

経管腔的内視鏡手術(NOTES)用オーバーチューブの開発に関する研究

- 屈曲角度と屈曲力の評価 -

Development of Overtube for Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery

- Evaluation of Flexion Angle and Flexion Force -

○ 佐伯 晋一郎, 花房 昭彦 (芝浦工業大学),

鈴木 直樹, 服部 麻木 (東京慈恵会医科大学 高次元医用画像工学研究所)

Shinichiro SAEKI, Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology,

Naoki SUZUKI, Asaki HATTORI, Institute for High Dimensional Medical Imaging Jikei University School of Medicine

Abstract: Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES) has attracted the attention as a new minimally invasive surgery. NOTES is a surgical procedure that inserts a flexible endoscope from the mouth or other natural orifice, and reaches into the peritoneum through the lumen wall, such as stomach. Therefore, the procedure offers many advantages; prevent the development of wound on the body surface, reduce infection and hernia, improve post operative recovery and effect of early rehabilitation. However, the conventional endoscopes and peripheral equipments do not have enough features for performing NTOES. Therefore, it is necessary to develop technologies and equipments for supporting the NOTES procedure. In this study, overtube that supports the movement of the endoscope used in NOTES has been developed. The overtube consists of three flex sections made of plastic and rubber. Flexion angle and force of developed overtube have been evaluated. As for flexion angles of a single flex section, the angle increased from 13.7 to 92.8 [deg] as air pressure increased from 0.12 to 0.15 [Mpa]. As for flexion forces, the maximum forces were around 0.40 to 0.52 [N] and significant increase was necessary for practical use.

Key Words: Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery, minimally invasive surgery, overtube

1. 序論

近年, 新たな低侵襲手術として, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES)と呼ばれる手術方法が注目されている. NOTES とは, 軟性内視鏡を口や肛門などの自然開口部から挿入し, 胃などの管腔壁を貫いて腹腔内へと到達させる術式である. この術式により, 体表面に創を作らない, 感染やヘルニアの減少, 術後回復, 社会復帰が早い等, 多くの利点がある⁽¹⁾.

しかし, 従来の内視鏡及び周辺機器のみでは NOTES を行うための十分な機能がなく, 安全性に多くの欠点が残っている. それらの問題を解決し, NOTES の幅広い実現をするには, NOTES 支援のための技術や機器の開発が必要である. これまでには, スライダリンク機構と空気圧を用いた柔剛可変な外套管⁽²⁾や管腔内ロボットシステム⁽³⁾等が研究されている. 本研究では NOTES を行う際に, 内視鏡の動きを支援するためのシステムの開発を目的とした.

2. システム構成

2.1 目的

軟性内視鏡は柔軟なため, 押し込む際に内視鏡の中腹部がたわみ, 先端部分に力が上手く伝わらない事がある. そのため細かい動きの調整が行いづらく, 目的の場所への効率的で安全なアプローチが困難である. そこで内視鏡を効率的かつ安全に目的の場所へ誘導するため, 任意の位置での屈曲形状を維持しつつ, 奥へ進行させることが可能な, 内視鏡を覆うオーバーチューブシステムの開発を目的とする.

2.2 屈曲機構

目的とする動作が可能なシステムとして, 自由屈曲できる筒状の機構を縦に複数連結する構造を提案した. 内視鏡と共に押し進めながら, 屈曲機構の最前部を屈曲させた際にその位置を固定できるようにする.

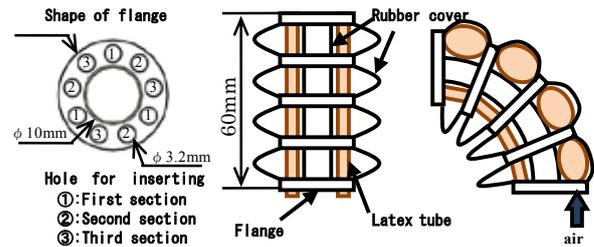


Fig. 1 Mechanism of flexion that utilize air pressure.

アクチュエータは, 安価・軽量等の点から空気圧を採用した. また本体部分は, MRI 内でも使用可能なように樹脂素材を使用している. 屈曲の機構を Fig.1 に示す. 各フランジにはゴムチューブを 120° 間隔で 3 本通過させ, それぞれに送気して膨張させる事で, フランジ間の距離に差を生じさせ屈曲する. 膨張を一定で留めるために, フランジの内側と外側を柔軟な素材のカバーで覆って接続し, 外側は内側より長さに余裕をもたせ, たるませてある. フランジには, このシステムを 3 つ接続するために, 空気の供給経路として合計で 9 つの穴を開けている.

2.3 オーバーチューブシステム

前記の屈曲機構を 3 つ直列接続する事で, 3 か所の屈曲部分を有するオーバーチューブシステムを作成した(Fig.2). 各屈曲部は, フランジに開けた 9 つの穴に, 細いチューブを通過させる事で空気が供給されている. これによって空気の供給チューブを内部に収めて, それぞれ独立した制御が可能となっている. 現状では機能確認するためのモデルとして, フランジはポリアセタールで作成し, 周りを覆うカバーはゴム板をカットして使用し, 結束バンドで固定した. フランジの外径は 20mm, 全長は 185mm である.

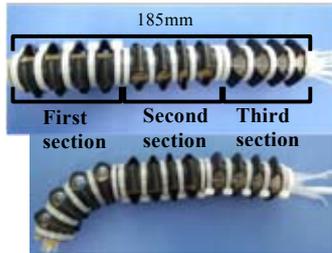


Fig.2 Overview of overtube system with three sections.

