

**研修医のための教育講座****消化器癌に対するロボット支援下手術**木村 豊<sup>1</sup> 大東弘治<sup>2,3</sup> 安田 篤<sup>1,2</sup> 加藤寛章<sup>1</sup> 上田和毅<sup>2,3</sup>  
今本治彦<sup>4</sup> 川村純一郎<sup>3</sup> 安田卓司<sup>1</sup>近畿大学医学部外科学教室 <sup>1</sup>上部消化管外科 <sup>2</sup>内視鏡外科 <sup>3</sup>下部消化管外科 <sup>4</sup>市立貝塚病院外科

Robotic surgery for gastroenterological cancer

Yutaka Kimura, Koji Daito, Atsushi Yasuda, Hiroaki Kato, Kazuki Ueda,  
Haruhiko Imamoto, Junichiro Kawamura, Takushi Yasuda

Department of Surgery, Faculty of Medicine, Kindai University

## 抄 録

消化器癌に対するロボット支援下手術 (RS) は、2018年4月に胃癌に対する腹腔鏡下胃切除術 (幽門側胃切除術)、腹腔鏡下噴門側胃切除術、腹腔鏡下胃全摘術の他に、食道癌に対する胸腔鏡下食道悪性腫瘍手術、直腸癌に対する腹腔鏡下直腸切除・切断術が保険収載され、今後ますます普及、発展していくことが予想される。RS で使用される da Vinci Surgical System の利点として、手振れ防止機能、高解像度の3D内視鏡、多関節の鉗子、縮尺機能などがあげられる。一方、触覚がない、高額であるなどの欠点が指摘されているが、様々な科学技術の発展とともにRSも進歩していくことが期待される。消化器癌に対するRSに関して、一般的には時間はかかるが、出血量は少なく、合併症も低減できる可能性が報告されている。しかし、始まったばかりの手術であるため、エビデンスはまだ不十分であり、今後は、安全に行っていくとともにエビデンスを構築していくことが求められている。

**Key words** : ロボット支援下手術, da Vinci Surgical System, 胃癌, 直腸癌

## はじめに

1999年に da Vinci Surgical System (以下, dVSS) が米国 Intuitive Surgical 社 から臨床用機器として発売された。2018年3月現在、全世界で4,528台 (アジアで579台、そのうち日本で約300台) が導入され、世界中で様々なロボット支援下手術 (robot-assisted surgery, 以下 RS) が行われている。日本では、2012年に前立腺癌に対する前立腺全摘術、2016年に腎癌に対する腎部分切除術が保険収載され、dVSS が普及することとなった。胃癌に対するRSは、先進医療Bによる臨床試験でhistorical controlの腹腔鏡手術と比較して合併症を低減させることが

示された結果、2018年4月に保険収載された<sup>1)</sup>。消化器外科領域では、RSとして胃癌に対する腹腔鏡下胃切除術 (幽門側胃切除術)、腹腔鏡下噴門側胃切除術、腹腔鏡下胃全摘術の他に、食道癌に対する胸腔鏡下食道悪性腫瘍手術、直腸癌に対する腹腔鏡下直腸切除・切断術が保険収載されたこともあり、今後ますます普及、発展していくことが予想される。本稿では、消化器癌に対するRSの現状と今後について概説するとともに本学での実施状況を報告する。

## ロボットとは

ロボットは簡単に言えば「人の代わりに作業してくれる機械・装置」であり、鉄腕アトムやお掃除ロ

ボット“Roomba（米国 iRobot 社）”から工場稼働する産業用ロボットなど様々であるが、経済産業省では、NEDO ロボット白書2014（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）から引用して、ロボットを「センサー、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術を有する、知能化した機械システム」と定義している<sup>2</sup>。鉄腕アトムや Roomba のように自律的に行動する自律型のロボット以外に、人間が操作して動くタイプの操作型ロボットもある。国際宇宙センターのカナダアーム2のようにモーター等の動力が内蔵され機械的または電気的に人間の操作を伝達して動作するマニピュレーターも操作型のロボットの一つと見なされている（図1 a）。dVSS は術者の手の動きがロボットアームを介してそのまま術野で再現されるので、まさにこのタイプの操作型ロボットといえる（図1 b）。

### da Vinci Surgical System (dVSS) の特徴

dVSS は、術者が操作を行うサージョンコンソールと実際の術野内で操作を行うロボットアームを備えたペーシェントカートで構成されている（図2）。通常の腹腔鏡手術（conventional laproscopic surgery, 以下CLS）と同じように炭酸ガスで気腹を行い、1～2cmの小さな創より内視鏡カメラとロボットアームを挿入し、術者は手術ベッドとは離れたサージョンコンソールに座って3Dモニター画面を見ながらあたかも術野に手を入れているようにロボットアームを操作して手術を行うことになる。

dVSS の利点として手振れ防止機能、高解像度の3D内視鏡、多関節の鉗子、縮尺機能などがあげられる（図3）。通常の腹腔鏡の鉗子操作ではどうしても手振れが生じてしまうが、dVSS では補正されてまったく手振れは生じない。臓器の把持も固定で

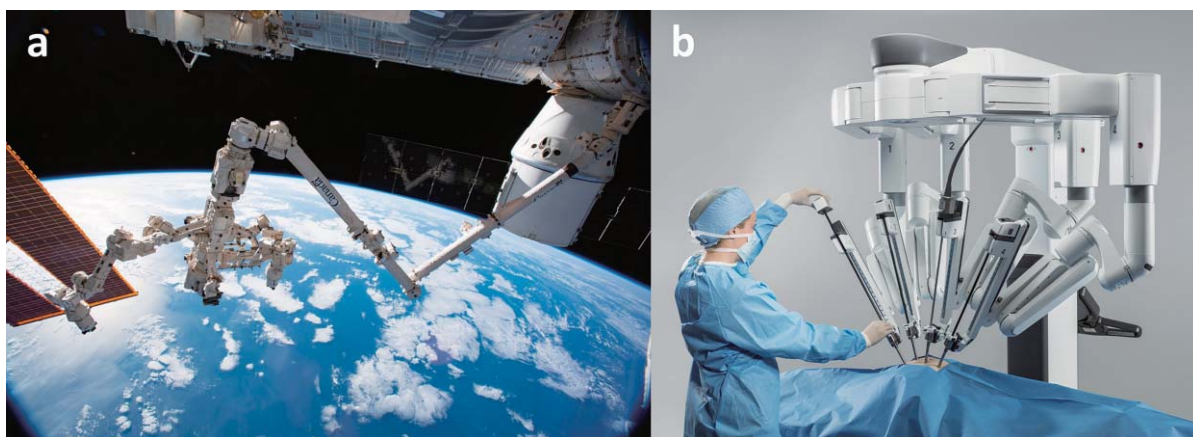


図1. 操作型ロボット a. 国際宇宙センターのカナダアーム2（Canadian Space AgencyのHPより）、b. da Vinci Surgical System「Xi」ペーシェントカートのアーム（Intuitive Surgical社のHPより）



