

—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 (4)」—



臓器を超えたロボット消化器癌手術

南村 圭亮¹ 松本 智司¹ 青木 悠人¹ 保田 智彦¹ 山岸 杏彌¹
 新井 洋紀¹ 柿沼 大輔¹ 大城 幸雄¹ 川野 陽一² 渡邊 昌則¹
 中村 慶春¹ 吉田 寛²

¹ 日本医科大学千葉北総病院消化器外科

² 日本医科大学付属病院消化器外科

一般外科 (General Surgery) の醍醐味は、幅広い疾患や手術に対応する多様な経験と、多岐にわたる患者層への貢献にあります。対象となる疾患は、消化器系を中心にヘルニアや外傷治療、さらには皮膚や軟部組織の簡易な手術まで幅広く、診療の多様性が特徴です。手術手技は、かつて主流であった開腹手術に加え、技術の進歩により、腹腔鏡手術やロボット手術など高度な手法が多くの場合で用いられるようになっていきます。一般外科で培ったスキルや知識は他の専門分野への進路を選択する際の強固な基盤となります¹。

筆者は東京・秋葉原にある社会福祉法人三井記念病院で外科修練の薫陶を受けました。「どの臓器も満遍なく扱えるようになりなさい。すべて学びなさい」という大谷五良先生、故鰐渕康彦先生、坂本昌義先生の教えのもと、当時の修練期間は4年間でしたが、MGH (Massachusetts General Hospital) の外科プログラムを模倣されたカリキュラムでアッペ (虫垂切除術)、ヘルニア手術^{2,3}、ヘモ (痔核手術) から始まり、消化器外科 (胃・大腸・直腸) を中心に呼吸器外科 (肺癌葉切除)、心臓血管外科⁴ (心房中隔欠損症手術、シャント血管吻合手術、人工心臓導入時のカニューレション、下肢静脈瘤手術)、乳腺・内分泌外科 (乳房全摘、甲状腺全摘術) に至るまで、幅広い手術を術者として経験しました。週3回の朝の大外科カンファレンス (消化器・循環器・呼吸器・乳腺内分泌) で教育を受け、当時行われている最新の手術、情報、手技を学ぶことができ、臓器を超えた議論を聞いて育ちました (今では消化器外科のみのカンファレンス開催)。その後、消化器外科を専攻し、さらに高度な食道、胃、結腸、直腸、肝胆膵外科手術を開腹手術を中心に学びました。時代の変遷に伴い、手技も腹腔鏡手術 (食道、胃、大腸) やロボット手術 (胃、直腸) に移行していきました。多岐にわたる診療や診療科特有の手術経験を術者として経験を積むことができた三井記念病院は、何とも甲斐性のある病院であったと感じています。吉田寛

先生 (日本医科大学 消化器外科学教授) との御縁があり、ロボット消化器手術の導入を目標に2021年に日本医科大学千葉北総病院に赴任しました。2018年からロボット消化器手術の保険収載が始まりましたが、どの臓器も、どのデバイスを使用するのが良いのか、どう術野を展開すれば良いのか? 手探りで学会のたびに手技が進歩していくのを目の当たりにしました。現在では各臓器ともに手技が安定し好成績の発表が散見されます。開発当初、遠隔医療⁵ がロボット手術の趣旨でありましたが、多関節能、拡大視効果、手振れ防止機能、モーションスケール、ナビゲーションシステムを用い、腹腔鏡手術より、精緻な手術への応用が行われています^{6,7}。臓器は変わりますが、牽引、展開、切開、剥離、離断、止血、結紮、縫合という基本手技は普遍であり、臓器にあわせて、これらの多彩な手技を順応させていきます。手術はこの普遍的な操作の繰り返しでロボット手術はその性能ゆえに精緻な手術が可能ですが、不利な点もあります。触覚が無い事、腹腔鏡手術に比べて自由に操作する手が1本少ないこと、エネルギーデバイスが少ないことが挙げられます。ゆえに不意な出血やイベントが起きると、対応が遅れてしまう危険性があります。これらが起こらないような視野、手技で手術を進めていく必要があります。腹腔鏡手術では超音波凝固切開装置が主に用いられ、止血、切開、剥離、離断に万能に働きますが、多関節能を重視するロボット手術では操作軸が固定され威力を発揮することができません。多関節能を有するロボットエネルギーデバイス (EndoWrist システム) は monopolar curved scissors (MCS)、ベッセルシーラー (凝固止血切開装置) が挙げられ、MCSは切開、剥離を得意としますが止血に難点があり、ベッセルシーラーでは止血は得られますが、微細な切開、剥離に難点があります^{8,9}。これらの弱点を克服した方法が宇山氏より考案された多関節能のメリーランド (EndoWrist システム) を用いたダブルバイポーラー法であります¹⁰⁻¹²。片方の



