

# I. 総説

## I. 当院におけるロボット手術センターの現況

細谷 亮

神戸市立医療センター中央市民病院 院長

### 要旨

当院ではロボット支援手術を安全で質の高い手術に展開すべく、2018年にロボット手術センターを設立した。設立に際しては患者安全面を担保する学会指針を遵守し、外科医の技能向上をはかるとともに、麻酔科医・看護師・臨床工学技士を含む多職種手術チームとして入念に準備した。手術支援ロボットは本体価格も高価で消耗品費や保守費用も高額であるため、ロボット手術センターは診療科を超えて手術技術の向上や情報共有をはかるとともに、健全な経営を行う役割も担っている。ロボット手術センターにおいて手術部、麻酔科と外科系診療科の手術スケジュールリングが適正になされ、手術件数は順調に伸びて2018年度のロボット支援手術は266件に達し、内訳は泌尿器科198件、外科46件、産婦人科22件であった。これらの手術は低侵襲で安全かつ有用性に優れているが、手術コストは高く、経営的側面もロボット手術センターの今後の課題の一つである。

キーワード：ロボット支援手術、低侵襲治療、ロボット手術センター、手術コスト、人工知能

(神戸市立病院紀要 58:1-7, 2019)

## Current Status of the Robotic Surgery Center at Our Institution

Ryo Hosotani

Director, Kobe City Medical Center General Hospital, Kobe, Japan

### Abstract

In 2018, the Robotic Surgery Center was established at our institution for developing robot-assisted surgeries to ensure safe and highly efficient procedures. With the establishment of this center, guidelines from the academic association that ensures patient safety were followed; efforts were made to improve the skills of surgeons; and a multi-disciplinary operational team including anesthesiologists, nurses, and clinical engineers was formulated. As the cost of robots supporting surgeries is high and the consumables required and robot maintenance are also costly, the Robotic Surgery Center is responsible for improving surgical techniques, sharing information across various medical departments, and ensuring sound management. The Robotic Surgery Center has been appropriately scheduling surgeries under collaboration among Surgery divisions, Department of Anesthesiology in the Central Operation rooms. The number of surgeries has steadily increased to 266 in the fiscal year 2018, including 198 surgeries in the Department of Urology, 46 in the Department of Surgery, and 22 in the Department of Obstetrics and Gynecology. Although these surgeries were minimally invasive, safe, and highly useful, the associated costs were high. Thus, the financial management is an important issue that this center needs to tackle in the future.

Keywords: robot-assisted surgery, minimally invasive treatment, Robotic Surgery Center, surgical cost, artificial intelligence

(Kobe City Hosp Bull 58:1-7, 2019)

## はじめに

ロボット支援手術は泌尿器科手術領域の前立腺全摘術と腎部分切除術に加えて、2018年に新たに12術式が保険適応となった。これを機に、該当する術式におけるロボット支援手術の施行症例数が急速に増加することが予想され、神戸市立医療センター中央市民病院でも、より安全で質の高い手術に展開すべくロボット手術センターを設立した。設立に際しては、患者安全面を担保するための学会指針を遵守し、外科医の技能向上をはかるとともに、麻酔科医・看護師・臨床工学技士を含む多職種手術チームとして入念に準備した。ロボット手術センターがパイプ役となって診療科を超えてスキルの向上や情報共有をはかるとともに、手術支援ロボットは機械購入価格も高価で消耗品費や保守費用も高額であるため、健全な経営を行う役割もロボット手術センターは担っている。

本稿では、当院におけるロボット手術センターの立ち上げ、運営と病院経営的側面について概説し、地域のロボット手術センターを目指すこの2年間の実績や課題を紹介したい。あわせてロボット支援手術の将来についても言及する。

### 1. ロボット支援手術のコンセプト

ロボット支援手術は、腹腔鏡や胸腔鏡手術で医師がロボットを操作して行う手術である。けっしてロボットが医師の代わりに手術を執刀するわけではない。その開発コンセプトは、いかに手術における低侵襲化、すなわち手術に伴う痛みや発熱、出血などをできるだけ少なくすることを進めるかを念頭にいたものである。