図2. da Vinci Surgical System：サージョンコンソールとペーシェントカート（a：Intuitive Surgical社のHPより、b：近畿大学病院での手術）

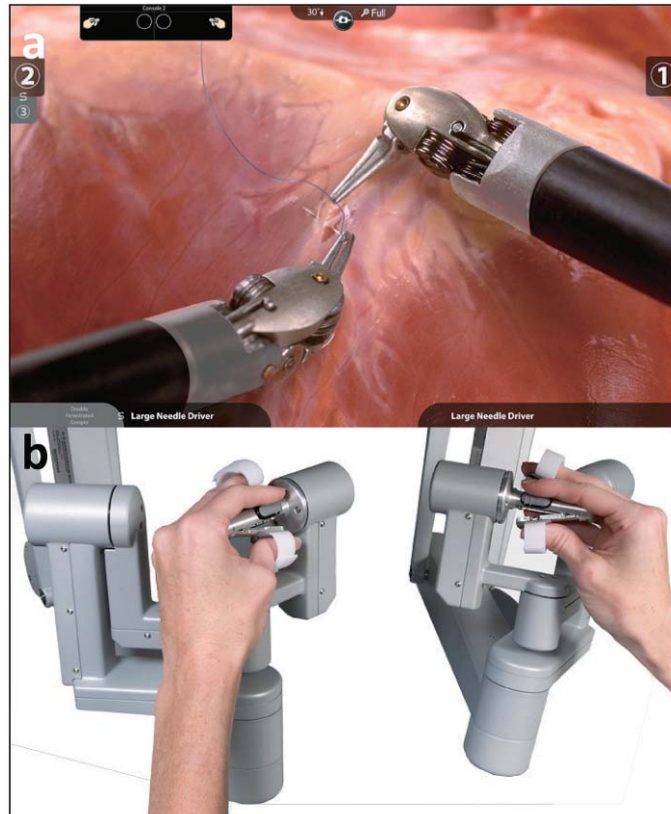


図3. da Vinci Surgical System：術野の鉗子(a)と手術操作(b) (Intuitive Surgical 社の HP より)



図4. da Vinci Surgical System：デュアルコンソールシステム (Intuitive Surgical 社の HP より)

きるため安定した術野を保ち、その術野を3次元で立体視、拡大視して微細な解剖を確認しながら繊細に手術を行うことができる。CLSでは鉗子が屈曲しないこととポートによる動作制限が問題となるが、dVSSで使用する鉗子はあたかも人間の手のように

屈曲するので重要な臓器を圧迫することなく適切な方向からエネルギーデバイスを使用することが可能である。また、サージャンコンソール2台（デュアルコンソールシステム）（図4）が搭載されているため、術者と指導医が術中に移動することなく手術



指導しながら安全に手術を遂行することができる点は術者の教育システムとして有用である。

一方、dVSSの欠点としては、触覚の欠如、ロボットアームの干渉、ロボット動作の不具合などが挙げられる。触覚に関しては高解像度の画像から得られる視覚で判断することになる。改良されたdVSSではロボットアームが細くなり干渉は少なくなっているもののサーजनコンソールにいる術者は患者サイドでの干渉には気づきにくいので助手が十分注意を払いコミュニケーションをとることが大切である。コンピューターと同じように突然ロボットの操作が不可能になるような不具合も報告されている。また、CLSと比較してdVSSはかなり大がかりな装置を使用することになり、実際にRSを開始するまでのセッティングには時間を要する。麻酔器との干渉の有無や手術介助台、介助者の位置の確認などについて麻酔科医師をはじめ手術室のスタッフと連携することは非常に重要となる(図5)。

#### 日本におけるロボット支援下手術(RS)の現状

2012年に前立腺癌に対する前立腺全摘術、2016年に腎癌に対する腎部分切除術のRSが保険収載され、泌尿器科領域でRSが急速に広まっていった。胃痛

に対するdVSSを用いたRSは、2009年1月に藤田医科大学宇山一朗教授が日本で初めて施行し、その後、先進医療Bとして、術前診断でD1+またはD2郭清を伴う噴門側胃切除術、幽門側胃切除術または胃全摘術で根治手術が可能なc Stage IまたはIIの胃癌患者330例を対象に内視鏡下手術用ロボットを用いた腹腔鏡下胃切除術の評価が行われた。その結果、主要評価項目であるClavien-Dindo分類のgrade III以上の全合併症発生率は、ロボット支援下胃切除術：2.5%、腹腔鏡下胃切除術(ヒストリカルデータ)：6.4%とロボット支援下胃切除術で有意に低く( $p=0.0018$ )、安全性で優れることが示された<sup>1</sup>。その結果も踏まえて、RSが2018年4月に腹腔鏡下胃切除術、噴門側胃切除術、胃全摘術、胸腔鏡下縦隔悪性・良性腫瘍手術、胸腔鏡下食道悪性腫瘍手術、胸腔鏡下肺悪性腫瘍手術(肺葉切除または1肺葉を超えるもの)、胸腔鏡下弁形成術、腹腔鏡下直腸切除・切断術、腹腔鏡下膀胱悪性腫瘍手術、腹腔鏡下腔式子宮全摘術、腹腔鏡下子宮悪性腫瘍手術(子宮体癌に限る)の12術式で保険収載された。

