内視鏡下外科手術における術具操作逆運動問題への一提案

A Proposal for the Reverse Motion Problem on Endoscope Surgical Operation

○学 佐藤 光平 (岩手大院) 正 島地 重幸 (岩手大工) 正 萩原 義裕 (岩手大工)
正 橋元 皓 (岩手大工) 正 箱崎 義英 (岩手大工)

Kouhei SATO, Graduate school of Iwate University Shigeyuki SHIMACHI, Yoshihiro HAGIHARA, Akira HASHIMOTO,
Yoshihide HAKOZAKI, Faculty of Engineering Iwate University

Key Words: *Endoscope, Forceps*

1. 緒言

外科医療における低侵襲手術の一つに腹腔鏡下外科手術がある。この術式では、患者の腹部に複数の小さな穴を設け、その穴に術具である鉗子や内視鏡という術具を挿入し手術を行う。この場合、開腹術と比較して患者の身体に対する負担が小さくなったが、術者にとっては操作性が悪いという問題点が生じた。その原因として、患者の体内側と体外側で術具操作の運動が逆方向であること、術具の動作が単純で複雑な作業が困難であること、内視鏡は基本的に一眼であり立体視が難しいことなどが上げられる。

これらを解決する方法としてマスタースレイブで構成されるロボットシステムが開発された。しかし、このシステムは、装置が大きく、また高価であるという課題を持っている。そこで、術具の運動自由度を増やした純機械式で手動の多自由度鉗子や、簡単な電動式多自由度鉗子が開発されてきたがロボットシステムのような実際に手元で行うような操作感覚は得られないでいる。

本研究室では操作感覚の問題点が、鉗子操作における逆運動にあるのではないかと考え、逆運動問題を解決できる安価で簡単な手術装置の開発を行ってきた。本稿では新たに設計した術具の逆運動問題を解消する装置について報告する。

2 逆運動操作問題

逆運動操作問題とは患者の体内側と体外側で術具操作の運動が逆方向になる問題である。術具である鉗子は腹部のトロカール点を支点に先端と後端とで点対称に動作する。そのため挿入方向に対しては生じない。これは術者の直感的な鉗子操作を妨げ、手術を困難にさせる一因であると考えられる。逆運動操作問題を解消するには、トロカール点に対して事前に点対称を起こす機構を用いる必要がある。

Fig. 1 Composition of system

3.1 逆運動解消システム

本研究において提案する逆運動解消システムの構成を図1に示す。同図①は逆運動機構である。同図①は逆運動機構である。逆運動機構の上部リンク (図.1-a) にはマスター装置が、下部リンク (図.1-b) にユニバーサルジョイントを介してスレーブ装置がそれぞれ接続される。cはトロカール穴で鉗子が挿入される。dは腹腔内を写すカメラで腹腔内部を⑥のモニターに映し出す。②は逆運動装置を挿入方向に稼働させるスライド機構。③、④は逆運動装置の角度調節機構。⑤は逆運動装置の位置調節機構となる。この装置で術者は⑤の位置調節機構で患部に鉗子をトロカール点に併せ、③、④で操作しやすい角度に調節する。そしてdのカメラがモニターに映し出す情報を元に、aに取り付けられたマスターを操作することでbに取り付けられた鉗子を動かし手術を行う。⑦は手術台であり、システムは手術台 (瑞穂医科工業製) の両サイドに付属しているレールに取り付け可能なものを設計した。マスターとスレーブ部分は多自由度ロボット鉗子 (東芝、瑞穂医科工業製) を用いる。(図2参照) このロボット鉗子は先端の折り曲げと回転が可能なものであり、腹腔内で十分な手技を可能とするものである。開発したシステムの全体図を図3に示す。

Fig. 2 Robot Forceps

Fig. 3 Endoscope surgical reverse motion system

3.2 逆運動機構

逆運動機構は図4に示すようにマスター側のリンクを同図a方向に操作することで、支点を中心としてのスレーブ側リンクが同図b方向に動作する。つまりマスター側リンクとスレーブ側リンクは支点を中心として点対称な動作をする。この動作はプーリとタイミングベルトを使用した機構で行っており滑らかな動作が可能である。またマスター装置は支点上方の空間を自由に操作することが可能であり、支点の延長線上にトロカール点があると仮定したとき、鉗子先端は支点の延長線を中心とした頂角60度の円錐形状の稼動範囲を持つように逆運動装置を設計した。

