

ロボット手術 2nd Phase

徹底分析 シリーズ da Vinci® 食道癌手術

外科医の視点から

小林 裕之

食道癌治療は近年、大きな変革期を迎えている。その原動力となっているのが、ロボット支援手術 robot-assisted surgery (RAS) に代表される手術技術の進歩と、免疫チェックポイント阻害薬 immune checkpoint inhibitor (ICI) をはじめとする薬物療法の発展である。これらの進歩は、外科治療の選択肢を大きく広げた。特に RAS は、その精密な操作性と良好な視野により、従来の開胸・胸腔鏡下手術の課題を克服し、より低侵襲で根治性の高い手術を可能にする潜在力を秘めている。特に縦隔深部での繊細な操作を要求される食道癌手術は、数ある消化器外科手術の中でも、ロボットの恩恵を最も享受できる領域であると筆者は感じている。

国立がん研究センターのがん統計によると、2021 年の食道癌の罹患数（推計値）は 2 万 6075 例、死亡数（推計値）は 1 万 750 例であり、依然として予後不良な疾患の一つである¹⁾。一方、日本内視鏡外科学会の調査²⁾によれば、食道癌に対する RAS 症例数は 2018 年の保険収載以降急増し、2022 年には年間 1500 例を超え、胸腔鏡下食道切除術全体の約 25% を占めるに至っている（図 1）。

一方で、課題も存在する。食道癌に対する RAS は、ほかの消化器外科手術（胃、直腸など）で日本内視鏡外科学会が定める術者・施設基準に加え、患者安全を確保する観点から「食道外科専門医」の指導のもとに行うことが必須とされている³⁾。これは手技の難易度とリスクの高さを反映した、より厳格な基準である。さらに、専門的な周術期管理が治療成績を大きく左右する。特に、術中・術後の急変に対応する麻酔科医・集中治療医の危機管理能力は極めて重要である。外科医の立場からは、術中のみならず術後まで含めた一貫した周術期管理を深く理解して

いる麻酔科医の存在は、安心して手術に臨む礎となる。症例がハイボリュームセンターに集約されつつある現状は、若手の麻酔科医が複雑な食道癌周術期管理の経験を積み、麻酔科医として必須のスキルを磨くうえで、極めて重要な環境であると考えている。

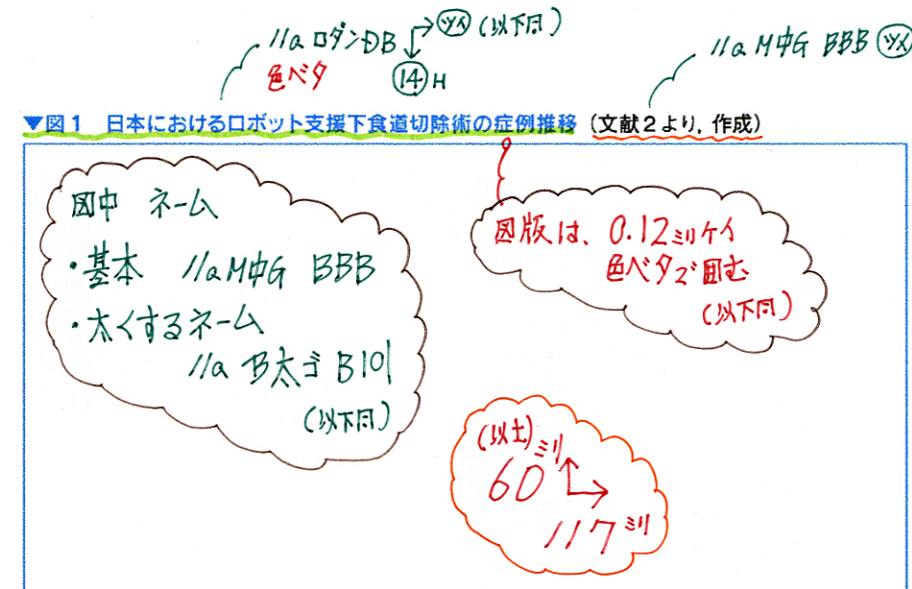
保険収載後の症例数増加は、臨床現場、特に手術室運営に大きな影響を与えている。RAS は従来の手術より準備やセッティングに時間を要し、手術時間そのものも長時間化する傾向にあるため、手術室の稼働効率やスタッフの労働環境が課題となる。このため、RAS を行う手術室を特定日に固定する、専任のチームを編成するといった運用上の工夫が各施設で行われている。

