

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630091

研究課題名(和文) タコの吸盤を参考とした臓器を安全に吸着把持するソフトフィンガー

研究課題名(英文) Soft finger with the function of attaching and holding internal organs referring to an octopus sucker

研究代表者

塚越 秀行 (Tsukagoshi, Hideyuki)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50313333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：タコの吸盤構造を規範とし、臓器を安全かつ安定に吸着把持するデバイスとして工学的に再現することを目指して、以下3項目の研究を行った。i) 間接吸引による可変容積式吸盤に着眼し、限られたスペース内に吸着力を最大化できるための設計論を構築した。ii) トロカールを介しての挿入を前提とし、外径12mm長さ150mm程度の剛性可変のソフトフィンガーの構成法および操作方法を確立した。iii) 肝硬変など硬さの異なる臓器に対しても吸着するための構造を検討した。

研究成果の概要(英文)：In this study project, we developed a soft finger device with a function of attaching and holding internal organs by using fluid power. It is necessary to attach and hold many kinds of organ softly. Inspired in an octopus, stable adhesive force could be realized by utilizing negative pressure in the sealed space by the object. The suckers had roundly shape for attaching softly and urethane funnels for attaching various kinds of organs. We could verify the validity of the proposed mechanism through experiments, which suggests us that the developed soft finger is effective in the laparoscopic surgery.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス

1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡手術は、腹部にあけた5~12mm程度の穴(トロカール)から内視鏡や鉗子を挿入する低侵襲操作のため、患者への負担は少ない。その反面、患部に被さる臓器が内視鏡の視界を遮り、医師の手術を妨げる事態が生じる。現状では、臓器の掴み・吊上げ・押しのけ、などの圧排用手術器具を利用して視界の確保が試みられているが、これらの従来器具は臓器を傷める懸念があり、術後の回復を遅らせたり合併症を誘発したりするなどの課題が残されている。

2. 研究の目的

多様な凹凸面に吸着するタコの吸盤を参考に、人体臓器を安全に吸着把持してハンドリングできるソフトフィンガーの創製に挑戦する。すなわち、腹腔鏡手術において、直径12mm程度の穴を通じて腹腔内に挿入後、術者の視界を遮る臓器を傷つけずに圧排する手術器具の具現化を試みる(Fig.1)。その実現のため、i)臓器表面の体液を吸引する恐れなく吸着可能な可変容積式吸盤、ii)腹腔内へのスムーズな挿入と臓器凹凸面への“馴染み動作”を可能とする剛性可変のフィンガー構造、iii)肝硬変など正常の臓器と硬さの異なる臓器に対しても吸着するためにシール性の優れた漏斗構造、などを検討し実用性の高いデバイスを構築する。そして、提案手法の有効性を実験的に検証し、医療機器のブレークスルーを図る。

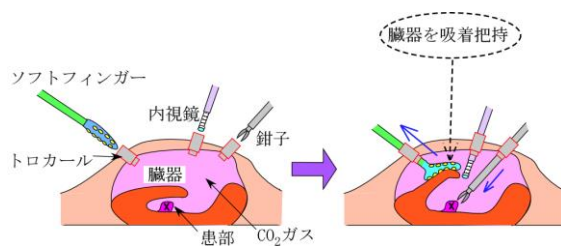


Fig.1 タコ型吸盤を有するソフトフィンガーの使用イメージ

3. 研究の方法

タコの吸盤構造を規範とし、臓器を安全かつ安定に吸着把持するデバイスとして工学的に再現するため、以下3項目について研究を行った。

- (1) 間接吸引による可変容積式吸盤に着眼し、限られたスペース内に吸着力を最大化できるための設計論を構築する。
- (2) トロカールを介しての挿入を前提とし、外径12mm長さ150mm程度の剛性可変のソフトフィンガーの構成法および操作方法を確立する。
- (3) 様々な臓器への吸着特性を比較検討し、漏斗構造の高機能化について検討する。

4. 研究成果

(1) 設計論の構築

タコの吸盤の基本原理となる可変容積式吸盤の設計手法を以下の順に検討した。まず最初に、弾性膜の力学的特性が吸着力に与える影響を調査するため、弾性膜の変位と復元力の関係を線形ばねに置き換えた等価モデルを提案した。次に、当該モデルをもとに、膜とポンプ間の第一室における負圧と、膜と対象物間で形成される第二室に間接的に生じる負圧との関係式を導出した(Fig.2)。これにより、所定のサイズにおいて、目標の負圧を生成するために設けるべき膜の弾性特性が明らかとなった。さらに、限られたスペース内で設定すべき吸盤の最適な個数の導出方法も明らかになった。以上のようにして吸盤の設計方法を確立した。

