

—特集〔千葉北総病院におけるロボット支援手術の過去・現在・未来(6)】—



食道癌に対するロボット支援手術の導入と初期成績

渡邊 昌則 南村 圭亮 保田 智彦 久下 恒明 新井 洋紀
柿沼 大輔 松本 智司 大城 幸雄 中村 慶春

日本医科大学千葉北総病院消化器外科

はじめに

食道癌の標準治療は、手術、抗がん剤治療、放射線治療を組み合わせた集学的治療が一般的である。当院(日本医科大学千葉北総病院)では、食道癌診療ガイドラインに基づき、病期に応じた最適な治療法を選択している。食道癌診療ガイドラインでは、Stage II~IIIの食道癌に対する標準治療として、術前化学療法後の根治手術が推奨されており、手術は依然として食道癌治療の中心的な役割を果たしている。しかし、食道癌手術は高侵襲であり、術後合併症の発生頻度が高いため、患者のQOL(生活の質)や生命予後に大きな影響を及ぼす¹。

低侵襲手術の一つである胸腔鏡手術は、従来の開胸手術と比較して患者への負担が少なく、早期回復が期待できる点が利点である。2010年代には、食道癌に対する胸腔鏡下食道切除術が全国的に急速に普及した。筆者は前任地において、2002年より先駆的に食道癌手術に胸腔鏡手術を導入し、100例以上の症例を経験した。その知見を基に、日本医科大学千葉北総病院においても、積極的に腹臥位での胸腔鏡下食道切除術を実施してきた。

近年、手術支援ロボットを用いた胸腔鏡・腹腔鏡手術が注目されている。本邦では、2012年にSuda, Uyamaらが食道癌に対するロボット支援胸腔鏡下食道切除術の有用性を報告し²、その後、2018年10月に本術式が保険収載されたことで、多くの医療機関で導入が進んだ。2021年には、ロボット支援低侵襲性食道切除術(RAMIE: Robot-Assisted Minimally Invasive Esophagectomy)とビデオ支援低侵襲性食道切除術(VAMIE: Video-Assisted Minimally Invasive Esophagectomy)の手術成績に関する系統的レビューとメタアナリシスが行われ、RAMIEとVAMIEのアウトカムはほぼ同等であったが、肺合併症はRAMIEの方が少なかったことが報告された³。

当院においても、2022年に食道癌手術に対して手術支援ロボット da Vinci X(3例目以降 da Vinci Xi)を

用いてRAMIEを導入した。食道癌の占拠部位に応じて術式を使い分けており、胸部食道癌に対してはRAMIE McKeown手術(頸胸腹操作)を、食道胃接合部癌に対してはRAMIE Ivor-Lewis手術(胸腹操作)を標準術式としている。

本稿では、日本医科大学千葉北総病院におけるロボット支援食道癌手術の導入プロセス、初期症例の成績および安全性を評価し、今後の課題について概説する。

ロボット支援食道癌手術の導入プロセス

食道癌に対するロボット支援手術の導入にあたり、日本内視鏡外科学会が制定した「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(令和4年9月改訂)」を完全に遵守した。食道領域においては、日本食道学会が認定する食道外科専門医の指導のもとで手術を行うことが術者の要件とされている。また、食道外科専門医が1名以上常勤で配置されることが施設要件として求められており、これは胃や直腸など他の消化器領域に比べ、より厳格な基準となっている。

本手術の導入に先立ち、国立がん研究センター中央病院、国立がん研究センター東病院、東邦大学医療センター大森病院の3施設において、実施責任者を含む術者チーム、手術室看護師、臨床工学技士によるRAMIE手術の見学を行った。その後、手術見学の経験をもとに、da Vinci Xを用いたロールイン・ロールアウトなどのRAMIE特有の手技について、複数回の手術シミュレーションを実施した。