著者は外科医になって42年になるが、20年ぐらい前までは、大きな術創は術野の展開が良好で手術手技が容易であることから、必要にして十分大きな術創をうることに何のためらいもなかったし、そのように先人から教育されてきた。ただし、この考えでは、腹壁に対する破壊が激しく、体に対する侵襲が大きかったわけで、より低侵襲の手術を目指して20年ほど前に内視鏡手術や腹腔鏡手術というものが導入された。低侵襲治療 (minimally invasive therapy) 時代の到来で、著者も1993年に当院で第1例目の腹腔鏡下胆嚢摘出術を執刀している<sup>1)</sup>。しかし腹腔鏡手術を大腸癌や胃癌などのがんの手術に応用するにつれ、いくつかの技術的な問題が指摘されるに至った。腹腔鏡の2D画像による立体感のなさ、腹腔内操作の鉗子の手振れや関節機能がないことによる可動性制限、助手が腹腔鏡

を操作するため画面のブレなど、より難易度の高いがん手術をより低侵襲で行なう上での技術的困難性がつきまとっていた。

そこで登場したのが内視鏡手術支援ロボット「ダヴィンチ」(Intuitive Surgical社)で、腹腔鏡手術に大きな革新をもたらした(図1)。その第1は内視鏡のカメラ機能で、正確な3-D画像がえられ、10~15倍までの拡大視効果がある。またダヴィンチは4本の腕を持ち、内視鏡と3本のアームを入れることができ、画像が安定し画面のブレがない「とにかく3Dの緻密な画像でぶれずによく見える」。第2にアームの先端鉗子部分のバリエーションが多く、手首のように曲がる関節があって、医師が直感的に扱える。第3に手振れ防止機能やモーションスケーリング機能があるので、手元を大きくラフに動かしてもロボットの手先は細かく動いてくれる。これらの機能により、従来の腹腔鏡手術や胸腔鏡手術で課題であった点はかなり克服できるようになった。図2に当院外科で実施しているロボット支援による食道癌食道亜全摘術におけるリンパ節郭清操作を示す。なお第4世代のダヴィンチXiでは、カメラの8mm径へのスリム化、ドッキングの簡便化、アームのスリム化と干渉軽減や自動設定などの改良がみられ、当センターでも導入予定である。(2019年9月導入済み)

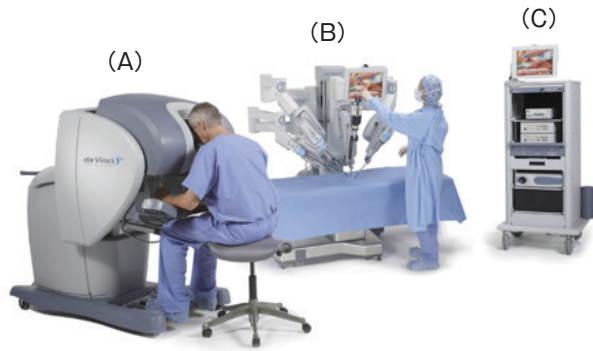


図1 ダヴィンチの機器構成



図1 A) 医師がダヴィンチを操作するための「サージョンコンソール」

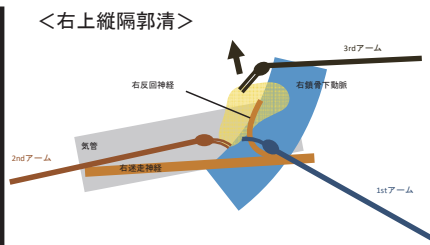
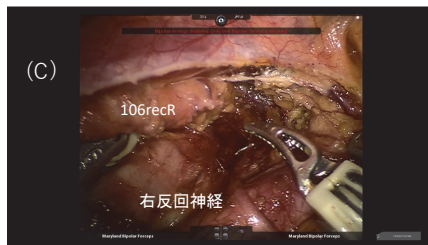
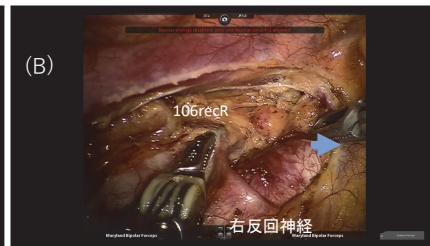
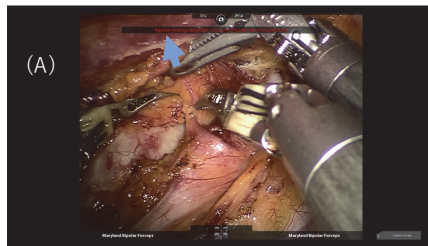


