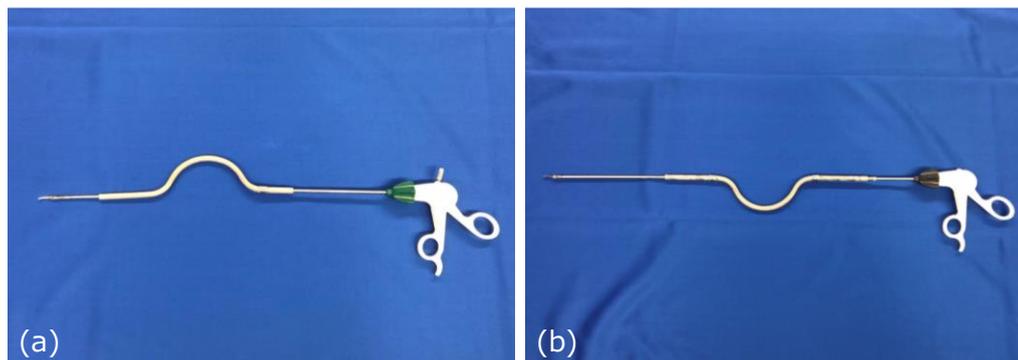


図3. 提案デバイスのプロトタイプ (a) 1号機, (b) 2号機



図4. 自在把持アームのプロトタイプ



図5. 提案デバイスと自在把持アームの組み合わせ



図6. 呼吸器外科医によるシステムの操作性評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

- 正宗賢、岡本淳、南部恭二郎、田村学、小西良幸、堀瀬友貴、楠田佳緒、丸山隆志、生田聡子、伊関洋、村垣善浩. 術中の迅速な判断・意思決定を実現するスマート治療室 SCOTの更なる展開. MEDIX, Vol. 67, pp. 4-7, 2017年10月.
- 正宗賢、岡本淳、田村学、堀瀬友貴、小西良幸、楠田佳緒、生田聡子、南部恭二郎、丸山隆志、伊関洋、村垣善浩. 手術戦略デスクで情報を統合管理するスマート治療室. INNERVISION, Vol. 36, pp. 52-53, 2017年6月.
- 田村学、生田聡子、岡本淳、吉光喜太郎、小西良幸、前田真法、仁木千晴、チエルノフミハイル、岸本眞治、堀瀬友貴、丸山隆志、南部恭二郎、伊関洋、正宗賢、村垣善浩. (TWInsプロジェクト紹介<特集 III>)プロジェクトの活動推進状況先端工学外科 (FATS)の最新プロジェクト. 未来医学, Vol. 30, pp. 84-98, 2017年3月.
- 田村学、正宗賢、生田聡子、岡本淳、吉光喜太郎、小西良幸、前田真法、仁木千晴、Chernov Mikhail、岸本眞治、堀瀬友貴、丸山隆志、伊関洋、村垣善浩. (TWInsプロジェクト紹介<特集 I>)先端工学外科学 (FATS)のプロジェクト活動進捗について. 未来医学, Vol. 29, pp. 2-16, 2016年.
- 正宗賢、岡本淳、吉光喜太郎、堀瀬友貴、小西良幸、前田真法、田村学、丸山隆志、伊関洋、生田聡子、村垣善浩. 脳神経外科領域における医療技術の動向. 映像情報 Medical, Vol. 48, No. 1, pp. 16-20, 2016年1月.
- 正宗賢、田村学、生田聡子、岡本淳、吉光喜太郎、小西良幸、前田真法、仁木千晴、Chernov Mihail、堀瀬友貴、丸山隆志、伊関洋、村垣善浩. 脳神経外科領域の術中インターベンショナルMRI. INNERVISION, Vol. 30, No. 9, pp. 38-39, 2015年9月.

〔学会発表〕(計 7件)

- Yuki Horise, Masato Kanzaki, Hiroshi Iseki, Ken Masamune, Yoshihiro Muragaki. Proposal for a New Surgical Device Based on the Concept of Virtual Incision for Thoracoscopic Surgery. 40th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, WePoS-24.17, Poster (July 17-21, 2018)
- Noriyasu Iwamoto, Atsushi Nishikawa, Toshikazu Kawai, Yuki Horise, Ken Masamune. A Novel Medical Robot Architecture with ORiN for Efficient Development of Telesurgical Robot. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 13 (supplement 1), pp. S40-S41, Oral (June 20-23, 2018)
- Noriyasu Iwamoto, Atsushi Nishikawa, Toshikazu Kawai, Ken Masamune, Yuki Horise. MRLink: An ORiN-Based Medical Robot Architecture for Connecting Freely Selected Master/Slave Robotic Devices. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2017), @, Oral (September 24, 2017)
- 堀瀬友貴, 西川敦, 河合俊和, 神崎正人, 正宗賢, 村垣善浩. 仮想孔の概念を用いた内視鏡手術支援システム. 第24回日本コンピュータ外科学会大会, Vol. 17, No. 3, pp. 277-278, 口頭 (2015年11月21-23日)
- 西川敦, 河合俊和, 堀瀬友貴, 正宗賢. 内視鏡手術支援ロボットデバイスローカル・小型・分散化への転換と検証・評価サイクル加速化に向けてー. 第28回日本内視鏡外科学会総会, 日本内視鏡外科学会雑誌, Vol. 20, No. 7, SY-21-5, 口頭 (2015年12月10日)
- Yuki Horise, Xingchi He, Peter Gehlbach, Russell Taylor, Iulian Iordachita. FBG-Based Sensorized Light Pipe for Robotic Intraocular Illumination Facilitates Bimanual Retinal Microsurgery. 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 13-16, Oral (August 25-29, 2015)
- Toshikazu Kawai, Toshinobu Matsumoto, Yuki Horise, Atsushi Nishikawa, Yuji Nishizawa, Tatsuo Nakamura. Flexible Locally Operated End-Effector Manipulator With Actuator Interchangeability For Single-Incision Laparoscopic Surgery. 29th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 10 (supplement 1), pp. 246-247, Poster (June 24-27, 2015)

〔図書〕(計 1件)

- Yuki Horise, Atsushi Nishikawa, Toshikazu Kawai, Ken Masamune, Yoshihiro Muragaki. Concept of Virtual Incision for Minimally Invasive Surgery. INTECH open, Surgical Robotics, 2017, pp. 23-35.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

東京女子医科大学 業績ページ

<https://gyoseki.twmu.ac.jp/twmhp/KgApp?kyoinId=ymbbgoyoggy>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 該当なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：正宗 賢

ローマ字氏名：(MASAMUNE, Ken)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。