3.3 角度調節機構

鉗子をトロカール点に挿入した後、患部に対する鉗子先端のアプローチを決定するために鉗子本体のトロカール点に対する角度を調節する必要がある。そのため、トロカール点を中心とした球状リンクにより鉗子角度を調節することにより鉗子先端の位置決めを行う。角度調節機構を図5に示す。図5における③のリンクがX軸周りに、④のリンクがY軸周りに回転することで鉗子の先端位置の位置決めを行う。また、③、④のリンクは鉗子の稼動域を阻害しないように設計した。

4.1 実験考察1

逆運動解消システムの操作性を評価するために3人の被験者にシステムを操作してもらい実験を行った。実験内容を以下に示す。

実験は鉗子先端にペンを取り付け、トロカールを通し、直径10mmの円の中にそれぞれ「木」、「瀬」という文字を書くというものである。

Task1:逆運動解消システムを使用し「木」を書く。

Task2: 一般的な鉗子の先端にペンを取り付け「木」を書く。

Task3:逆運動解消システムを使用し「瀬」を書く。

Task4:一般的な鉗子の先端にペンを取り付け「瀬」を書く。

実験の結果を図7に示す。実験の結果、「木」という単純な文字を書く場合システムを使用した場合と、そうでない場合で差は少なかったが、「瀬」という複雑な文字ではシステム使用したとき、一般的な鉗子を使用した場合と比べ平均10.05秒間、作業時間が短縮した。これはシステムを使用した場合文字を直感的に書けるのに対し、鉗子単体で文字を書く場合、鉗子の逆運動問題により多少の違和感があるためではないかと考えられる。

Fig. 4 Reverse motion

Fig. 5 Spherical mechanism

Fig. 6 Suture object

4.2 実験考察2

図6に示す対象に対し縫合（針を通し糸を引き抜くまでの動作、結紮は行わない）の熟練度を調べる実験を行った。被験者は図2のロボット鉗子単体で縫合を行うAグループが4名、システムを使用して縫合を行うBグループが5名とする。対象の上部には4mmの穴が45度刻みで8個あけられている。実験は3分以内に対象の穴に縫合した回数を測定するものであり一人につき一日3回、4日間継続して行う。一度縫合した穴には8箇所すべての縫合が完了するまで再度縫合を行わないものとする。また、縫合対称の位置、トロカールの位置は一定とする。

Aグループ、Bグループそれぞれの初日から4日目までの縫合回数の平均結果を図8に示す。実験の結果4日目までBグループの縫合成功回数が平均して一回ほど多くなった。また8箇所以上の縫合が可能であった割合はAグループが33.3%、Bグループが46.7%だった。結紮を伴わない縫合は単純な動作であるためAグループ、Bグループとで大きな差は見られなかった。しかし、実験後にAグループの被験者の多くが肩や腕の疲労を訴えたのに対し、Bグループの被験者たちからはそのような訴えは無かった。これはロボット鉗子単体の場合、肩を開いて鉗子を動かすなど負担のかかる動きを術者に強いるのに対し、提案システムは角度調節機構により鉗子位置を操作しやすい位置に調整できるため、鉗子操作が被験者の負担にならなかったためと考えられる。

Fig. 7 Result of Task Experiment

Fig. 8 Result of Suture Experiment

5. 結論

本稿では逆運動解消システムを製作し、文字を書く実験、糸を針に通し引き抜く（縫合）実験を通してその有効性を示した。今後の課題として、システムを使用し両手での縫合結紮実験、立体視システムを併用した実験、システムの更なる小型化などが挙げられる。

6. 参考文献

- [1] 藤原正寛 岩手大学修士論文 腹腔鏡下外科手術における術具逆運動問題の一提案 2007
- [2] TOMIOKA Kei, INNO Makoto, 人間工学を応用したロボット鉗子新型操作部の開発, 東芝レビューVol.60, 37-39, No.8 (2005)