

総 説

縦隔鏡下食道切除術の開発と今後の展望

塩崎 敦*, 小西 博貴, 藤原 斉

京都府立医科大学大学院医学研究科消化器外科学

Development and Future Perspectives of Mediastinoscopic Esophagectomy

Atsushi Shiozaki, Hirotaka Konishi and Hitoshi Fujiwara

Department of Digestive Surgery,

Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

抄 録

食道癌手術は頸部・胸部・腹部に及ぶ高侵襲手術であり、特に術後の呼吸器合併症は長年の課題とされてきた。我々は、2009年より縦隔鏡を用いた内視鏡下経裂孔的縦隔郭清に着手し、さらに2014年には左頸部単孔アプローチを導入することで、非開胸・仰臥位による低侵襲かつ根治的な食道切除術の確立を目指してきた。本術式は、体位変換や分離肺換気が必要としない点に加え、深部縦隔の拡大視による出血量の減少やリンパ節郭清の精度向上など、多くの利点を有しており、手術時間の短縮や呼吸器合併症の軽減に寄与している。また、術中反回神経モニタリングや3D-CT angiographyの活用により、安全性をさらに向上させる取り組みを行っている。これまでに当科では内視鏡下経裂孔的縦隔操作を累計637例に施行し、うち450例は気縦隔併用による頸部単孔操作を伴っている。さらに、本術式は国内外80以上の施設からの見学や技術支援を通じて国際的に普及するとともに、科学的エビデンスの蓄積も進みつつある。今後は、ロボット支援手術やナビゲーション技術との融合によって、さらなる低侵襲性と高精度化を両立した次世代の食道癌手術の構築が期待される。

キーワード：食道癌，縦隔鏡下食道切除術，術後呼吸器合併症，術中神経モニタリング。

Abstract

Esophagectomy for esophageal cancer is a highly invasive procedure involving the cervical, thoracic, and abdominal regions, with postoperative respiratory complications being a long-standing challenge. Since 2009, our department has developed a novel approach using mediastinoscopic transhiatal lymphadenectomy, and in 2014 introduced a left single-port cervical approach, aiming for a minimally invasive yet radical esophagectomy in the supine position without thoracotomy. This technique avoids position changes and one-lung ventilation, reduces blood loss via enhanced visualization of the deep mediastinum, and improves accuracy of lymphadenectomy, leading to shorter operative times and fewer respiratory complications. We also employ intraoperative recurrent

令和7年5月29日受付 令和7年5月30日受理

*連絡先 塩崎 敦 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上ル梶井町465番地

shiozaki@koto.kpu-m.ac.jp

doi:10.32206/jkpum.134.07.407

laryngeal nerve monitoring and 3D-CT angiography to enhance safety. To date, we have performed 637 cases of laparoscopic transhiatal mediastinal dissection, including 450 with single-port cervical access. The procedure has gained international recognition. Ongoing advances, including robotic and navigation technologies, are expected to further evolve this approach.

Key Words: Esophageal Cancer, Mediastinoscopic Esophagectomy, Postoperative Respiratory Complications, Intraoperative Neuromonitoring.

背景と課題

食道癌手術は、頸部・胸部・腹部にわたる広範な操作を要する高度に侵襲的な手術であり、なかでも術後の呼吸器合併症は長年にわたり重要な課題とされてきた。従来は右開胸による側臥位アプローチが主流であり、術野の確保およびリンパ節郭清の精度には一定の利点があったものの、胸部への大きな侵襲、片肺換気の必要性、ならびに体位変換を伴うことから、術後肺炎の発生や長期入院の要因となっていた。

一方、非開胸による経頸部・経腹部からの食道拔去術は、古くから報告されていたものの¹⁾²⁾、ブラインド操作であることに起因して、周囲臓器の損傷や出血といった安全性の問題、ならびにリンパ節郭清の精度に課題を抱えていた。こうした背景のもと、1990年代に入り、縦隔鏡を用いた視認下での非開胸手術が報告されるようになった³⁾⁴⁾。当時はダイセクターや内視鏡機器を用いた新たなアプローチが試みられたが、術野展開や器具の操作性、郭清の精度にお