図1 Surgical trunk 周囲郭清, 中結腸動脈露出 (High and low voltage double bipolar)

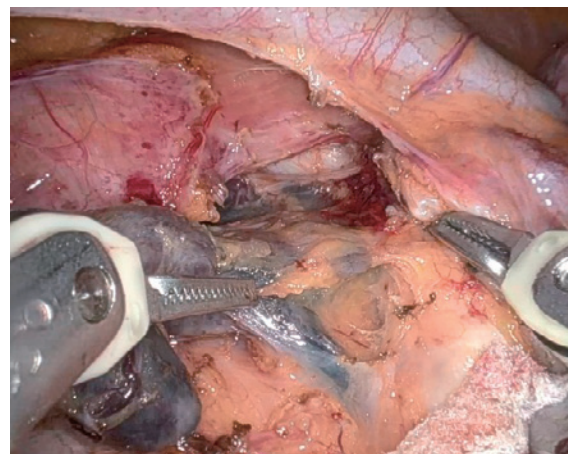


図2 気管分岐下リンパ節郭清 (Low voltage double bipolar)

バイポーラーを凝固止血用に用い、片方をバイポーラーカットモードとし、組織切開に用います。オリジナルの設定は Force triad の Macro cut mode 60 W であり、鉗子間の電圧は 500 vp まで上昇し組織の変性、凝固、蒸散をもって切開していきます。近年, low voltage のダブルバイポーラー法 (erbe power limit 80, ソフト凝固 Effect 6~8) も考案されています。この場合、鉗子間の電圧は 200 vp 以下であり、組織は切開されず、さらなる物理的操作を加えて切開していきます^{13,14}。High voltage double bipolar 法は切開重視、Low voltage double bipolar は止血重視の方法と筆者は理解し、使用しています。上部消化管臓器 (胃, 食道) および肝胆膵領域ではこの2つのバイポーラー法が多用されていますが、下部消化管領域 (結腸, 直腸) では High volume center を中心に MCS が主に用いられ、ダブルバイポーラー法の使用はまれです。筆者は前述のごとく、多臓器に触れる機会に恵まれ、「臓器は違えども手術操作は普遍」という概念のもとに、これらの手技を下部消化管に応用しています。血管を温存する動脈周囲郭清, surgical trunk 周囲郭清 (図1)、側方郭清の底面での郭清操作、直動脈の処理等、止血重視の場合は Low voltage 法、切開重視の場合は High voltage 法というように場面で切り替えながら、特徴を生かした手術操作を行っています。上部消化管でも High voltage 法および Low voltage 法を同一手術で使い分けて使用する施設はまれです。ロボット食道胸部操作での気管分岐部リンパ節郭清は気管支動脈からの分枝が多く、出血しやすいため止血重視の Low voltage 法を用います (図2)。また、臓器浸潤を疑い術前化学療法で著効した症例など瘢痕組織を探りながら進める際に腫瘍周囲の新生血管による不意な出血を

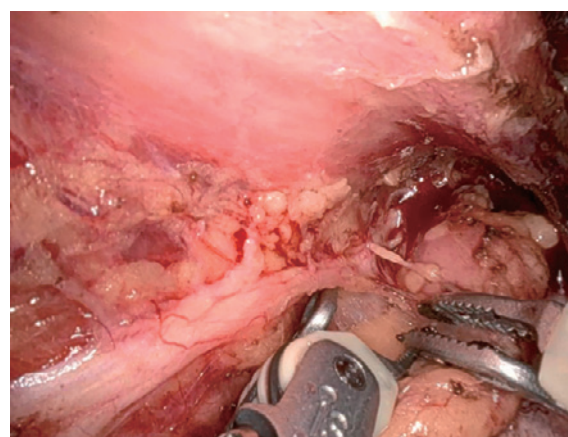


図3 左反回神経周囲リンパ節 106recL 郭清 (High voltage double bipolar)

