

手術支援ロボティックスシステムの現況と今後の展開

江角, 元史郎
九州大学医学部生(6年生)

富川, 盛雅
九州大学大学院消化器・総合外科(第二外科)

橋爪, 誠
九州大学大学院災害救急医学

小西, 晃造
九州大学大学院災害救急医学

他

<https://doi.org/10.15017/7232579>

出版情報: 福岡医学雑誌. 92 (9), pp.315-318, 2001-09-25. Fukuoka Medical Association
バージョン:
権利関係:



解 説

手術支援ロボティックシステムの現況と今後の展開

九州大学医学部生 (6年生)¹⁾
九州大学大学院消化器・総合外科 (第二外科)²⁾
同災害救急医学³⁾
江角元史郎¹⁾・富川盛雅²⁾・橋爪 誠³⁾
小西晃造³⁾・島田光生²⁾・杉町圭蔵²⁾

Current Status and Future of Surgical Robotic Systems

Genshiro ESUMI*, Morimasa TOMIKAWA[†], Makoto HASHIZUME[‡],
Kohzo KONISHI[‡], Mitsuo SHIMADA[†], Keizo SUGIMACHI[†]

From Student (6th year), Department of Surgery and Science[†] and Department of
Disaster and Emergency Medicine[‡], Graduate School of Medical Sciences,
Kyushu University, Fukuoka 812-8582*

Abstract In this review, we are commenting the current status and the future of surgical robotic systems.

AESOPTM is a voice-controlled laparoscope manipulator that enables the “Solo-surgery”. ZEUSTM is a master-slave manipulator that is characterized by its simplicity and lightness. da VinciTM is another master-slave manipulator that has more range of freedom, therefore a surgeon can perform the operation with fewer difficulties. The technological development of high-quality and real-time 3D simulation, minimization of scopes and power saving techniques made these surgical robots realized.

Although many pending matters such as lack of safety guideline or lack of accuracy of sensor/monitor have been raised in current surgical robotics, the development of the technologies may promise to resolve such matters in the future.

Key words: ロボティックシステム, マスタースレーブ型手術支援ロボット, AESOP, ZEUS, da Vinci

はじめに

1985年, Kwohら⁷⁾がスタンダードな工業用ロボットを脳外科領域の外科的処置に使用して以来, ロボティックシステムを外科手術の分野で応用すべく世界中でこの領域の開発研究が進んでいる。特に戦場, 宇宙, 極地などにおける遠隔手術での有用性が期待されるだけに Satava¹⁰⁾は米国国防総省の研究助成を受け, 戦線遠隔手術システムの開発を手がけた。さらにわが国でも Kobayashiら⁶⁾が腹腔鏡を支持する5節リンク式のマニピュレーターを開発している。

従来の外科手術には“術者自身の目で見ながら術者自身の手でしか手術を行えない”という限界があったため, 外科手術における大きな侵襲は避けられないものとされてきた。しかし最近では, 一般外科においても“患者に優しい”低侵襲外科手術, すなわち腹腔鏡下外科手術や胸腔鏡下外科手術の導入が著しく, 手術はすっかり様変わりしている。視野・視覚の高機能化や, 精密操作を補助する装置が開発されれば, 従来の方法では困難であった手術を低侵襲かつ安全なものにできると考えられる。以上より, 工学技術を最大限に応用した手術支援ロボティックシ

システムの必要性は一般外科の領域においても急速に高まってきていると言える。

本稿では代表的な手術支援ロボティックシステムの現況と今後の展開について概説する。

手術支援ロボティックシステムの現況

現在，一般外科において臨床応用されている手術支援ロボティックシステムには以下のものがある。

<音声認識内視鏡保持ロボット AESOP>

内視鏡下外科手術を支援する内視鏡操作保持装置で Sackier ら⁹⁾が開発した音声認識システムを採用している(図1)．術者は自らの音声により内視鏡を自由にコントロールし，希望通りの手術視野を確保することができる．このシステムを用いることにより，術者1人での内視鏡手術(Solo-Surgery)も可能となった．実際に学会において遠隔地の手術室内にこの装置を持ち込み学会会場より司会者の声でこのシステムをコントロールし，手術を成功させたという事例も報告されている．内視鏡の保持に関しては人間の助手よりもむしろ優れているとの海外での報告もある⁸⁾．

<ゼウス ZEUS>

Wang らの創始した Computer Motion 社が開発したマスタースレーブ型手術支援ロボットである ZEUS は1台の AESOP と1対のロボットアーム鉗子により構成される(図2)．特徴としては装置がシンプル・軽量であり，セットアップや鉗子などの装備の交換も短時間でできる．また，鉗子が3-5 mm と細径であり，後述の da Vinci に比べると傷が小さくてすむ．さらに，視野を声によりコントロールすることができるため，視野を助手に頼らず安定した位置に置くことが可能で，motion scaling 機能により術者の動作に対する鉗子の動きを4:1にまで縮小できるので，剥離や吻合といった微細な作業も比較的楽に行える．一方，鉗子の自由度は通常の内視鏡鉗子の自由度5と同等であり，後述する da Vinci に比べると鉗子の動きの器用さは劣る．ヨーロッパではすでにこの ZEUS を用いて“closed chest beating heart CABG (非開胸下心拍動下冠動脈バイパス術)”が行われており，良好な成績が報



