

- 34) Koh YW, Chung WY, Hong HJ, et al. : Robot-assisted selective neck dissection via modified face-lift approach for early oral tongue cancer: a video demonstration. *Ann Surg Oncol* 19: 1334–1335, 2012.
- 35) Byeon HK, Holsinger FC, Tufano RP, et al. : Robotic Total Thyroidectomy with Modified Radical Neck Dissection via Unilateral Retroauricular Approach. *Ann Surg Oncol* 21: 3872–3875, 2014.
- 36) Kim WS, Lee HS, Kang SM, et al. : Feasibility of robot-assisted neck dissections via a transaxillary and retroauricular (“TARA”) approach in head and neck cancer: preliminary results. *Ann Surg Oncol* 19: 1009–1017, 2012.
- 37) Park YM, Lee WJ, Yun IS, et al. : Free flap reconstruction after robot-assisted neck dissection via a modified face-lift or retroauricular approach. *Ann Surg Oncol* 20: 891–898, 2013.
- 38) Song HG, Yun IS, Lee WJ, et al. : Robot-assisted free flap in head and neck reconstruction. *Arch Plast Surg* 40: 353–358, 2013.
- 39) Tateya I, Ishikawa S, Morita S, et al. : Magnifying endoscopy with narrow band imaging to determine the extent of resection in transoral robotic surgery of oropharyngeal cancer. *Case Rep Otolaryngol*, (in press) 2014.
- 40) 清水 颯, 伊藤博之, 船戸宣利, 他 : 経口腔ロボット支援手術を行った中咽頭癌 2 症例. *頭頸部外* 22: 297–302, 2013.
- 41) 藤原和典, 福原隆宏, 北野博也 : 頭頸部外科領域でのロボット手術—TORS を中心として—. *日耳鼻会報* 117: 887–892, 2014.
- 42) 楯谷一郎, 石川征司, 平野 滋, 他 : 咽頭頭癌に対する Transoral Robotic Surgery (TORS) —TORS アドバンスドコースの参加経験—. *耳鼻展望* 56: 319–323, 2013.
- 43) Neuzil P, Cerny S, Kralovec S, et al. : Single-site access robot-assisted epicardial mapping with a snake robot: preparation and Wrst clinical experience. *J Robot Surg* 7: 103–111, 2013.
- 44) Wang Z, Sun Z and Phee SJ : Haptic feedback and control of a flexible surgical endoscopic robot. *Comput Methods Programs Biomed* 112: 260–271, 2013.
- 45) Furukawa J, Miyake H, Tanaka K, et al. : Console-integrated real-time three-dimensional image overlay navigation for robot-assisted partial nephrectomy with selective arterial clamping: early single-centre experience with 17 cases. *Int J Med Robot* doi: 10.1002/rcs.1574, 2014.
- 46) Lalich IJ, Olsen SM and Ekblom DC : Robotic microlaryngeal surgery: feasibility using a newly designed retractor and instrumentation. *Laryngoscope* 124: 1624–1630, 2014.
- 47) Trévillot V, Garrel R, Dombre E, et al. : Robotic endoscopic sinus and skull base surgery: Review of the literature and future prospects. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 130: 201–207, 2013.
- 48) Danilchenko A, Balachandran R, Toennies JL, et al. : Robotic mastoidectomy. *Otol Neurotol* 32: 11–16, 2011.
- 49) Shiotani A, Tomifuji M, Araki K, et al. : Transoral videolaryngoscopic surgery for en bloc resection of supraglottic and hypopharyngeal cancers. *Otolaryngol Head Neck Surg* 144: 288–289, 2011.
- 50) Tomifuji M, Araki K, Yamashita T, et al. : Transoral videolaryngoscopic surgery for oropharyngeal, hypopharyngeal, and supraglottic cancer. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 271: 589–597, 2014.
- 51) 佐藤靖夫, 大森 泰, 田川崇正 : 下咽頭表在癌の手術治療—内視鏡的咽頭手術 (ELPS) の経験. *日耳鼻会報* 109: 581–586, 2006.
- 52) Tateya I, Morita S, Muto M, et al. : Magnifying endoscope with NBI to predict the depth of invasion in laryngo-pharyngeal cancer. *Laryngoscope*: (in press) 2014.

別刷請求先：楯谷一郎

〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54

京都大学大学院医学研究科耳鼻咽喉科・頭頸部外科

## 喉頭癌に対するロボット手術の適応

楯谷 一郎\*  
Ichiro Tateya石川 征司\*  
Seiji Ishikawa

● Key Words ● 喉頭癌, ロボット手術, ナビゲーション手術 ●

## はじめに

手術支援ロボットはナビゲーション手術装置、内視鏡下手術の補助装置として1980年代に開発が始められた<sup>1)</sup>。その後Zeusなどの開発を経てda Vinci surgical system (以下ダヴィンチ)が登場し、第1世代の普及機として広く使用されつつある。2000年にアメリカFDAで一般消化器外科領域での使用が承認されたのを皮切りに、胸部外科、泌尿器科、心臓血管外科、婦人科、小児外科領域で承認され、世界全体で既に3,000台以上が納入されている。泌尿器科など一部の領域ではすでに標準治療となっており、本邦においても泌尿器科領域において前立腺癌手術が保険収載されている。

耳鼻咽喉科領域においては経口的ロボット支援手術がWeinsteinら<sup>23)</sup>により開発され、2009年にFDAにより承認されて以降、世界的に普及しつつある。2011年にはEU、カナダ、オーストラリア、韓国、中国でその使用が承認され、2012年末の時点で全世界で4,000例に対して実施されている。本稿では、喉頭癌に対して行われているロボット支援手術の代表的な術式とその適応について概説し、今後の展望と国内の現状について述べる。