導入時の実際のRAMIE手術では、コンソール医師はVAMIE(Video-Assisted Minimally Invasive Esophagectomy)の経験があり、ロボット支援下直腸手術プロクター資格を有する常勤医師である南村が実施した。また、VAMIE 140例以上の経験を持ち、日本食道学会の食道外科専門医資格を有する常勤医師である渡邊が助手として手術指導を行う体制で導入を開始した。RAMIE手術で使用する鉗子類、各種デバイ

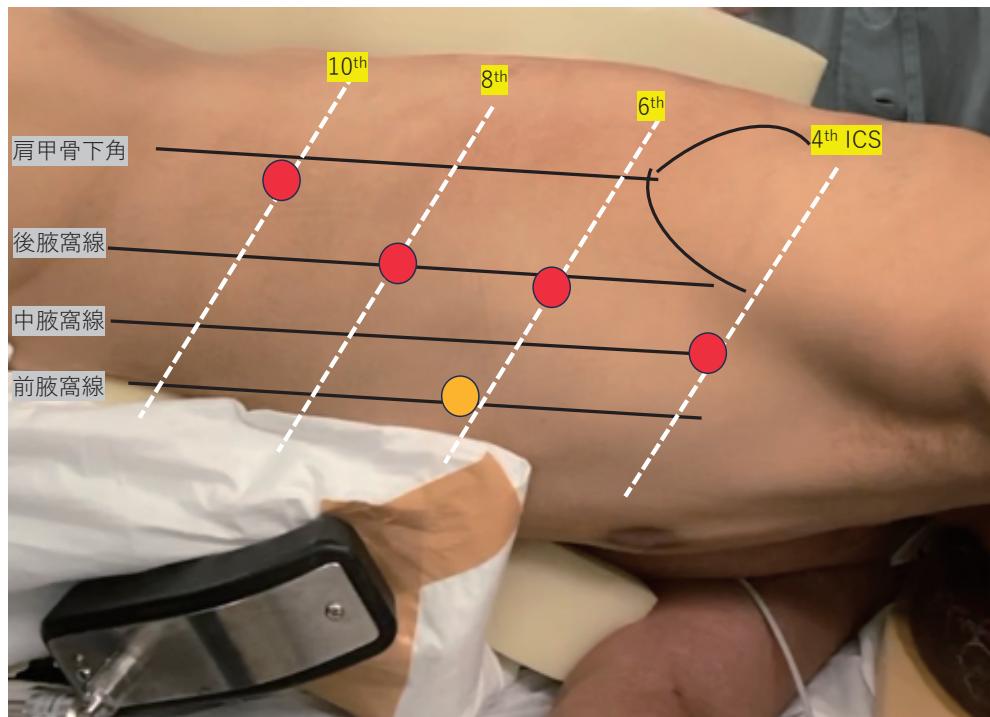


図1 ポート位置

ス、自動縫合器の操作方法についても、ロボット支援下直腸切除術および胃切除術に準じるため、既存の機器のみで過不足なく実施可能であることを確認した。

さらに、院内の高難度新規医療技術および未承認新規医薬品等評価委員会への申請を行い、承認を得た。第1例目の手術は2022年10月に施行され、RAMIEの第一人者である国立がん研究センター中央病院の大幸宏幸先生を指導者（プロクター）として招聘し、手術を実施した。

RAMIE McKeown の手技

1. 体位およびポート配置（図1）・ロールイン

患者は左半側臥位とし、手術ベッドを10~15度回旋させて腹臥位とする。この体位により、術野の確保とロボットアームの動作に最適な環境を構築する。ポート配置は、ロボットアームの操作性と術野の展開を考慮し、以下のように設定する。第1アーム用ポートは第10または第11肋間の肩甲下角よりやや腹側に配置し、第2アーム用ポートは第8肋間後腋窩線上に挿入する。第3アーム用ポートは第6肋間後腋窩線上、第4アーム用ポートは第4肋間中腋窩線上とし、助手用のアシストポートは第6肋間前腋窩線上に設置する。

