

特集 食道癌手術の現状と未来

食道癌手術の現場と未来

—ロボット手術と未来—

昭和大学医学部外科学講座 (消化器・一般外科部門)

大塚 耕司 五藤 哲 有吉 朋丈

山下 剛史 茂木健太郎 斎藤 祥

加藤 礼 藤政浩一朗 山崎 公靖

青木 武士 村上 雅彦

はじめに

1985年9月にドイツのミュレ博士が世界で初めて腹腔鏡下の胆嚢摘出術を施行した。その後、リヨンで開業していた外科医のモレ博士 (Philippe Mouret) が、1987年にCCDカメラを用いた世界初の実用的な手技による腹腔鏡下胆嚢摘出術を行い、それ以降、低侵襲手術、患者のQOLを重視しながら、癌に対しては根治性も担保した手術として内視鏡外科手術は飛躍的な発展を遂げてきた。

また、未来志向の手術アプローチとして、Computer Motion社が開発した手術支援ロボット (ZEUS robot surgical system) が1998年に初めて臨床応用されて以来、さまざまな手術において導入されている。現在ではZEUSに変わり、1999年よりIntuitive Surgical社から販売されたda Vinci Surgical Systemが唯一の手術支援ロボットとなった。手術支援ロボットの最大の利点は多関節であることであり、通常の内視鏡外科手術ではアプローチ困難な角度からでもポート位置を変更せずに手術可能である。筆者は2002年からLos AngelesにあるCedars Sinai Medical CenterのMinimally Invasive Surgeryにおいて1年間research fellowとして留学した際に、アニマルモデルに対してZEUSを使用した経験をもつ。音声認識内視鏡把持システムであるAESOPと併用でZEUSを使用した。筆者の発音ではLeftと言っても右にカメラが動いてしまい、RとLの発音の違いに苦慮したことが思い出される (図1a, b)。また、同時期にMinimally Invasive Surgeryの上司であった

Dr. Edward Phillipsと共にSacramentoのIntuitive Surgical社に赴きda Vinciを使う機会もあり早期より手術支援ロボットに触れる機会を得ていた。

本邦では、2000年頃より手術支援ロボットが着目され始め、現在では心臓外科、胸部外科、消化器外科、泌尿器科、婦人科をはじめとして多くの領域で導入されている。しかしながら、2019年現在、医療機器として薬事承認されているのは、胸部外科 (心臓外科を除く)、消化器外科、泌尿器科、婦人科領域のみである。食道領域では、2018年に初めて保険収載され、現在多くの施設で本格導入に向けた取り組みがなされており、症例数も飛躍的に増加している (図2, 3, 4)。

当科における食道癌手術の変遷とロボット手術導入

当科では、1996年に村上が胸腔鏡下食道亜全摘術を施行以来、国内トップの件数を誇る1,300例以上の胸腔鏡下手術が施行され、その有用性と標準化の重要性について報告してきた¹⁾。また、手術手技だけではなく、術後合併症率の低さも当科の特徴である。開胸手術と同等以上の根治性の追求は当然ながら、合併症軽減に向けたチーム医療体制作り、手術手技の標準化等に、革新を行ってきた。

これまで手術支援ロボットは、学会での報告を参考にしても医療サイドの利点は明確ではなく、コスト的にも患者サイドでは保険適応もなく自費で数百万円と高額で、合併症が発生した場合には更なる自費負担が増える点で利点を見出せず、当科での導入を見送ってきた。しかし、前述したように、2018



図 1 筆者が手術支援ロボット ZEUS をアニマルラボにてトレーニングしている風景
その後、留学先の Cedars Sinai Medical Center では肥満手術への臨床応用が開始された。

Worldwide Procedure Trend

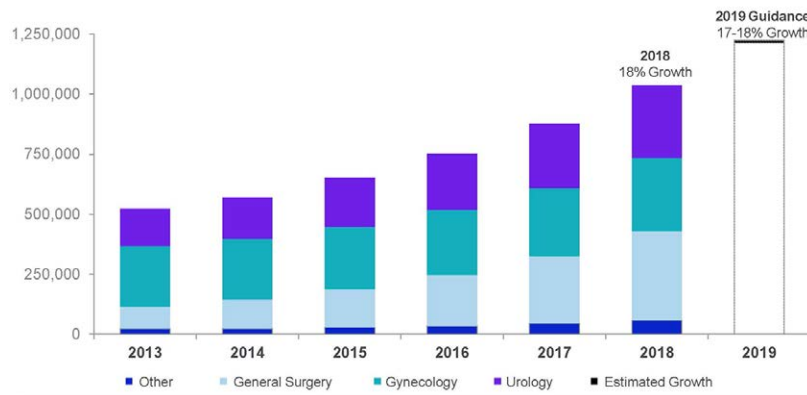


図 2 世界の da Vinci の利用状況
消化器外科・泌尿器科・婦人科の症例が大半を占めているのがわかる。
出典：日本ロボット外科学会 da Vinci 実績について