いて依然として技術的な限界があり、結果として本術式が広く普及するには至らなかった。

縦隔鏡下食道切除術の開発と定型化の経緯

当科では、術後呼吸器合併症の軽減と手術の低侵襲化を両立させる新たな術式の確立を目指し、2009年より縦隔鏡を用いた内視鏡下経裂孔的縦隔郭清に取り組み始めた(図1)。導入当初は、経裂孔操作を先行させることで胸部操作の時間を短縮することを主たる目的としていたが、比較的早期より、リンパ節郭清における経裂孔アプローチの有効性を実感し、手技の定型化を試みた。

経裂孔アプローチは、特に左側縦隔リンパ節領域に対する操作性に優れており、従来の右開胸手術では困難であった部位に対しても、安全かつ精緻な郭清が可能となった。我々は、腹側および背側の剥離操作によってリンパ節をシート状に展開し、左縦隔胸膜沿いに切離する en bloc な下縦隔郭清法を報告した⁵⁾。さらに、こ

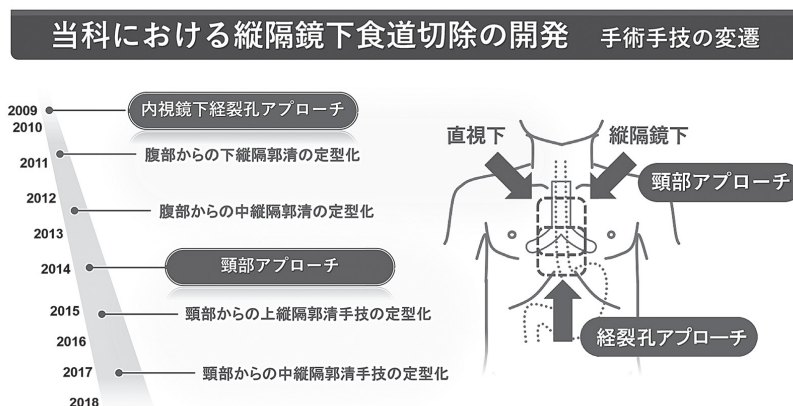


図1 当科における縦隔鏡下食道切除の開発と、手術手技の変遷。

の手技を中縦隔にも応用し、郭清操作の標準化を進めてきた⁶⁾。腹側からの深部縦隔操作には長尺の展開鉤が必要であり、これに対応するロングリトラクター（ウミヒラ）を企業と共同で開発した。このような工夫により従来は困難とされていた経裂孔的アプローチによる中下縦隔郭清手技の定型化に成功し⁷⁾、この手技を先行させることにより、胸部操作時間の短縮、出血量の減少、呼吸器合併症の抑制といった成果が得られた⁸⁾。

さらに2014年には、左頸部からの単孔アプローチを開発し、CO₂送気による気縦隔圧を活用することで術野の拡張と操作性の大幅な改善を実現した⁹⁾。これにより、従来の頸部操作では困難であった左反回神経周囲のリンパ節郭清も、より高い精度と安全性で施行可能となった。こうした技術的進展を背景に、頸部側からの上縦隔および中縦隔郭清の各手技について順次定型化を図った。

この頸部単孔手技と経裂孔的手技とを組み合わせることで、従来は不可能とされていた非開胸による全縦隔リンパ節郭清を伴う根治的食道

切除術が実現可能となった。こうした手術手技の定型化は、国内外における縦隔鏡下食道切除術の普及と発展を後押しし、2018年の診療報酬改定において「縦隔鏡下食道悪性腫瘍手術」が新たに保険収載される契機ともなった。

手術術式

以下、我々が定型化した手術手順について述べる¹⁰⁾。

1. 頸部操作

全身麻酔下、開脚仰臥位として、左頸部に襟状切開を置き、ラッププロテクター（八光社）を装着（図2a）。5mmポート3本を挿入したE・Zアクセスポート（八光社）を装着し、AirSeal[®]（CONMED）による気縦隔圧で術野を維持。上縦隔では、食道及び左反回神経、リンパ節が一塊となるように周囲臓器から全周的に剥離する。まず、気管壁から左反回神経リンパ節を含む脂肪組織を剥離し、左反回神経とともに食道側に集約する（図2b）。続いて、左反回神経を鋭的操作により周囲組織から skeletonize することで、左反回神経リンパ節の en bloc 郭清が

