2706 腹腔鏡下手術支援力センサ内蔵型トラカールの研究

Study on Trocar with Force Sensor for Laparoscopic Surgery

○学 吉原 和歌子 正 野口 裕久 正 中澤 和夫

小熊 潤也 森川 康英 小澤 壯治 古川 俊治 北島 政樹 (慶大)

Wakako YOSHIHARA, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa

Hirohisa NOGUCHI, Kazuo NAKAZAWA, Junya OGUMA,

Yasuhide MORIKAWA, Soji OZAWA, Toshiharu FURUKAWA, Masaki KITAJIMA,

Keio University

Recently, much attention is paid on the laparoscopic surgery, that is a minimally invasive one and is performed through the incisions of about 10mm. Therefore it produces good effects on the patients in many aspects. But it has difficulty in performing surgery with less dexterity and perception. So far, some manipulators have been developed to assist the laparoscopic surgery. However the problem of measuring the force applied to organs still remains. Internal organ may be damaged without the sense of force. In order to prevent the accident, this paper proposes a method to detect the force more easily and exactly.

Key Words: Laparoscopic surgery, forceps, force sensor, trocar

1. 緒言

近年、腹腔鏡下手術と呼ばれる手術が注目を集めている。これは体に開けた 10 mm 程度の孔に内視鏡や鉗子を挿入して行う内視鏡手術の一つであり、特に腹部に孔を開ける手術であるため腹腔鏡下手術と呼ばれている。従来の開腹手術に比べて手術による外傷が小さくなるため患者の痛みを和らげ、術後の回復を早めるなどの利点がある。しかしこの手術においては、孔から挿入する内視鏡の画像のみを用いるため、腹腔内における広範囲の視覚情報を得にくいこと、患部縫合が難しくなることや、手術時の臓器損傷の危険性が増加するなどの問題がある。特に、臓器の損傷を予防するために術部からの反力や鉗子先端にかかる力を正確に求めなければならないという課題が残されている。

患部縫合に関して一般にその際の適切な大きさは 1~1.5 N 程度であると言われている。小熊ら⁽¹⁾は、ビーグル犬の腸を用いて、メスを入れた後に患部を縫合する際の張力と、その部分を縫合した後の毛細血管新生過程との関連を調べる実験を行った。その結果、縫合時の張力が 1.5 N の時が最も血管新生過程に関与する basic FGF (塩基性線維芽細胞増殖因子) が増えていたことが報告された。本研究ではこの程度までの大きさの力を、一般的に必要とされている 0.1 N 程度刻みで計測する。また臓器損傷に関しては、今後いくつかの事例を通じて調査を行なう予定である。

関連研究として、島地ら⁽²⁾は外套法という鉗子先端接触力測定方法を提案した。この方式を用いることで、鉗子の先端に加わる力を誤差約 0.2 N (5 N 負荷時) で測定できたことが報告されている。

2. 本研究の目的

本研究においては、次章に示すようにまず自作のセンサ

を用いて鉗子先端にかかる力を測定できることを確認する。その上で使用効率のよいセンサ内蔵型トラカールを開発することを目的として、トラカール内部の応力や歪みの解析を行った後に試作する。

3. 鉗子先端にかかる力測定

筆者らは、これまでに図 1 に示すシリコンゲージ (シリコンゴムシートにひずみゲージを貼り付けたもの) というセンサを提案、開発し、鉗子先端にかかる力測定を試みた。

Fig. 1 Silicon Gauge

Fig. 2 Measurement System

Fig. 3 The Calculated Force affected on the Forceps

Fig. 4 Stress Analysis of Trocar Structure

鉗子先端にかかる力の算出方法としては図2に示すようにまず鉗子をアルミ製の内管に挿入する。さらにその後内管よりも少々長さの短い外管に挿入し、内管と外管でシリコンゲージを挟み込む。シリコンゲージを内管と外管の間の手元側と先端側に、互いに内管中心軸に対して180°回転させた位置に配置し鉗子の手元部に手で力を加え鉗子が図2のように傾いてその先端が物体に接触した場合を考えてみる。鉗子が傾くのに伴って内管とそれに固定されている外管も鉛直方向に対して傾くが外管がトラカールによって拘束されているため、それらの傾きにはずれが生じる。従って内管と外管の間に挟まれたシリコンゲージには圧力が加わり、その圧力を測定し、鉗子先端にかかる力を以下のつり合いの式(1)から求めた。

$$F_{ix} = -F_{1x} + F_{2x} - F_{3x} \quad (1)$$

この方法を用いて鉗子にシャフト軸に対して垂直な方向に0~2 N程度の力を加えた際、その力を誤差平均0.070 Nで測定できることが確認された(図3参照)。

4. センサ内蔵型トラカールの解析と試作

現在図4に示すように、トラカールが鉗子と接触した時のトラカール内部の応力や歪み分布の解析を有限要素法を用いて行っている。ここでトラカールとは、腹腔鏡下手術を行う際に腹部に開けた孔に取り付ける筒状の器具であり、内側に鉗子を抜き差しする仕組みとなり(図5参照)、鉗子はこの部分と手と臓器などから力を受ける。いくつかセンサの構造や配置を変えて解析を行うことで、鉗子が増える負荷を最も効率よく正確に検出できるセンサ内蔵型トラカールはいかなるものかを検討することを目的としてい

Fig. 5 Trocar and Forceps

Fig. 6 Trocar (trial product)

る。鉗子とトラカールの接触はトラカールの入り口付近(ゴム弁を有す)と先端付近で起きるが、まずは入り口付近での解析を行った結果、図4のように歪みも入り口端部分に集中していることがわかった。また先端付近においても同様の結果を得た。そこでこの結果を踏まえ、入り口と先端の端に近い部分にセンサを内蔵したトラカールを試作した(図6参照)。今回は試作として加工しやすい木材を用いたが、今後は実際のトラカールの素材に近いプラスチックや金属を用いて開発を行う予定である。

5. 結言

自作したセンサを用いて鉗子先端にかかる力を僅かな誤差で測定できることを確認した上で、力センサを内蔵したトラカールを試作し、同時にセンサの配置や構造を再検討するために有限要素解析を行った。また解析結果から鉗子と接触時のトラカール内部の応力・歪みは、トラカールの入り口部と先端部の端付近に集中することがわかり、試作したトラカールにはこれらの部分にセンサを内蔵した。

文献

- (1)Junya Oguma, Soji Ozawa, Yasuhide Morikawa, Toshiharu Furukawa, Masaki Kitajima, Kazuo Nakazawa, Kouhei Ohnishi: "Analysis of the Knot-Tying Force in Dog Models" Advanced Motion Control, (2004), 223-225.
- (2)亀山文恵, 島地重幸, 箱崎義英, 藤原康宣: "手術ロボットシステムにおける術具先端力の計測に関する研究", 第22回日本ロボット学会誌講演会講演論文集, (2004).