

徹底分析  
シリーズ

## ロボット手術 2nd Phase

## ロボット支援下呼吸器外科手術

外科医の視点から、  
特に da Vinci® SP を用いた単孔式について

金田 真吏・川口 晃司

ロボット支援下呼吸器外科手術  
(RATS) の疫学

呼吸器外科手術の発展は大きく二つに分かれており、「精密さ」を追求した robotic surgery, 「低侵襲」を目指した reduced port surgery が、それぞれ進歩してきている。

ロボットにおける精密さは、その多関節を活かした柔軟さと人間を超える可動域により、狭い胸腔内での剥離や切離を可能にしている。da Vinci は、2001 年に日本に試験的に導入され、2009 年に薬事承認が得られ、2018 年により肺悪性腫瘍に対する肺葉切除と縦隔腫瘍手術で保険収載され、急激に増加している。

その後、2020 年には区域切除と重症筋無力症に対する拡大胸腺摘出術が、2024 年には良悪性問わず肺葉切除と区域切除が保険収載となった。現在、呼吸器外科手術の約 3 割がロボット支援下呼吸器外科手術 robot-assisted thoracic surgery (RATS), 6 割がビデオ補助胸腔鏡下手術← VATS の日本語表記、特集内で統一検討 video-assisted thoracic surgery (VATS), 1 割が開胸となっている。

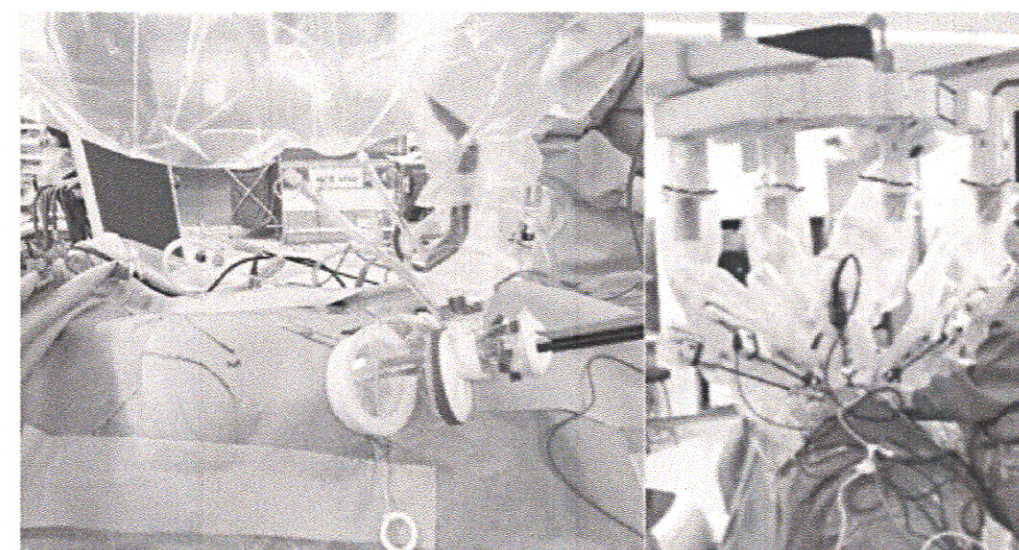
一方で reduced port surgery は

Uniportal VATS<sup>1)</sup>をはじめ、ポートを減らすことで傷害される肋間神経が少なくなり、より患者負担を減らすことができる。ロボット支援手術でも Dual port RATS<sup>2)</sup>や Uniportal RATS<sup>3, 4)</sup>の報告が散見されるようになり、鉗子などの専用器械の整備や技術の定型化なども進んできている。しかしながら reduced port surgery では鉗子同士やカメラとの干渉が多いこと、手技の熟練度が必要なことなどが課題となり、「精密な」手術を追求することからは遠ざかるようであった。そのような中で da Vinci SP の導入は、これらの課題に一石を投じる形になると考える。

本稿では da Vinci SP による肺切除および縦隔腫瘍手術の有用性や安全性、注意点について、外科医の視点から考察する。

VATS と比較した  
RATS のメリット、禁忌

現在、VATS はすでに広く普及している。簡便であるが助手やスコピストとの連携が重要となる。一方で RATS では 3D モニターによる立体視、多関節による人間の可動域を超えた操作性、手ブレがなく、術者は座った体制でできることなどのメリットがある。また

