

先端医工学

田上, 和夫
九州大学病院先端医工学診療部

橋爪, 誠
九州大学病院先端医工学診療部

<https://doi.org/10.15017/4281>

出版情報：福岡醫學雑誌. 98 (4), pp.100-105, 2007-04-25. 福岡医学会
バージョン：
権利関係：



先端医工学

九州大学病院 先端医工学診療部
田上和夫, 橋爪 誠

はじめに

手術の低侵襲化を目指す内視鏡外科手術は世界的に普及しており, それは癌に対する手術も同様である。癌に対する内視鏡外科手術の適応は疾患, 病期ともに広がりつつあり, より安全で正確な手技, あるいは機器の開発が望まれている。さらに最近では, 最先端のコンピュータ技術を医学, 特に外科領域に臨床応用するコンピュータ外科学 (Computer Aided Surgery: CAS) が発達し, CT や MRI などの医用画像を基により正確な腫瘍あるいは臓器の位置を把握して安全かつ確実な手術を支援する画像誘導下外科手術やロボット手術の研究が進んでいる。

九州大学病院先端医工学診療部の目標は, 『“精確”で患者さんに優しい医療を提供できる“低侵襲治療のための研究教育拠点”』となることである。我々の研究グループの主な活動を以下に紹介する。

1. ロボット手術

1-1. 我が国の現況

一般に先行して使われている「ロボット手術」とは, 人間である術者の手の動きを忠実にロボット鉗子が再現して行う手術であり, 人間が精密手術用機器を用いて行う「精密手術」である¹⁾。手術操作をするのはあくまで術者である人間である。既に臨床応用されている機器が幾つかある。“ROBODOC” (Integrated Surgical Systems 社) は, 関節手術に用いられるロボットで, 3D-CT を使った術前計画に基づいて3次元的に正確に骨を削り出す機能を有する。脳神経外科領域では早くから手術支援システムとしてナビゲーションシステムが臨床で用いられてきた。2003年には信州大学と日立製作所が共同で開発した脳腫瘍等手術支援システム“HUMAN”が世界で初めて臨床応用され, 成功している。また東京女子医大では, シミュレーションシステム, ナビゲーションシステム, 手術支援ロボット, 病理診断, 安全管理などの手術に関わるすべてのシステムを戦略デスクで統合管理し, 手術室全体を支援する“インテリジェント・オペレーションルーム”の構想を実現し, 注目を浴びている²⁾。“da Vinci” (Intuitive Surgical 社, 図1) は主として胸腹部の手術を行うロボットで, 欧米主体で全世界の中規模以上の病院に約559台 (2006年12月現在) が導入され, 心臓外科, 泌尿器, 一般外科領域を中心に既に1万例を超す手術実績がある (図2)。日本では, da Vinci は2000年に導入され^{3,4)}, 2001年から2002年の間に慶應義塾大学と九州大学で臨床治験を終了し, 医療機器としての認可を待っている状態である。

1-2. 手術支援ロボット da Vinci の特徴

内視鏡外科手術は1990年代からわが国で爆発的に普及し, その低侵襲性が評価されているが, 限られた空間・視野で手術操作の制限があること, 微細な操作が難しいこと, 術者の生理的な手指の振動など, 現状での課題が幾つか指摘される。最先端の工学技術によりこれらの課題を克服し, 人間を超える「目」や「手」の開発を行い, 鉗子の自由度を高めて微細な操作も可能にし, 安全で確実な手術操作を行う, 生理的な振動は除去する, ネットワーク技術による遠隔操作も行う, などが現実的にロボット手術で可能になってくる。

Kazuo TANOUE and Makoto HASHIZUME
Department of Advanced Medicine and Innovative Technology, Kyushu University Hospital
Advanced Medicine and Innovative Technology



図1 手術支援ロボット da Vinci (Intuitive Surgical, Inc., CA, USA)
 左から Surgeon Console, Surgical Cart, Vision Cart, 術者は Surgeon Console に座り, 3次元映像を見ながら Surgical Cart を操作する.