ロールインの前に、奇静脉弓よりやや頭側の背部胸壁に18G静脈留置針を経皮的に挿入し、食道吊り上げ用の2-0プロリン糸を通しておく。この操作により、

術中の食道の展開が容易となる。ロールインは患者の右肩口から行い、奇静脉弓をターゲットとして進める。気胸圧は10 mmHgとし、エアシールを使用することで術野の安定性を保つ。

2. 中下縦隔リンパ節郭清（図2・図3）

胸腔鏡カメラは第2アームのポートから挿入し、食道周囲の剥離およびリンパ節郭清を行う。肺および食道腹側の胸膜はティップアップ・フェネストレイテッド・グラスパ（Tip-up）を用いて牽引し、モノポーラ・カーブド・シザース（MCS）を使用して食道と大動脈の間の胸膜を剥離する。

胸管は原則として温存するが、郭清範囲によっては適宜処理する。#112Ao リンパ節郭清では、フェネストレイテッド・バイポーラ（フェネバイ）をベッセルシーラーに変更し、安全なシーリングを行う。食道裂孔周囲の剥離は、線維性心外膜間の剥離を進めた後に実行する。#111および#112pul RL リンパ節の郭清は、状況に応じてMCSをベッセルシーラーに変更しながら進める。さらに、#109Rおよび#107 リンパ節郭清では、下肺静脈および左気管支を確認後に実行する。この際、MCSをベッセルシーラーに変更するほか、必要に応じてダブルバイポーラを使用する。奇静脉背側の剥離を十分に行い、#109R-107および#109Lの郭清部位にはこん棒状ガーゼを敷き詰めることで術