## 手術支援ロボット“ダヴィンチ”

ダヴィンチは能動的に動くものではなく、術者の操作を忠実に再現する、いわゆる“マスタースレイブ型”のロボットである。ビジョンカート、サージャンコンソール、ペイシェントカートの3

つから構成されており、ビジョンカートがロボットの目、サージャンコンソールがコクピット、ペイシェントカートが手術操作を行うロボット本体に相当する。カートは4本のアームを持っており、1本が3D内視鏡カメラ用アーム、残りの3本に鉗子を装着して手術操作にあたる。経口的ロボット支援手術では3本のうち2本のアームを用いて手術を行う。

この鉗子は7つの自由度を持っており、自在な方向に向きを変えることが可能である。術者はサージャンコンソールに座って3Dモニターを見ながらマスターコントローラに挿入した親指と人差し指を動かし、アームを操作する。ダヴィンチにはモーションスケール機能が備わっており、マスターコントローラでの動きを2:1, 3:1, あるいは5:1に縮小してアームに伝えることができる。またフィルター機能により術者の手ぶれは補正される。これらの機能により、内視鏡下手術に比べてより繊細で安定した手術操作を行うことが可能である。

## 経口的ロボット支援手術

喉頭癌に対する経口的ロボット支援手術として現在までに報告されている術式は、声門上喉頭水平半切、経口的喉頭全摘、cordectomyの3つである。各術式の手技並びに適応について述べる。

## 1. 声門上喉頭水平半切

経口的ロボット支援手術の代表的な術式の1つであり、主な適応は声門上癌のT1, T2症例並びに一部のT3症例である。全身麻酔導入後、FK-WOリトラクター(オリンパス, 東京)により術野を展開する。病変が喉頭蓋に限局する場合は気

\* 京都大学大学院耳鼻咽喉科・頭頸部外科  
〔〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町54〕



図 1 経口的ロボット支援手術時の風景  
経口的に3D内視鏡アーム1本と操作アーム2本を挿入して手術操作を行う。

管内挿管で手術操作可能であるが、広範囲の場合は気管切開が望ましい。ペイシェントカートをドッキングし、カメラアームに直径12mmの3D内視鏡（上向き30度）、2本の操作アームに直径5mmのボビー・スパチュラ、メリーランド鉗子を装着する（図1）。喉頭蓋部を必要な範囲で切開し、pre-epiglottic spaceの処理に移る。舌骨を露出した後、脂肪織をつけながら尾側に切開を進め、甲状軟骨上縁を露出する。触覚情報がないため、舌骨や甲状軟骨の硬さを直接感じることはできないが、鉗子で押した際の組織の動きによりその存在をある程度“感じる”ことができる。

また、必要に応じて助手が経口的に挿入した吸引管などで組織に触れ、術者に代わって舌骨・甲状軟骨を同定する。披裂喉頭蓋ヒダの処理の際には上喉頭動脈を同定して止血クリップをかけておく。切開を尾側に進めていき、声門上部組織を甲状軟骨の内軟骨膜ごと摘出する<sup>4)</sup>（図2）。一側であれば披裂軟骨を合併切除しても良いが、摘出後の声帯は固定し、また披裂部の高まりがなくなるため、術後の嚥下機能は低下する。経口的ロボット支援手術による声門上喉頭水平半切のまとまった報告はあまり多くないが、Parkら<sup>5)</sup>は16例の報告（T1：7例、T2：5例、T3：4例）で断端陽性率12%、1年生存率91%、術後の嚥下機能は94.9%の患者でFOSSスコア2以下であったと報告している。

## 2. 経口的喉頭全摘

化学放射線治療後の喉頭癌再発例に対し、Lawsonら<sup>6)</sup>は経口的ロボット支援手術下に喉頭全摘を行うtransoral robotic surgery total laryngectomy (TORS-TL)を報告している。気管切開の皮膚切開をやや大きめに置き、気管切開部から可及的に頭側に向かって気管・喉頭の剝離を鈍的に進めたのち、経口的ロボット支援手術により経口的に披裂部と喉頭蓋谷の粘膜を切開を切開して喉頭を口から摘出し、さらに経口的に粘膜縫合を行う。最小限の粘膜切開、皮膚切開で手術を行うため組織の血流を最大限に保存でき、化学放射線治療の既往例でも瘻孔をきたすリスクが低いとしているが、頸部操作の一部が盲目的になるため、本術式の意義や必要性については意見の分かれるところである。

## 3. Cordectomy

Kayhanら<sup>7)</sup>はT1声門癌10例に対して経口的ロボット支援手術によりcordectomyを行い、平均手術時間21.6分、全例で断端陰性であったと報告しているが、現在のところ声門癌に対する経口的ロボット支援手術の報告は非常に限られている。これは、da Vinciサージカルシステムで使用できる鉗子は最細で直径5mmであり、声門部に使用するにはサイズが大きいため、また早期声門癌の術野は比較的限局しており従来のラリngoマイクロサージェリーで問題なく対応できること、

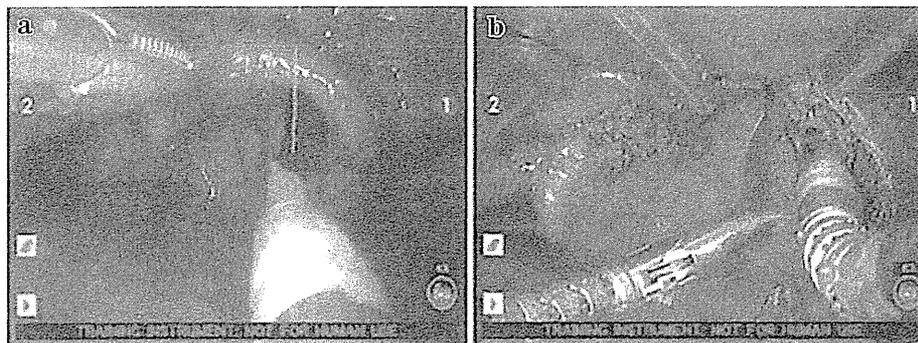


図 2 経口的ロボット支援手術による声門上喉頭水平半切術（カダバー）  
喉頭蓋から操作を開始し (a)、甲状軟骨の内軟骨膜を摘出側に付けつつ声門上部構造を摘出し  
ている (b)。手術操作は 2 本のロボットアームと助手が挿入した 2 本の鉗子を合わせ、最大 4  
本で行う (b)。