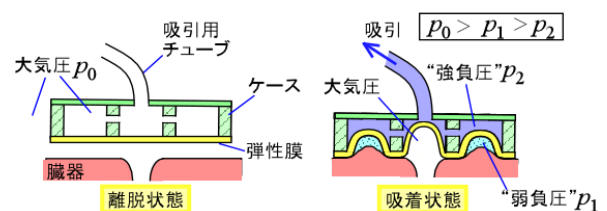


Fig.2 可変容積式吸盤の基本構造

(2)ソフトフィンガーの開発

開発を目指したソフトフィンガーは、作業の状況に応じて剛性を変化させる必要がある。すなわち、トロカールを通して挿入する初期では高剛性、臓器の表面に馴染ませて吸着する直前までは低剛性、吸着後に臓器を引き上げる際には再び高い剛性に戻すことが有効である(Fig.3)。このような要求を満たすための構造として、ソフトフィンガー内部を発泡粒子で満たした構造を導入した。本構造の内部を真空ポンプで吸引すると、粒子間の間隙が狭まるとともに、粒子が押しつぶされるため高剛性を形成する。逆に、当該内部を大気圧に戻すことにより臓器の外形に適応したやすい低剛性と変化する。本構造を用いて試作したソフトフィンガー(Fig.4, 表 1)は、直径 10mm を有する吸盤 1 個につき垂直方向に 2N、せん断方向に 1.5N の吸着力を生成できた。また、この吸盤を 4 個配置することにより、垂直方向に 8N、せん断方向に 6N の吸着力を生成できることも確かめられた。さらに、内径 12mm のトロカールの穴を通して挿入できることも確認した(Fig.5)。

なお、導入した構造は、安価で簡易に製作可能ため、 Disposable な医療機器となり得る。

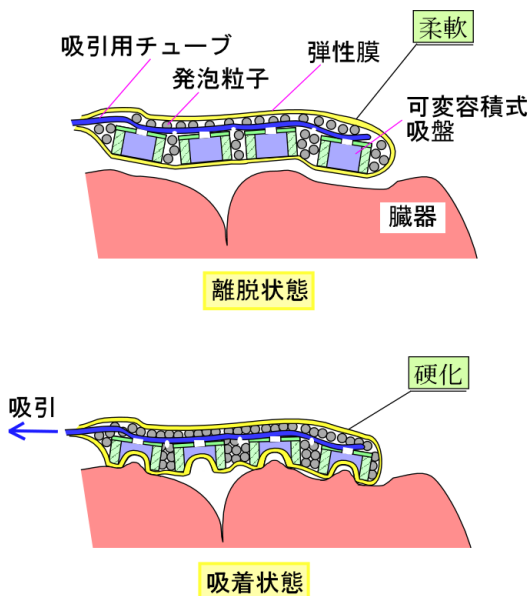


Fig.3 ソフトフィンガーの動作原理

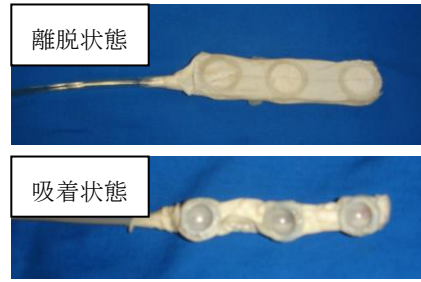


Fig.4 試作したソフトフィンガー

表 1 ソフトフィンガーの仕様

Finger size	Length:320mm
	Width:12mm
	Height:12mm
Mass	20g

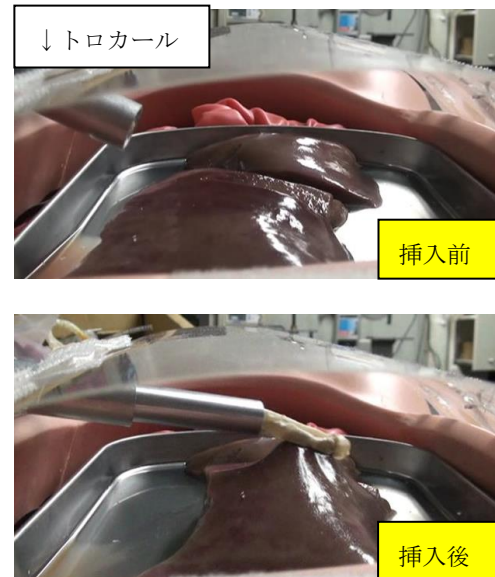


Fig.5 トロカールを通して coronal モデルに挿入されたソフトフィンガー(a)と、挿入後にレバーを吸着把持した様子(b)