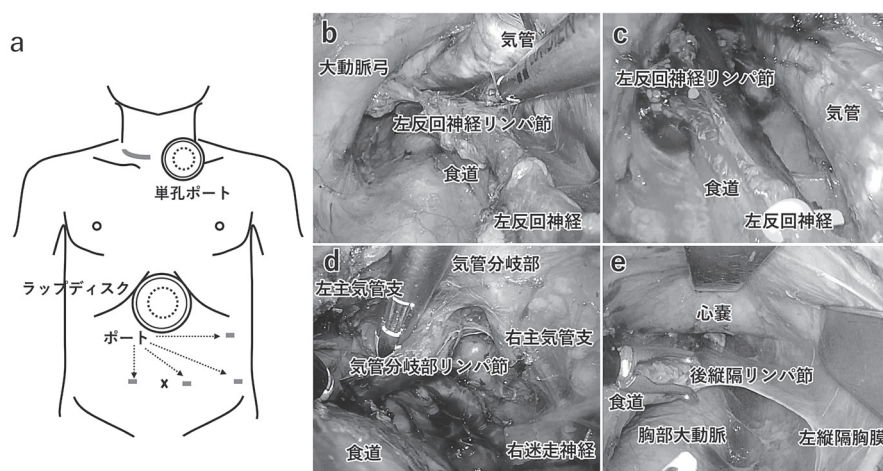


図2 縦隔郭清の頸部操作と経裂孔操作。a) 皮膚切開，ポート配置。bc) 左頸部単孔操作による左上縦隔郭清。b) 気管壁からリンパ節を剥離し、左反回神経とともに食道側に集約。c) 左反回神経を鋭的操作によりリンパ節より分離。d) 左頸部単孔操作による中縦隔郭清。左右を剥離した気管分岐部リンパ節をシート状に展開し、気管分岐部より切離。e) 経裂孔的な下縦隔郭清。腹背側を剥離した後縦隔リンパ節をシート状に展開し、左縦隔胸膜との境界で切離。

可能となる (図 2c). 気管分岐部リンパ節郭清では, まず右主気管支内側縁とリンパ節の間を剥離する. 続いて左主気管支内側縁とリンパ節との間を剥離し, 心嚢を露出させる. 最終的に, 左右両側から剥離したリンパ節をシート状に展開し, 気管分岐部から切離することで, en bloc に郭清できる (図 2d). 右頸部食道傍リンパ節, 右反回神経リンパ節は右頸部から直視下に郭清する.

2. 経裂孔操作

心窩部にラップディスク (regular), 臍右側に術者操作用の 12mm トロカール, 左肋弓下, 左側腹部に助手操作用の 12mm トロカールを留置. 臍左側にスコープ用の 5mm トロカールを留置. 食道裂孔を切開し, 縦隔に至る. 剥離は下縦隔の腹側から開始し, 心嚢後面を経て頭側へと進める. 剥離層を左右に広げることで, 左右の下肺静脈が露出される. その後, 下肺静脈を腹側へ展開すると, 左右主気管支が頭側に確認できる. すでに頸部から分岐下リンパ節郭清が完了している場合, このレベルで剥離層を連続させることが可能である.

続いて, 左横隔膜脚直上のレベルで胸部大動脈を露出し, 後縦隔リンパ節背側の剥離を頭側へと進める. 剥離の過程で固有食道動脈を切離し, 大動脈弓尾側付近で頸部からの剥離層と接続させる. 腹側および背側を十分に剥離した後縦隔リンパ節は, シート状に展開した上で左縦隔胸膜に沿って切離する (図 2e). 次に, 右縦隔胸膜に沿った切離ラインを頭側へと進め, 頸

部からの剥離層と連続させる. 以上の操作の後, 頸部食道を離断することで, 腹腔側から食道および縦隔リンパ節を一塊に摘出することが可能となる.

