

ロボット手術の現状と将来展望

橋爪 誠*

はじめに

21世紀は、患者に優しい医療を目指すといわれています。しかし、患者に優しい医療とはどのような医療を指すのでしょうか。ヒトは、健康でより長生きすることを望み、我々は、不治の病を治し、かつ、患者に負担をかけない、より侵襲の少ない治療法の開発を望まれています。

21世紀には、血液循環の病と、がんや感染症の撲滅が最大の目標であり、その目標達成の手段として、生物工学的手法を応用した再生療法や、遺伝子治療、創薬、さらにコンピュータ技術を利用したロボット手術が注目を集めています。

これらの技術は最終的には統合されて一つの大きな治療手段となる日が近くなっています。ここでは、ロボット手術の現状について報告致します。

内視鏡外科手術の現状と限界

外科領域では、1990年代より内視鏡を用いた低侵襲治療が世界的に普及し、一般外科手術の約3割がこの内視鏡下外科手術に取って代わっています。今後さらに5割近くの手術がこのような低侵襲治療に変わっていくことが予測されます。

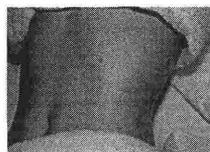
この内視鏡下外科手術の世界的普及の背景には、患者にとって美容形成上傷が小さいというだけでなく、回復が早く、入院期間も短く、早く社会復帰できるという大きなメリットがあるからです。病院側にとっても、合併症が少なく、患者一人当たりにかかる人件費を抑え、平均入院期間を短縮することができるメリットがあります。

しかし、外科医にとっては、医学教育では教え

られなかった全く新しい手法で、小さな穴からだけのアプローチで、従来と同じかそれ以上の治療効果を出さなければならず、非常に大きなストレスとなっています。特に、カメラを通して見える限られた視野の中で、自由度の小さい鉗子を用いて手術操作をしなければならず、なかなか自分の思い通りに鉗子が動かないのが現実です(図1)。

一方、内視鏡下外科手術が、我々にもたらした恩恵は、計り知れないものがあります。図2は、内視鏡下外科手術と次世代外科手術との関係を示したものです。内視鏡下外科手術は、外科医が直接自分の目で見ながら自分の手で触りながら手術するという従来の外科の概念を一変し、画像や鉗子を介して間接的に手術操作するという方法を生み出したのです。

これにより、現在の工学的技術を導入することで、外科医が、人間の持つ力以上の仕事を発揮できるよう支援するシステムの開発が考案されてきました。超能力視(super-vision)や超能力手(super-hand)がこれです。また、通信技術の発展により、同じ画像を、時空間を越えて共有し、体験する事ができるようになり、遠隔からの手術指導



術後腹部所見



全手術件数の約3割を占める



スタッフの役割の変化

*九州大学大学院医学研究院災害救急医学
同 医学部附属病院先端医工学診療部

図1 内視鏡下外科手術の手術風景

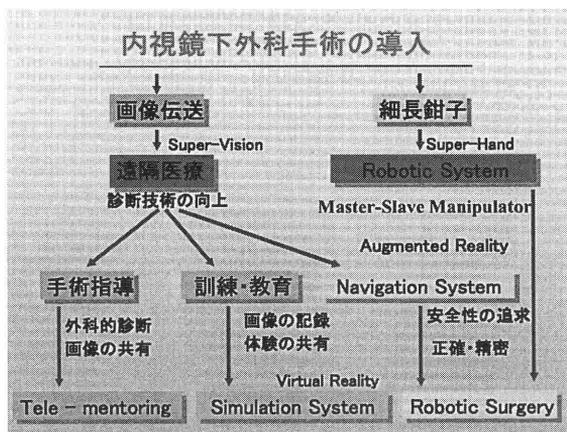


図2 内視鏡下外科手術導入による次世代外科手術の手術体系

や、教育・訓練に用いる事が可能となりました。一方、手の動きをより精密に鉗子に伝え、微妙な手の震えを伝えずに、必要な動きだけを伝えて動かすことができるマスター・スレーブマニピュレータシステムが開発されてきました。さらに、人間の目では見ることができない臓器の中の構造を、あたかも透視するかのようにみせることができるナビゲーションシステムの開発が進んできています。