がその理由である。

#### 今後の方向性ならびに国内の現状

喉頭癌に対する経口的ロボット支援手術の適応は声門上原発の早期癌がその主対象であり、現時点では声門癌に対しては大きなメリットはない。ただ手術支援ロボットの利点は手の震えがなく安定した手術操作が可能なることにあり、実は悪性腫瘍を含めた声門部の病変は潜在的には手術支援ロボットの非常に良い適応と言える。すでに Lalich ら<sup>8)</sup>がダヴィンチの鉗子の先端に繊細な鎌状メスや探索子を接続することで喉頭微細手術への応用を試みており、今後デバイスの小型化が進めば、手術支援ロボットの適応は声門癌にも広がると予想される。われわれは<sup>9)</sup>経口的ロボット支援手術における narrow band imaging (NBI) 併用の有用性を報告しており、今後は表在癌への使用も増えると思われる。

わが国には 160 台以上のダヴィンチが納入されており、世界第二のダヴィンチ保有国であるにも関わらず、実地臨床での利用は大変遅れている。国内においては一般消化器外科、胸部外科、泌尿器科、婦人科の各領域において 2009 年に薬事承認されている<sup>10)</sup>が、現時点で保険収載されているのは前立腺悪性腫瘍手術のみである。

耳鼻咽喉科領域はいまだ適応外であり、現在、経口的ロボット支援手術の公知申請(適応の拡大)を目的として、厚生労働省科学研究費補助金事業

として多施設臨床試験が行われている。対象症例は中・下咽頭癌並びに声門上癌の Tis, T1, T2 症例であり、平成 26 年 2 月より京都大学<sup>9)</sup>において先行試験を開始し、現在までに中咽頭癌手術 5 例を実施している。間もなく東京医科大学<sup>11)</sup>、鳥取大学<sup>12)</sup>も参加予定であり、平成 29 年 3 月までに計 20 例を実施し、そのデータにより公知申請が行われる予定である。早期の適応拡大が望まれる。

#### 文 献

- 1) 楯谷一郎, 伊藤壽一: 耳鼻咽喉科におけるロボット支援手術の現状と今後の展望. 耳鼻臨床 107 (1): 1-7, 2015.
- 2) Weinstein GS, O'malley BW Jr, Hockstein NG: Transoral robotic surgery: supraglottic laryngectomy in a canine model. Laryngoscope 115 (7): 1315-1319, 2005.
- 3) Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, et al: Transoral robotic surgery: supraglottic partial laryngectomy. Ann Otol Rhinol Laryngol 116 (1): 19-23, 2007.
- 4) 楯谷一郎, 石川征司, 平野 滋, 他: 咽喉頭癌に対する Transoral robotic surgery (TORS) —TORS アドバンスコースの参加経験—. 耳鼻展望 56: 91-95, 2013.
- 5) Park YM, Kim WS, Byeon HK, et al: Surgical techniques and treatment outcomes of transoral robotic supraglottic partial laryngectomy. Laryngoscope 123 (3): 670-677, 2013.
- 6) Lawson G, Mendelsohn AH, Van Der Vorst S, et al: Transoral robotic surgery total laryngectomy. Laryngoscope 123 (1): 193-196, 2013.
- 7) Kayhan FT, Kaya KH, Sayin I: Transoral robotic cordectomy for early glottis carcinoma. Ann Otol Rhinol Laryngol 121 (8): 497-502, 2012.

8) Lalich IJ, Olsen SM, Ekbohm DC : Robotic Microlaryngeal Surgery : Feasibility Using a Newly Designed Retractor and Instrumentation. Laryngoscope 124 : 1624-1630, 2014.

9) 植谷一郎, 伊藤壽一 : 耳鼻咽喉科領域における診療・手術支援機器の現在と今後の展望. 耳鼻臨床 105 : 1-5, 2012.

10) Tateya I, Ishikawa S, Morita S, et al : Magnifying endoscopy with narrow band imaging to determine

the extent of resection in transoral robotic surgery of oropharyngeal cancer. Case Rep Otolaryngol Volume 2014, Article ID 604737.

11) 清水 顕, 伊藤博之, 船戸宣利, 他 : 経口腔ロボット支援手術を行った中咽頭癌2症例. 頭頸部外科 22 : 297-302, 2013.

12) 藤原和典, 福原隆宏, 北野博也 : 頭頸部外科領域でのロボット手術—TORSを中心として—. 日耳鼻 117 : 889-892, 2014.

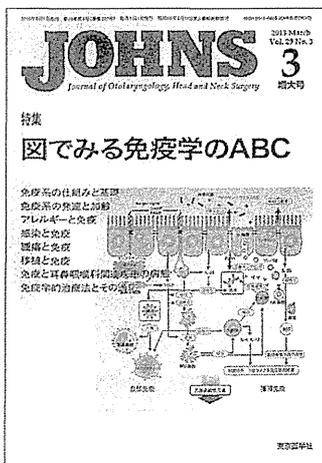
\* \* \*

耳鼻咽喉科・頭頸部外科の臨床医のための専門誌 **JOHNS** 29巻3号増大号

**特集 図でみる免疫学のABC**

B5判 384頁  
定価(本体5,000円+税)  
配送料180円

耳鼻咽喉・頭頸部の診療に携わる臨床医必携!!