安全性向上への取り組み

1. 術中反回神経モニタリング

縦隔鏡下手術においては, 操作器具が左反回神経に平行に進入するため, 視野外での圧迫による神経障害のリスクが存在する. この課題に対応するため, 2017年より NIMTM システム 3.0 (Medtronic) を用いた術中神経モニタリング (intraoperative nerve monitoring: IONM) を導入し, 神経損傷の予兆をリアルタイムに把握する体制を構築した. 当科では APS 電極による持続的神経モニタリング (continuous IONM: CIONM) を左頸部からの縦隔鏡操作時の神経負荷評価に活用している. 食道背側や深部縦隔での操作では, デバイスのシャフトが左反回神経を圧迫する可能性があり, 慎重な操作が求められる (図 3a). CIONM では, 視野外での圧迫負荷を神経振幅 (amplitude) の低下として検出することが可能である (図 3b). NIM システムの導入以降, 反回神経麻痺の発生率は半減し, 麻痺後の回復期間も短縮されている¹¹⁾¹²⁾.

2. 3D-CT angiography による気管支動脈の立体構造評価

気管支動脈については, 術前の 3D-CT angiography により走行を十分に把握し, 損傷の予防に努めている¹³⁾. 左側上縦隔郭清の最終段階では, 左

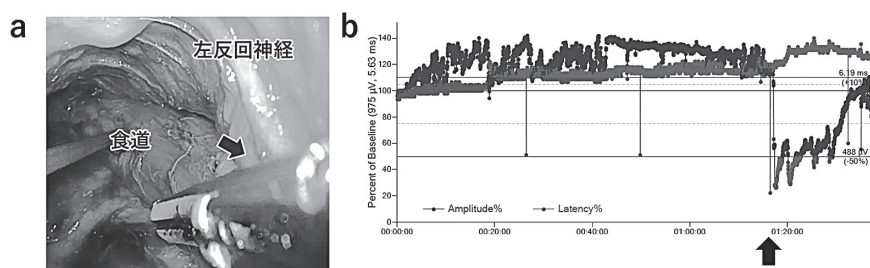


図 3 術中持続神経モニタリング (CIONM). a) デバイスのシャフトによる左反回神経の圧迫. b) 持続神経モニタリングにおける amplitude の低下.

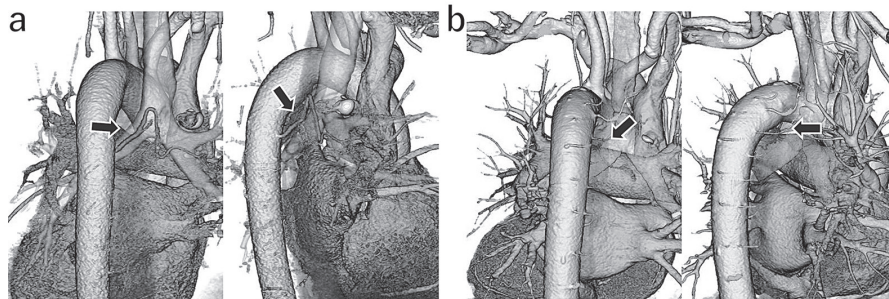


図4 3D-CT angiography による気管支動脈の立体構造評価。a) 右気管支動脈が食道背側を走行する症例。c) 右気管支動脈が食道腹側を走行する症例。

反回神経を鋭的操作により周囲組織から慎重に分離する。特に、右気管支動脈が食道腹側を走行する症例では、神経周囲の鋭的操作において当該血管を損傷するリスクがある（図4）。このような場合には、神経周囲の鋭的操作に先立ち、周囲の血流を十分に遮断することで出血リスクの低減を図っている。

術式の普及と展望

縦隔鏡下食道切除術には、以下のような複数の利点が期待される⁷⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。第一に、開胸を伴わず、分離肺換気が必要としないため、術後呼吸器合併症の発生率が低下する。第二に、仰臥位で手術を完結できることから体位変換が不要であり、これにより手術時間の短縮が期待される。さらに、深部縦隔の視野が拡大されることで、出血量の減少およびリンパ節郭清の精度向上にもつながる。当科においても、こうした低侵襲性と治療成績の両立を踏まえ、根治切除が可能な症例には縦隔鏡下手術を第一選択としてきた。これまでに内視鏡下経裂孔的縦隔郭清を637例経験し、うち450例は気縦隔併用による頸部単孔操作を施行しており、国内最多の症例数を有する。