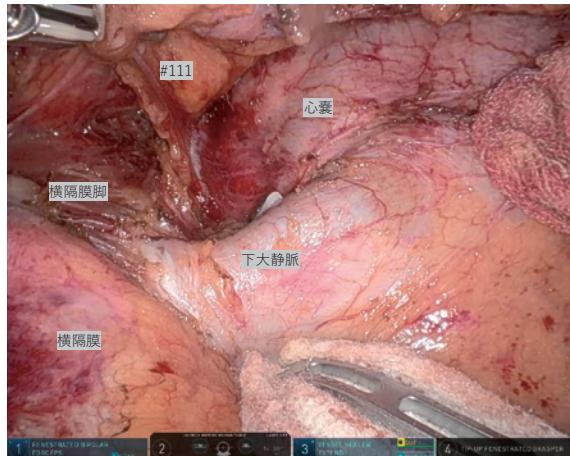


図2 下縦隔郭清図

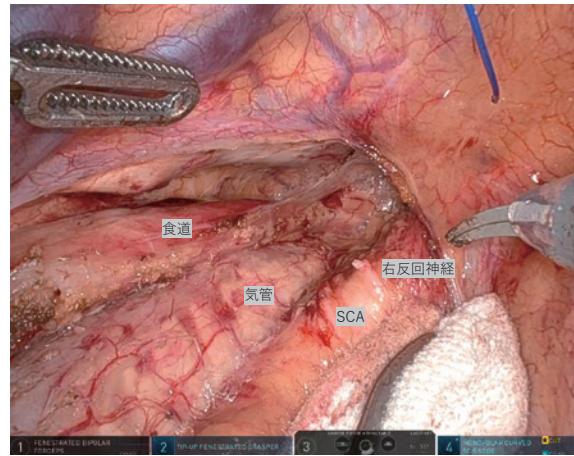


図4 右反回神経周囲郭清図

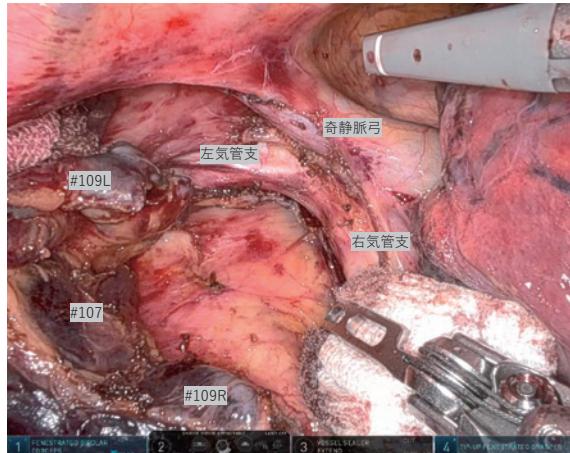


図3 気管分岐部郭清図

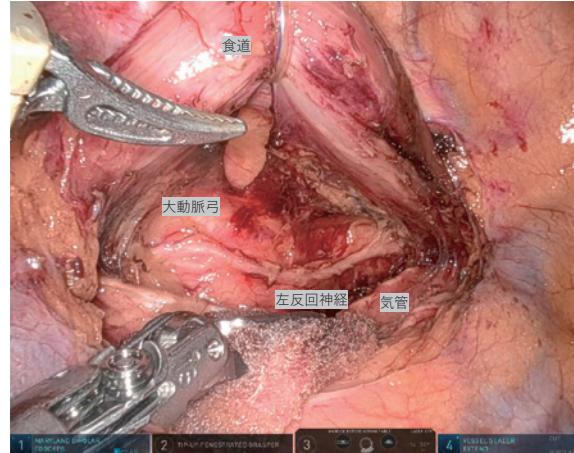


図5 左反回神経周囲郭清図

後の出血や瘻着を予防する。

3. 上縦隔リンパ節郭清 (図4・図5)

上縦隔リンパ節郭清では、カメラポートを第2アームから第3アームへポートホッピングし、術野の展開を最適化する。106recR リンパ節郭清では、右迷走神経に沿って剥離を進める。気管膜様部を牽引しながら気管固有鞘を温存し、気管食道間を慎重に剥離する。反回神経を含む脂肪織は、交感神経を含む浅層と、反回神経および106recR を含む深層に分離する。右鎖骨下動脈直下で壁側胸膜を切開し、外側に向かって浅層をシーリングする。さらに、106recR を含む深層脂肪織を把持しながら、反回神経食道枝を適切に処理する。

106recL リンパ節郭清では、左鎖骨下動脈を確認するまで食道後壁を十分に剥離し、食道をテーピングすることで牽引をかけ、反回神経を含む気管食道間膜を伸展させる。反回神経食道枝を温存しつつ、反回神経

を露出させてリンパ節郭清を行う。ダブルバイポーラー法を用い、術者の左手はフェネバイとメリーランドを適宜使い分ける。

4. 食道離断および胸部最終操作

食道離断は、温存した奇静脉弓の頭側レベルでリニアステイプラーを用いて施行する。食道固有間膜の切離にはベッセルシーラーを使用し、横隔膜脚までの剥離を完了する。術後のドレナージ確保のため、第8肋間後腋窩線より胸腔ドレーンを留置する。

5. 腹部操作 (胃管作成 図6)

胃管作成は、胃全摘術に準じたポート配置を採用し、以下の手順で進める。LGEA を処理後、網囊腔を右側に展開し、瘻合部を剥離する。RGEV を露出し、胃前庭部で小弯から大弯にまたぐ吊り上げガーゼを体外から牽引する。臍上縁の郭清およびLGA, LGV を処理