図2  
da Vinci SP (左)と  
da Vinci Xi (右)の  
術野の比較72°  
135°da Vinci Xi と SP の  
使い分けda Vinci Xi ではポート同士が独立しているために、干渉が少なく、広範囲での操作が必要となる手術、例えば血管遮断などが必要となる手術や胸壁合併切除例などで優位である。一方で da Vinci SP の特性を活かせる症例は、肋間の狭い高齢者や小児の手術、また剣状突起下から両側肺切除を行う手術などが考えられる。当院では、8 歳の巨大後縦隔腫瘍摘除<sup>9)</sup>や、転移性肺腫瘍での両側同時手術 (部分切除+区域切除)<sup>10)</sup>を行い、その有用性を実感した。手術の実際  
(体位、ポート位置、術式の手順)

da Vinci SP のインストゥルメントを挿入できるポートは径 2.5 cm あり、日本では肋間への挿入は適応外となっているため、肺切除では肋骨弓下アプローチ、前縦隔腫瘍では剣状突起下アプローチで行っている。

肋骨弓下アプローチでは、体位は側臥位でベッドを山折りにして行う。第 8 肋骨の前方の肋骨弓下に 4.0 cm の皮膚切開を行い、腹斜筋群、横隔膜の筋層を切開して胸腔へとアプローチす

RATS では、執刀医がカメラを自由に動かし、3rd アームで展開ができるため、少人数での手術も可能である。今後はネットワークを利用したロボットによる遠隔手術を行う構想も出てきている。

そのようなそれぞれの特徴がある中、RATS では VATS に比べてポート数が多くなる傾向にあるが、三重大学医学部附属病院 (以下、当院) で行った多施設共同研究<sup>5)</sup>によれば術後疼痛は同等であった。また VATS と RATS を比較したメタ解析<sup>6)</sup>でも、合併症や入院期間、開胸コンバート率などに差はないと報告されている。長期的な成績は、RATS で無病生存期間が長く、統計学的有意差はないものの全生存率が高い傾向にあり、30 日死亡率が有意に低かった。

ただし同じ単孔式手術であっても Uniportal VATS と da Vinci SP では、その特色は異なる。Uniportal VATS では肋間に 4.0 cm ほどの小開胸を作成するのにに対し、da Vinci SP では肋骨弓下に作成するため肋間神経痛が発生しにくい。また Uniportal VATS では創部からカメラと数本の鉗子を挿入するため、創部での干渉が大きく、細く曲がった鉗子が必要となる。一方で

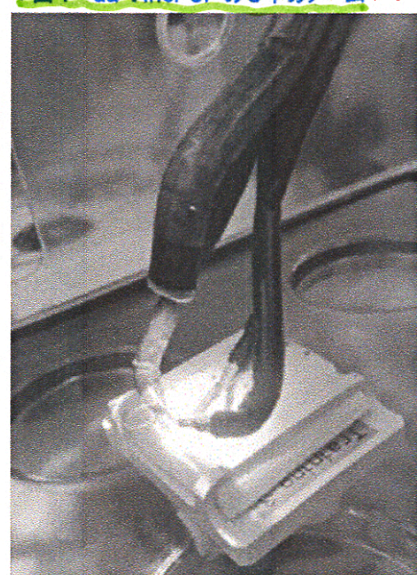
1/a ロボット  
14 H

図1 da Vinci SP の3本のアーム

10a  
1/a ロボット  
14 H  
KANEDA, Shinji・KAWAGUCHI, Koji  
三重大学医学部附属病院 呼吸器外科



徹底分析  
シリーズ

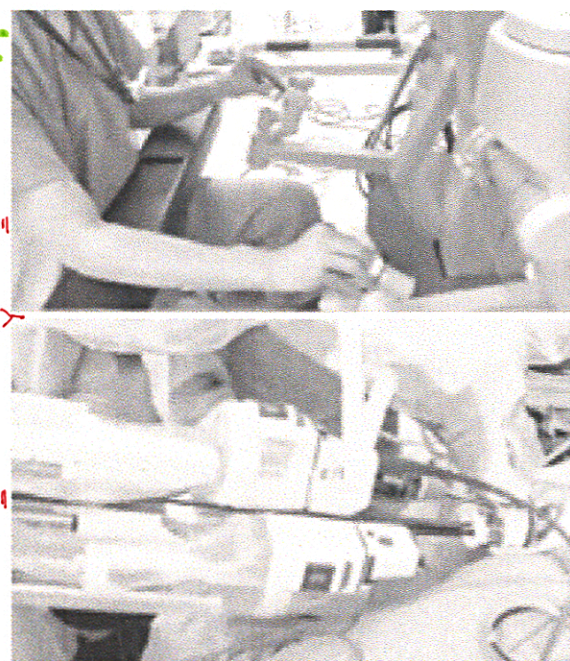
## ロボット手術 2nd Phase

14a ロダンB (VX)