ロボット手術開発の目標は、内視鏡下外科手術の低侵襲性という利点を活かし、かつ、現在の内視鏡下外科手術が有する技術的困難を克服し、さらに従来できなかった治療を可能にすることにあります。

ロボット手術の臨床現場の現状

現在、臨床現場で用いられているロボット手術には、整形外科領域で用いられているロボドッグと、一般外科領域で用いられているダビンチやゼウスがあります。

ロボドッグは、股関節疾患で人工骨頭を挿入する際に、コンピュータ上で術前計画を立て、大腿骨を計画通りに削ることができるロボットです。

これに対して、ダビンチ(図3)とゼウス(図4)は、マスター・スレーブ型の手術支援ロボットです。いずれも米国のベンチャー企業の開発によるもので、冠動脈バイパス術を非開胸下に施行することに成功し、まさに、外科手術の革命といえます。世界的には、心臓外科領域と一般外科領



図3 ダビンチ

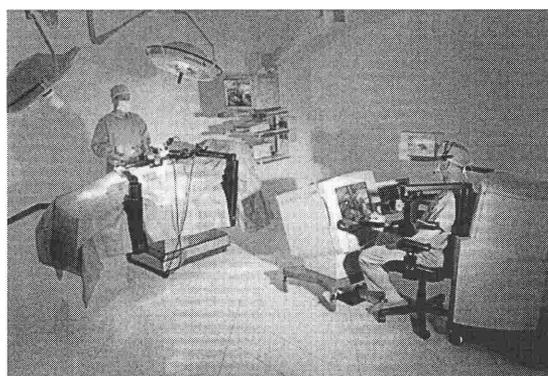


図4 ゼウス

域とではほぼ半々の割合で臨床応用されています。心臓外科では、冠動脈バイパス術のほか、僧房形成術、内胸動脈剥離術などが行われています。一般外科領域では、内視鏡下外科手術で施行できる手術はほぼすべてがこの適応となります。本邦では、ダビンチが九州大学(表1)と慶應義塾大学で臨床治験を平成14年6月に終了し、厚生労働省へ医療用具としての認可の申請を行っている段階です。九州大学では、世界で初めて、ロボットを用いた完全腹腔内胃切除術や、大腸癌手術、脾臓摘出術、食道切除術などに成功しました。

ゼウスは、ニューヨークテロ事件の数日前にニューヨークとフランスとを光ファイバーで結び、フランスにいる胆石症患者をニューヨークにいる外科医がロボットを操作し、腹腔鏡下胆嚢摘出術に成功しました。本邦では、大阪大学、東北大学、九州大学のほか、民間病院にも入っています。九州大学では、平成15年4月より臨床へ導入

表1 九州大学におけるダビンチ手術（九州大学第二外科，2000年7月～2002年6月）

術式（症例数）	性	年齢	診断
Cholecystectomy (30)	12 : 18	54.2	Cholelithiasis (30)
Ingu. herniorrhaphy (2)	2 : 0	64.0	Inguinal hernia (2)
Distal gastrectomy (2)	1 : 1	69.0	Gastric ca II C(2)
Colon resection (3)	1 : 2	76.0	Colon ca (C1, D1, S1)
Splenectomy (6)	3 : 3	51.0	ITP (1), Tumor (1) hypersplenism (4)
Hassab op (1)	1 : 0	51.0	hypersplenism (1)
Repair of hiatus hernia (2)	0 : 2	76.5	Hiatus hernia (2)
Esophageal tumor resection (3)	1 : 2	54.6	Leiomyoma (2), ca (1)
Mediastinal tumor resection (2)	1 : 1	44.5	Thymoma (1) Neurogenic tumor (1)
Breast tumor resection (1)	0 : 1	38.0	Phyllodes tumor (1)
Ovarian tumor resection (1)	0 : 1	47.0	Cyst of the ovary (1)
Thoracic sympathectomy(1)	1 : 0	54.0	Hyperhidrosis (1)
Myotomy of the esophagus (1)	1 : 0	43.0	Achalasia (1)
Nissen fundoplication (7)	3 : 4	59.4	GERD (7)