Growth in procedure categories

Global over past 10 years

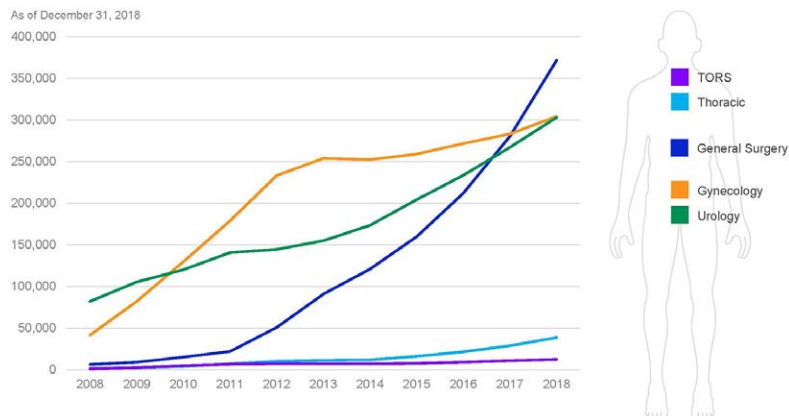


図 3 世界の直近 10 年の手技別推移
消化器外科・泌尿器科・婦人科・胸部外科が増加傾向であるが、特に消化器外科
領域にて急速に増加していることがわかる。

Intuitive Japan

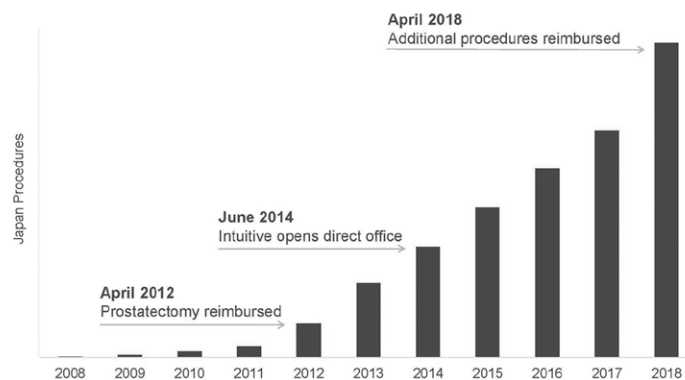


図 4 日本市場における推移
日本においても急速に増加していることがわかる。

表 1

<ul style="list-style-type: none"> • 日本内視鏡外科学会が制定する「内視鏡外科手術を行うにあたってのガイドライン（1992年8月29日制定）」の遵守。 • 日本内視鏡外科学会が発表した「新医療機器に関する見解」の遵守。 • 施設、実施医、医療チームに関すること 消化器外科、胸部外科、泌尿器科、婦人科において、内視鏡手術の恒常的（日本内視鏡外科学会の技術認定医が在籍すること）な実績を有すること。 • 機器の性能・使用方法に精通した医療チーム体制を有すること。 • 施術にあたる医師・医療チームは、企業が提供するトレーニングプログラムを必ず受講し、認定を取得した者から構成されること。 なお、受講するプログラムの内容の妥当性に関しては、学会からの評価・校閲が必ずなされていること。 • 緊急時において適正な処置（開胸、開腹等）が実施可能な体制にあること。

年春に食道癌領域でも保険収載となり、当科でも導入を開始した。

一概に導入といっても、クリアすべき多くの関門がある。ロボット支援下手術を施行するためには、安全性の担保が最大の課題であり、厚生労働省からは表1の事柄を遵守することが義務づけられている²⁾。当科では3名の食道癌に対する日本内視鏡外科学会の技術認定医が在籍している。導入にあたり、筆者はIntuitive Surgical社が提供するトレーニングプログラムに参加し、さらに藤田医科大学にて宇山教授執刀の腹臥位体位によるロボット支援下食道癌手術を見学後に術者としてのCertificationを取得した。開始にあたっては、当科での標準術式が左側臥位胸腔鏡下食道癌手術であることから、左側臥位でのロボット支援下食道癌手術を施行している本山教授（秋田大学）をプロクターとして招聘し、2018年10月31日に第1例目を施行した（図5a, b）。第1

