直径3mmの極細径ロボット鉗子

Ultra Thin Robotic Forceps of 3mm in Diameter

執筆者プロフィール

神野 誠
Makoto JINNO

1983年慶應義塾大学工学部機械工学科卒業
1985年慶應義塾大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了

■主として行っている業務・研究
・ロボット・メカトロ機器のシステムおよび機構に関する研究開発と事業化の推進

■所属学会および主な活動
日本機械学会, 日本ロボット学会

■勤務先
(株)東芝 研究開発センター 事業開発室グループ長

(〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1/
E-mail: makoto.jinno@toshiba.co.jp)

1. はじめに

6年前に最初に試作したコンセプトモデルのロボット鉗子は、直径26mmもあった。それから12mm, 10mm, 5mmと段階的に細くし、ついに直径3mmの極細径ロボット鉗子が完成した。50円玉の穴もらくらく通過できる細さである。一般的な鉗子の標準的な太さである直径5mmよりさらに細いため、腹部消化器系の外科手術だけでなく、心臓や脳、胎児などを対象とした微細な外科手術への適用が期待できる。ここでは、試作した直径3mmの極細径ロボット鉗子について紹介する。

2. ロボット鉗子へ高まる期待

腹腔鏡下手術は、患者の腹部に数個の10mm程度以下の穴を開け、腹腔鏡（腹腔用の内視鏡）や鉗子（かんし：30cm程度の棒の先端にグリッパのついたマジックハンドのようなもの）を挿入し、腹腔鏡画像をモニターで見ながら行う手術である。患者に負担の少ない低侵襲手術であるため、入院期間の短縮や早期社会復帰など患者のQOL（Quality of life）の観点から注目されている。最近では、国内の胆嚢（のう）摘出手術の多くは、開腹を行わない腹腔鏡下手術によって行われており、より高度な手術においても腹腔鏡下手術の適用件数が急激に増加している。しかし、術者（外科医）には高度な技術を要求されるため、熟練した医師にしかできないという問題がある。その主な理由の一つとして現状の鉗子では自由度が不足し、鉗子先端部ハンドを自由に操作することができないことがあげられる。

欧米では、すでに低侵襲手術にもロボット技術が導入され、高機能で操作性に優れた遠隔操作型手術ロボットが臨床現場で使い始められている。それに対して筆者らは、操作部（マスタ）と鉗子先端部ハンド（スレーブ）を連結させ一体化したロボット鉗子を提案・開発し、その実用化を進めている。先端部に曲げ・回転などの関節を備えているため、自由自在にハンドの姿勢を動かすことができ、これまでの鉗子では難しかったいろいろな方向からの縫合結紮作業が容易になる。また、右手はロボット鉗子、左手は従来

の鉗子という具合に、患者のそばで従来の手術機器と一緒に使うことができる。システムが簡単・コンパクトなため、低コストで多くの病院に導入できるというメリットがあり、その実用化が強く期待されている。図1にロボット鉗子による腹腔鏡下手術のイメージ、図2にロボット鉗子本体の自由度構成を示す。

3. 直径3mmのロボット鉗子の試作

基本的な自由度配置、駆動機構、制御構成、部品構成などは、直径によらず同じである。また、操作部（マスタ）と作業部（スレーブ）との着脱のための機械的インタフェースを統一しているため、コントローラおよび操作部（マスタ）は、同一のものをそのまま利用できるという利点もある。図3に試作したロボット鉗子（直径10, 5, 3mm）の作業部（スレーブ）の写真を、図4に直径3mmのロボット鉗子作業部の拡大写真を示す。50円硬貨の穴（約4mm）を余裕を持って

図1 ロボット鉗子による手術イメージ

通過できる細さである。

湾曲針を用いファントム（スポンジ製臓器モデル）に対して縫合結紮作業を行っている様子を図5に示す。右側が従来の鉗子、左側が直径3mmのロボット鉗子である。直径10mmや5mmのロボット鉗子に比べると把持力が弱いので、湾曲針を刺入して刺出する時の操作をより高精度にする必要があるが、一連の縫合結紮作業が可能である。

4. 極細径化設計のポイント

設計だけを考えると、直径を5mmから3mmに細くする設計は極めて単純である。寸法をすべて5分の3にすればよいのである。しかし、機械システムにおいて大幅な小型化を試みると、多くの場合、機械的な剛性の低下やガタの増大などが生じ、所望の性能を得ることができない。小型化するに従って、部品の相対的な精度の低下や、加工や組立上の問題などが生じるからである。そのようなことにならないように、設計者は、設計以上に部品の加工方法や組立方法についても深く考え、機械加工技術者、組立技術者などと議論して設計を進めなければならない。

このロボット鉗子では、もともと機構的な工夫により大きな把持力を発生する増力機構を考案・採用していることに加え、個々の部品の形状や加工方法、組立手順などの見直し（知恵の輪的な部品形状と組立方法）を行うことで、剛性の低下やガタの増大を最小限に抑え、極細径化を可能とした。特殊な工作機械や組立装置などを必要とせず、従来技術の延長線での部品加工、組立作業ができるため、直径10mm、5mmなどのロボット鉗子と比較して大幅なコストの増加なく製作することができた。

5. おわりに

ロボット鉗子に関するアンケート結果（専門医による操作性評価会）では、8割以上の医師から、「ロボット

図2 ロボット鉗子本体の自由度構成

図3 ロボット鉗子作業部（外径10mm, 5mm, 3mm）

図4 直径3mmの極細径ロボット鉗子

(a) 縫合作業

(b) 結紮作業

図5 スポンジファントムへの縫合結紮作業の様子

鉗子は、従来の鉗子に比べて有効」、「ロボット鉗子は、将来必要となる手術機器である」と高い評価と期待が寄せられている。今後、信頼性、耐久性を向上させ、適用領域の的確な見極めを行い、数年以内の実用化を目指したい。

なお、本研究開発は、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の健康寿命延伸のための医療福祉機器高度化プログラム、早期診断・短期回復のための高度診断・治療システムの開

発「内視鏡等による低侵襲高度手術支援システム」（2000～2004年度）の要素技術として慶應義塾大学などの協力のもと開発した成果である。

詳細については、文献（1）を参照いただければ幸いである。

文 献

- (1) 神野 誠, 腹腔鏡下手術支援用ロボット鉗子, 日本ロボット学会誌, 22-4 (2004), 439-443.