予防する手段としても Low voltage 法は適しています。反回神経周囲リンパ節郭清は通電による反回神経麻痺の回避が要求され、MCS や Potts scissors などの鉗による通電をしない鋭的切離での郭清が安全ですが、ドライな視野を追求するため、様々な取り組みがなされています。ダブルバイポーラー法もその一つですが、Low voltage 法では周囲への凝固熱の浸透面積が広い事や組織を物理的操作なしに遊離・切開できず、反回神経への通電や過度な緊張が懸念されるため、High voltage 法を用い、反回神経より 2 mm 離れた距離で使用しています (図3)。自験例 (25 例) では主だった反回神経麻痺を経験せず、ドライな視野で反回神経周囲郭清を施行できています。

ロボット手術の特徴として腹腔鏡手術に比べて自由に操作する手が1本少なく、通常、腹腔鏡手術では術者の①右手②左手、第一助手の③右手④左手⑤第二助

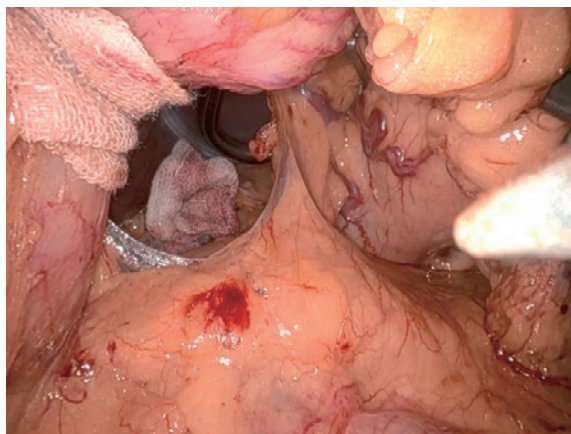


図 4a ガーゼ牽引による胃脾嚢の展開 ※1

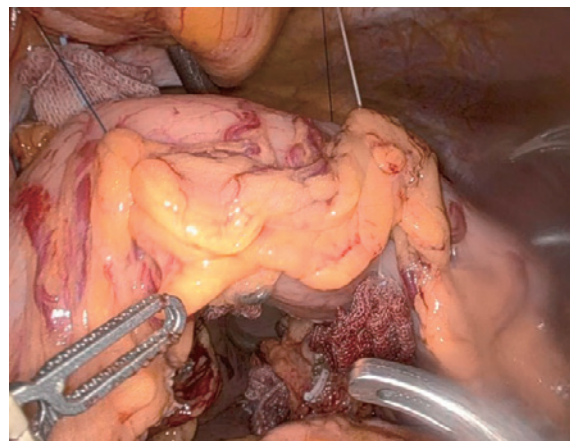


図 4b ※1+2

手のカメラの計5本で行いますが、ロボット手術は術者#1右手、#2左手、#3第3の手、#4カメラであり、#1～#4を術者が操作します。操作アームが1本少ないため、これを第一助手のサポートで行います。そのため腹腔鏡の典型的な術野の展開であるマドール展開はロボット術者のみの操作ではできず、助手に頼る必要があります¹⁵。