**特集項目**

序—免疫学を学ぼう  
 免疫系の仕組みと基礎：免疫とは/自然免疫/獲得免疫/免疫担当細胞とその分化/リンパ球の働き/抗体についての基礎知識/免疫寛容/サイトカインとケモカイン/細胞表面機能分子・CD分類/粘膜免疫と皮膚免疫/接着分子/細胞増殖因子/細胞内シグナル伝達経路/免疫における扁桃の役割/免疫・アレルギー疾患とゲノム解析  
 免疫系の発達と加齢：免疫系の系統発生/免疫系の発達/免疫系の加齢による変化  
 アレルギーと免疫：アレルギーとは/アレルギーの分類/アレルゲン/ Th1/Th2 パラダイム/肥満細胞, 好塩基球の機能と役割/好酸球の機能と役割/IgE抗体産生/化学伝達物質とアレルギー反応/上皮細胞とアレルギー/アナフィラキシー  
 感染と免疫：局所感染に対する生体防御機構/ウイルス感染に対する生体防御機構/細菌・真菌感染に対する生体防御機構/寄生虫感染に対する生体防御機構/感染とワクチン  
 腫瘍と免疫：腫瘍関連抗原/腫瘍に対する免疫応答/腫瘍に関する免疫療法, モノクローナル抗体療法  
 移植と免疫：血液型と輸血反応/組織適合抗原/造血幹細胞移植と免疫抑制療法  
 免疫と耳鼻咽喉科関連疾患の病態：気管支喘息/アスピリン喘息/アレルギー性鼻炎/好酸球性副鼻腔炎/好酸球性中耳炎/アレルギー性真菌性副鼻腔炎/口腔アレルギー症候群/薬剤アレルギー/ ANCA関連血管炎症候群/シェーグレン症候群/パーチェット病/IgG4関連疾患/川崎病/IgA腎症/バセドウ病, 橋本病/再発性多発性軟骨炎/天疱瘡, 類天疱瘡/先天性免疫不全症候群/後天性免疫不全症候群/自己免疫性難聴/木村病/サルコイドーシス  
 免疫学的治療法とその適応：副腎皮質ステロイド/免疫抑制薬/生物学的製剤/免疫療法

東京医学社 〒101-0061 東京都千代田区神田神保町2-20-13 Yesコーラルビル TEL 03-3265-3551 FAX 03-3265-2750

**総 説**

藤原 和典  
福原 隆宏  
北野 博也

鳥取大学医学部  
感覚運動医学講座  
耳鼻咽喉科頭頸部外科学分野

日耳鼻 117: 887-892, 2014

「第114回日本耳鼻咽喉科学会総会シンポジウム」  
頭頸部外科領域でのロボット手術  
—TORSを中心として—

早期の咽喉頭癌に対して、化学放射線治療に代わる治療として、ロボット支援下経口的咽喉頭癌切除術 (TORS: Transoral Robotic Surgery) が海外において普及しており、良好な成績や機能温存が報告されている。しかし、残念ながら、本手術は本邦では薬事未承認である。現在、早期の薬事承認を目指し、鳥取大学、東京医科大学および京都大学による多施設共同臨床研究の準備を進めている。

キーワード: TORS, 頭頸部癌, ダヴィンチ

### 緒 言

頭頸部領域でのロボット手術は、諸外国では咽喉頭の悪性、良性腫瘍症例および甲状腺腫瘍に対して行われているが、本邦では現在まだ未承認である。当科は、海外との共同研究をはじめとして、ロボット手術の導入および手術手技の開発に取り組んできた。また、多施設共同研究のため研究会を発足し、当大学と東京医科大学と京都大学の3大学にて、適応外申請のため臨床研究を開始する予定となっている。今後、頭頸部領域でも近い将来ロボット支援手術が本格化できるものと考えており、それに先立ち本稿では、当院での経験も含め、耳鼻咽喉科領域におけるロボット支援手術の現状について概説する。

### ダヴィンチ手術の変遷

医療用ロボットは、戦場や到達不可能な場所における遠隔手術を行うことを目的として米国政府の強力な援助のもとに開発されてきた。このように操作者がマスタマニピュレータに操作入力を加え、その情報に従い、スレイブマニピュレータの運動が制御されるものをマスタースレイブマニピュレーターシステムと呼ぶが、1990年代より、本システムに基づくさまざまな手術ロボットが開発された。しかし、サイズなどの問題があり、なかなか実用化にはつながらなかった。その後、1998年 ZEUS® System (Computer Motion Inc., Goleta, CA, USA)<sup>1)</sup>、および、1999年 da Vinci® Surgical System (Intuitive Sur-

gical Inc.)<sup>2)</sup>が開発され、市販された。双方とも心臓外科を対象として開始されたが、2000年に da Vinci が FDA (アメリカ食品医薬品局) により承認された後、一般消化器外科、泌尿器科、および産婦人科などへ対象を広げていった。2006年 da Vinci の後継機種である da Vinci S が開発され、従来の機種と比較し、視認性や操作性が改良されたため、頭頸部手術にも応用可能となった。これにともない、海外では頭頸部領域において、甲状腺手術<sup>4)5)6)</sup>、中咽頭癌、下咽頭癌、声門上癌に対する経口的手術<sup>7)8)9)</sup>、頭蓋底手術<sup>10)11)</sup> に応用されている。一方、本邦では da Vinci S は2009年に泌尿器科、婦人科、胸腹部外科領域に薬事申請が認められ、手術支援ロボットによる手術が可能となった。しかし、保険収載されておらず、また、限られた施設での稼働であったため、普及に遅れをとっていた。2012年に本邦で前立腺全摘術が保険収載され、泌尿器科を中心に急速な普及をみせるものと期待される。なお、頭頸部外科領域では、米国において2009年 FDA より認可され、その後急速に普及をみせているが、本邦では薬事も未承認である。