例目のコンソール時間（胸腔内操作時間）は361分という長時間を要したが、安全に完遂できた。ロボット手術においては、コンソール時間以外にもセッティング時間等で開始前に40分ほどの時間を要するため、胸部操作終了後に腹部・頸部操作に移るのであるが、眼精疲労も含めて術者側の疲弊感は強い。5例以上施行しなければ保険適応されない為、患者の安全性や根治性を重視し、初期の適応は早期癌で上縦隔リンパ節転移を認めないものとし経験を積み重ねた。経験症例の増加に伴い大幅に手術時間は短縮され、5例目でコンソールタイムは150分ほどとなり、肥満症例でも追加1時間で胸腔鏡による標準手術時間と大差無く施行可能となった。当科の標準手技をベースにした導入であったため、手術手技のLearning curveは5例と非常に短かった。10例を越えた時点で手技は安定し、適応をcStage IIIまで拡大している。



図 5

a：第一例目前日に立ち上げメンバーでセッティングを確認。

b：胸部操作終了後にプロクターの本山教授（左から2人目）と撮影。筆者は一番左。

ロボット手術の実際

1. セッティング（図6, 7, 8）

左側臥位，軽度頭側挙上し，患者頭側より Patient Cart を配置。術者が実際に操作する Surgeon Console (da Vinci の心臓部とも言える情報処理装置でモニターも一体になっていて Vision Cart と呼ばれる) を用いて行うこととなる。昭和大学病院の手術室では十分なスペースの手術室が使用できないこともあり，麻酔器・エネルギーデバイスの機器も含めて，所狭しと部屋に配置することとなる。

ポート配置は図4のごとく，da Vinci ポートとして3ポート，助手ポートとして2ポートを挿入し，通常の胸腔鏡と異なり，肋間が狭いと鉗子操作に支障をきたすこともあり，ベッドを軽度屈曲させて肋間を開大させる。

2. 手術手技の特徴と使用器械（図9）

本稿ではリンパ節郭清手技の詳細は割愛するが，基本的には当科でこれまで施行してきた手技を遵守し，上縦隔→下縦隔（ライン付）→中縦隔→下縦隔と郭清を行っている。相違点は，エネルギーデバイスの選択である。従来は超音波凝固切開装置を主に用いていたが，da Vinci 手術では電気メスが主体となる。その為，モノポーラとバイポーラの使い分けがポイントとなる。特に，神経周囲ではモノポーラによる神経への通電を回避するため，バイポーラの使用が要求される。消化器外科領域ではバイポーラを使用する機会は少なく，使用のコツを習得するま

でに時間を要した。

da Vinci 用としても超音波凝固切開装置は使用可能であるが，ブレード・パッドが大きく，多関節ではないために使用角度に制限が加わり違和感を感じず。

当科では，これまで合併症の少ない安全な胸腔鏡下食道癌手術を目標に行っており，この手技を da Vinci においてもいかに遵守できるかが課題でもある。

ロボット手術の利点と問題点（図10a, b）

ロボット支援下手術の最大の利点は，1) 多関節であるためあらゆる部位に鉗子操作が可能であること，2) 3D であるため 2D ハイビジョンでの画像と比較してより鮮明に微細解剖を認識できること，3) 手振れもなく繊細な手技においても安定した操作が可能である事である。

近年，人による胸腔鏡手術とロボット支援下手術の比較が海外論文で散見される。ロボット手術において，リンパ節郭清手技で利点があったが，合併症率では同等であった^{3,4)}，ICU 滞在期間が減った⁵⁾，手術時間としてはロボット支援下手術の方が有意に長い，合併症としての反回神経麻痺はロボット支援下手術の方が低率であった Chao ら⁶⁾ とロボット手術の安全性を示唆する報告が多い。多くのロボット支援下手術経験のある Kim らも安全にロボット支援下手術は遂行可能であるとしており⁷⁾，Chao, Kim らはロボット支援下手術と胸腔鏡手術の前向き試験を開始している⁸⁾。日本の JCOG 食道グループでは，前段階として胸腔鏡 vs 開胸手術の比較試験