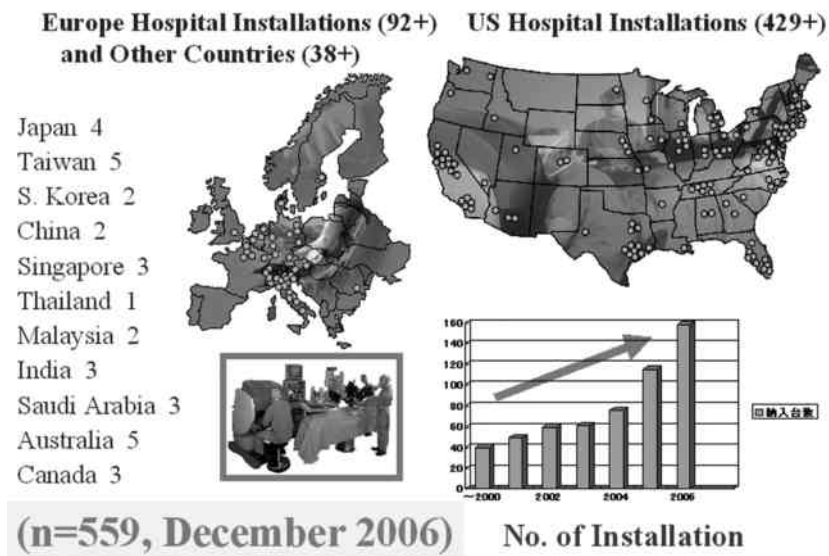


図2 世界における da Vinci の普及状況

基本的に現在のロボット手術支援装置の主流は術者の手の動きを忠実にロボット鉗子が再現する Master-Slave 型であり, 手術操作をするのはあくまで術者である人間である. 自動化された動きや, 機械のみの動作は無く, 人間の制御のもとに安全性が確保されている.

現在最も汎用されている da Vinci について以下に特徴を述べる. 精密さについて, 「目」となるカメラの拡大率が 10~15 倍あるため, 細かい部分まで確認可能で, しかも画像が 3D であり, 術野を精確に再現している. 「手」となるロボット鉗子は人間の手の生理的振動を除去するため, 震えずに精確な手術が可能である. さらに術者の手の動きを器具先端に縮小して伝達する Motion Scaling 機能を有し, 人間の手より精密な操作が可能である. 力覚・触覚は現時点では無く, 視覚で補う必要がある.

da Vinci には様々な手術機器を接続して用いることができ, 他製品との技術補完が成されている. 鉗子の種類が 20 数種類あり, 電気メスもモノポーラー, バイポーラーを揃えており, オリンパス社の超音波凝

固切開装置 (Ultrasonic Shears) も使用することができる。

内視鏡外科手術は術野とモニター上の視野が別方向にあり、さらに手の動きも鉗子の自由度が低いために制限されている。da Vinci は Surgeon Console を術者が覗き込むと、術野が 3D で見えて、手元の manipulator が視野と同軸方向にあり、eye-hand coordination に優れており、開腹手術の感覚に近く直感的な手術操作が可能である。

いずれのタイプも 3 本の腕を持ち、1 本には内視鏡、残りの 2 本には鉗子やハサミなど手術器具が装着される。術者は内視鏡からの三次元映像を見ながら、切開縫合などの手術操作を行う。新しいタイプの da Vinci S はサイズが小さくなっただけでなく、さらにもう 1 本腕が増え、それらを術者が切り替えることにより、より効率的に手術が行えるようになった。

1-3. MRI 誘導下小型手術ロボットの開発

NEDO (新エネルギー産業開発機構) のプロジェクト (2002-2006 年度) 「未来型医療を実現する小型手術用ロボティックシステムの研究開発」では、ロボットの小型化およびオープン MRI (核磁気共鳴画像診断装置) 環境への対応を目指したロボットが開発されている (図 3)。また、肝臓治療における穿刺手技を支援する画像誘導下穿刺支援ロボットのプロトタイプが完成し、今後、当研究施設において、工学的実験から in vitro 実験, in vivo 実験までを一貫して行い、早期の実用化を目指している。術中 MRI により術野のリアルタイムな生体情報や三次元情報を得ることができるだけでなく、より安全で正確な手術を行えるように画像誘導できる点が最大のメリットである。

1-4. 遠隔ロボット手術

2001 年 9 月、夢物語と考えられていた遠隔でのロボット手術、即ち大西洋を挟んでアメリカ・ニューヨークとフランス・ストラスブール間で手術支援ロボット ZEUS (r) を用いた胆嚢摘出術が Marescaux らにより成功し、“Operation Lindbergh”⁵⁾ と名付けられた。我々は、2002 年 8 月に、日本学術振興会未来開拓研究促進事業で開発したマスター・スレーブ型手術支援ロボット (九州大学, 東京大学, 大阪大学, 京都大学との産学連携) (図 4) を用い、富士宮-東京間の遠隔ロボット手術に我が国で初めて成功した。2005 年 3 月には日本-韓国間で同様の遠隔ロボット手術 (大動物での胆嚢摘出術) に成功した。日本-韓国間