RSはまだ始まったばかりの術式なので、安全に行うために日本内視鏡外科学会から、2011年7月11日にRS導入に関する提言が行われ、2018年12月に

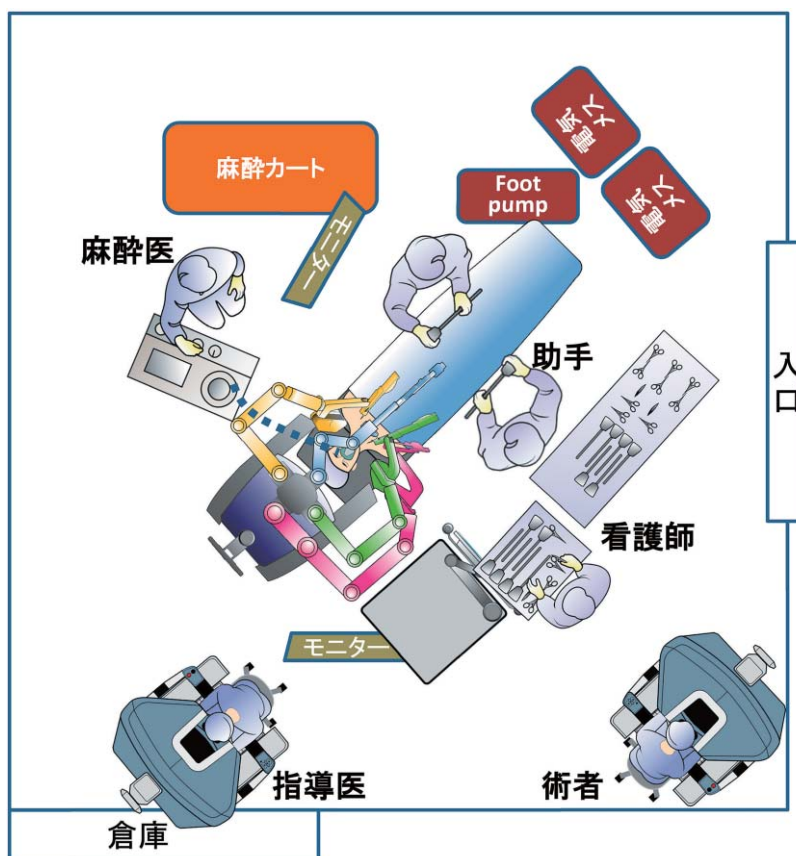


図5. ロボット支援下手術における配置図(ロボット支援下胃切除術)

再度指針が示された<sup>3</sup>。その条件として、トレーニングコースの受講・certificationの取得、消化器外科学会専門医・内視鏡外科学会技術認定取得、医療チームでの見学、指導医師の招聘、十分なインフォームドコンセント、施設としてのガイドラインの作成などが求められている。また、RSの質と安全性の確保のため、RSの手術実施前にNational Clinical Database (NCD)に症例登録を行うことが必須条件とされている<sup>4</sup>。一方、診療報酬点数の算定要件の概要は、当該手術および関連する手術に関する実績を有することと関連学会と連携の上、治療方針の決定および術後の管理などを行っていることである。具体的に胃癌に対するRSを例にあげると、施設基準には、内視鏡下手術用ロボット (dVSS)を用いて胃切除術、噴門側胃切除術、胃全摘術を術者として合わせて10例以上実施した経験を有する常勤の医師が1名以上配置されていること、上記の術式を開腹手術、CLS、RSで年間50例以上施行しており、そのうちCLSまたはRSを合わせて年間20例以上実施していることが要件となっている。このようにRSは他の手術以上に安全に配慮して行うことが求められている。

### 消化器癌に対するロボット支援下手術 (RS) の治療成績

消化器癌に対するRSは初期段階であり、まだ後方視的な研究が中心であり、前向きランダム化比較試験の報告はほとんどない。胃癌、直腸癌、食道癌に関する治療成績の報告を以下にまとめた (表1)。

#### 1. 胃癌に対するロボット支援下手術 (RS)

2002年に初めて胃癌に対するRSが行われ、その後、主に東アジアを中心に多数のRSが行われてきた。CLSとRSを前向きにランダム化して比較した研究はまだないものの、これまで韓国と中国を中心に後方視的な研究結果が報告されている。手術時間はRSの方が長い、出血量は有意に少ないとされ

ている<sup>5,6</sup>。術後合併症に関しては、両者で差がないとの報告が多いが<sup>5-7</sup>、SudaらはRSの方が合併症を低減できると報告している<sup>8</sup>。リンパ節郭清を伴う胃切除術で問題となる合併症の一つに膵液瘻が挙げられる。NCDデータを用いた多数の胃切除術症例による後方視的研究では、膵液瘻の発生割合は開腹手術 (1.0%)と比較してCLS (2.2%)で有意に高くなっていた (p=0.04)<sup>9</sup>。拡大視して施行できるCLSで膵液瘻をきたしやすい原因として、膵上縁のリンパ節郭清時のエネルギーデバイスによる膵臓の熱損傷や屈曲しない鉗子とトロッカーの固定に伴う動作制限による膵臓の過度の圧迫などが考えられている。RSでは、多関節機能を有する鉗子とまったくぶれない鉗子操作で膵臓を圧迫したり触れることなくリンパ節郭清を行うことができるため、膵損傷は回避され、膵液瘻が低減する<sup>10</sup> (図6, 図7)。

入院期間や術後の回復状況はRSとCLSに差はないが、医療費は有意にRSで高くなっていた。最も重要な点である根治性に関しては、郭清したリンパ節の個数に差はなく、長期的な生存率も同等であると報告されている<sup>9,11,12</sup>。しかし、いずれも後方視的研究の結果であり、今後はNCDなどのビッグデータを用いた多数例での解析やランダム化比較試験 (以下、RCT)の結果によってRSのメリットを生かせる対象や保険収載後の一般病院での実際の成績が明らかにされていくことが期待される。

#### 2. 直腸癌に対するRS

現在、大腸癌に対する標準アプローチとして認められている腹腔鏡下手術は、主に結腸癌において開腹手術 (以下、OS)と同等の腫瘍学的安全性と予後が示されてきた<sup>13-16</sup>。しかし直腸癌においては、長期成績の非劣性が示された大規模RCTがある一方<sup>15,17</sup>、腫瘍学的安全性を主要評価項目とした直近の2つのRCTでは非劣性を証明できなかった<sup>18,19</sup>。