し、一般外科の他に、前立腺全摘出術や、小児外科領域の手術に用いています。

ダビンチもゼウスも、3次元で術野を観察でき、鉗子は、マスター・スレーブ方式で、血管縫合などの非常に細かな手術操作が必要な術式に良い適応といえます。

本邦におけるロボット手術開発の現状

本邦における、ロボット手術の開発は、米国に比べると遙かに遅れ、最近ようやく始まったばかりです。その背景には、診断機器の開発には力を入れてきたが、治療用具は、開発から製品化までに、安全性試験や臨床治験など多年を要する上に、厚生労働省からの認可を得るのに更に数年を要する事と、医療事故に対する賠償責任等多くのリスクを考慮すると企業側があまり積極的ではなかったという事実があります。最近、文部科学省や、経済産業省、厚生労働省などが、日本の高度先端医療開発の在り方に対する反省から、医工連携や産学官連携をより積極的に促進させることで、本邦から世界に発信できるものを開発し、結果として、本邦の経済振興に役立たせようとする動きがあります。

図5は、日本学術振興会未来開拓研究促進事業で、著者らが産学連携で開発を進めているロボットシステムの完成予想図です。手術支援ロボットは、現存のものよりさらに小型化し、術前画像を術中の内視鏡画像と完全に重ね合わせ、よ