(3)様々な臓器への吸着特性の比較と漏斗の高機能化

開発したソフトフィンガーの有効性を検証するため、臓器の表面形状や硬さによる吸着特性の変化を調べた。比較した肉の種類は、肝硬変を想定してゆでた後の豚肉の肝臓部、生の豚の肝臓部、鶏肉、脂肪付きの牛肉の腰部、などである(Fig.6)。本実験を実施するうえで、接触部での気密性を高めるため、吸盤

の外周部に漏斗構造を導入した(Fig.6).

タコの吸盤の先端に有する漏斗部が、シール効果の向上・吸着対象物への効力の軽減として効果的であることは実験的に確認済みである。タコと同様に、漏斗先端に歯板構造をPDMSにより製作し、シール効果の向上を確認した(Fig.7)。これにより、接触面での漏れが減るため、安定した吸着力の生成が可能となった。そのうえ、この漏斗構造は、臓器表面の押しつけ圧を軽減できるため、長時間臓器を吸着保持していても、臓器の表面に損傷を与えづらいことも確認できた(Fig.8)。

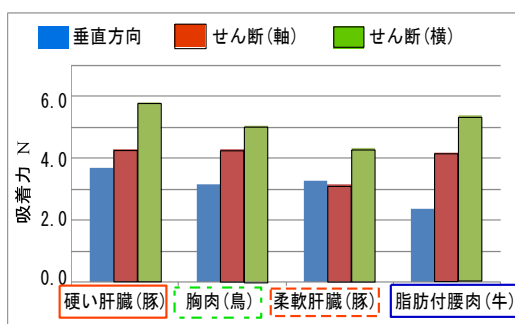


Fig.6 ソフトフィンガーの吸着力

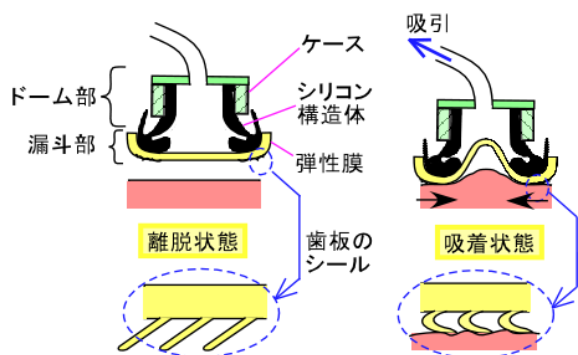


Fig.7 漏斗の構造

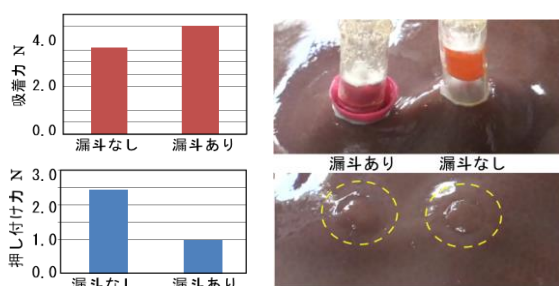


Fig.8 漏斗の有無による吸着力と臓器に与える影響の相違

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- (1) Hideyuki Tsukagoshi, Kazutaka Fuchigami, Eyri Watari, Ato Kitagawa, “Deformable Anchor Ball for Thrown Referring to Octopus Suckers,” Journal of Robotics and Mechatronics Vol.26 No.4, 477-485, 2014

[学会発表] (計 1 件)

- (1) 前角 貴士, 塚越 秀行, “ヤマビルの吸盤を参考とする柔軟吸着機構,” 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC3A3-02 (2015)

[その他]

ホームページ等

<http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塚越 秀行 (TSUKAGOSHI, Hideyuki)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：50313333