直腸癌手術においてCLSがOSに対して外科的剥離面断端 (CRM)陰性率で非劣性が証明できなかった要因として、屈曲した狭い骨盤腔内において

表1. 腹腔鏡または胸腔鏡手術とロボット支援下手術の治療成績の比較

	手術時間	出血量	術後合併症	リンパ節郭清個数	長期予後
胃癌	CLS < RS	CLS > RS	CLS ≥ RS 膵液瘻 CLS > RS	CLS ≤ RS	CLS = RS
直腸癌	CLS < RS	CLS = RS	CLS = RS	CLS ≤ RS	CLS = RS
食道癌	TTE < RS	TTE = RS	TTE = RS 反回神経麻痺 TTE ≥ RS	TTE ≤ RS	TTE = RS

CLS, conventional laproscopic surgery; RS, robot-assisted surgery; TTE, transthoracic esophagectomy

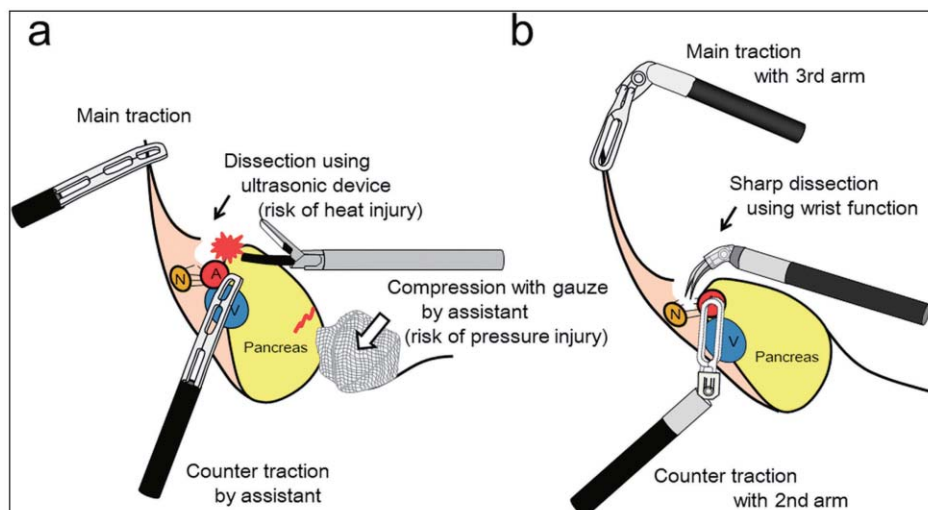


図6. 胃切除術・膈上縁郭清時の膵損傷のメカニズムとその回避（a：鉗子の曲がらない腹腔鏡手術，b：鉗子が屈曲するロボット手術）（文献10より引用）



図7. ロボット支援下胃切除術における膈上縁のリンパ節郭清（近畿大学病院での手術）

鉗子の屈曲がないCLSの直線的なアプローチでは自由度が低く操作が困難であることが挙げられる<sup>20,21</sup>。RSで用いられる鉗子は多関節を有し自由度の高い操作が可能となり、また高解像度の3D画像、手ぶれ防止機能、縮尺機能による精緻な操作により安定した視野で微細な膜構造を確認でき、十分なCRMを確保した質の高い直腸間膜全切除術（TME）が期待できる。こうした背景から、RSは、直腸癌に対する新たな手術アプローチの一つとして期待されている。

大腸疾患に対するRSは、2002年に大腸憩室症に対するロボット支援下大腸切除術が報告されたのを皮切りに<sup>22</sup>、2006年にPigazziらが直腸癌に対するRS

を最初に報告した<sup>23</sup>。直腸癌に対するRSは、より精緻な手術が可能であること、排尿機能などの機能面で優れていることなどが報告されているが、いずれも小規模なケースシリーズなどであった。

ROLARR試験は直腸癌に対してのCLSとRSの比較を行った初めての多国間他施設大規模RCTで、主要評価項目である開腹移行率においてCLSで12.2%、RSで8.1%とRSで開腹移行率は低かったが、統計学的有意差は認められなかった。副次的評価項目であるCRM陽性率もCLSとRSで差は認められなかったが、サブグループ解析において男性症例、肥満症例、低位前方切除を行った症例といった手術の難易度が高いグループでRSの開腹移行率が有意に低く、



RSの有用性が示唆された<sup>24</sup>。

2018年に報告されたmeta-analysisでもROLARR試験と同様にRSはCLSに比べて開腹移行率は低くかったが、手術時間はRSが長く、CRM、TMEの質、術後合併症、郭清されたリンパ節個数で差は認められなかった<sup>25</sup>。またOS、CLS、RS、TaTME（経肛門の内視鏡下直腸間膜切除術）の4つのアプローチ法をNetwork Meta-analysisを用いて比較した報告では、出血量はOS、CLSに比べRSは少なく、手術時間はOS、TaTME、CLS、RSの順でRSが最も長かった。また、CRMはTaTME、RS、OS、CLSの順でCLSが最も短かったが<sup>16</sup>、すべての評価項目で明確なRSの優越性は示されなかった。

直腸癌に対するRSの安全性についてのエビデンスは確認されているが<sup>26-29</sup>、OS、CLSとの比較で優越性を示す明確なエビデンスはない。現在も様々な臨床試験が進行しておりその結果が待たれる。

### 3. 食道癌に対するRS

食道癌に対するRSは、2003年に経裂孔アプローチ、2004年に経胸腔アプローチが報告されている<sup>30,31</sup>。一般的に食道癌に対するRSや胸腔鏡手術（trans-thoracic esophagectomy: TTE）などの鏡視下手術は、開胸手術と比較して手術時間は長いが出血量は少ないとされている<sup>32</sup>。RSとTTEとの比較では、RSの方が手術時間を要するとの報告が多い<sup>33</sup>。出血量に関しては、RSの方が少ない、差がない、いずれの報告もある<sup>33,34</sup>。反回神経周囲のリンパ節郭清に関しては、TTEと比較してRSの方が摘出リンパ節個数が多いとの報告がある<sup>33-35</sup>。食道癌手術の術後