なお、本稿では現時点で最も普及している da Vinci システムに焦点を当てて解説する。

da Vinci 食道癌手術のメリット

RAS が食道癌手術にもたらす最大のメリットは、その卓越した手技支援機能にある。

◎**拡大視・3D 視野** 13a ロダンDB (以下同)
高解像度の三次元画像と最大 10 倍以上の拡大視効果は、特に縦隔深部にお



いて、反回神経や気管支動脈、大動脈といった重要組織と剥離面との関係を正確に同定することを可能にする。また、カメラを術者や助手ではなくロボットアームが保持するため、手ブレのない極めて安定した視野が得られることも、安全な操作に大きく貢献する。

◎**多関節機能・手振れ補正** 50%+スミ20%
人間の首以上の可動域をもつ多関節鉗子 EndoWrist® (インテュイティブサ

ージカル社) と手振れ補正機能は、狭く複雑な術野においても、自由かつ精密な剥離、切離、縫合操作を実現する。これにより、従来の手術では困難であったアプローチや操作が可能になる。

◎**術者の負担軽減**
人間工学的に設計されたサージョンコントロールでの座位操作は、長時間に及ぶ食道癌手術における術者の身体的疲労を軽減し、手術終盤まで高い集中力を維持することにつながる。

これらの技術的メリットは、出血量の低減や縫合不全などの術後合併症の軽減につながる⁴⁾。特に、従来の胸腔鏡下手術では難度が高かった繊細な上縦隔リンパ節郭清を、合併症のリスクを

表 1 ロボット支援下食道癌手術の主なメリットとデメリット

メリット advantages	<ul style="list-style-type: none"> 手技支援機能：狭い縦隔内での精密な操作、手振れ補正、安定した 3D 拡大視野 臨床的効果：出血量の低減、反回神経周囲等重要臓器近傍での郭清精度向上、合併症リスク軽減 術者への恩恵：身体的負担の軽減、長時間手術における集中力の維持
デメリット disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> コスト、時間：高額な導入・維持コスト、手術時間の延長（特に導入初期） 安全性、手技：触覚フィードバックの欠如、術者の経験への依存、教育環境

低減させつつ高い精度で完遂できるようになった。手術時間全体としては、導入初期には延長する傾向にあるものの、術者の習熟 (learning curve) が進むにつれて短縮し、自験例では、胸部操作時間は従来の胸腔鏡下手術と比較して、同等まで短縮している。これらの短期的な臨床成績の向上は、最終的に患者の予後延長に貢献することが期待される。

一方で、RAS には解決すべき課題も存在する（表 1）。

術式の手順とポイント

神戸市立医療センター中央市民病院（以下、当院）における da Vinci を用いた食道癌手術（胸腔鏡下食道全摘

術・腹腔鏡下胃管再建術を想定）の標準的な手順と、外科医が特に注意を払うポイント、そして麻酔科医に共有しておきたい情報を以下に示す。

◎**胸部操作** 1/a ロダンDB (以下同)
体位は左半腹臥位とし、胸壁に da Vinci ポートを 4 本、助手用ポート（ガーゼの出し入れ、吸引など補助的な作業をここから行う）を 1 本設置する。ポート配置は、その後の手術操作のやりやすさに大いに影響するため非常に重要であり、外科医は細心の注意を払っている（図 2）。