図 3 MRI 環境下で動作可能な小型手術支援ロボット
術者はあらゆる術前・術中の情報を統合して手術する。
HOSPEX JAPAN 2005 (2005 年 11 月 東京ビッグサイト) にて展示された。

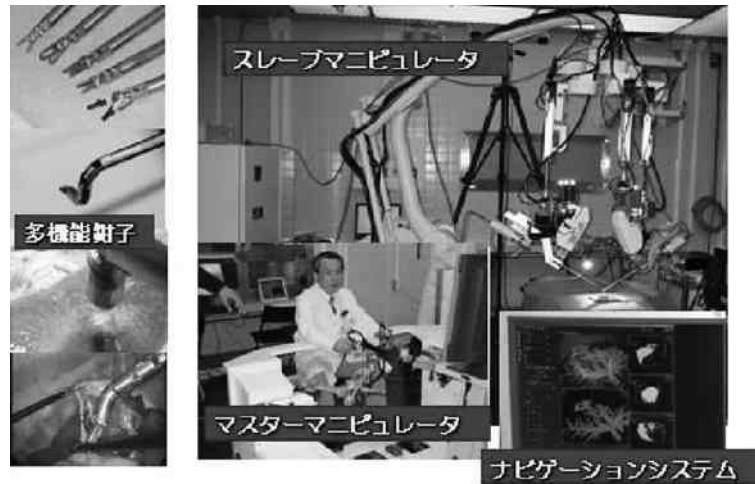


図4 未来開拓事業で開発された手術支援ロボット

は海底の光ファイバーケーブルを使用した，ソウルの漢陽大学と九州大学病院内では学内のネットワークを使用しており，通常のインフラを用いた遠隔ロボット手術も可能であることを証明した．さらに，手術映像を2系統配信し，3次元映像を用いた手術に成功した点は非常に画期的である．また，2006年1月には総務省の遠隔診療プロジェクトでタイのチュラロンコン大学と，光ブロードバンドケーブルを用いて遠隔ロボット手術（胆嚢摘出術）に成功した．情報ネットワークのインフラが確立していれば，今や世界各地といつでも遠隔治療が可能な時代になったと言える．

1-5. カプセルロボットの開発

今後は，ナビゲーション機能とマニピュレーション機能の双方を備えた超小型のロボットシステムの開発に期待が寄せられている（図5）．九州大学と名古屋大学では，2cmほどのカプセルを内服するだけで，診断と治療を受けることが可能となるカプセルロボットの開発を進めている．遠隔操作を行うことで病院に入院しなくても日常生活の中で診断・治療をうけることも可能となる日も近い．

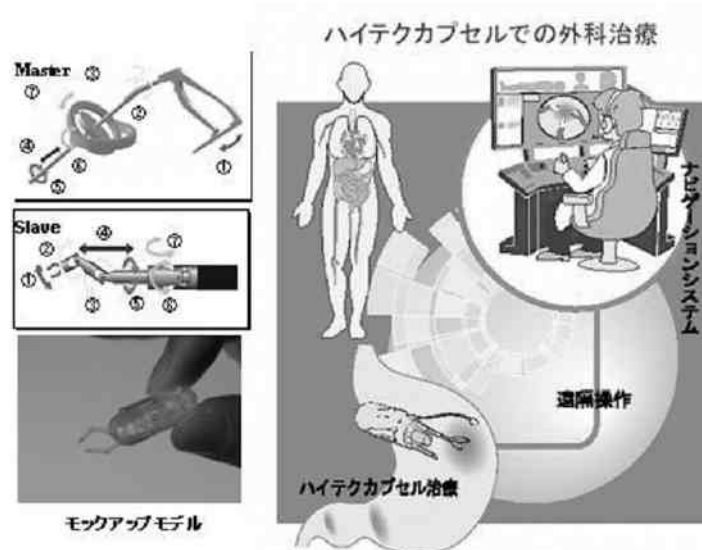


図5 カプセル内視鏡型ロボット（名古屋大学工学部生田幸士教授との共同研究）

1-6. ロボティクス医療の現状と課題

ロボットによる精密手術は局所における手術操作を容易にしかも精確に行うことができ、安全性と確実性を備えて低侵襲化に寄与すると考えられる。現状の手術支援ロボットは装置が大きく高価であり、小型化や低コスト化が課題である。欧米に比べるとわが国も含めてアジアではまだ広く普及しているとは言えない。保険医療の問題など解決すべき点は多いが、その実用性、低侵襲性からみて今後の普及が期待される。