合併症として問題となるのは、反回神経周囲のリンパ節郭清に伴う反回神経麻痺と呼吸器合併症であるが、TTEは開胸手術と比較して呼吸器合併症は少ないが、反回神経麻痺の発生は逆に多いとの報告もある<sup>36</sup>。TTEとRSの比較では、肺炎には差がないが、反回神経麻痺はRSの方が発生割合は低下する傾向にあるものの有意ではないとの報告が多い<sup>5,33-35</sup>。RSでは触覚が欠如しているため、手術中の反回神経に過度な緊張がかからないように目視で十分注意する必要がある。長期予後に関しては、差がないとの単施設での報告がわずかにあるのみである<sup>37</sup>。食道癌に対するRSの有用性を示す報告は増えつつあるが、まだエビデンスは十分でない。

### 本学での実施状況

消化器外科領域（胃癌、直腸癌）では、2016年度から内視鏡外科学講座を中心に看護師、臨床工学士を含めた医療チームが結成され、チームでのトレーニング、certification取得、藤田医科大学での見学、ガイドラインの作成などを行い、施行できる体制を構築してきた。RS実施に関して、倫理面では臨床倫理委員会で承認され、医療費の面では導入時には患者の医療費を校費で負担することが認められ、サポート体制が整えられ、2018年4月に消化器外科領域として初めて胃癌に対するRSを行った（図8）。その後、8月には直腸癌に対してRSを開始した。

胃癌に対するRSの実施状況は、2018年4月から2019年9月までに10例に対してdVSSを用いたRSを行った。最初の3例は、プロクターを招聘し、その指導の下で行い、4例目からはプロクターなしで

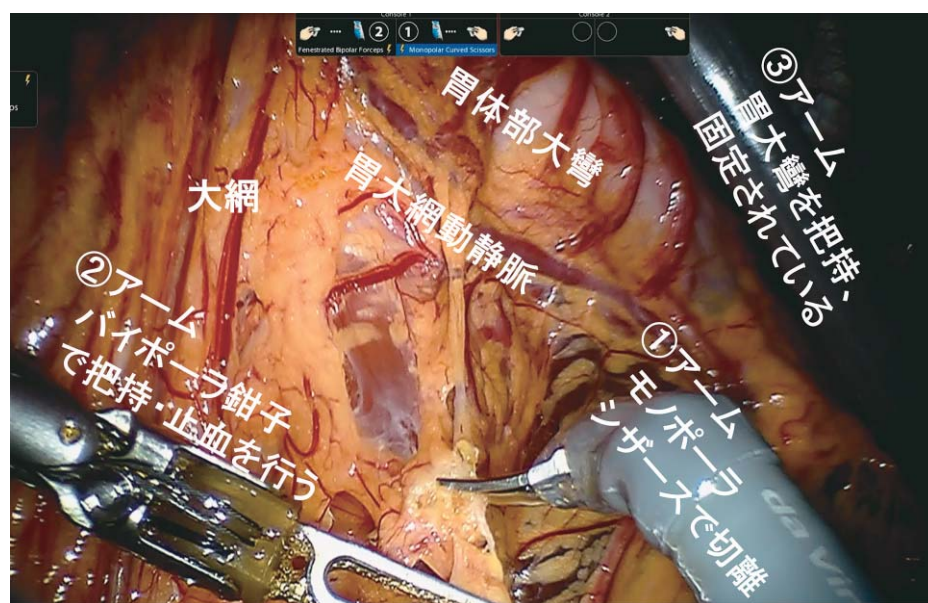


図8. ロボット支援下胃切除術（近畿大学病院での手術）

行った。dVSS の機種は、2009年に発売された一世代前の「Si」を用いて、CLS では必須となっている超音波凝固切開装置が導入されていないため、エネルギーデバイスはモノポーラおよびバイポーラ電気メスとベッセルシーリングシステムを使用した。dVSS 用の自動縫合器が導入されていないため、再建はいずれもロールアウトして CLS と同様に行った。術式は幽門側胃切除術9例、胃全摘術1例で、年齢の中央値は66 (43-77) 歳、性別は男性5例、女性5例、手術時間の中央値は480 (288-586) 分、コンソール時間の中央値は310 (192-398) 分、出血量の中央値は72 (5-300) g であった。術中合併症のために CLS や開腹手術に移行した症例はなく、術後合併症としては、ポート挿入部の出血による腹腔内血腫とそれに伴う腹腔内膿瘍を1例に認めた以外に Clavien-Dindo (CD) 分類 grade 2 以上の合併症は認めなかった。

直腸癌に対する RS の実施状況は、2018年8月から2019年9月までに25例に対して dVSS を用いた RS を行った。最初の3例は、プロクターを招聘し、その指導の下で行い、4例目からはプロクターなしで行った。dVSS 「Si」を用いて、エネルギーデバイスはモノポーラおよびバイポーラ電気メスを使用している。dVSS 用の自動縫合器が導入されていないため、再建はいずれもロールアウトして CLS と同様に行っている。術式は直腸低位前方切除術22例、括約筋間直腸切除術 (ISR) 2例、直腸切断術1例で、年齢の中央値は68 (46-89) 歳、性別は男性14例、女性11例、手術時間の中央値は435 (311-600) 分、コンソール時間の中央値は230 (182-325) 分、出血量の中央値は5 (5-152) g であった。術中合併症のために CLS や開腹手術に移行した症例はなく、術後合併症としては、縫合不全を2例、リンパ漏2例、排尿障害1例を認めた。

食道癌に対する RS は、まだ本学では経験がないが、将来の導入に向けて準備を進めている。

### RS の課題と今後

現在、日本では薬事承認を受けた dVSS を用いて RS は行うことになっている。dVSS は1998年に発売されて以来、「S<sup>TM</sup>」, 「Si<sup>TM</sup>」, 「Xi<sup>TM</sup>」, 「X<sup>TM</sup>」と操作性、ロボットアームの干渉、使用できるエネルギーデバイスが改善されてきた。しかし、触覚がない、コストが高いなどの問題点も指摘されている。2019年から2020年にかけて dVSS の中心的な技術の特許の多くが満了することもあり、世界中で手術支援ロボットの開発が進められている。実際、英国の CMR サージカルが開発した手術支援ロボット Versius は、