図 6
ベッドを軽度屈曲させて肋間を開大させる。

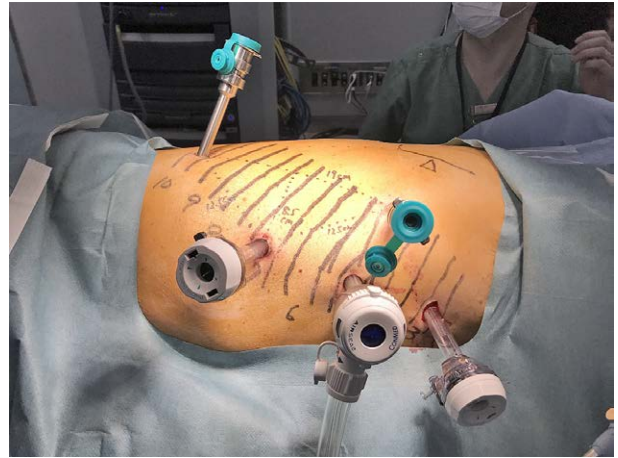


図 7
体位固定後、ポート間の長さを慎重に測定した上でアーム干渉が無いようにポートを挿入。体位固定後、40分以上手術開始まで時間を要することもあるが、ポート位置により全てが決まるとしても過言でない。



図 8
Da Vinci Siであるため、Patient Cartが大きく、コンソール、電気メス、器械台、麻酔器など手術室に所狭しと配置される。写真右側がコンソールを操作する筆者。

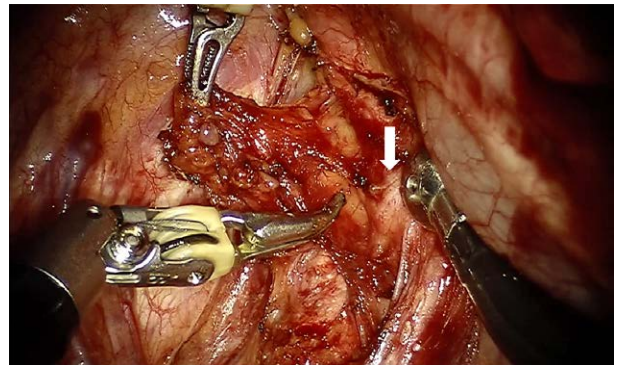


図 9 右反回神経周囲リンパ節郭清の実際の場面
白矢印は右反回神経

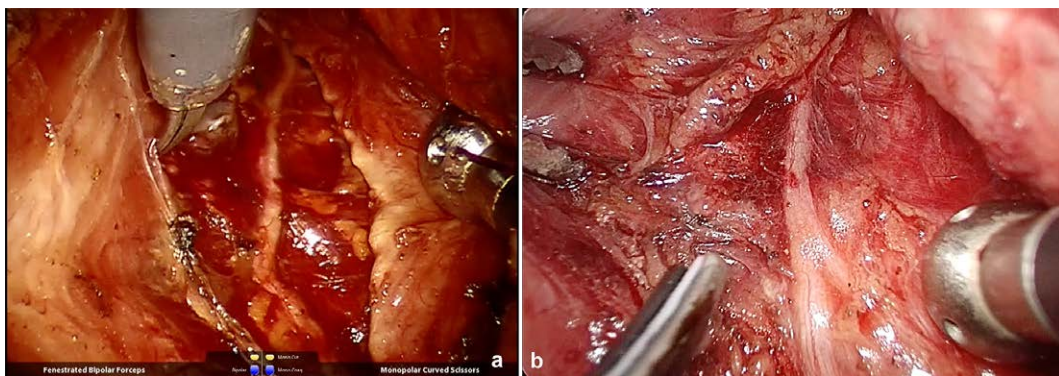


図 10
a : da Vinci 手術における左反回神経周囲リンパ節郭清。
b : これまでの左反回神経周囲リンパ節郭清。
両者を比較すると da Vinci 手術において画面が赤くなっているのがわかる。脂肪の多い患者さんだとその差はより顕著になる。