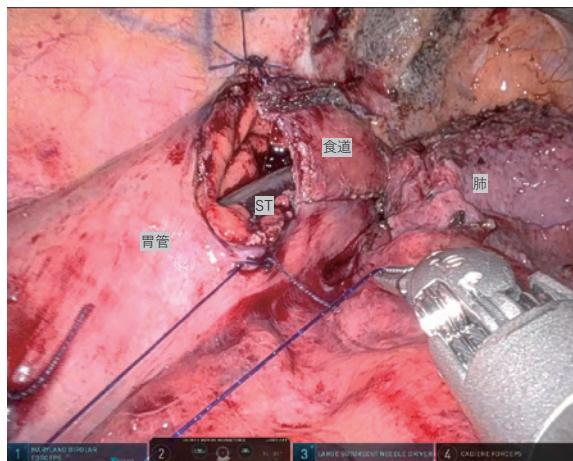


図6 胸腔内吻合図

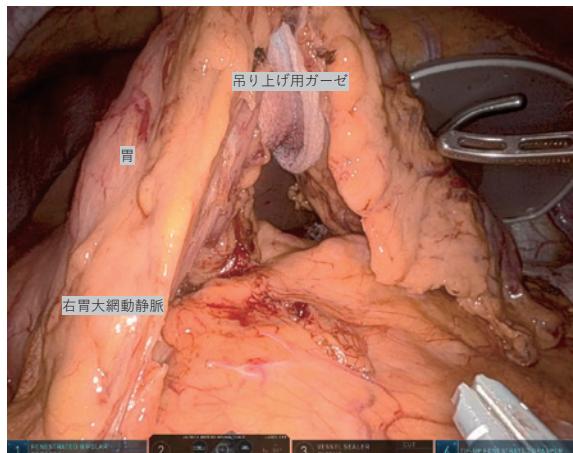


図7 ガーゼによる胃吊り上げ図

する。体下部および上部後壁に吊り上げガーゼを固定し、同様に牽引する。胃穹窿部の操作では、Tip-up にラパクリアを装着し、腹側牽引により胃脾間膜を処理する。胃管形成後、胸骨後経路を用いて胃管を頸部へ挙上し、頸部吻合を実行する。

RAMIE Ivor-Lewis の手技

(胸部→腹部→胸部の順に体位変換)

1. 前半胸部操作

体位およびポート配置、ロールインは RAMIE McKeown と同様の手順で行う。RAMIE McKeown と同様の手技により #110, #111, #112 のリンパ節郭清を実施する。奇静脈はシアフォームグレー 45 mm を用いて切離し、右気管支動脈はベッセルシーラーで焼灼・切離する。食道はシグニア Purple 60 リンフォースを用い、奇静脈よりやや頭側で切離する。ここで胸部操作を一旦終了する。

表1 患者背景

	RAMIE McKeown	RAMIE Ivor-Lewis
総数	22	9
年齢	71.9 (54 ~ 78)	69.4 (53 ~ 81)
性別		
男性	17	9
女性	5	0
cStage (UICC TNM 8 版)		
1	5	1
2	6	1
3	11	3
4	0	4
腫瘍占拠部位		
胸部上部	0	0
胸部中部	12	0
胸部下部	10	0
食道胃接合部	0	9
組織型		
扁平上皮癌	21	0
腺癌	1	9

2. 腹部操作（胃管作成）

胃管作成も RAMIE McKeown と同様に行う。胃管は臍部小切開より体外で作成する。シグニア Purple を用いて、直径 4 cm の胃管を作成する。左右の横隔膜脚を約 2 cm 切開し、ネラトンカテーテルを胃管先端に固定した後、腹腔鏡下で胸腔内へ誘導する。

3. 後半胸部操作（図7）

再度、同じポート配置で胸腔内操作を開始する。口側の食道断端周囲を剥離し、吻合はオーバーラップ法で行う。吻合はシアフォーム 45 mm ブルーを用いて行い、その後、3-0 ストラタフィックス×2 を用いて Albert Lembert 法により連続縫合を実行する。さらに吻合部を大網で被覆し、第 8 肋間後腋窩線より 20 Fr のソラシックドレーンを留置する。

当院における食道癌に対する

ロボット支援手術の初期成績

2022 年 10 月から 2024 年 12 月の短期間に、RAMIE 31 例を実施した。内訳は、RAMIE McKeown 手術 22 例、RAMIE Ivor-Lewis 手術 9 例であった。いずれの症例も VAMIE または開胸手術へのコンバージョンはなく、RAMIE 31 例すべてを無事に完遂することができた。初期成績の患者背景は表1、手術因子および術後合併症については表2 にまとめた。RAMIE McKeown では縫合不全 13.6%，反回神経麻痺 4.5%，