ゆえに助手に頼らずにできる操作をいかに無駄なく進められるかが求められ、体位変換による臓器の自重の利用、organ retractor¹⁶による臓器の腹壁からの牽引、体外からの牽引等、様々な工夫がなされています。筆者らは網嚢腔を開放し、胃壁を大弯後壁から小弯後壁にまたぐガーゼ※1(図4a)を利用し胃前庭部を体外に牽引し、胃脾嚢の展開に用いています。さらに胃脾間膜の処理、脾彎曲部の処理の際はガーゼ※1+2(図4b)を胃体上部後壁に固定し牽引しています。この展開により脾上縁の郭清、脾周囲の剝離、脾切離、胃脾間膜の処理、脾臓彎曲部授動が良好な視野でできるため、ロボット支援下①胃切除(胃全摘、噴門側胃切除)②脾切除(脾体尾切除)③食道切除(胃管作成)④結腸切除(横行結腸、下行結腸癌での脾彎曲部授動、ガーゼ※2のみ)の4臓器にわたり使用しています。食道切除はこの展開法により腹部操作時間が短縮し、より低侵襲な完全ロボット食道切除術(ロボット支援下胸部食道切除:胸腔内操作、ロボット支援下胃管作成:腹腔内操作、ロボット支援下胸骨後経路トンネル作成)が可能となりました。術者の左手が術野の展開にとられない確立された術野展開が誰でもできる再現性の高い精緻な手術に必須であるものと考えています。

最適な操作環境、術野展開を追求する目的でスコープ位置を変更する工夫も行われています。腹腔鏡手術では斜視硬性鏡でのジャイロ機能やフレキシブルス

コープを利用することで自由度の高い視野が得られますが、スコープのポートを切り替える必要はほとんどありません¹⁷。しかしながらロボット手術(daVinci)では双眼硬性スコープであるため、ジャイロ動作やスコープの曲がりを利用することができません。多段階の視野変更を伴う手術での最適な視野を得るための解決策はポート位置を移行するしかなく、ロボット食道手術・胸部操作での中下縦隔郭清と上縦隔郭清¹⁸、ロボット脾頭十二指腸切除でのSMA(上腸間膜動脈)を中心とした5段階の視野変更によるポート移行¹⁹が行われており、ロボット食道胸部操作でポート移行を採用しています。筆者らはこの原理をロボット直腸高位・低位前方切除での固有間膜処理の際に応用しています。通常、左上がりのポート配置でIMA(下腸間膜動脈)の処理、外側、内側アプローチ、直腸授動、固有間膜処理、吻合までの全行程を行います(図5)。従来法では固有間膜の処理は直腸牽引軸が助手のガーゼ牽引を中心に行いますが、助手の牽引軸だけでは操作視野、特に直腸壁が死角となり熱傷損傷や盲目的間膜処理操作が懸念されます。ゆえに術者は助手の牽引軸に加えてシャフト(腕)で腸管操作軸を作り、さらに鉗子(手首)を過度に回外し固有間膜の処理軸を作成しなければなりません。さらに操作軸が間膜処理軸と一致していないため、適宜、処理過程で操作軸を変更、調整しなければならず、高度なテクニックが要求されます。筆者らの考案したポートスイッチ法では既存のポートを利用し、スコープおよび鉗子の位置を変更します。この場合、直腸牽引軸は助手の牽引軸に第3アームの軸を追加することができ、さらにはスコープも位置が変更しているため、腸管軸と垂直に対面し、操作軸が理想の固有間膜処理の軸と合致します(図6)。また、視野は第3アームの追加牽引で腸壁は骨盤内に固