図1 音声認識内視鏡保持ロボット AESOP の概観



図2 ゼウス ZEUS による手術風景(合成写真) 手前の術者用コクピットでモニターを見ながら術者が ZEUS をコントロールしている．背後には ZEUS のアームを取り付けた手術台が見え，患者が横たわっている．

告されている¹⁾。

<ダビンチ da Vinci>

Intuitive Surgical 社の開発した双腕型のマスタースレーブ型手術支援ロボット da Vinci は、3次元立体視ができる術者用コンソールと手首部分に2関節の自由度を持つ“Endowrist”と呼ばれるロボットアーム鉗子を搭載しているのが特徴である。システムは術者が操作を行うコンソール、手術を行うロボット本体、映像モニタ装置の3つのコンポーネントで構成されている(図3)。装置が大型で重くセットアップに時間がかかることと高価なことが欠点であるが、高解像度・高コントラストの3次元画像の視野の下、自分の両手を操作するがごとく2本の鉗子の先端を直接操作して手術を行うことができるため、肉眼で行う open surgery に極めて近い感覚で手術が可能である。また motion scaling 機能により術者の動作に対するロボットの動きを5:1にまで縮小でき、しかも術者の“手の震え”はロボットには伝わらないようになっているため、縫合・結紮などの微細な手術操作は直視下に行うよりむしろ容易である。1998年5月よりヨーロッパを中心に臨床応用されており、2001年6月現在、世界中で推計約1600症例の手術(冠動脈バイパス、弁置換など内視鏡下心臓手術約800例、噴門形成術などの消化器外科手術や産婦人科領域の手術合わせて約800例)が行われ、際だった操作性とともに良好な手術成績が報告されている。2001年3月の報告では世界中に52台のda Vinciが販売されており²⁾、米国において腹腔鏡下手術に限定されていた商用使用の認可が一般胸腔鏡下手術にまで拡大された³⁾。

九州大学消化器・総合外科(第二外科)でも2000年7月よりこのda Vinciを導入し、胆嚢摘出術、脾臓摘出術、食道腫瘍摘出術、縦隔腫瘍摘出術など31例の手術に応用している。現在のところ大きな合併症なく手術は成功している⁴⁾。

今後の展開

外科手術支援ロボティックシステムの目指すところは、術者が人であることによって制約されてきた手術手技を、機械の作用や動作を用いることにより、補助・拡張していくことである。たとえば、視野が十分にとれず人間の操作のみでは全く不可能な部位での手術操作を可能にするのはもちろんのこと、縫合操作などの繰り返しの多い手技

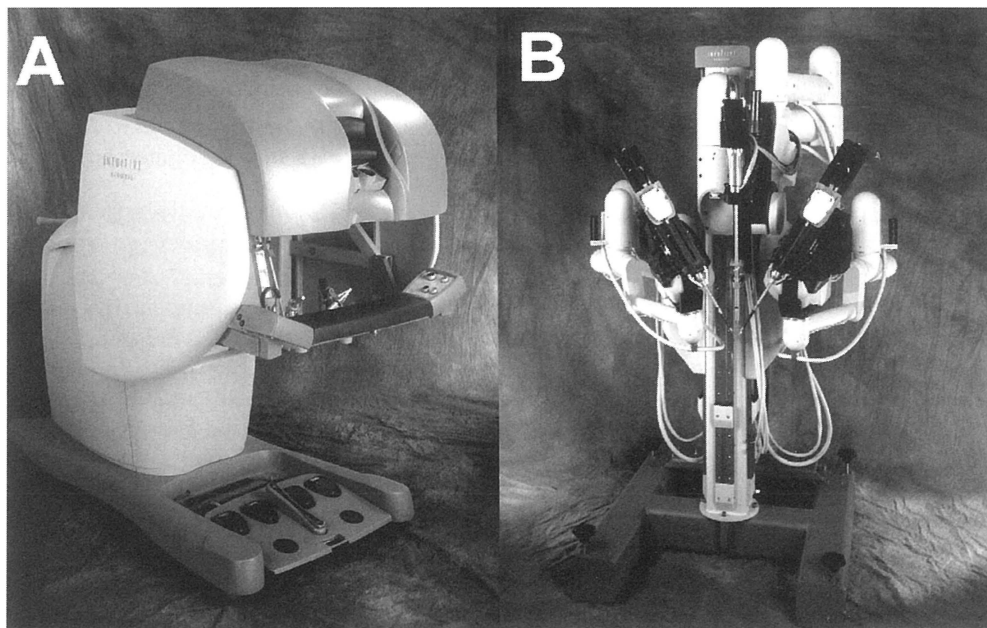


図3 A(左側): da Vinciの術者用コンソール。術者は腰を掛けてコンソールに備え付けられた操縦桿を操作する。B(右側): アームカート。実際に患者を操作する slave 側の装置でアームの先端に“Endowrist”を搭載している。