◎**縦隔リンパ節郭清**
気管分岐下、両側反回神経周囲、傍食道、大動脈周囲など、郭清範囲と安全な剥離面の同定・確保が重要である。

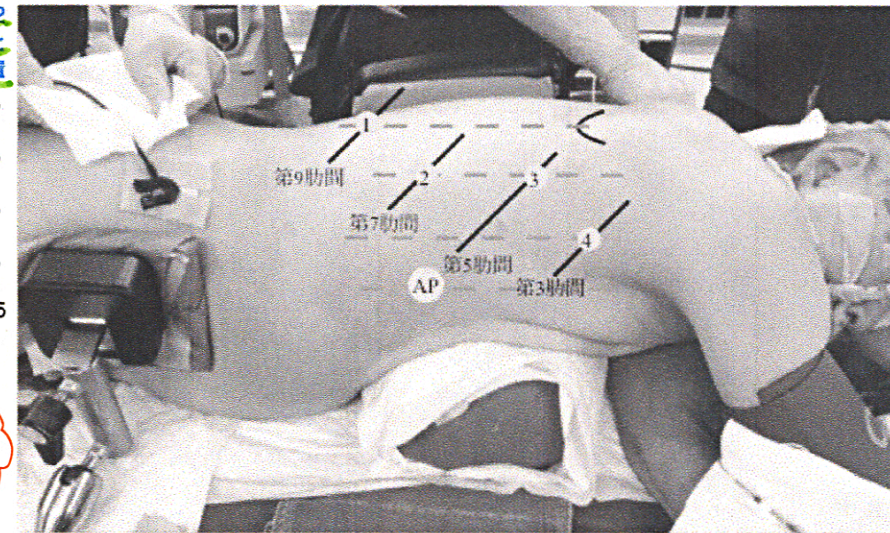
KOBAYASHI, Hiroyuki
神戸市立医療センター中央市民病院 外科

徹底分析
シリーズ

ロボット手術 2nd Phase

14a ロダ>B ⑨

図2
左半臥位体位と
ポート配置



- 5H
- ①: 8 mm daVinci ポート, 第9肋間, 肩甲骨下角線
 - ②: 8 mm daVinci ポート, 第7肋間, 後腋窩線
 - ③: 8 mm daVinci ポート, 第5肋間, 後腋窩線
 - ④: 8 mm daVinci ポート, 第3肋間, 中腋窩線
- AP (Assistant Pport): 12 mm, 第5肋間, 前腋窩線

70%
117%

特に反回神経周囲の郭清は、本手術における最重要操作の一つである。

⑤ 食道剥離

周囲臓器（気管、気管支、大動脈、肺など）との解剖学的関係を常に意識し、損傷を避けるよう慎重に操作する。

⑥ 反回神経麻痺予防のための工夫

食道癌手術における反回神経麻痺は、術後のQOLに深刻な影響を及ぼす合併症である。RASの精密な操作は麻痺リスクの低減に寄与すると考えられるが、当科では以下の点に特に留意し、予防に努めている。

⑦ 術中神経モニタリングの積極的活用

持続的または間欠的な神経モニタリングは、神経の位置同定と機能温存に有用であることが報告されている⁵⁾。当院でも積極的に活用し、波形のベースラインからの変化があった場合、外科医はまず剥離操作を中断し、機械的圧迫や伸展がないかを確認する。その際、麻酔科医には気管チューブのずれ、筋弛緩の状態など、波形に影響し得る全身状態の変化について情報の共有が望まれる。

当院のプロトコルを図3に示す。

- ・神経温存のための手技的工夫：反回神経周囲の郭清では、神経への直接的な操作や過度な伸展を避け、熱損傷リスクを考慮してエネルギーデバイスの使用を最小限に留める。RASのもつ優れた拡大3D視野を最大限に活用し、神経と周囲構造を常に明瞭に描出しながら操作を行うことが重要である。

腹部操作 ⑧ 色バタ

近年、胸部操作に引き続き腹部操作もロボット支援下で行う施設が増加している。しかし筆者は、腹部操作におけるロボットの利点は、縦隔深部での精密な操作が求められる胸部操作ほど大きくはないと考えている。腹腔内の比較的広い空間での操作は、従来の腹腔鏡手技でも十分に安全かつ効率的に遂行可能であるため、当院では現在、腹部操作は腹腔鏡下で行うことを標準としている。手技の要点は、胃大弯の血管アーケードを温存し、血流良好な胃管を適切な太さと長さで作成すること、