### ダヴィンチサージカルシステムの特徴

ダヴィンチサージカルシステムは、サーजनコンソールとペーシェントカートとヴィジョンカートの3つの装置より構成されている。術者はコンソールのビューポートをのぞき込み、3D 画像を見ながら、2本のマスターコントローラーを操作し手術を行う。この情報がほぼ

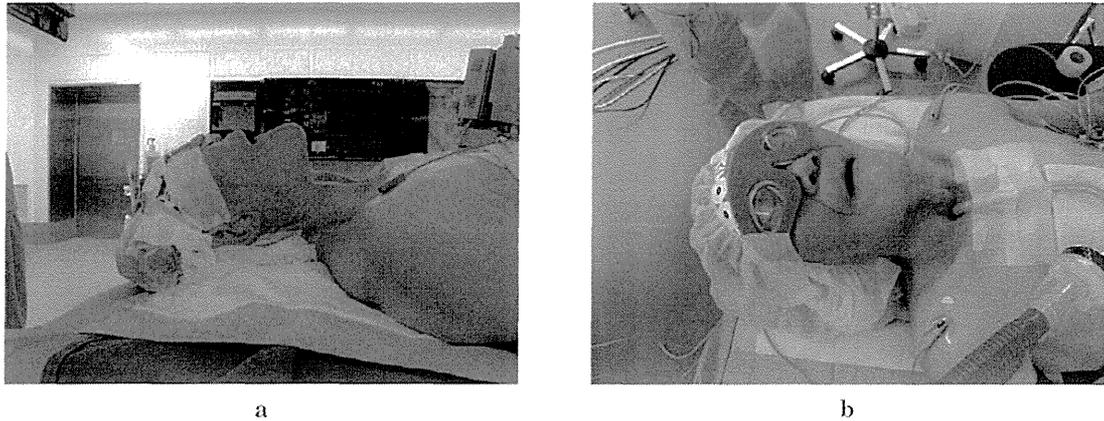


図1 術中体位

a : アイパッチを装着し、眼球損傷を予防している。

b : 頸の下にクッションを挿入し、頸部を軽く伸展する。枕は円座を使用している。

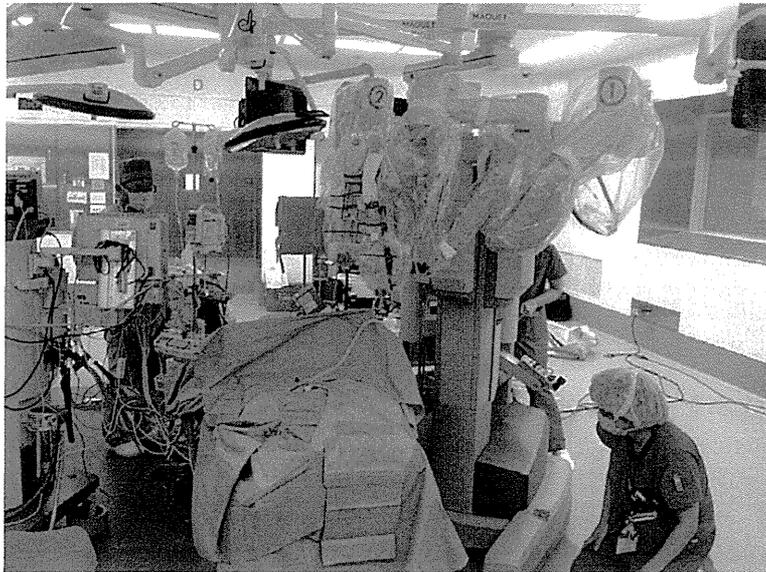


図2 ダヴィンチロールイン

ペーシェントカート患者の右下より約30度の角度で腋下方向に向かってロールインさせる。

遅延なくペーシェントカートの鉗子に送られ、手術操作が再生される。

鉗子には EndoWrist 技術が搭載され、7軸の作業角度を利用でき、540度の回転が可能となった。そのため、狭い手術腔で今まで手の届かなかった部位への操作が可能となった。なお、鉗子はさまざまな種類が販売されており、それぞれの用途に応じて選択することができる。また、鉗子にはモノポーラおよびバイポーラの機能も兼ね備えており、ダヴィンチ Si ではコンソール内のフットペダルを使用し、モノポーラとバイポーラを併用することが可能である。なお、海外では TORS 用に 5mm の

鉗子が市販されているが、本邦では頭頸部領域は薬事未承認で使用できないため、従来の 8mm の鉗子を使用している。将来的に、適応拡大となれば、5mm の鉗子を使用し、より手術操作が容易となることが想定される。

鉗子の操作においては、術者の手の動きと鉗子の動きを 2 : 1, 3 : 1, 5 : 1 に調整する scaling 機能と手ぶれを補正する filtering 機能が搭載され、剥離、縫合、止血などの操作が容易となった。