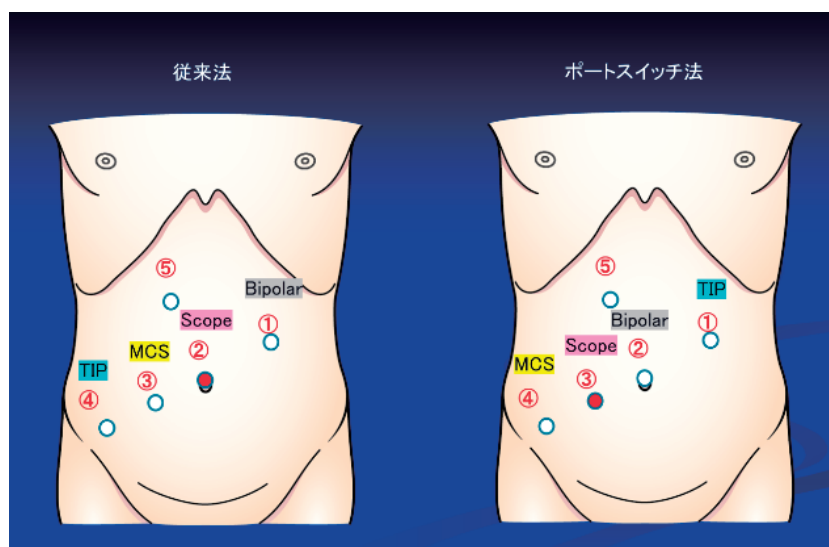


図5 ロボット支援下直腸切除ポート配置（従来法とポーツイッチ法）

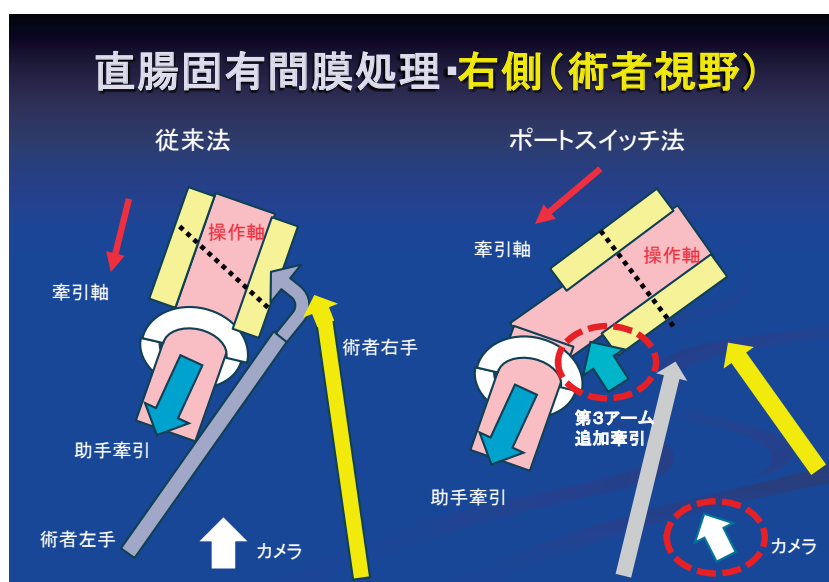


図6 固有間膜処理（従来法とポーツイッチ法）

定され安定します。術者左右の手で視野を作る必要が無く、自由で迷いも生じず、より精緻な再現性のある理想の間膜処理が可能となりました。本法を用いることで通常ポート配置よりも固有間膜処理時間を短縮することができ、さらには経験の浅い術者でもストレスなく遂行することができました。

ロボット手術はラーニングカーブも腹腔鏡手術より短いとされ⁶、益々普及していくものと考えます。また、絶滅危惧種と揶揄される消化器外科医も減少傾向であり、人員補充の面からもロボット手術はその一助と成り得るツールであります。実際、ロボット食道、胃、直腸、結腸、肝臓、膵臓手術の大半は console

surgeon と patient side surgeonで行っており、腹腔鏡手術の術者、助手、スコピストの3人より少ない人員で行っています。また、今後、普及するにあたり、若い外科医の手術参加、教育も必要となります。ゆえに誰でも簡単に再現性のある手術を行うために、術野展開の考案、作成は急務であると感じています。

デバイス、視野の展開、ポート配置等、単一臓器では当たり前の手技・工夫でも、他臓器では使用されていない有用なものが思いのほか多く見受けられると思われます。昨今、外科に限らず消化器外科でも細分化され、大外科カンファレンスも消失し、情報、知識、技術の共有が同じ施設でも滞っているように感じま

す。心臓血管外科の吻合手技、糸のさばき方、呼吸器外科の血管剥離操作、甲状腺外科の反回神経周囲の繊細な手技、婦人科の狭骨盤内での結紮手技、泌尿器科の尿道膀胱吻合での運針方法等、消化器外科手術に応用することは十分に可能と考えます。殊に操作アームおよびデバイスの少ない、弱点を保持したロボット手術に対し、弱点を克服し、手術を円滑に、かつ効率にすすめるヒントがそこにあるのでは？と臓器を超えた“一般外科手術手技”を色々な角度で俯瞰しながら日々の診療を行っています。