の補助,あるいは手術器具などを過去にあった位置に過去と全く同じ道筋を通して置き直すといった作業などが考えられる。

今回紹介したマスタースレーブ型手術支援ロボットは実用化の端緒が開かれたばかりである。今後の内視鏡の小型化,高機能化,新しい動作機構の応用,あるいは高画質3次元画像リアルタイムシミュレーション技術の進歩や,オーギュメントド・リアリティ技術の応用等により,手術支援ロボティックシステムはさらに正確かつ安全で操作のしやすいものになっていくと考えられる。

一方,今後の展開を考える上で,様々な問題点が指摘されているのも事実である。第一に誤動作の危険性が挙げられる。動力を持ったロボットシステムにおいては,その危険性は重大である。本稿で紹介した AESOP においても術者以外の音声に反応して動作してしまう可能性が指摘されている。それゆえ最近では,世界的に統一された規格の必要性がますます指摘されるようになってきており,手術支援ロボティックシステムに関する International Safety Guideline も提唱され始めている³⁾。次に,機能の問題が挙げられる。実際に術者の目や手に触れるモニタやセンサーの正確性や感受性は極めて重要な因子であるが,現状ではまだ十分とは言い難い。前述した完成度の高いロボティックシステムである da Vinci においても,操作情報のフィードバックは視覚のみによっている。さらにロボティックシステムの完成度を高める触覚や力覚情報のフィードバックは,特に実用化が期待されている技術の一つである。その他,臨床データの報告や臨床経験が少ないこと,莫大な開発費によるロボットのコストの問題,滅菌や機械の消毒の問題,医師のトレーニングが必要であることなど様々な問題点が指摘されている。

手術支援ロボティックシステムの本来の定義は「コンピュータ制御による動力をもった機械であり,かつ外科医の技術と同等の能力を持つもの」と考えられ,将来的には Satava の主張するように遠隔手術などに应用するのが理想であるが,現実はまだ理想にはほど遠いことは否めない。しかし,ここ 10 年来の情報技術,工学技術の展開や,医療機器の進歩には目を見張るものがある。

医療と同じく人命を預かる航空機運行の領域ではすでに自動操縦装置が実用化され,ほとんどの人々がなんの抵抗もなく受け入れている。人間である限りミスはつきものであり,むしろミスのないロボットによる操縦に信頼が寄せられているかに見える。あくまでも人間の監督の下,人間の活動を支援するロボットが外科手術の領域になんの抵抗もなく受け入れられるのも時間の問題であろう。

文 献

- 1) Boehm DH, Reichenspurner H, Detter C, Arnold M, Gulbins H, Meiser B and Reichart B: Clinical use of a computer-enhanced surgical robotic system for endoscopic coronary artery bypass grafting on the beating heart. *Thorac Cardiovasc Surg* 48: 198-202, 2000.
- 2) CDRH, FDA "INDICATIONS FOR USE STATEMENT" 510 (k) Number: K002489.
- 3) Davies BL: The safety of medical robots. In *Proceedings of 29th ISR Conference on Advanced Robotics: Beyond 2000*, Birmingham, April 1998.
- 4) 橋爪 誠・島田光生・富川盛雅・池田陽一・高橋郁雄・阿部 亨・前原伸一郎・小西晃造・杉町圭蔵: 手術支援ロボットの実践と今後の課題: ダビンチの使用経験から, *日本コンピュータ外科学会雑誌* 3: 90-91, 2000.
- 5) Intuitive Surgical Inc. Website: <http://www.intuitivesurgical.com> accessed 27 Apr, 2001.
- 6) Kobayashi E, Masamune K, Sakuma I, Dohi T and Hashimoto D: A new safe laparoscopic manipulator system with a five-bar linkage mechanism and an optical zoom. *Comput Aided Surg* 4: 182-192, 1999.
- 7) Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA and Hayall SA: A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Engng* 35: 153-161, 1988.
- 8) Omote K, Feussner H, Ungeheuer A, Arbter K, Wei GQ, Siewert JR and Hirzinger G: Self-guided robotic camera control for laparoscopic surgery compared with human camera control. *Am J Surg* 177: 321-324, 1999.
- 9) Sackier JM, Wooters C, Jacobs L, Halverson A, Uecker D and Wang Y: Voice activation of a surgical robotic assistant. *Am J Surg* 174: 406-409, 1997.
- 10) Satava RM: Virtual reality and telepresence for military medicine. *Ann Acad Med Singapore* 26: 118-120, 1997.