表2 手術因子および術後合併症

	RAMIE McKeown	RAMIE Ivor-Lewis
総数	22	9
手術因子		
総手術時間 (分)	618.7 (493 ~ 797)	599.4 (521 ~ 709)
胸部コンソール時間 (分)	222.2 (145 ~ 330)	203.9 (187 ~ 243)
出血量 (mL)	60.3 (0 ~ 225)	103.3 (2 ~ 330)
郭清リンパ節個数(頸部除く)	34.6 (21 ~ 74)	28.8 (17 ~ 52)
転移陽性リンパ節個数	2.2 (0 ~ 23)	1.1 (0 ~ 4)
R0 切除	21 (95.5%)	9 (100%)
術後合併症		
SSI (縫合不全除く) (%)	0	0
縫合不全 (%)	3 (13.6%)	2 (22.2%)
反回神経麻痺 (%)	1 (4.5%)	0
無気肺 (%)	1 (4.5%)	1 (11.1%)
肺炎 (%)	1 (4.5%)	0
乳糜胸 (%)	1 (4.5%)	0
CD \geq 3	4 (18.2%)	2 (22.2%)
術後在院日数 (日)	28.4 (15 ~ 53)	25.8 (17 ~ 43)

SSI : surgical site infection

CD : Clavien-Dindo 分類

Clavien-Dindo 分類 (CD) \geq 3 の合併症は 18.2% であった。RAMIE Ivor-Lewis では縫合不全 22.2%, CD \geq 3 の合併症は 22.2% であった。RAMIE 31 例すべてにおいて、手術関連死亡および在院死は 1 例も認めなかつた。

考 察

本研究では、2022 年 10 月から 2024 年 12 月の短期間に当院で施行した 31 例のロボット支援胸腔鏡下食道切除術 (robot-assisted minimally invasive esophagectomy, RAMIE) の初期成績を報告した。全症例において開胸手術や胸腔鏡下食道切除術 (video-assisted minimally invasive esophagectomy, VAMIE) へのコンバージョンはなく、安全に手術を完遂できることから、食道癌に対するロボット支援手術の導入が順調に進んだことが示唆された。

近年、従来の開胸手術と比較して、低侵襲手術 (VAMIE および RAMIE) の有用性が報告されている。van der Sluis ら (2019) は、食道癌に対する RAMIE の臨床試験結果を公表し、開胸手術と比較して VAMIE と同様のメリットを有することを示した⁴。さらに、2021 年には Li XK らおよび Zheng らが、それぞれ RAMIE が VAMIE よりも合併症の発生率を低減することを報告し、その有用性を強調している^{5,6}。Mederos MA ら (2021) による系統的レビューおよびメタアナリシスでは、RAMIE と VAMIE の手術成績

は概ね同等であったが、RAMIE では肺合併症の発生が有意に少なかったことが示されている³。また、Tsunoda ら (2021) は、専門施設における RAMIE の初期導入段階においても、安全に実施可能であり、VAMIE に代わる有望な選択肢であると報告している⁷。本研究においても、肺合併症の発生率は低く、肺炎の発生率は 4.5% であった。

RAMIE は、3 次元拡大視野や 540 度回転可能な鉗子を用いることで、従来の VAMIE と比較して手術精度の向上が期待される。しかし、RAMIE の長期成績に関するエビデンスは依然として限られており、さらなる検討が必要である。本研究では手術関連死亡や在院死は認められず、安全性が確認された点は先行研究と一致する結果であった。