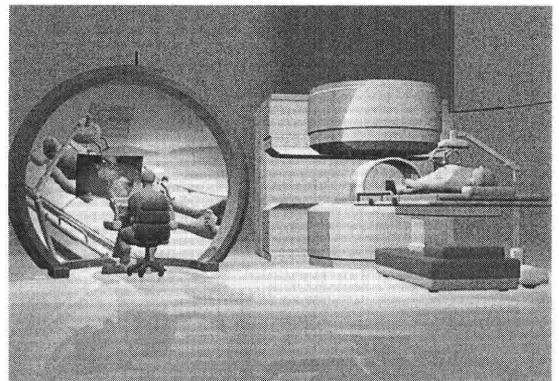


図5 現在開発中の画像誘導下手術支援ロボット

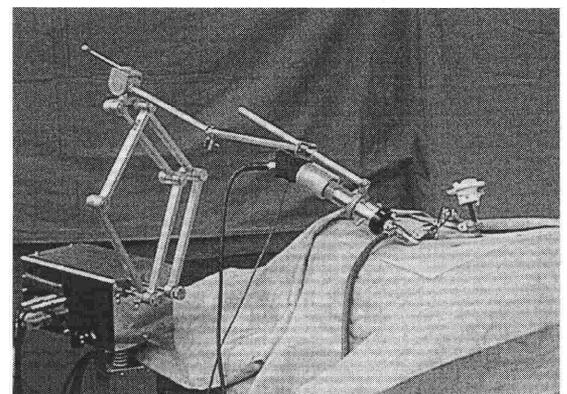


図6 手術支援ロボット：ナビオット

り安全で精確な手術を可能とするシステムを目指しています。

図6は、平成14年にこの未来開拓研究促進事業

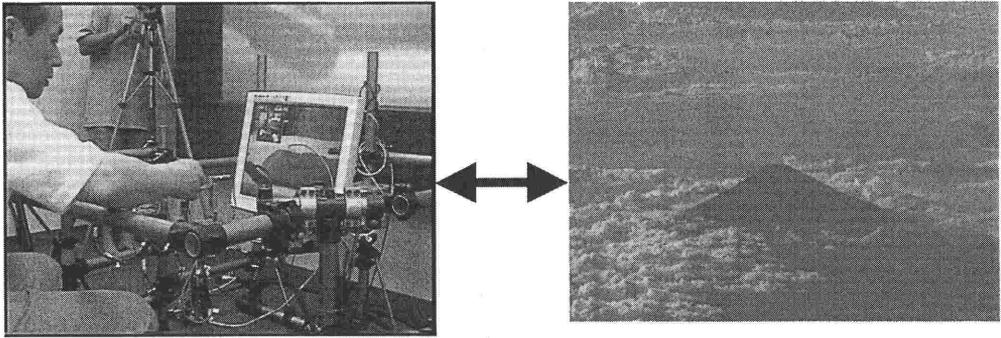


図7 本邦初の遠隔手術に成功

肝切除時における術中ナビゲーション

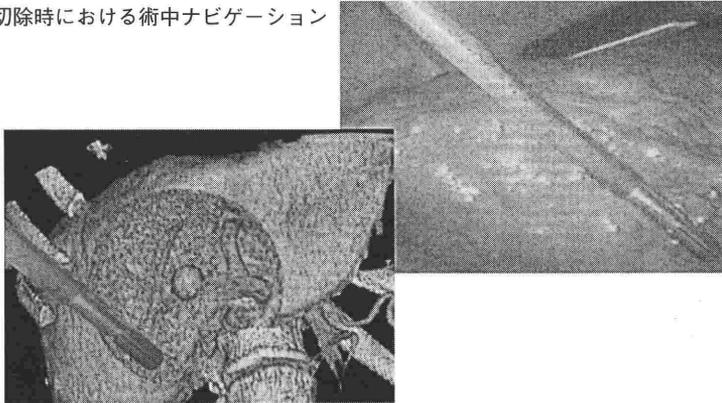


図8 術前画像と術中画像の重ね合わせ

の中から生まれた手術支援ロボットとしては、本邦初の国産第1号ロボットです。この特徴は、カメラを保持し、術者が手元にあるインターフェースを使って、自分の欲するところに自由自在にカメラを移動させることができるシステムで、ソロジャーが可能となりました。

著者らは、現在開発しているロボティックシステムの一部を用いて、平成14年8月に東京・富士宮間を電話回線 ISDN 3 回線で結び、動物での腹腔鏡下胆嚢摘出術に本邦で初めて成功しました。著者らのプロジェクトでは、このほかに多くの機能と自由度を有する多機能鉗子の開発などを行っています。

また、このロボット手術の安全性を支える重要なシステムとしてナビゲーションシステムがあります。これは、カーナビと同様、現在肉眼では見えないものをあたかも透視してみせ、より安全かつ、無駄のない手術を可能とするシステムです

(図8)。

図9は、ダビンチに装着可能な画像重ね合わせの技術を示しています。術前の胆嚢造影の立体画像を術中に術者が覗くコンソール内に内視鏡画像と重ね合わせることを可能としました。

将来展望

ロボット手術の今後は、より小型化し、より低侵襲、より安全・精確、より迅速な方法の開発に向かう事は間違いありません。このためには、診断機器と治療器との一体化を実現することが重要です。

外科治療においては、病理診断が最終診断として絶対的なものであり、内視鏡検査時に施行した生検診断が確定して初めて手術となります。この間一ヶ月以上待たされることが現在でも続いています。しかし、内視鏡診断時に病理診断と同等の価値を有する診断ができたとすれば、その場で治

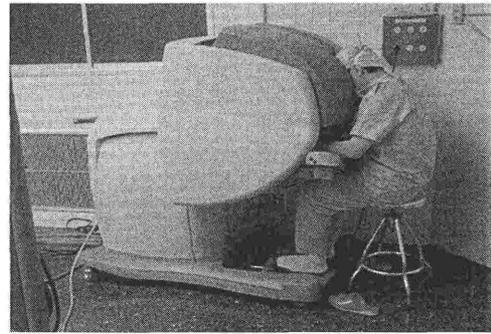
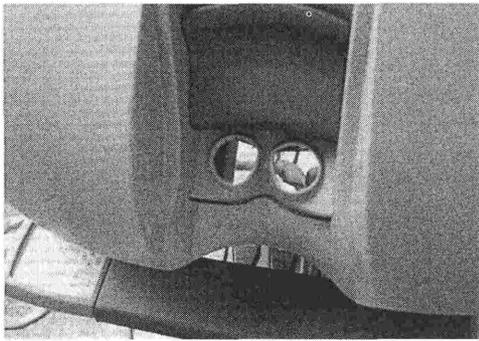