また、縦隔鏡下手術の技術普及と教育にも積極的に取り組み、これまでに国内37大学を含む国内 high-volume center およびオランダ、中国、台湾、シンガポール、インドなどの海外

医療機関を含め、国内外80以上の施設から手術見学を受け入れてきた。現在、オランダのラドバウド大学をはじめとする海外の医療機関においても、本学の縦隔鏡下術式の導入が進められており、手術見学、オンライン指導、カダバートレーニングを含む段階的な導入フレームワークを通じて、安全かつ効果的な普及が実現しつつある¹⁶⁾¹⁷⁾。近年、ランダム化比較試験やメタアナリシスの報告も増えつつあり、縦隔鏡下食道切除術に関する新たなエビデンスも国際的に着実に蓄積されつつある¹⁸⁾²⁰⁾。

おわりに

縦隔鏡下食道切除術は、十数年にわたる技術開発の成果として、呼吸器合併症の軽減、低侵襲性、根治性のいずれも達成しうる有用性の高い術式である。我々は本術式の定型化と普及を通じて、食道癌手術の新たな標準術式の構築を目指してきた。

今後は、単孔ポートを基盤としたロボット支援下縦隔鏡手術の開発が進められ、さらなる低侵襲化と高精度化を両立する食道癌手術の確立が見込まれている。加えて将来的には、AI支援による画像解析や術中ナビゲーション技術との融合によって、次世代型の手術モデルの構築が進展することが期待される。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文 献