すでに70以上の病院で使用されている。日本でも多くの企業や大学で触覚を再現できるものや小型化して価格を抑えた手術支援ロボットが開発されつつあり、本学でも新病院開院時には、最先端のよりよい手術支援ロボットが導入されるかもしれない。

これまで一般的な外科手術の習得は、解剖書、手術書で知識を得るとともに expert の手術に助手として参加し、実際の解剖、手術の手順・操作を習得し、ビデオでも学習し、expert の指導の下で実際の患者に手術することによって行われてきた。CLS においては、実際の患者を手術する前にドライボックスや場合によってはウェットラボ (いわゆるアニマルラボ) でトレーニングを行うのが一般的である。ただ、動物愛護の観点からウェットラボは見直される方向にあり、カダバーや模擬臓器によるトレーニングが取り入れられつつある。CLS には後進を指導するにたる所定の基準を満たした者を認定する日本内視鏡外科学会が認定する内視鏡手術技術認定制度があり、手術手技の向上に役立っているものと思われる。RS では、内視鏡手術技術認定取得医であることがまず術者の条件とされている。さらに dVSS のトレーニングコースを受けて Certificate を取得する必要がある。dVSS にはスキルシミュレーターが附属されており、操作を上達させるための多様な課題とシナリオが含まれていて、基本的な操作になれることが可能となっている。まだ飛行機のパイロットのシミュレーターのように実際の場面を想定した訓練は不可能で模擬手術ができるまでには至っていないが、将来的には高度な手術シミュレーターが開発されることが望まれている。

手術支援ロボットと人工知能や画像診断技術、高速通信技術など新しいテクノロジーとの融合したシステムも構築されていくものと思われる。手術支援ロボット、患者の画像情報、ナビゲーションシステムとを連携させる技術が発展すると、術野の血管の走行や腫瘍と実際の手術操作との位置関係を術者が簡便に確かめながらより安全に手術を行えるようになる。また、dVSS はもともと軍用に戦場での遠隔手術 (telesurgery) を想定して開発が始められたという経緯があり、実際2001年にニューヨークの術者によってフランス・ストラスブールの患者に対して胆嚢摘出術の telesurgery が行われたこともある。高速通信システムの発達によって telesurgery にもますます応用されていくものと思われる。現在は、手術の指導を行うためには現地に赴かなければならないところ、telesurgery を応用すれば遠隔地での手術指導ができるようになる可能性がある。このように周辺の科学技術の発展とともに RS は大きく進



歩していくことが予想される（図9）。

RSは前立腺領域では不可欠のものとなりつつあるが、消化器外科領域ではまだ始まったばかりの手術であり、現時点では解決すべき課題も多い。精密機器であるdVSSは本体価格のみならず機器維持費用も高額である。手術鉗子も安全性、耐久性の担保が求められるため使用回数が定まっている。また、消耗品も安価でない。胃癌、直腸癌に対するRSの保険点数はCLSと同じであるため患者負担が増加するわけではないが、病院側にとっては収支がマイナスとなることもあり得る。消化器外科領域のみならず呼吸器外科、心臓血管外科、婦人領域でも保険診療が可能となったものの、dVSSは各病院に多くても2システムであるため時間的制約からすべての適応疾患にRSができるわけではない。また、安全のためRSを行うための術者の基準が設けられているが、その基準を満たすためには内視鏡外科技術認定を取得することが条件となっている。前立腺手術のようにRSの割合が高くなってしまうとCLSの割合が低下し、若い医師が技術認定を取得する機会が減ってしまうということも危惧される。RSの治療成績や安全性についてのエビデンスの構築もまだ不十分である。経済的、物理的、教育的、科学的観点からは、RSのシステムが腹腔鏡のように普及するまでは、RSで行う価値のより高い症例をある程度選別してCLSと棲み分けながらRSを行うことが望ましいと思われる。dVSSは優れた機器ではあるがまだまだ発展途上であり、RSに使用する機器はどんどん改良されて、ますます発展していくことが予想されるので、医療制度や教育制度も機器の進

化に後れをとることなく様々な課題に取り組んでいかなければならない。

#### おわりに

消化器外科領域におけるRSはまだ始まったばかりの手術である。CLSも現在のように普及するまでに20年以上を要したが、RSも早晚、日常診療として行われるようになることが期待される。安全にRS行うことを最優先としながら、エビデンスを構築していくことが重要である。

#### 文 献

1. Uyama I, Suda K, Nakauchi M, Kinoshita T, Noshiro H, Takiguchi S, Ehara K, Obama K, Kuwabara S, Okabe H, Terashima M. Clinical advantages of robotic gastrectomy for clinical stage I/II gastric cancer: a multi-institutional prospective single-arm study. Clinical advantages of robotic gastrectomy for clinical stage I/II gastric cancer: a multi-institutional prospective single-arm study. Gastric Cancer. 2019 Mar; 22(2): 377-385.
2. 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. NEDO ロボット白書2014. <https://www.nedo.go.jp/content/100567345.pdf>
3. 日本内視鏡外科学会. ロボット支援下内視鏡手術導入に関する指針. [http://www.jses.or.jp/pdf/robot\\_assisted\\_endoscopic\\_surgery.pdf](http://www.jses.or.jp/pdf/robot_assisted_endoscopic_surgery.pdf)
4. 日本内視鏡外科学会. ロボット支援手術による学会指針に関して. [http://www.jses.or.jp/pdf/robot\\_support\\_20181018.pdf](http://www.jses.or.jp/pdf/robot_support_20181018.pdf)
5. Suda K, Nakauchi M, Inaba K, Ishida Y, Uyama I. Robotic surgery for upper gastrointestinal cancer: Current status and future perspectives. Dig Endosc. 2016 Nov; 28(7): 701-713.