そして根治性を左右する腹部リンパ節郭清（食道裂孔周囲、小弯側、胃左動脈根部など）を確実に行うことである。

頸部操作・吻合 ⑨ 色バタ

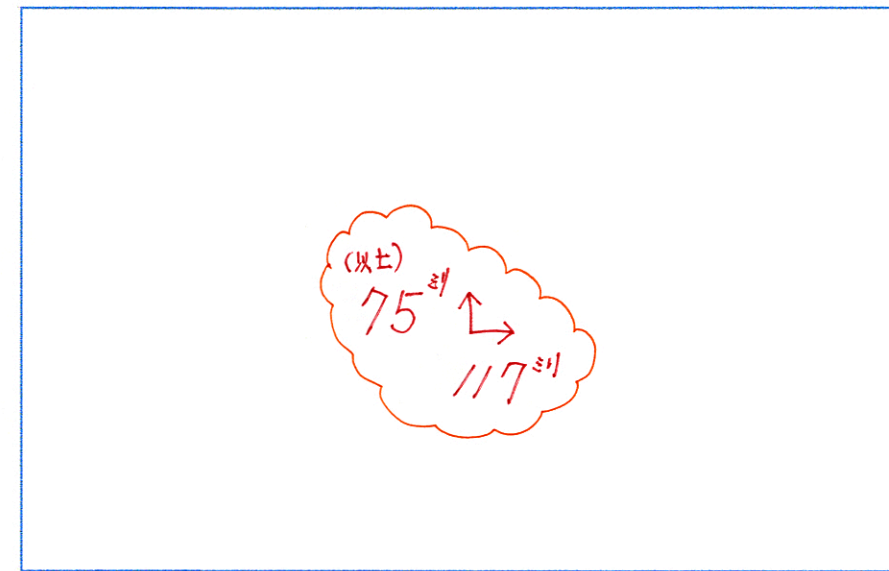
頸部食道胃管吻合を行う。吻合方法（手縫い、器械吻合など）は、施設の標準手技や症例に応じて選択する。

体位

胸部操作の体位は、一般的に左側臥位または腹臥位が選択される。腹臥位は、肺の重力による自然な圧排効果で縦隔の術野展開が容易になり、肺を圧排する必要がないため術中肺損傷のリスクが低減されることや、術者の疲労が少ないなどの利点が報告されている⁶⁾。

しかし、腹臥位は気管チューブへのアクセスが制限されるうえに、ペイシエントカートがドッキングされるときにアクセスが困難になる。加えて万一、心停止などの緊急事態が発生した際に、迅速な蘇生処置を開始するこ

図3
胸部操作時の
筋弛緩管理プロトコル



とが極めて困難である。このため、顔面保護のための専用クッションの使用や、長時間体位による末梢神経障害の予防策はもとより、緊急時の対応プロトコルについてもチームで共有しておく必要がある。

腹部操作では、碎石位または開脚仰臥位とし、良好な術野展開のために頭高位をとることが多い。このため、患者が術中にずれることを防ぐ確実な身体固定と、慎重なポジショニングが重要となる。

気管チューブの
選択

胸部操作時の良好な術野確保には、確実な片肺換気が必須である。気管支ブロッカー付きシングルルーメンチューブは、チューブ自体が柔軟であるため、いわゆる「気管ころがし」によって気管を縦隔から授動しやすく、特に左上縦隔の郭清時に良好な術野を展開しやすいという利点からこれを好む外科医もいる。しかし筆者は、より確実な分離肺換気が得られるダブルルーメンチ

ューブを好む。この選択は、最終的には術者の好みや戦略によるところが大きい。いずれにせよ、分離肺換気の維持と正確な神経モニタリングという二つの重要な要請に応えるためには、術中のチューブの位置管理が極めて重要となる。前述のとおり、腹臥位とロボットの存在はチューブへのアクセスを著しく制限するため、一度起きたトラブルの解決は容易ではない。したがって、麻酔科医による術中の厳密なチューブ管理は、手術の成否を左右する極めて重要な要素である。

麻酔科医に
望むこと

RASをはじめとする低侵襲手術と術期管理の進歩により、術後早期回復が標準となった。しかし、その実現には術中の安定した麻酔管理が不可欠であり、麻酔科医との緊密な連携が成功の鍵となる。外科医の立場から、特に若い麻酔科医の先生方と共有したいポイントを以下に挙げる。