手術台の前に立って実際に手術を行うロボットアームをもった「ペイシャントカート」アームの先に内視鏡や鉗子など手術内容に合わせて細いアーム類をセッティングする

図1 B) 手術台上のロボットアーム (ダヴィンチ Xi)



図1 C) 手術中のダヴィンチ3D映像を最適化する「ビジョンカート」(矢印)



食道癌に対するロボット支援食道亜全摘術における右上縦隔郭清 (106recR) の実際を示す。迷走神経の枝である右反回神経を温存しつつ繊細なリンパ節郭清を実施している (A~C)。画像は高解像度3D画像であり、ロボット鉗子の自由度が高く、どの方向へも曲げることができる多関節鉗子であることもロボット支援手術の大きな特徴の一つである。

図2 ロボット支援手術の実際 (小林裕之外科医長から提供)

## II. ロボット手術センターの立ち上げ

表1に2018年度から保険収載されたロボット支援手術の術式を示す。当院でロボット手術センターを立ち上げるに際して、院長、副院長、ロボット手術導入を検討している診療科長、麻酔科部長、看護部長、手術部看護師長、臨床工学部技師長と事務局によるロボット手術センター運営委員会を2017年6月から月1回ペースで開催した。2018年診療報酬改定を見越して、①ロボット1台を複数診療科で効率的に運用する方法、②臨床工学技士の関与、③外科ロボット胃手術1例目の実施検討、④各診療科のロボット手術導入希望調査、⑤導入希望手術のランニングコストの順に検討を進め、半年後の2018年3月に導入術式を決定した。胸部外科は現行の胸腔鏡手術に比したロボット支援手術の優越性を認めがたく、縦隔腫瘍手術と肺切除手術の導入の見送りを決定し、心臓血管外科は20例の胸腔鏡手術症例を経験した後の導入を希望した。

この過程で検討した導入予定手術のランニングコスト推計を表2に示す。手術点数と費用の差は粗利益であって、診療科人件費、麻酔医と手術部看護師の人件費、手術室減価償却費（両者は時間按分）等を加味し

た原価計算ではない。また保険収載要件の施設基準をうるための症例数は、患者自費診療あるいは病院公費負担となるが、公費負担分入院手術費用と外科医の研修費用なども含まれていない。これらは病院経営上も決して無視できない投資となった。2018年時点で泌尿器科の前立腺全摘術と腎部分切除術がすでに導入されていたが、新たなロボット支援手術を適応する際には、本稿に示すようにロボット支援手術がもたらす医学的なメリットとコストを詳細に検討した結果の導入決定であることを強調したい。

一方この委員会での全体検討とコスト分析と並行して、各々の診療科が日本内視鏡学会のロボット支援下内視鏡手術導入に関する指針<sup>2)</sup>にしたがってトレーニングを進めた(表3)。すなわち、Web上でのE-learning、オンサイトトレーニング、ウェットラボでの学習、Certificationの取得、認定見学施設での手術見学(手術チーム全員)と、プロクター招聘下での手術実施である。この指針は患者安全面に最大限に配慮した優れた指針であると思われ、当院でも術者条件と施設条件の両者をクリアすべく準備を進めた。

表1. 2018年4月から新たに保険収載されたロボット支援下内視鏡手術

1	胸腔鏡下縦隔悪性腫瘍手術
2	胸腔鏡下良性縦隔腫瘍手術
3	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)
4	胸腔鏡食道悪性腫瘍手術
5	胸腔鏡下弁形成術
6	腹腔鏡下胃切除術
7	腹腔鏡下噴門側胃切除術
8	腹腔鏡下胃全摘術
9	腹腔鏡下直腸切除・切断術
10	腹腔鏡下膀胱悪性腫瘍手術
11	腹腔鏡下子宮悪性腫瘍手術(子宮体癌に限る)
12	腹腔鏡下腔式子宮全摘術