内視鏡は、外径 12mm の硬性内視鏡であり、0度と 30度が選択できる。内視鏡の画像を 3CCD カメラに接続させ、ビジョンカートに搭載されている情報処理シ

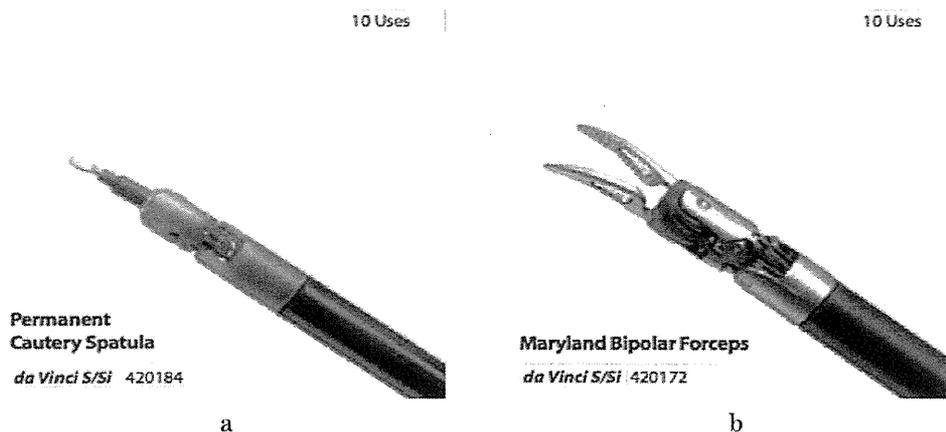


図3 鉗子

a : スパチュラ (5mm)      b : メリーランド (5mm)

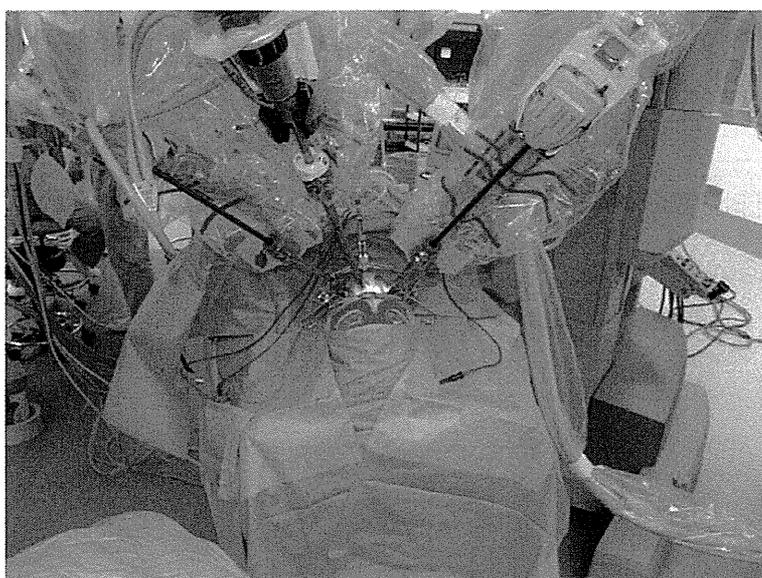


図4 ダヴィンチドッキング

経口的に内視鏡と2本の鉗子を挿入する。  
(正中：内視鏡，患側：スパチュラ，健側：メリーランド)

ステムによりコンソールヘリアルタイムに拡大した3D画像を配信する。本画像を見るために術者は特殊な眼鏡は必要としない。術者はよりリアルで詳細な画像を見ながら手術を行うため、安全かつ微細な操作が可能となった。

そのため平面画像を見ながら手術を行っていた内視鏡手術と比較し、手術を習熟しやすくなるものと考えられる。

しかし問題は把持感覚がないことであり、視覚で補わなければならない。

#### 海外での TORS の現状

近年、早期の咽喉頭癌に対して、機能温存の観点から化学放射線治療が広く行われるようになった。しかし、嚥下機能の低下や唾液分泌の低下が永続し、胃瘻を必要とする症例が報告されている。そのため低侵襲で機能温存が可能な内視鏡を用いた経口的な腫瘍切除術の有用性が検討されてきた<sup>19)</sup>。しかし、この方法では視野の確保や狭い操作腔での操作など、困難な点が存在することが問題とされていた。

上記を克服する方法として、2005年 O'Mally と Weinstein が transoral surgery に本システムを導入し、手術支援ロボット支援下経口的手術 (TORS: Transoral Ro-

botic Surgery)を開発し、中咽頭癌、下咽頭癌、声門上癌に対して、手術を開始した。また、韓国のYonsei Universityを中心に甲状腺内視鏡手術にDaVinci S Surgical Systemを導入し、良性腫瘍およびstage Iの乳頭癌に対して多くの手術を施行し、ともに良好な成績が報告されている。米国では、2009年12月に頭頸部悪性腫瘍(stage I-II)および良性腫瘍に対して、FDAの認可が下り、頭頸部領域においてはtransoral surgeryと甲状腺手術において普及をみせている。それに伴い、文献による報告も急速に増加しており、T1、T2の中咽頭癌症例を中心とした報告では、1年全生存率95.7%<sup>13)</sup>、18カ月局所制御率91%<sup>14)</sup>、1年無病生存率96%<sup>15)</sup>、2年全生存率86.5%<sup>16)</sup>などと良好な成績が報告され、これら早期中咽頭癌に対するTORS症例500例のレビューでは、2年生存率は約90%と非常に良好であった<sup>17)</sup>。

#### 本邦でのTORSの現状

先にも述べたとおり、本邦では、頭頸部領域におけるロボット手術は、薬事未承認である。また、da Vinciを使用するためには、da Vinciのシステムを学ぶための講習を受けIntuitive Surgical社よりcertificationを取得する必要があるが、頭頸部領域は適応症例でないため、現在講習を受講することはできない。

そこで、われわれは、適応拡大を目指し、平成23年に日本頭頸部手術支援ロボット研究会を立ち上げ、現在までに4回の研究会を開催してきた。また、それぞれの施設での認可基準をクリアし、院内での支援体制が整っている東京医科大学と鳥取大学において、数例のTORSが実施され、報告されている<sup>14)</sup>。