さらに、VAMIE と比較した際の RAMIE の優位性について検討した。腹腔内の消化器外科手術とは異なり、食道癌手術では椎骨、大動脈、気管といった解剖学的構造が手術操作の制限因子となる。ロボット支援手術は、これらの制約を克服し、より精緻なリンパ節郭清や反回神経温存を可能にすると考えられる。Yang ら (2022) は、食道癌手術において RAMIE と VAMIE を比較し、RAMIE の方が手術時間が有意に短く、特に術前治療を受けた患者群では両側反回神経周囲および胸部リンパ節の郭清数が有意に多いことを報告している⁸。本研究においても、広範なリンパ節転移を認めた 1 例を除き、97.0% の症例で完全切除 (R0 切除) が

達成され、腫瘍学的にも良好な結果が得られた。また、反回神経麻痺の発生率は4.5%と低く、反回神経温存の観点からもRAMIEの有用性が示唆された。

今後の課題として、RAMIEの長期成績の評価が挙げられる。本研究は短期間の観察に基づくものであり、長期的な癌治療成績や患者の生活の質(quality of life, QOL)への影響を明らかにするためには、さらなる追跡調査が必要である。また、手術時間の延長や高額な医療費といった課題も依然として残る。今後、より多くの症例を蓄積し、多施設共同研究を通じてRAMIEの有用性を検証することが求められる。

Conflict of Interest: 開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 渡辺昌則, 野村聰, 堀秀曉, 小峯修, 鈴木英之, 内田英二: 食道がんに対する手術式の進歩. 腫瘍内科 2015; 15: 27-32.
- Suda K, Ishida Y, Kawamura Y, et al: Robot-assisted thoracoscopic lymphadenectomy along the left recurrent laryngeal nerve for esophageal squamous cell carcinoma in the prone position: technical report and short-term outcomes. World J Surg 2012; 36: 1608-1616.
- Mederos MA, de Virgilio MJ, Shenoy R, et al: Comparison of clinical outcomes of robot-assisted, video-assisted and Open esophagectomy for esophageal cancer. A systematic review and meta-analysis. JAMA Netw Open 2021; 4: e2129228. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.29228>
- van der Sluis PC, van der Horst S, May AM, et al: Robot-assisted Minimally Invasive Thoracolaparoscopic Esophagectomy Versus Open Transthoracic Esophagectomy for Resectable

- Esophageal Cancer: A Randomized Controlled Trial. Ann Surg 2019; 269: 621-630.
- Li XK, Xu Y, Zhou H, et al: Does robot-assisted minimally invasive oesophagectomy have superiority over thoracolaparoscopic minimally invasive oesophagectomy in lymph node dissection? Dis Esophagus 2021; 34: doaa050. <https://doi.org/10.1093/dote/doaa050>
- Zheng C, Li XK, Zhang C, et al: Comparison of short-term clinical outcomes between robot-assisted minimally invasive esophagectomy and video-assisted minimally invasive esophagectomy: a systematic review and meta-analysis. J Thorac Dis 2021; 13: 708-719.
- Tsunoda S, Obama K, Hisamori S, et al: Lower Incidence of Postoperative Pulmonary Complications Following Robot-Assisted Minimally Invasive Esophagectomy for Esophageal Cancer: Propensity Score-Matched Comparison to Conventional Minimally Invasive Esophagectomy. Ann Surg Oncol 2021; 28: 639-647.
- Yang Y, Li B, Hua R, et al: Robot-assisted Versus Conventional Minimally Invasive Esophagectomy for Resectable Esophageal Squamous Cell Carcinoma: Early Results of a Multicenter Randomized Controlled Trial: the RAMIE Trial. Ann Surg 2022; 275: 646-653.

(受付: 2025年2月16日)

(受理: 2025年2月20日)

日本医科大学医学会雑誌は、本論文に対して、クリエイティブ・コモンズ表示4.0国際(CC BY NC ND)ライセンス(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)を採用した。ライセンス採用後も、すべての論文の著作権については、日本医科大学医学学会が保持するものとする。ライセンスが付与された論文については、非営利目的で、元の論文のクレジットを表示することを条件に、すべての者が、ダウンロード、二次使用、複製、再印刷、頒布を行うことが出来る。