表2. ロボット手術センター設立時の代表的手術コスト推計(神戸市立医療センター中央市民病院、2018年2月)  
(単位:千円)

診療科	対象疾患と術式	Kコード	手術点数 (円換算)	ロボット 手術加算	費用				粗利益
					ダヴィンチ 消耗品費	その他 消耗品費	減価償却 保守費	合計	
泌尿器科	腎癌腎部分切除術	K773-5	707	○	199	144	167 †	510	197
	前立腺癌全摘術	K843-4	952	○	232	141	167 †	540	412
	膀胱癌膀胱全摘術(尿路変更)	K803-2.2	1,207	×	513	187	167 †	867	340
外科	胃癌幽門側胃切除術	K655-2.2	641	×	552 *	78	167 †	797	-156
	胃癌胃全摘術	K657-2.2	830	×	524 *	78	167 †	769	61
	直腸癌低位前方切除術	K740-2.2	839	×	183	432	167 †	782	57
	食道癌亜全摘術(3領域郭清)	K529-2.1	1,252	×	309	589	167 †	1,065	187
産婦人科	子宮体癌広汎全摘術	K879-2	702	×	229	227	167 †	623	79

\* 業者試算で削減対象

† ダヴィンチ導入費用(耐用年数5年)・年間保守費用/年間症例数

表3. ロボット支援下内視鏡手術導入に関する指針（平成30年6月、日本内視鏡外科学会）

(A) 術者条件	
1.	術者および助手は、da Vinci Surgical System製造販売会社の定めるトレーニングコースを受講し、ロボット支援下内視鏡手術のcertificationを取得していること。
2.	各領域（消化器外科、呼吸器外科、泌尿器科、婦人科、小児外科など）の専門医であること。
3.	日本内視鏡外科学会もしくは各領域学会の定める、内視鏡手術技術認定取得医であること。 （ただし、ロボット支援下前立腺全摘術、婦人科領域、および呼吸器外科領域はこの限りではない）
4.	上記のロボット支援下内視鏡手術のcertificationを取得後、1年間の期間を超えてロボット支援下内視鏡手術を行っていない医師は、da Vinci Surgical System製造販売会社が提供しているリトレーニングプログラムに参加してから施行する。
(B) 施設条件	
1.	臨床使用前に、術者、助手、手術看護師を含めた医療チームとして、十分な臨床見学を行うこと。
2.	臨床使用において第1例目より、当該術式の熟練指導医（学会推奨のプロクター等）を招聘しその指導下に行うこと。何例目まで指導下に施行するかは、各領域学会の指針もしくは、各施設の指針を遵守すること。
3.	ロボット支援下内視鏡手術は保険収載された術式と、保険未収載の術式が混在する。実施にあたっては、日本内視鏡外科学会主導の事前レジストリー制度に参加する。
4.	上記の条件を踏まえた「新しい術式を導入する指針」を、各施設で作成し安全な導入に務めること。

（日本内視鏡外科学会ホームページより抜粋）

### III. ロボット手術センターの実績

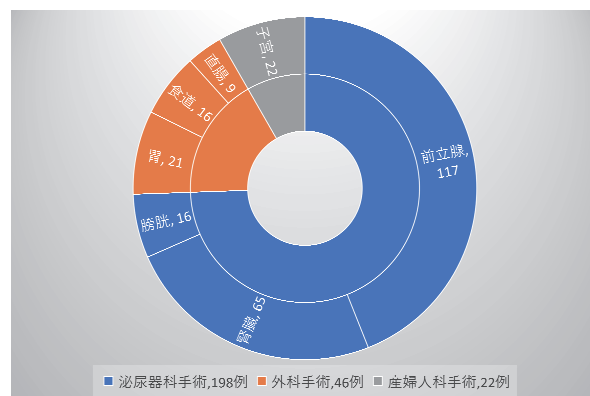
当院におけるロボット支援手術の開始は平成25年度で、泌尿器科の前立腺全摘術であった。それ以後の手術件数の年度別推移を図3に示す。平成29年度まではほぼ泌尿器科単独の件数であるが、平成30年度からはあらたに12術式が保険収載され、ロボット手術センターを設立したこともあり、手術件数は大幅に増加した。（2019年末累計で1001件）年間266件は月平均22.2件に相当し、平日は1台の手術ロボットがフル稼働していることを示している。ロボット手術センターにおいて手術部、麻酔科と3診療科の手術スケジューリングが適正になされていることが順調な手術件数の伸びを支えている。また手術技術の学習曲線が向上したことと、看護部・臨床工学部・PFIの清掃部門・メディカルアシスタント部門などの協力により、1日縦列2件の手術が可能となったこともロボット手術センターの成果である。平成30年度の術式の内訳をみると、