こうした流れの中、既にIntuitive Surgical社の指定するconsole surgeonのcertificationを取得し、実施体制の整っている鳥取大学、東京医科大学、京都大学の3大学で、先進医療B制度下において多施設共同臨床研究開始の準備を進めており、症例数を限定して開始する予定である。この際、京都大学病院臨床研究総合センターにおいて、データマネージメントやモニタリングなどの支援を行う。早期に本研究を終了し、適応拡大を目指したいと考えている。

#### TORSの実際

##### 適応

以下の条件を満たすものとしている。

- ・中咽頭癌、下咽頭癌、声門上癌
- ・T2(腫瘍径が4cm以下)までの腫瘍
- ・周囲臓器への浸潤が認められない腫瘍
- ・開口障害がない



図5 右中咽頭癌(側壁型)切除1カ月後の口腔所見  
切除部位は瘢痕形成し治癒している。

##### ●セッティング

手術操作腔をできるだけ確保するため、麻酔導入では経鼻挿管により気道確保を行う。プラスチック製のアイパッチ等を貼付し、マウスピースを装着し、ロボットアームによる損傷の予防に努める。口蓋扁桃摘出術と同様にリヒカーを固定した後、開口器を口腔内より挿入し、手術操作腔を確保する。開口器は、Crow-Devis、Dingmann、およびFKWOリトラクターがあるが、病変の局在により選択する。次に、舌に2本の絹糸をかけ牽引し、病変をより露出させる。

##### ●体位

扁桃摘出術とおおむね同様の体位をとる。頸の下にクッションを挿入し、軽く頸部を伸展させる。なお、頸部を伸展しすぎると、ダヴィンチの内視鏡および鉗子の挿入角度が浅くなるため注意が必要である(図1)。

##### ●ダヴィンチドッキング

ダヴィンチのペーシェントカートを患者の右下より約30度の角度で腋下方向に向かってロールインさせる(図2)。口腔より内視鏡と2本の鉗子を挿入する。内視鏡は、中咽頭癌の場合は、0度を使用し手術を開始し、舌根部の操作を行う際に30度の内視鏡に変更する機会が多い。鉗子は、患側にスパチュラ、健側にメリーランドを使用する。スパチュラはモノポーラとして使用し、組織の剥離および切除を行う。メリーランドは主に組織を牽引するために用いるが、バイポーラとしても使用することが可能である(図3)。

##### ●手術手順

腫瘍浸潤範囲をマーキングし、切除ラインを決定する。浸潤癌の周囲にある表在癌を見落とさないため、喉頭ファイバースコープNBI画像とルゴール染色をともに用いて行っている。切除ラインは5~10mmの安全域を確保するように設定し、ピオクタニンでマーキングした後、腫瘍の切除を行う。癌の局在により、解剖学的特徴

は異なるため、本項では各部位での手術手順を割愛する。

腫瘍摘出後の創部は原則開放創とし、縫合もしくは皮弁による再建は行わない。しかし、創部と内頸動脈までの距離が近接している場合には、頬脂肪体などを用いて被覆する場合もある。

腫瘍切除の際に、舌動脈の枝など太めの血管を認めた場合には、手術用クリップを使用し、血管を結紮する。それ以外の止血は、ダヴィンチのバイポーラか助手のバイポーラにて止血する。術創を洗浄し、止血を確認した後、ダヴィンチの内視鏡と鉗子を口腔より外し、ペーシエントカートをロールアウトし、手術を終了する。

#### ●術者、助手、看護師の役割

術者は、コンソールでマスターコントローラーによって操作を行う。助手は患者の頭元に座り直視にて吸引や組織の把持などの介助を行う。また、ダヴィンチでは止血困難な出血が生じた場合には、リガクリップなどの適切な止血デバイスを用いて止血を行う。直接介助の看護師は、助手の左側より器具出しを行い、助手とともにロボットアーム同士の干渉がないか、また、鉗子や内視鏡が歯牙や口唇に損傷を起こさないか注視し、適宜対応する。

#### ●術後経過

経鼻胃管を挿入し、術後より経管栄養を行う。術後1～2日に嚥下造影検査を施行し、問題なければ経口摂取を開始している。出血および疼痛がないこと、および通常食の摂取が可能となることを確認し、術後1週間で退院としている。なお、当科で施行した症例では、術後の合併症はなく、疼痛も自製内であった。創部は1カ月程度で、瘢痕形成し治癒している(図5)。

#### 耳鼻咽喉科領域のダヴィンチ手術における今後の展望

頭頸部外科領域でのダヴィンチの応用は諸外国でもようやく本格化したばかりであるが米国では経口的咽喉頭腫瘍切除術が、韓国では甲状腺切除術が急速に症例数を伸ばしている。本邦では国が積極的に医療技術の開発を支援していないので、困難な点も多いのが現状ではあるが、本術式の有用性を考えると一日も早く頭頸部領域への適応拡大に向けて、進んでいきたいと考えている。また、経口的手術は他領域とは解剖学的にも異なる独特な領域であり、日本の科学技術を利用し、経口的手術に適したロボットや手術手技の開発を積極的に行っていくべきであると考えている。