呼吸管理

⑩ 質の高い片肺換気

良好な術野は安全な手術の第一歩である。特に気管チューブの位置は重要で、わずかなずれが術野展開を妨げ、神経モニタリングの精度を低下させる。術中の安定した視野とモニタリングを維持するため、厳密なチューブ管理が期待される。

⑪ 二酸化炭素 (CO₂) 送気への対応

胸腔鏡下手術と同様に、CO₂送気による生理学的変化への適切な管理が求められる。当院では気胸圧を6～8 mm Hgに設定しているが、送気圧が低いと術野確保が困難に、高いと循環抑制や肺塞栓のリスクが懸念されるため、術者と常時情報を共有し、至適圧を協議しながら調整することが望ましい。

循環管理

長時間の特定体位、気胸圧、出血、縦隔操作などに伴う循環動態の変動への迅速な対応が求められる。

特に縦隔操作時には、心臓や下大静脈への直接的な圧迫により不整脈や急

④ 激な血圧低下が生じやすい。また腹部操作で食道裂孔を開放すると、気腹に用いたCO₂が右胸腔へ流入し、循環動態や呼吸状態を悪化させることがあ

色ベタ ④ 図4 VRシミュレータ (Symbionix RobotiX Mentor) を用いたトレーニング風景



87% ↑
65% ↓

コラム

色ベタ+スミ10% SNS というツールとの向き合い方 色ベタ+スミ10% (YK)

私は10年ほど前からXを始め、フォローは1万人を超えました。かつて電話が「顔の见えない非人間的な道具」と批判されたように、新しいツールは常に懸念とともに登場します。現代のSNSも同様ですが、私はリスクを理解したうえで適切に使いこなすことに大きな意義があると考えています。

SNSの活用は万人に勧めるものではありませんが、私が実践する中で感じている意義は、大きく三つあります。第一に、実名で発信することによる「社会との信頼醸成」です。これは医療の顔を見せ、不確かな情報が溢れる現代において社会の「知の

防波堤」となる役割も担います。第二に、所属や専門を超えた「知見の共有」です。コンプライアンスを遵守しつつも、他科の最新知見や論文にはない臨床現場の肌感覚に触れることは、自施設の枠を超えた視点をもたらします。第三に、「次世代への教育」です。教科書にはない臨床現場のリアルな思考プロセスは、全国の若手医師や医学生にとって貴重な学びの場となり得ます。

新しいツールを恐れるのではなく、適切な作法を学びながら使いこなす、世界とつながって多様な学びを得ることは、医療者としての成長につながると考え、今後もこの活動を続けていく所存です。

③ これらは食道手術に特有の現象であり、麻酔科医による注意深い観察と迅速なフィードバックが手術の安全進行に不可欠である。

筋弛緩管理 色ベタ

RASでは、患者の「不動」が手術安全の絶対条件である。一方で、反回神経モニタリングのためには筋弛緩を一定時間制限する必要がある。この相反する要求は管理が非常に難しい点と承知しているが、安全な手術と機能温存のため、繊細な筋弛緩管理をお願いしたい。

術後疼痛管理 色ベタ

低侵襲とはいえ、食道癌手術は患者にとって大手術であることに変わりはない。術後の早期回復と円滑なリハビリテーションのためには、効果的な疼痛管理が基盤となる。硬膜外麻酔を含めた術後鎮痛への麻酔科医の積極的な取り組みと配慮は、患者のQOL向上に直結する重要な役割である。

危機管理とコミュニケーション 色ベタ

筆者自身も研修医時代、ベテラン外科医に声をかけることに躊躇した経験がある。これは若手医師側の問題だけでなく、時に外科医が醸し出す緊張感や他職種からの発言を妨げている側面も否定できない。現代の医療では、術者と麻酔科医の双方向のコミュニケーションが不可欠である。術前のブリーフィングでの情報共有はもちろん、術中に問題やその兆候がみられた際には、職種や経験にかかわらずすみやかに情報を共有し、協調して対応できるチームであることが望まれる。