泌尿器科手術198件、外科手術46件、産婦人科手術22件であった。個々の術式をみると、前立腺癌前立腺全摘術が117例で最も多く、ついで腎癌腎部分切除術65例、子宮体癌広汎全摘術22例、胃癌幽門側胃切除術21例、食道癌亜全摘術と膀胱癌膀胱全摘術が16例、直腸癌低位前方切除術9例の順であった（図4）。

令和元年度以降もこの3科の比率に大きな変化はないままで全体の手術件数が増加し、特に外科の手術件数増加が予想されている。また今後保険収載が予想されているロボット支援下腎盂形成術、仙骨腫固定術、良性腎腫瘍手術の3手術についても自費診療料金を設定して手術導入を始めている。これに加えてロボット支援手術導入を見送っていた胸部外科と心臓血管外科が参入してくると、ロボット手術センターの手術スケジューリング機能をもってしても、手術支援ロボット1台では手術枠が飽和してしまう。現在、2台体制の整備を進めているところである。（2019年9月導入済み）



ロボット手術センターを設立した平成30年度から手術件数の大幅な伸びがみられる  
図3 神戸市立医療センター中央市民病院におけるロボット支援手術件数



泌尿器科手術が最も多く全体の約4分の3を占め、ついで外科手術、婦人科手術の順である。術式別でも前立腺癌前立腺全摘術が117例で最も多く、ついで腎癌腎部分切除術、子宮体癌広汎全摘術の順である。

図4 ロボット手術センターにおける平成30年度ロボット支援手術266例の内訳

#### IV. ロボット手術センターの課題

米国では手術操作の難しい内視鏡手術をとびこしてロボット支援手術が普及している。一方本邦では、外科医の内視鏡手術スキルが優れ、患者の体格的にも手術が容易で、内視鏡手術がすでに普及している現状で、ロボット支援手術が今後どこまで普及するかが、第一の課題である。例えば、当院のロボット手術センターでは、ロボット支援下前立腺全摘術が前立腺癌の標準術式となっているが、神経温存の工夫と尿失禁などの術後合併症対策、放射線治療後などの高難度症例への対応などに課題が残されている。また消化器癌領域では、経験を積んで術式の定型化を図る途上であり、手術成績が従来の胸腔鏡手術や腹腔鏡手術と比して真に優れているかの評価も十分とはいえない。婦人科領域の子宮体癌広汎全摘術は順調に症例数を伸ばしているが、子宮頸癌に対しては保険適応の是非に関する議論が行われている最中である。いずれの手術も、術者はロボット独特のメリットを大いに体感しているものの、ロボットならではの技術的問題や悪性疾患に対する治療成績に関しては議論も多いところである。

もう一つの課題はコストにある。表2でも示したように、新たに保険収載された12手術には手術点数に上乘せがなく、現実的には従来の腹腔鏡下手術よりコストが高いままである。先行する泌尿器科手術には一定のロボット手術加算が認められており、後発術式に対しても早期の診療報酬改定が望まれる。そのためには、学会などが主導し症例登録によって手術の透明性を高めるとともに、手術時間・出血量・術後合併症など手術の安全性と、神経温存・リンパ節郭清度など技術的有用性、平均在院日数短縮などの経済性を証明することが重要である。一般的な診療報酬のルールとしては、新規技術に対しては、既存技術と同等程度の有効性及び安全性があるとされたものに対しては診療報酬上の評価も同等とする、とされている。今回の保険適応に際しては、優越性が証明できないままで適応されてきており、保険診療で症例を増やして客観的な評価を行い、ロボット支援手術の優越性を示すエビデンスが確認されれば、再評価（点数の引き上げ等）を行う方向性であろう。どんなに安全性や有用性の優れた手術であろうとも、手術コストの問題解決なしには、その手術の爆発的な普及は望みがたい。この経営的側面は、全国の内視鏡外科医のみならず、我々のロボット手術センターにとっても大きな課題であると思われる。