- 1) Turner GG, Durh MS. Excision of the thoracic esophagus for carcinoma with construction of an extrathoracic gullet. *Lancet*, 2: 1315-1316, 1933.
- 2) Orringer MB, Sloan H. J Esophagectomy without thoracotomy. *Thorac Cardiovasc Surg*, 76: 643-654, 1978.
- 3) Bumm R, Hölscher AH, Feussner H, Tachibana M, Bartels H, Siewert JR. Endodissection of the thoracic esophagus. Technique and clinical results in transhiatal esophagectomy. *Ann Surg*, 218: 97-104, 1993.
- 4) Tangoku A, Yoshino S, Abe T, Hayashi H, Satou T, Ueno T, Oka M. Mediastinoscope-assisted transhiatal esophagectomy for esophageal cancer. *Surg Endosc*, 18: 383-389, 2004.
- 5) Shiozaki A, Fujiwara H, Murayama Y, Komatsu S, Kuriu Y, Ikoma H, Nakanishi M, Ichikawa D, Okamoto K, Ochiai T, Kokuba Y, Otsuji E. Posterior mediastinal lymph node dissection using the pneumomediastinum method for esophageal cancer. *Esophagus*, 9: 58-64, 2012.
- 6) Shiozaki A, Fujiwara H, Konishi H, Morimura R, Murayama Y, Komatsu S, Kuriu Y, Ikoma H, Kubota T, Nakanishi M, Ichikawa D, Okamoto K, Sakakura C, Otsuji E. Novel technique for dissection of subcarinal and main bronchial lymph nodes using a laparoscopic transhiatal approach for esophageal cancer. *Anticancer Res*, 33: 2577-2585, 2013.
- 7) Shiozaki A, Fujiwara H, Konishi H, Arita T, Kosuga T, Morimura R, Murayama Y, Komatsu S, Kuriu Y, Ikoma H, Nakanishi M, Ichikawa D, Okamoto K, Otsuji E. Hand-assisted technique beneficial for laparoscopic transhiatal esophagectomy with en-bloc dissection of middle and lower mediastinal lymph nodes: roles of the operator's left hand. *Esophagus*, 14: 138-145, 2017.
- 8) Shiozaki A, Fujiwara H, Murayama Y, Komatsu S, Kuriu Y, Ikoma H, Nakanishi M, Ichikawa D, Okamoto K, Ochiai T, Kokuba Y, Otsuji E. Perioperative outcomes of esophagectomy preceded by the laparoscopic transhiatal approach for esophageal cancer. *Dis Esophagus*, 27: 470-478, 2014.
- 9) Fujiwara H, Shiozaki A, Konishi H, Kosuga T, Komatsu S, Ichikawa D, Okamoto K, Otsuji E. Single-Port Mediastinoscopic Lymphadenectomy Along the Left Recurrent Laryngeal Nerve. *Ann Thorac Surg*, 100: 1115-1117, 2015.
- 10) 塩崎敦, 藤原斉. 胸部外科手術の基本手技とコツ 2024, III. 食道領域, 2. 食道癌に対する縦隔鏡下手術. 胸部外科, 77: 884-890, 2024.
- 11) 塩崎敦, 藤原斉, 小西博貴, 大辻英吾. 縦隔鏡下食道切除術における術中神経モニタリングによる反回神経麻痺予防. 臨床外科, 78: 134-138, 2023.
- 12) 藤原斉, 塩崎敦, 小西博貴, 大辻英吾. 【特集 徹底解説 術後後遺症をいかに防ぐか—コツとポイント 食道癌】縦隔アプローチでの反回神経麻痺 その特徴と術中持続神経モニタリングの有用性. 臨床外科, 76: 11-18, 2021.
- 13) Maeda T, Fujiwara H, Konishi H, Shiozaki A, Kobayashi T, Ohashi T, Kosuga T, Kubota T, Okamoto K, Otsuji E. Preoperative 3D-CT evaluation of the bronchial arteries in transmediastinal radical esophagectomy for esophageal cancer. *Esophagus*, 19: 77-84, 2022.
- 14) Fujiwara H, Shiozaki A, Konishi H, Kosuga T, Komatsu S, Ichikawa D, Okamoto K, Otsuji E. Perioperative outcomes of single-port mediastinoscope-assisted transhiatal esophagectomy for thoracic esophageal cancer. *Dis Esophagus*, 30: 1-8, 2017.
- 15) Fujiwara H, Shiozaki A, Konishi H, Komatsu S, Kubota T, Ichikawa D, Okamoto K, Morimura R, Murayama Y, Kuriu Y, Ikoma H, Nakanishi M, Sakakura C, Otsuji E. Hand-assisted laparoscopic transhiatal esophagectomy with a systematic procedure for en bloc infracarinal lymph node dissection. *Dis Esophagus*, 29: 131-138, 2016.
- 16) Klarenbeek BR, Fujiwara H, Scholte M, Rovers M, Shiozaki A, Rosman C. Introduction of Minimally Invasive transCervical oEsophagectomy (MICE) according to the IDEAL framework. *Br J Surg*, 110: 1096-1099, 2023.
- 17) Vercoulen RJMT, van Veenendaal L, Kramer IF, Hutteman M, Shiozaki A, Fujiwara H, Rosman C, Klarenbeek BR. Minimally Invasive transCervical oEsophagectomy (MICE) for oesophageal cancer: prospective cohort study (IDEAL stage 2A). *Br J Surg*, 111: 160, 2024.
- 18) Shi K, Qian R, Zhang X, Jin Z, Lin T, Lang B,

- Wang G, Cui D, Zhang B, Hua X. Video-assisted mediastinoscopic and laparoscopic transhiatal esophagectomy for esophageal cancer. *Surg Endosc*, 36: 4207-4214, 2022.
- 19) Yin Z, Yang RM, Jiang YQ, Chen Q, Cai HR. Perioperative Clinical Results of Transcervical and Transhiatal Esophagectomy versus Thoracoscopic Esophagectomy in Patients with Esophageal Carcinoma: A Prospective, Randomized, Controlled Study. *Int J Gen Med*, 15: 3393-3404, 2022.
- 20) Wang J, Zhao L, Lin J, Yu Y, Tong T, Zhao Y. Comparison of mediastinoscopy and thoracoscopic minimally invasive esophagectomy in the treatment of esophageal cancer: a meta-analysis and system review. *BMC Cancer*, 25: 14, 2025.