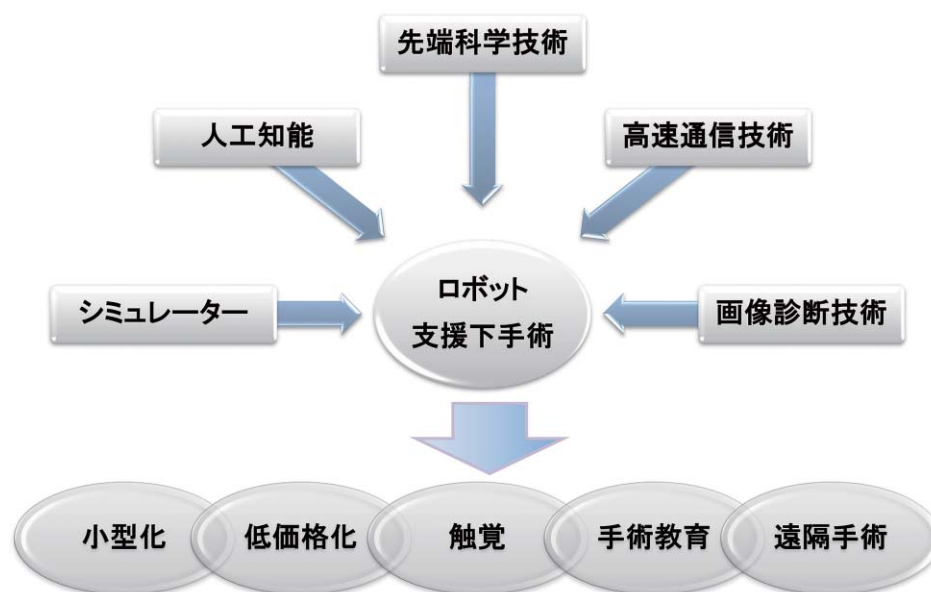


図9. ロボット支援下手術の今後

6. Wang X, Li Z, Chen M, Wu C, Fu Y. Minimally invasive and open gastrectomy for gastric cancer: A protocol for systematic review and network meta-analysis. *Medicine*. 2018 Nov; 97(48): e13419.
7. Obama K, Kim YM, Kang DR, Son T, Kim HI, Noh SH, Hyung WJ. Long-term oncologic outcomes of robotic gastrectomy for gastric cancer compared with laparoscopic gastrectomy. *Gastric Cancer*. 2018 Mar; 21(2): 285-295.
8. Suda K, Man-I M, Ishida Y, Kawamura Y, Satoh S, Uyama I. Potential advantages of robotic radical gastrectomy for gastric adenocarcinoma in comparison with conventional laparoscopic approach: a single institutional retrospective comparative cohort study. *Surg Endosc*. 2015 Mar; 29(3): 673-685.
9. Hiki N, Honda M, Etoh T, Yoshida K, Kodera Y, Kakeji Y, Kumamaru H, Miyata H, Yamashita Y, Inomata M, Konno H, Seto Y, Kitano S. Higher incidence of pancreatic fistula in laparoscopic gastrectomy. Real-world evidence from a nationwide prospective cohort study. *Gastric Cancer*. 2018 Jan; 21(1): 162-170.
10. Okabe H, Obama K, Tsunoda S, Matsuo K, Tanaka E, Hisamori S, Sakai Y. Feasibility of robotic radical gastrectomy using a monopolar device for gastric cancer. *Surg Today*. 2019 Mar 30. doi: 10.1007/s00595-019-01802-z.
11. Nakauchi M, Suda K, Susumu S, Kadoya S, Inaba K, Ishida Y, Uyama I. Comparison of the long-term outcomes of robotic radical gastrectomy for gastric cancer and conventional laparoscopic approach: a single institutional retrospective cohort study. *Surg Endosc*. 2016 Dec; 30(12): 5444-5452.
12. Gao Y, Xi H, Qiao Z, Li J, Zhang K, Xie T, Shen W, Cui J, Wei B, Chen L. Comparison of robotic- and laparoscopic-assisted gastrectomy in advanced gastric cancer: updated short- and long-term results. *Surg Endosc*. 2019 Feb; 33(2): 528-534.
13. Guillou PJ, Quirke P, Thorpe H, Walker J, Jayne DG, Smith AM, Heath RM, Brown JM; MRC CLASICC trial group. Short-term endpoints of conventional versus laparoscopic-assisted surgery in patients with colorectal cancer (MRC CLASICC trial): multicentre, randomised controlled trial. *Lancet*. 2005 May 14-20; 365(9472): 1718-1726.
14. Veldkamp R, Kuhry E, Hop WC, Jeekel J, Kazemier G, Bonjer HJ, Haglind E, Pahlman L, Cuesta MA, Msika S, Morino M, Lacy AM; Colon Cancer Laparoscopic or Open Resection Study Group (COLOR). Laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: short-term outcomes of a randomised trial. *Lancet Oncol*. 2005 Jul; 6(7): 477-484.
15. van der Pas MH, Haglind E, Cuesta MA, Furst A, Lacy AM, Hop WC, Bonjer HJ; Colorectal Cancer Laparoscopic or Open Resection II (COLOR II) Study Group. Laparoscopic versus open surgery for rectal cancer (COLOR II): short-term outcomes of a randomised, phase 3 trial. *Lancet Oncol*. 2013 Mar; 14(3): 210-218.
16. Simillis C, Lal N, Thoukididou SN, Kontovounisios C, Smith JJ, Hompes R, Adamina M, Tekkis PP. Open versus laparoscopic versus robotic versus transanal mesorectal excision for rectal cancer: A systematic review and network meta-analysis. *Ann Surg*. 2019 Jul; 270(1): 59-68.
17. Jeong SY, Park JW, Nam BH, Kim S, Kang SB, Lim SB, Choi HS, Kim DW, Chang HJ, Kim DY, Jung KH, Kim TY, Kang GH, Chie EK, Kim SY, Sohn DK, Kim DH, Kim JS, Lee HS, Kim JH, Oh JH. Open versus laparoscopic surgery for mid-rectal or low-rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy (COREAN trial): survival outcomes of an open-label, non-inferiority, randomised controlled trial. *Lancet Oncol*. 2014 Jun; 15(7): 767-774.
18. Fleshman J, Branda M, Sargent DJ, Boller AM, George V, Abbas M, Peters WR Jr, Maun D, Chang G, Herline A, Fichera A, Mutch M, Wexner S, Whiteford M, Marks J, Birnbaum E, Margolin D, Larson D, Marcello P, Posner M, Read T, Monson J, Wren SM, Pisters PW, Nelson H. Effect of laparoscopic-assisted resection vs open resection of Stage II or III rectal cancer on pathologic outcomes: The ACOSOG Z6051 randomized clinical trial. *JAMA*. 2015 Oct 6; 314(13): 1346-1355.
19. Stevenson AR, Solomon MJ, Lumley JW, Hewett P, Clouston AD, Gebiski VJ, Davies L, Wilson K, Hague W, Simes J; ALaCaRT Investigators. Effect of Laparoscopic-Assisted Resection vs Open Resection on Pathological Outcomes in Rectal Cancer: The ALaCaRT Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2015 Oct 6; 314(13): 1356-1363.
20. Jamali FR, Soweid AM, Dimassi H, Bailey C, Leroy J, Marescaux J. Evaluating the degree of difficulty of laparoscopic colorectal surgery. *Arch Surg*. 2008 Aug; 143(8): 762-767.
21. Park IJ, Choi GS, Lim KH, Kang BM, Jun SH. Multidimensional analysis of the learning curve for laparoscopic colorectal surgery: lessons from 1,000 cases of laparoscopic colorectal surgery. *Surg Endosc*. 2009 Apr; 23(4): 839-846.
22. Weber PA, Merola S, Wasielewski A, Ballantyne GH. Telerobotic-assisted laparoscopic right and sigmoid colectomies for benign disease. *Dis Colon Rectum*. 2002 Dec; 45(12): 1689-1694.
23. Pigazzi A, Ellenhorn JD, Ballantyne GH, Paz IB. Robotic-assisted laparoscopic low anterior resection with total mesorectal excision for rectal cancer. *Surg Endosc*. 2006 Oct; 20(10): 1521-1525.
24. Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, Croft J, Corrigan N, Copeland J, Quirke P, West N, Rautio T, Thomassen N, Tilney H, Gudgeon M, Bianchi PP, Edlin R, Hulme C, Brown J. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for