図9 ダビンチでの画像重ね合わせ

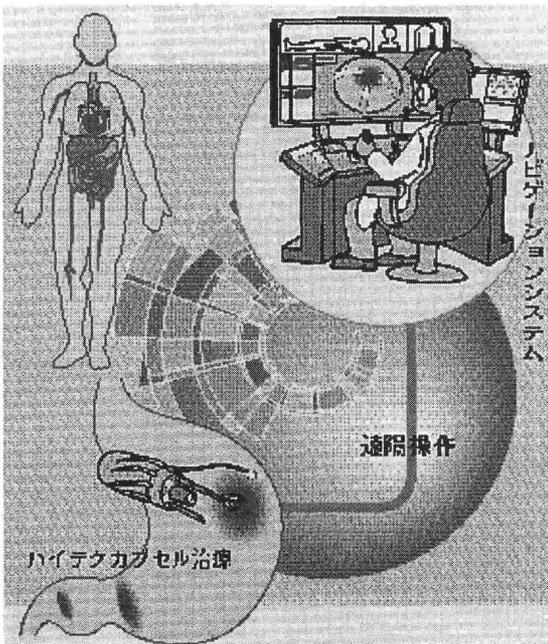


図10 カプセルロボット手術

療が可能となります。現在開発中の共焦点内視鏡は、まさしくこれを可能とするものの一つとして期待されています。

治療器の小型化としては、図10に示すカプセル型のロボット手術が期待されます。現在すでに、カプセル内視鏡は欧米で臨床応用されており、特に、小腸の内視鏡像は従来得られなかったのが簡単に得られ、患者にとって福音となっています。著者らは、このカプセル内視鏡に搭載可能な小型ロボットの開発を行っています。

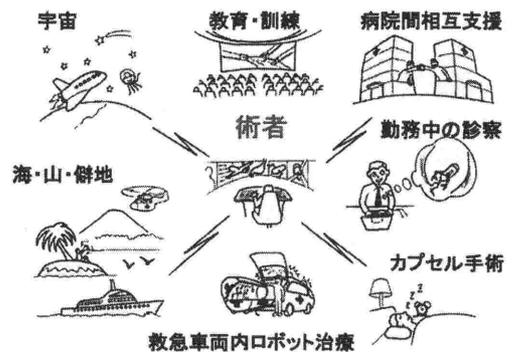


図11 近未来のロボット治療

おわりに

ロボット手術の開発は、コンピュータ技術の進歩と同時に、近年急速に進んでおり、この方面の技術は我々を取り巻く生活環境すべてに及び、より安全で安心して暮らせる社会の実現に貢献するものと考えます(図11)。社会の一層の理解を得て今後益々発展することを願っています。

文 献

- 1) Hashizume M, Shimada M, Tomikawa M, et al : Early experiences of endoscopic procedures in general surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgical Endoscopy* 16 : 1187-1191, 2002
- 2) Hashizume M, Shimada M, Konishi K, et al : What is new in robotic surgery? *Proceedings of 16th International Congress and Exhibition, CARS 2002*, ed. By HU Lemke, et al. P.309-313, 2002
- 3) 橋爪 誠 : 腹部外科手術へのVR技術の応用と将来, *日本VR医学会* 1 : 7-15, 2003
- 4) 橋爪 誠 : 外科医の夢 : 手術用ロボット, 病院設備 *日本医療福祉設備協会* 45 : 7-13, 2003