著者プロフィール



塩崎 敦 Atsushi Shiozaki

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科消化器外科学・教授

略 歴：1997年3月 京都府立医科大学卒業
 1997年4月 京都府立医科大学附属病院第二外科研修医
 1999年4月 公立南丹病院外科医員
 2001年4月 京都府立医科大学附属病院消化器外科修練医
 2003年4月 京都府立医科大学大学院医学研究科博士課程入学
 2007年3月 京都府立医科大学大学院医学研究科博士課程修了
 2007年4月 トロント大学医学部胸部外科博士研究員
 2009年9月 京都府立医科大学大学院医学研究科消化器外科学助教
 2014年4月 京都府立医科大学大学院医学研究科消化器外科学講師
 (学内)
 2022年4月 京都府立医科大学大学院医学研究科消化器外科学講師
 2024年11月 ～現職

専門分野：上部消化管外科，内視鏡外科，外科腫瘍学

- 主な業績：1. [Shiozaki A](#), Fukami T, Shimizu H, Kosuga T, Kudou M, Takemoto K, Katsurahara K, Nishibeppu K, Ohashi T, Arita T, Konishi H, Komatsu S, Kubota T, Fujiwara H, Otsuji E. Effects of TRPV2 on the Expression of PD-L1 and Its Binding Ability to PD-1 in Gastric Cancer. *Ann Surg Oncol*, **30**: 8704-8716, 2023.
2. [Shiozaki A](#), Konishi T, Kosuga T, Kudou M, Kurashima K, Inoue H, Shoda K, Arita T, Konishi H, Morimura R, Komatsu S, Ikoma H, Toma A, Kubota T, Fujiwara H, Okamoto K, Otsuji E. Roles of voltage-gated potassium channels in the maintenance of pancreatic cancer stem cells. *Int J Oncol*, **59**: 76, 2021.
3. [Shiozaki A](#), Ariyoshi Y, Iitaka D, Kosuga T, Shimizu H, Kudou M, Tomoki Konishi T, Shoda K, Arita T, Konishi H, Komatsu S, Takeshi Kubota T, Fujiwara H, Okamoto K, Kishimoto M, Konishi E, Marunaka Y, Ichikawa D, Otsuji E. Functional analysis and clinical significance of sodium iodide symporter expression in gastric cancer. *Gastric Cancer*, **22**: 473-485, 2019.
4. [Shiozaki A](#), Yamazato Y, Kosuga T, Kudou M, Shoda K, Arita T, Konishi H, Komatsu S, Kubota T, Fujiwara H, Okamoto K, Marunaka Y, Otsuji E. Effect of low temperature on the regulation of cell volume after hypotonic shock in gastric cancer cells. *Int J Oncol*, **55**: 905-914, 2019.
5. [Shiozaki A](#), Kudou M, Ichikawa D, Fujiwara H, Shimizu H, Ishimoto T, Arita T, Kosuga T, Konishi H, Komatsu S, Okamoto K, Marunaka Y, Otsuji E. Esophageal cancer stem cells are suppressed by tranilast, a TRPV2 channel inhibitor. *J Gastroenterol*, **53**: 197-207:2018.
6. [Shiozaki A](#), Fujiwara H, Murayama Y, Komatsu S, Kuriu Y, Ikoma H, Nakanishi M, Ichikawa D, Okamoto K, Ochiai T, Kokuba Y, Otsuji E. Perioperative outcomes of esophagectomy preceded by the laparoscopic transhiatal approach for esophageal cancer. *Dis Esophagus*, **27**: 470-478, 2014.
7. [Shiozaki A](#), Iitaka D, Ichikawa D, Nakashima S, Fujiwara H, Okamoto K, Kubota T, Komatsu S, Kosuga T, Takeshita H, Shimizu H, Nako Y, Sasagawa H, Kishimoto M, Otsuji E. xCT, component of cysteine/glutamate transporter, as an independent prognostic factor in human esophageal squamous cell carcinoma. *J Gastroenterol*, **49**: 853-863, 2014.
8. [Shiozaki A](#), Lodyga M, Bai XH, Nadesalingam J, Oyaizu T, Winer D, Asa SL, Keshavjee S, Liu M. XB130, a novel adaptor protein, promotes thyroid tumor growth. *Am J Pathol*, **178**: 391-401, 2011.