若手の教育

③ 開胸・腹腔鏡下手術では、指導医と助手が術野を共有し、直接的な指導や手技の継承が可能であった。しかし、RASは基本的にコンソールサージャンによる「ソロサージェリー」であり、従来のような指導が困難である。また、これまでの「開胸→腹腔鏡→ロボット」という習熟過程とは異なり、これからは初期からロボット手術に触れる機会が増えるため、教育手法そのものの変革が求められる。そこで、当院では体系的な教育プログラムを構築・実践している。

色ベタ ◎シミュレーショントレーニング

当院では、Symbionix RobotiX Mentor™ (ガデリウス・メディカル社) などのバーチャルリアリティ (VR) シミュレータや、ドライボックス、アニマルラボなどを活用し、基本的な鉗子操作、縫合結紮手技などを習得する (図4)。

色ベタ ◎段階的OJT

まずは助手としての経験を積み、次にデュアルコンソールシステムを用いて指導医の監督のもとで部分的な操作を担当し、徐々に執刀範囲を拡大していく。デュアルコンソールは、指導医がリアルタイムで術野を共有し、必要に応じて操作を代行できるため、安全かつ効果的な技術指導が可能である。

◎ビデオレビューとフィードバック
手術ビデオを供覧し、手技の良かった点や改善点を具体的にフィードバックすることで、客観的な自己評価と技術向上を促す。

若手外科医の減少は、日本の深刻な社

会問題となりつつある。かつてのような、長く厳しい丁稚奉公的な修行が是とされた時代は終わりを告げた。若手医師を単に優遇するというのではなく、彼・彼女らが生き生きと、かつ効率的に外科学を習得できるような、体系的で魅力ある教育環境とシステムを構築していくことがわれわれの責務である。外科・麻酔科双方の若手が、それぞれの専門領域で経験を積みながら、ともに成長できるような教育的な環境作りが理想である。そして、ロボット支援下手術に限ったことではないが、若手外科医の成長は、麻酔科医、看護師、臨床工学技士といった手術チーム全体の温かい支援があってこそ成り立つことをこの場で強調して、ご協力をお願いしておきたい。

● ● ● 色50%
da Vinciを用いたロボット支援下食道癌手術は、その技術的利点を最大限に活かすことで、患者により低侵襲で、より根治性の高い治療を提供する可能性を秘めている。しかし、この先進的な手術を安全かつ効果的に行うためには、外科医の技量向上はもちろんのこと、麻酔科医、看護師、臨床工学技士、そしてリハビリテーションスタッフなど、手術にかかわるすべての医療専門職がそれぞれの専門性を発揮し、緊密に連携する「チーム医療」の実践が不可欠である。本稿で共有した外科医の視点や麻酔管理への期待が、麻酔科医における術中管理戦略のさらなる洗練や、術後合併症予防への新たなアプローチの発見につながり、ひいては患者のより良い予後に貢献できることを願うものである。

文献 色ベタ ③ 13a 見出し MB 31

1. 国立がん研究センター. がん情報サービス. がん種別統計情報. 食道. https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/cancer/4_esophagus.html (2025年8月26日閲覧)
2. The 16th Nationwide Survey of Endoscopic Surgery in Japan. J Jpn Soc Endosc Surg 2024; 29: 613-20.
3. 日本内視鏡外科学会. 消化器外科領域ロボット支援内視鏡手術導入に関する指針 (改訂). 2025年5月19日改訂. https://www.jses.or.jp/uploads/files/robot/shishin/guidelines_for_introduction_robot_assisted_surgery20250519.pdf (2025年8月26日閲覧)
4. van der Sluis PC, van der Horst S, May AM, et al. Robot-assisted minimally invasive thoracoscopic esophagectomy versus open transthoracic esophagectomy for resectable esophageal cancer: a randomized controlled trial. Ann Surg 2019; 269: 621-30.
5. Kobayashi H, Kondo M, Kita R, et al. Cause of recurrent laryngeal nerve paralysis following esophageal cancer surgery and preventive surgical technique along the left recurrent laryngeal nerve. Mini-invasive Surg 2020; 4: 30.
6. Noshiro H, Miyake S. Thoracoscopic esophagectomy using prone positioning. Ann Thorac Cardiovasc Surg 2013; 19: 399-408.