流用

色ベタ+スミ20%

75%

図3  
術野風景48%  
59%

1%

38%  
75%

る。横隔膜と皮下を縫合して専用のアクセスポートを装着し、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を 8 mmHg で送気する。それから背側より da Vinci SP をドッキングして手術を開始する (図2)。術中の手順は通常と特段変わらないが、背側の操作にやや難渋する。標本摘出後に肋骨弓下の創から胸腔ドレーンを挿入し、腹壁の筋層を縫合し閉胸する。

剣状突起下アプローチでは剣状突起から1横指尾側に3.0 cm 皮膚切開を加え、腹直筋腱鞘を切離し胸骨裏面へと剥離を進める。胸腺腫では播種のリスクなどもふまえ、片側の開胸のみで行うことを心がける。止血確認後に剣状突起下の創部から、胸腔ドレーンを挿入し、閉胸する。

当院では2024年2月～2025年8月に da Vinci SP で肺切除66例、縦隔腫瘍24例を行った。手術時間平均188分 (89～417分)、出血量中央値10 mL (10～1800 mL)、入院期間平均5.1日 (2～18日) で、開胸

コンパート2例 (肺動脈からの出血、リンパ節固着) と1ポート追加4例 (肺尖の癒着) を経験した。Clavien-Dindo 分類Ⅲ以上の合併症は術後出血1例であった。出血のため開胸コンパートした症例に関しては、肺動脈の分枝根部からの出血で血管遮断、縫合が必要であったため、da Vinci アームで出血点を圧迫したまま第5肋間開胸を助手が行い、開胸下で安全に処置を施行できた。

da Vinci SP はさまざまな利点があるが、コスト面から施設が限られてしまうことが問題となる。導入の費用、専用の鉗子は Xi よりも高く、SP の普及の障害となっているであろう。今後の普及のためにはコスト面の解消、安全な手術手技の確立が重要である。

麻酔科医に  
望むこと

・呼吸器外科手術全般に言えることであるが、肺動脈からの出血時は循環

動態の維持、輸血などの対応が必要となる。

- ・当科ではロボット支援下手術においては開胸へ移行する基準を設けている；術中出血500 mL以上、ロボットの故障・作動不良、手術時間が6時間を超えたとき、予想外の血管奇形や癒着により術者が手術継続困難と感じた場合、麻酔科医が全身管理に問題があると判断した場合 (分離肺換気が困難な場合も含む) など。患者の安全のために麻酔科側から気がついたこと、困ったことなどを遠慮なく進言いただきたい。
- ・da Vinci SP では従来とは異なる患者への干渉、横隔膜損傷の影響、腹腔臓器損傷のリスクなどがある。
- ・da Vinci SP の手術では肋間神経痛などの慢性期疼痛は少ないものの、従来の硬膜外麻酔や肋間神経ブロックではコントロールが難しい急性期疼痛がある。

23%

地  
スミ  
10%  
1/a  
ロダンM  
ベタ  
17H  
30w話

色ベタ+スミ10%

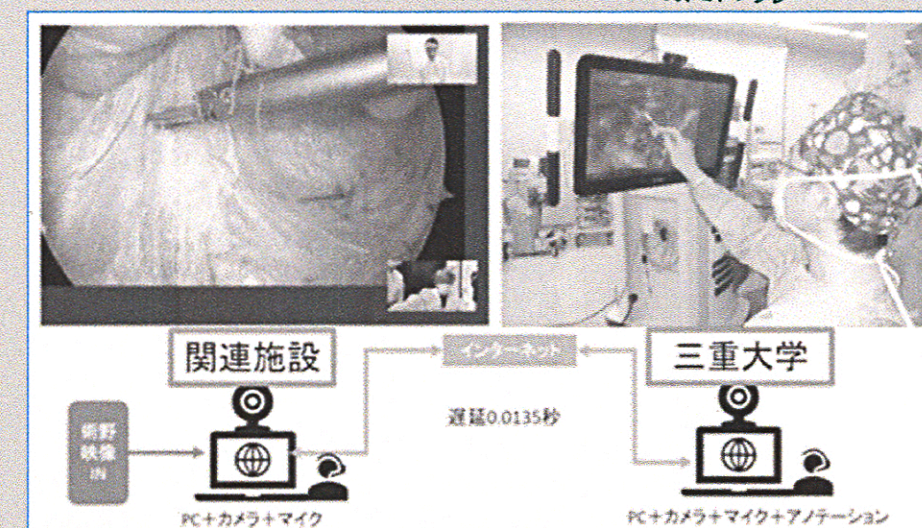
遠隔手術教育の新しいかたち：IoRE 三重大モデルの取り組み

14a 新ゴM (VX)