#### V. ロボット支援手術の将来

ロボット支援手術におけるいくつかの将来展望を述べたい。

第1は遠隔診療への応用である。手術支援ロボットの開発は、そもそも米国の施設で戦場における遠隔手術を目的に研究が進んだ。その結果、手術専用のロボットが開発され、2001年9月7日に米国ニューヨークと仏ストラスブール間での胆嚢摘出術が実現した。この遠隔手術は1927年に大西洋の単独無着陸飛行に成功したチャールズ・リンドバーグになぞらえて「リンドバーグ手術」と呼ばれた<sup>3)</sup>。しかし数日後に9.11同時多発テロ事件が発生し、この画期的手術の成功はニュースバリューを失い、大陸間横断手術は通信の安全性確保が難しいことから臨床応用には至っていない。ただ最近の通信技術の革新により救急災害時の手術や複数の場所に散らばる専門医によるチーム医療などへの応用に大きな期待が寄せられている。

第2は手術支援ロボットそのものの改良である。現在「ダヴィンチ」(Intuitive Surgical社)がトップシェアを占めているが、2019年の特許切れに伴って、日本を含む欧米の企業の参入が予想されている。そのコンセプトは、コンパクト化、デジタル化、臓器の感触を術者が感じ取る技術を搭載して、臓器の損傷リスクを抑えることなどである。またダヴィンチと競合しない領域である脊椎手術支援ロボットや頭頸部癌に対する口内手術支援ロボットなどの開発も進んでいる。手術支援ロボット市場は黎明期にあり、医療機器メーカーやIT企業、ベンチャーの相次ぐ参入とデジタル技術の進展とともに市場の覇権争いが激化しそうである。病院経営の立場からは、ダヴィンチを高級車とするならば大衆車にも需要はありそうで、前項に述べたように機械購入価格や消耗品費・保守費用も含めた手術コストの問題が大きな要素になるかもしれない。

第3は、AI(人工知能)との連携である。画像が優れ、繊細な鉗子操作が可能な手術支援ロボットは、本質的にAI化にむいていると思われる。しかし腹腔内や胸腔内で行う外科手術の場合は、解剖学的な個体差が大きく、重要な血管走行にしても一様ではない。画像からAIが判断して、剥離操作や縫合操作などを行うにはまだまだ実現に時間がかかりそうである。少なくとも外科医はそう認識している。逆にAIの専門家は、ディープラーニングを使う画像認識精度は各段に向上しており、ある意味ではAIは既に人間を超えているとの認識である<sup>4)</sup>。AIを搭載した医療機器は今や社会実装の段階にあり、近い将来には、手術支援ロボッ

トの動かし方に汎用性が生じ「みんな名人」になりうるかもしれない。

## おわりに

当院におけるロボット手術センターの現況と運営、特に病院経営的側面について概説した。稿を終えるにあたり、川喜田睦司泌尿器科部長・ロボット手術センター長をはじめとする関係各位の日々の努力に心から感謝する。

## 文 献

- 1) 細谷 亮, 宮原勅治, 今村正之: 腹腔鏡下胆嚢摘出術－胆道外科, 最近の進歩－. 外科 59: 280-285,1997
- 2) 日本内視鏡外科学会: ロボット支援手術導入に関する指針. 一般社団法人日本内視鏡外科学会, 2018 [[http://www.jses.or.jp/pdf/robot\\_assisted\\_endoscopic\\_surgery.pdf](http://www.jses.or.jp/pdf/robot_assisted_endoscopic_surgery.pdf)]
- 3) 西口完二: Code name 《Lindbergh Operation》－大西洋間ロボット支援遠隔手術. 日本内視鏡外科学会誌 7: 283-286,2002
- 4) 松尾 豊: 生存確率を上げるための知能. 人工知能とは, 人工知能学会 監修, 近代科学社, 東京, 184-195,2016