2. 画像誘導下外科手術

術前 CT, MRI 画像を三次元化する技術は一般的になってきており、腫瘍位置や脈管構造などを術前に明確にイメージすることにより、手術をより効率的にかつより安全に行えるようになってきている。我々は、内視鏡外科手術においてこの術前画像を術中のテレビモニタに重畳することにより、リアルタイムに情報を得ながら行う画像誘導下外科手術の開発を行っている。重畳画像は内視鏡の動きに追従し、術者は常に目標物あるいは温存すべき領域を把握することができるので、さらなる効率性、安全性の向上が期待できる。現在、胆嚢摘出術における総胆管、肺手術における腫瘍、下部消化管手術における尿管において臨床で導入している。

また、平成 17 年より実験用 MRI (Airis II Comfort: 日立メディコ社) を備え、MRI 対応手術機器の開発やナビゲーションシステムの研究を行っている。さらに、臨床用の Open MRI (Aperto: 日立メディコ社) も導入し、肝癌における穿刺治療を中心にナビゲーション医療の臨床応用を行っている。

3. ナノテクノロジー

マイクロサージェリーシステムの開発に関して、ナノテクノロジーを応用したドラッグデリバリーシステム、ナノ治療、非侵襲的治療用能動カテーテル、マイクロ手術用鉗子といった技術の開発を行っている。

4. 教育、訓練

ロボット治療に関しての先端医療を担う医師の訓練や、工学系研究者ならびに企業の研究の教育・訓練の場として、ロボット手術トレーニングセンターを設立した。平成 18 年 12 月現在までに合計 30 回のトレーニングセミナーを開催し、135 名が参加した。

また、九州大学病院では、平成 16 年 12 月に内視鏡外科手術トレーニングセンターを設立した。内視鏡外科手術の発展はめざましい一方で、技術不足や認識不足による手術合併症がマスメディアにも取り上げられ、社会的問題にもなっている。したがって、内視鏡外科手術の医療安全水準向上を目的とする専門的トレーニングの必要性は言うまでもない。このような背景で、基本手技の習得を目的としたスタンダードコースを開始した。トレーニングボックス、シミュレータを備え、ドライトレーニングのみならず、動物を用いた実践的トレーニングまで充実したカリキュラムとなっている。また、当トレーニングセミナーは九州大学医師再教育事業の一環としても組み込まれている。我々はこのセンターの設立当初から深く携わっており、現在もカリキュラムの作成やトレーニングスタッフとしての具体的な運営など、全て行っている。平成 19 年 1 月まで計 25 回のセミナーを行い、西日本を中心に全国各地から約 300 名の外科医が受講した。

おわりに

内視鏡外科手術の登場により、外科の低侵襲化は急速に進んでおり、さらには内科における、EMR, ESD に代表される内視鏡治療の進歩も著明であるため、従来の外科治療という概念も変化していくと思われる。我々は、より精確に、かつより安全に治療が行える機器や治療法の開発を進め、人類の健康と福祉の向上に貢献できることを目標としている。

参 考 文 献

- 1) Hashizume M : Tsugawa K. Robotic surgery and cancer : the present state, problems and future vision. *Japanese Journal of Clinical Oncology*. 34 : 227-237, 2004.
- 2) 伊関 洋, 南部恭二郎, 村垣善浩, 苗村 潔 : 工学と外科の連携 先端工学外科の現状と将来, *現代医療*, 35 : 608-612, 2003.
- 3) Hashizume M, Shimada M, Tomikawa M, Ikeda Y, Takahashi I, Abe R, Koga F, Gotoh N, Konishi K, Maehara S and Sugimachi K : Early experiences of endoscopic procedures in general surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgical Endoscopy*. 16 : 1187-1191, 2002.
- 4) Hashizume M, Sugimachi K : Robot-assisted gastric surgery. *Surgical Clinics of North America*. 83 : 1429-1444, 2003.
- 5) Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK : Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature*. 413 : 379-380, 2001.