コロナ禍をきっかけに、Zoom などを用いたリモートコミュニケーションが急速に広まった。学会や講演会もオンライン開催やオンデマンド配信が当たり前となり、今では「場所や時間に縛られない学び」が当たり前になりつつある。こうしたリモート技術の波は手術教育の現場にも確実に押し寄せている。三重大では、インターネットを介したロボット手術教育の新しい仕組みとして、IoRE (internet of robotic surgery education) 三重大モデルを提唱している。関連施設をネットワークでつなぎ、各施設に設置された da Vinci システムの「Intuitive Hub」を通じて当院で行われているロボット支援手術をリアルタイムに共有することができる。さらに、web 講義やリモートシミュレーション、症例見学、手術動画を使ったビデオクリニック、症例ごとの課題や改善点のフィードバックなど、多角的な教育プログラムを展開中である。これにより、関連施設の医師

は自施設にいなから手術見学や技術習得を進めることができ、施設間の技術格差を減らすとともに、難症例時の相談にも迅速に対応できる体制が整いつつある。興味深いのは、この仕組みが「一方通行」ではないことである。三重大側が関連施設の手術動画を閲覧し、必要に応じて助言を行うことも可能で、まさに双方向の教育支援が実現している。現場では、限られた人員で一人の判断に頼らざるを得ないことも少なくないが、遠隔支援環境が整えば、マイクやアノテーション機能 (画面への書き込み) を使って即時に助言を受けることができる (図A)。まるで同じ手術室にいるような安心感が得られる。施設の垣根を越えて技術や症例を共有し互いに学び合う。その積み重ねが、地域全体の医療レベル向上につながるはずである。将来的には、この遠隔指導システムがさらに発展し、遠隔手術支援、そして完全遠隔手術の実現へとつながっていくことが期待される。

10a ロダンB

図A  
アノテーション機能を利用した  
遠隔指導色ベタ  
70%  
124%

白スミ

13a 見出し MB 31  
文 献 色ベタ

- Gonzalez-Rivas D, Paradela M, Fieira E, et al. Single-incision video-assisted thoracoscopic lobectomy: initial results. J Thorac Cardiovasc Surg 2012; 143: 745-7.
- Watanabe H, Ebana H, Kanauchi N, et al. Dual-portal robotic-assisted thoracic surgery (DRATS) as a reduced port RATS: early experiences in three institutions in Japan. J Thorac Dis 2023; 15: 6475-82.
- Lee JH, Gu BM, Yong HS, et al. Initial experience of single-port robotic lobectomy for large-sized non-small cell lung cancer: a single-center retrospective study. Cancers (Basel) 2024; 16: 3091.
- Suda T, Morota M, Negi T, et al. Subxiphoid uniportal robotic thymectomy using da Vinci Xi system. Eur J Cardiothorac Surg 2025; 67: ezaf127.
- Kawaguchi K, Ogura T, Kaneda S, et al. A prospective multi-institutional study to verify the non-inferiority of postoperative pain in robot-assisted thoracic surgery in comparison with video-assisted thoracoscopic surgery for lung cancer: the Japanese RATS interest group 01 (J-RATSIG 01). Lung Cancer 2024; 196: 107961.
- Wu H, Jin R, Yang S, et al. Long-term and short-term outcomes of robot-versus video-assisted anatomic lung resection in lung cancer: a systematic review and meta-analysis. Eur J Cardiothorac Surg 2021; 59: 732-40.
- Lee JH, Park TH, Kim HK. Robotic thoracic surgery using the single-port robotic system: Initial experience with more than 100 cases. J Thorac Cardiovasc Surg 2024; 168: 1513-22.
- Cheng C, Takalos E, Ng CB, et al. Subcostal uniportal robotic anatomic lung resection: a pilot trial. JTCVS Tech 2024; 25: 160-9.
- Kaneda S, Kawaguchi K, Ito A, et al. Subcostal approach using the single-port robotic system for a giant ganglioneuroma in a child. JTCVS Tech 2025; 32: 141-3.
- Kawaguchi T, Kaneda S, Ito D, et al. Subxiphoid single-port robot-assisted bilateral lung resection. JTCVS Techniques 2025. [In press]