がまだ登録中であるのが現状であり⁹⁾、その解析によって胸腔鏡手術の安全性が立証された後に、胸腔鏡 vs ロボット支援下手術の前向き試験が行われる予定である。

当科ではこれまでに14例を施行したが、ロボット支援下手術の多関節・3D視野の利点を感じつつも、手技として満足できていないのが現状である。一つは、超音波凝固切開装置を用いていた手技と比較し、止血効果が弱く視野が血で若干赤くなることが多く、微細解剖層の把握が困難となる点である。後出血も含めて今後の課題である。さらに、最大の問題点としては、da Vinciにおいてはカメラと鉗子のバッティングが生じ、特に頭側では動きが制限されることである。当科の左側臥位胸腔鏡下手術は、上縦隔郭清において最大の利点があり、頭側はカメラが届く限りどこまでも郭清可能である。前述した比較論文等で論じられている胸腔鏡下手術は全て腹臥位手技であり、上縦隔郭清において手技的に難易度が高い体位である事を考慮すると、da Vinciは腹臥位手術においてより利点を感じるものと思われる。また、コンソールを操作している術者はアームが臓器と接触しても認識できず、画面で予想外の出血を経験することがある。実際に、国内の他領域手術において不意の損傷による重大な致命的合併症報告もあり、今後国内における安全性を検討する必要があると思われる。

ロボット手術の今後の展望

手術支援ロボットは、若手外科医教育においても大きな変化をもたらすものと思われる。筆者も胆嚢摘出術・食道癌手術において、開腹・開胸手術経験もなく腹腔鏡・胸腔鏡下食道癌手術を習得してきた。若手外科医が最初に学ぶ手術がロボット支援下手術となる時代も近いと思われる。手術支援ロボットはまだまだ発展段階であるが、多くの利点と可能性を感じるデバイスであり、今後専門企業を巻き込みながら益々発展していくものと思われる。将来的には、AIが手術の執刀を行い、外科医は助手を務めながらサポートするという逆転現象が起こることも夢でないであろう。匠の手術は遠い昔となり、誰がどこで行っても質の高い安全な手術が提供できる未来が来るのであれば、救われる患者も多くなり、医療の発展につながるものと考えられる。

文 献

- 1) Murakami M, Otsuka K, Goto S, *et al.* Thoracoscopic and hand assisted laparoscopic esophagectomy with radical lymph node dissection for esophageal squamous cell carcinoma in the left lateral decubitus position: a single center retrospective analysis of 654 patients. *BMC Cancer*. 2017;17:748. (accessed 2020 Jan 9) https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5681806/pdf/12885_2017_Article_3743.pdf
- 2) 日本ロボット外科学会. da Vinciについて 薬事承認の状況. 承認にあたっての厚生労働省からの指導. (2020年1月9日アクセス) <https://j-robo.or.jp/da-vinci/yakuji-shonin.html>
- 3) Park S, Hwang Y, Lee HJ, *et al.* Comparison of robot-assisted esophagectomy and thoracoscopic esophagectomy in esophageal squamous cell carcinoma. *J Thorac Dis*. 2016;8:2853-2861.
- 4) Deng HY, Huang WX, Li G, *et al.* Comparison of short-term outcomes between robot-assisted minimally invasive esophagectomy and video-assisted minimally invasive esophagectomy in treating middle thoracic esophageal cancer. *Dis Esophagus*. 2018;31:1-7.
- 5) Tagkalos E, Goense L, Hoppe-Lotichius M, *et al.* Robot-assisted minimally invasive esophagectomy (RAMIE) compared to conventional minimally invasive esophagectomy (MIE) for esophageal cancer: a propensity-matched analysis. *Dis Esophagus*. 2020;33:1-6.
- 6) Chao YK, Hsieh MJ, Liu YH, *et al.* Lymph node evaluation in robot-assisted versus video-assisted thoracoscopic esophagectomy for esophageal squamous cell carcinoma: a propensity-matched analysis. *World J Surg*. 2018;42:590-598.
- 7) Kim DJ, Park SY, Lee S, *et al.* Feasibility of a robot-assisted thoracoscopic lymphadenectomy along the recurrent laryngeal nerves in radical esophagectomy for esophageal squamous carcinoma. *Surg Endosc*. 2014;28:1866-1873.
- 8) Chao YK, Li ZG, Wen YW, *et al.* Robotic-assisted esophagectomy vs video-assisted thoracoscopic esophagectomy (REVATE): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2019;20:346. (accessed 2020 Jan 9) https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6558787/pdf/13063_2019_Article_3441.pdf
- 9) Kataoka K, Takeuchi H, Mizusawa J, *et al.* A randomized Phase III trial of thoracoscopic versus open esophagectomy for thoracic esophageal cancer: Japan Clinical Oncology Group Study JCOG1409. *Jpn J Clin Oncol*. 2016;46:174-177.