Conflict of Interest：開示すべき利益相反はなし。

文 献

1. Townsend CM, Beauchamp RD, Evers BM, Mattox KL: Sabiston Textbook of Surgery. 21st edition. 2021; Elsevier, Philadelphia.
2. 大谷五良：内鼠径ヘルニア根治手術。臨床外科 1986；41：1689-1692.
3. 坂本昌義：preperitoneal repair (Inlay 法)。外科治療 2003；88：163-171.
4. ガリー G. ウィンド, R. ジェームズ バレンタイン：重要血管へのアプローチ：外科医のための局所解剖アトラス。第3版。鰐淵康彦, 安達秀雄訳。2014；メディカル・サイエンス・インターナショナル 東京。
5. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al: Transatlantic robot-assisted telesurgery. Nature 2001; 413: 379-380.
6. Minamimura K, Hara K, Matsumoto S, et al: Current Status of Robotic Gastrointestinal Surgery. J Nippon Med Sch 2023; 90: 308-315.
7. Minamimura K, Aoki Y, Kaneya Y, et al: Current Status of Robotic Hepatobiliary and Pancreatic Surgery. J Nippon Med Sch 2024; 91: 10-19.
8. 管理医療機器 再使用可能な内視鏡用能動処置具 (JMDNコード：38816000) EndoWrist インストゥルメント。https://www.info.pmda.go.jp/downfiles/md/PDF/150557/150557_22100BZX01051000_B_01_12.pdf 2022年8月(第9版)
9. 高度管理医療機器 治療用能動器具 (JMDNコード：70666000) (治療用電気手術器) (JMDNコード：70671000) EndoWrist ベッセルシーラーシステム。https://www.info.pmda.go.jp/downfiles/md/PDF/150557/150557_22900BZX00247000_A_01_05.pdf 2022年8月(第5版)
10. 宇山一朗監修：FUJITA'S TEXT2 ロボット支援下幽門側胃切除 D1+セットアップの基本から実際の手術手技のコツまで。柴崎 晋, 須田康一, 菊地健司, 中内雅也編。2019；金原出版 東京。
11. Uyama I, Kanaya S, Ishida Y, Inaba K, Suda K, Satoh S: Novel integrated robotic approach for suprapancreatic D2 nodal dissection for treating gastric cancer: technique and initial experience. World J Surg 2012; 36: 331-337.
12. 菊地健司, 柴崎 晋, 宇山一朗, 須田康一：ロボット支援幽門側胃切除術の定型化—電気メスを用いる手術 (Double bipolar 法)。臨床外科 2022；77：404-409.
13. 木下敬弘, 由良昌大, 佐野淳一, 望月清孝：剝離・切離デバイスの適切な選択とその上手な使い方 ロボット支援胃癌手術。手術 2023；77：1713-1720.
14. Kinoshita T, Sato R, Akimoto E, Tanaka Y, Okayama T, Habu T: Reduction in postoperative complications by robotic surgery: a case-control study of robotic versus conventional laparoscopic surgery for gastric cancer. Surg Endosc 2022; 36: 1989-1998.
15. 比企直樹, 布部創也, 谷村慎哉, 大山繁和, 佐野 武, 山口俊晴：腹腔鏡下幽門側胃切除術におけるリンパ節郭清 マタドール法を多用した助手・術者による膜展開の秘訣。手術 2010；64：1893-1900.
16. 管理医療機器 人工開口向け単会使用内視鏡用非能動処置具 (JMDNコード：388119002) インターナルオーガンレトラクター。https://www.info.pmda.go.jp/downfiles/md/PDF/170163/170163_225AABZX00055000_A_01_01.pdf 2015年6月(第2版)
17. 大内田研宙：内視鏡外科手術における3Dシステムの現況と展望。頭頸部外科 2014；24：15-18.
18. 石山廣志朗, 大幸宏幸：食道癌に対するロボット支援下手術。胸部外科 2024；77：876-883.
19. Inoue Y, Sato T, Kato T, et al: How Can We Optimize Surgical View During Robotic-Assisted Pancreaticoduodenectomy? Feasibility of Multiple Scope Transition Method. J Am Coll Surg 2022; 235f: e1-e7.

(受付：2025年2月17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。