- rectal cancer: The ROLARR randomized clinical trial. *JAMA*. 2017 Oct 24; 318(16): 1569–1580.
25. Prete FP, Pezzolla A, Prete F, Testini M, Marzaioli R, Patriti A, Jimenez-Rodriguez RM, Gurrado A, Strippoli GFM. Robotic versus laparoscopic minimally invasive surgery for rectal cancer: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Ann Surg*. 2018 Jun; 267(6): 1034–1046.
26. Delaney CP, Lynch AC, Senagore AJ, Fazio VW. Comparison of robotically performed and traditional laparoscopic colorectal surgery. *Dis Colon Rectum*. 2003 Dec; 46(12): 1633–1639.
27. D'Annibale A, Morpurgo E, Fiscon V, Trevisan P, Sovernigo G, Orsini C, Guidolin D. Robotic and laparoscopic surgery for treatment of colorectal diseases. *Dis Colon Rectum*. 2004 Dec; 47(12): 2162–2168.
28. Shiomi A, Kinugasa Y, Yamaguchi T, Kagawa H, Yamakawa Y. Robot-assisted versus laparoscopic surgery for lower rectal cancer: the impact of visceral obesity on surgical outcomes. *Int J Colorectal Dis*. 2016 Oct; 31(10): 1701–1710.
29. Tsukamoto S, Nishizawa Y, Ochiai H, Tsukada Y, Sasaki T, Shida D, Ito M, Kanemitsu Y. Surgical outcomes of robot-assisted rectal cancer surgery using the da Vinci Surgical System: a multi-center pilot Phase II study. *Jpn J Clin Oncol*. 2017 Dec 1; 47(12): 1135–1140.
30. Horgan S, Berger RA, Elli EF, Espat NJ. Robotic-assisted minimally invasive transhiatal esophagectomy. *Am Surg*. 2003 Jul; 69(7): 624–626.
31. Kernstine KH, DeArmond DT, Karimi M, Van Natta TL, Campos JH, Yoder MR, Everett JE. The robotic, 2-stage, 3-field esophagolymphadenectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004 Jun; 127(6): 1847–1849.
32. Oshikiri T, Takiguchi G, Miura S, Takase N, Hasegawa H, Yamamoto M, Kanaji S, Yamashita K, Matsuda Y, Matsuda T, Nakamura T, Suzuki S, Kakeji Y. Current status of minimally invasive esophagectomy for esophageal cancer: Is it truly less invasive? *Ann Gastroenterol Surg*. 2018 Dec 26; 3(2): 138–145.
33. Deng HY, Luo J, Li SX, Li G, Alai G, Wang Y, Liu LX, Lin YD. Does robot-assisted minimally invasive esophagectomy really have the advantage of lymphadenectomy over video-assisted minimally invasive esophagectomy in treating esophageal squamous cell carcinoma? A propensity score-matched analysis based on short-term outcomes. *Dis Esophagus*. 2019 Jul 1; 32(7). pii: doi110.
34. Chao YK, Hsieh MJ, Liu YH, Liu HP. Lymph node evaluation in robot-assisted versus video-assisted thoracoscopic esophagectomy for esophageal squamous cell carcinoma: A propensity-matched analysis. *World J Surg*. 2018 Feb; 42(2): 590–598.
35. Park S, Hwang Y, Lee HJ, Park IK, Kim YT, Kang CH. Comparison of robot-assisted esophagectomy and thoracoscopic esophagectomy in esophageal squamous cell carcinoma. *J Thorac Dis*. 2016 Oct; 8(10): 2853–2861.
36. Takeuchi H, Miyata H, Ozawa S, Udagawa H, Osugi H, Matsubara H, Konno H, Seto Y, Kitagawa Y. Comparison of Short-Term Outcomes Between Open and Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Cancer Using a Nationwide Database in Japan. *Ann Surg Oncol*. 2017 Jul; 24(7): 1821–1827.
37. Park SY, Kim DJ, Do YW, Suh J, Lee S. The oncologic outcome of esophageal squamous cell carcinoma patients after robot-assisted thoracoscopic esophagectomy with total mediastinal lymphadenectomy. *Ann Thorac Surg*. 2017 Apr; 103(4): 1151–1157.