3. 屈曲角度計測

シリンジを使用して空気を送り、屈曲機構を屈曲させた時の屈曲角度を計測した。屈曲機構とシリンジ間には圧力センサ(PSE200)を接続し、チューブ内の圧力を計測した。屈曲機構が屈曲する毎に画像を撮影し、角度と屈曲半径を計測した。角度と屈曲半径は、MATLAB のプログラムによって画像処理を行って算出した。

計測結果を Table.1 に示す。フランジ間のゴムチューブは空気圧が上昇すると順に膨張し、屈曲機構は4段階で屈曲した。屈曲角度は、空気圧が0.15[MPa]の時に最大で92.8°となった。また、その時の屈曲半径は37.8[mm]であった。屈曲角度の増加が比例関係にならなかったのは、各フランジ間のチューブの長さや、膨張する力が不均一になっているためではないかと考える。

Table 1 Relation of flexion angle and air pressure

Air pressure[MPa]	0.12	0.13	0.14	0.15
Flexion angle[deg]	13.7	29.8	71.2	92.8

4. 屈曲力計測

シリンジから空気を注入したときに屈曲力を Fig.3 に示す方法で計測した。シリンジとオーバーチューブ間に圧力センサを接続してチューブ内圧力を計測した。屈曲力は、ロードセル(LTS-200GA)とオーバーチューブ屈曲機構を固定する治具を作成して計測した。屈曲機構は配管用のサドルバンドで固定し、先端部はロードセルのロッドとスプリングで接続し、ロッドが垂直に引っ張られるようにした。また、計測したセンサの出力電圧値をパソコンに取り込むためにNI-USB6009を使用した。

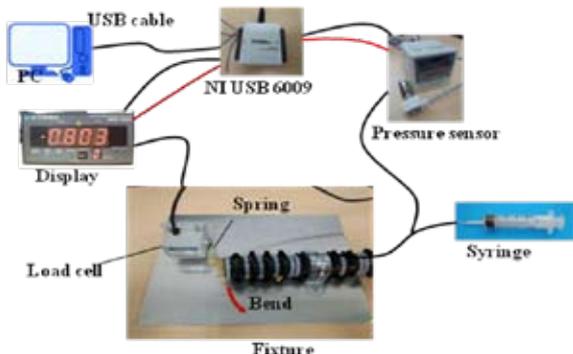


Fig.3 Overview of flexion force measuring method

1つの屈曲部に使用しているチューブをそれぞれA, B, Cとし、各チューブ順番に空気を注入し、空気を抜いた時の空圧と屈曲力の関係を Fig.4 に示す。Aのチューブを使用した時、空気圧が0.16[MPa]の時に0.40[N]、Bの時は0.17[MPa]で0.52[N]、Cの時は0.14[MPa]で0.41[N]の結果となった。計測結果の誤差は、使用したゴムチューブの疲

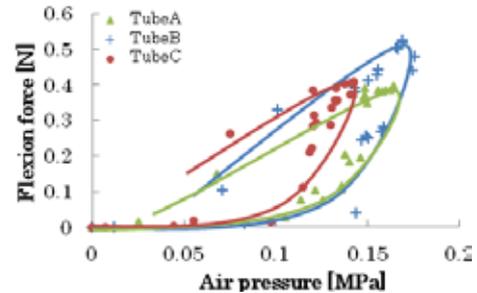


Fig.4 Relation of air pressure and flexion force..

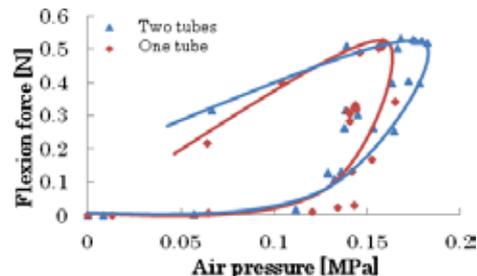


Fig.5 Comparison of flexion force when a single and two tubes were inflated.

勞や伸びによって生じたものであり、屈曲方向の屈曲力は0.40～0.52[N]の範囲であった。

次に、2本のチューブを同時に膨張させた場合の結果を Fig.5 に示す。空気圧が0.18[MPa]の時に0.53[N]の屈曲力が得られ、1本のチューブに空気を入れた時とほぼ同じ値となった。各チューブの屈曲方向は120°間隔の角度が付いているため、2本のチューブの合力は1本のチューブの場合と同じ大きくなり、このような結果になったと考える。

5. まとめ

NOTES を支援するために、空気圧を用いた屈曲機構を作成した。MRI 内でも使用可能のように、樹脂素材を使用した。さらに、その屈曲機構を縦に3つ接続する事で屈曲部を3カ所有するオーバーチューブシステムを作成した。作成した屈曲機構を、屈曲角度と保持力を計測することにより、評価した。屈曲角度は3つの屈曲部の動きを組み合わせる事で十分な屈曲の方向と大きさが得られると考える。しかし、屈曲力は最大でも約0.5[N]で、実際に使用する状況を考えると更に増強が必要だと考える。

今後は空気圧による制御部の開発を進めていく。また、医学的な面から必要な条件を考え、部材や構造の小型化、圧力を与える媒体などの改善を行っていく必要がある。

参考文献

- (1) 徐号, 富川盛雅, 小西晃造, 家入里志, 田上和夫, 橋爪誠, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery(NOTES)の現状と将来展望, 福岡医誌, vol.100, no.2, pp.43-45, 2009
- (2) 八木昭彦, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純, スライダリンク機構及び空気圧を用いた可撓性外套管のための柔剛可変機構における基礎的検討, 第14回日本コンピュータ外科学会大会, pp.129-130, 2005
- (3) Daniel J. Abbott, Chris Becke, Richard I. Roth-stein, and William J. Peine, Design of an Endoluminal NOTES Robotic System, international Conference on intelligent Robots and Systems San Diego, pp.410-416, 2007