#### 文 献

- 1) Falk V, Diegeler A, Walther T, et al: Total endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; 17: 38-45.
- 2) Cadiere GB, Himpens J, Gernay O, et al: Feasibility of robotic laparoscopic surgery: 146 cases. *World J Surg* 2001; 25: 1467-1477.
- 3) Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, et al: Use of the voice-controlled and computer assisted surgical system ZEUS of endoscopic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 11-16.
- 4) Kang SW, Lee SC, Lee SH, et al: Robotic thyroid surgery using a gasless, transaxillary approach and the da Vinci System: The operative outcomes of 338 consecutive patients. *Surgery* 2009; 146: 1048-1055.
- 5) Lewis CM, Chung WY, Holsinger FC: Feasibility and surgical approach of transaxillary robotic thyroidectomy without CO<sub>2</sub> insufflation. *Head Neck* 2010; 32: 121-126.
- 6) Tae K, Ji YB, Jeong JH, et al: Robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast or axillary approach: Our early experiences. *Surg Endosc* 2011; 25: 221-228.
- 7) Weinstein GS, O'Malley BW, Desai SC, et al: Transoral robotic surgery: does the ends justify the means? *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2009; 17: 126-131.
- 8) Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, et al: Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007; 133: 1220-1226.
- 9) Weinstein GS, O'Malley BW, Hockstein NG: Transoral robotic surgery: Supraglottic laryngectomy in a canine model. *Laryngoscope* 2005; 115: 1315-1319.
- 10) O'Malley BW, Weinstein G: Robotic anterior and midline skull base surgery: Preclinical investigations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007; 69: S125-128.
- 11) Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, et al: Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007; 133: 1209-1214.
- 12) Steiner W: Experience in endoscopic laser surgery of malignant tumors of the upper aero-digestive tract. *Adv Otorhinolaryngol* 1988; 39: 135-144.
- 13) Cohen MA, Weinstein GS, O'Malley BW Jr, et al: Transoral robotic surgery and human papillomavirus status: Oncologic results. *Head Neck* 2011; 33: 573-580.
- 14) Genden EM, Kotz T, Tong CC, et al: Transoral robotic resection and reconstruction for head and neck cancer. *Laryngoscope* 2011; 121: 1668-1674.
- 15) Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Cohen MA, et al: Tran-

- soral robotic surgery for advanced oropharyngeal carcinoma. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2010; 136: 1079-1085.
- 16) White HN, Moore EJ, Rosenthal EL, et al: Transoral robotic-assisted surgery for head and neck squamous cell carcinoma: one- and 2-year survival analysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2010; 136: 1248-1252.
- 17) Dowthwaite SA, Franklin JH, Palma DA, et al: The role of transoral robotic surgery in the management of oropharyngeal cancer: A review of the literature. *ISRN Oncology* 2012; 945162.
- 18) 清水 顕, 伊藤博之, 船戸宣利, 他: 経口腔ロボット支援手術を行った中咽頭癌2症例. *頭頸部外科* 2013; 22: 297-302.
- 
- 連絡先 〒683-8504 米子市西町36-1  
鳥取大学医学部感覚運動医学講座  
耳鼻咽喉科頭頸部外科学分野 藤原和典

## 頭頸部外科におけるロボット支援手術の現状

鳥取大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野

藤原 和典 福原 隆宏 北野 博也

### *Robotic surgery for head and neck surgery in Japan*

Department of Otolaryngology, Head and Neck Surgery, Faculty of Medicine Tottori University

Kazunori Fujiwara, Takahiro Fukuhara and Hiroya Kitano

頭頸部領域におけるロボット支援手術は、ロボット支援下経口的咽頭頭癌とロボット支援下甲状腺切除術があげられ、海外では徐々に普及し、良好な成績が報告されている。しかし、本邦においては、薬事は未承認の状態である。そこで現在、鳥取大学、東京医科大学、京都大学の3施設が共同して、先進医療Bのもとでロボット支援下経口的咽頭頭癌切除術に対する臨床研究の準備を行っており、最終的には、薬事申請を行い、頭頸部癌での適応拡大を目指している。ロボット支援下経口的咽頭頭癌切除術とロボット支援下甲状腺癌切除術では術後の嚥下機能などの機能温存が可能である点や外切開をさけられる点などの利点があり、薬事承認後は、本邦でも積極的に導入される手術であると考えられる。

**Key words:** ダヴィンチ (da Vinci), ロボット支援下経口的咽頭頭癌切除術 (trans oral robotic surgery [TORS]), ロボット支援下甲状腺切除術 (robot assisted thyroidectomy)

#### ロボット手術の変遷と本邦への導入の経緯

内視鏡外科手術は1990年頃より本邦でも積極的に行われるようになった。また、米国では、1990年代後半からコンピューターを用いた遠隔操作可能な総合的ロボット技術への発展が注目されてきた。その代表的なものが手術支援ロボットda Vinci (Intuitive Surgical Inc.) である。内視鏡手術が積極的に行われていた領域を中心に徐々に導入が進み、前立腺や子宮に対する手術他、冠動脈バイパス手術や腎移植など多くの手術に使用されるようになった。本邦ではda Vinciの後継機種であるda Vinci Sが2009年に認可され、同時に泌尿器科、産婦人科、胸部外科、消化器外科領

域での適応症が決定された。しかし、まだ限られた施設のみでの稼働にとどまり、世界から遅れをとっている状態である。なお、前立腺手術は2012年に保険収載され、今後さらなる普及がみられると考えられる。

頭頸部領域では、2006年da Vinci Sの登場により、従来機に比べ視認性や操作性が改善され、海外では、甲状腺手術[1~3]、中咽頭癌、下咽頭癌、声門上癌に対する経口的手術[4, 5]、頭蓋底手術[6, 7]などに応用されている。米国では2009年にFDAでの認可後、さらなる普及をみせ、有用性や安全性が報告されている[8]。一方、本邦においては、保険収載どころか薬事も未承認の状態である。

さらに、da Vinci Sを使用するには講習を受けcertificationを取得する必要があるが、頭頸部領域は、薬事未承認であるため、現在はcertificationの取得が認められていない。

現在、ロボット支援手術を施行する体制が整い、海外でcertificationを取得している鳥取大学、東京医科大学、京都大学の3施設が共同して、先進医療Bのもとでロボット支援下経口的咽頭頭癌切除術に対する臨床研究の準備を行

別冊請求先: 〒683-8504 鳥取県米子市西町36-1

鳥取大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野  
藤原和典

E-mail address: kfujiwa@med.tottori-u.ac.jp

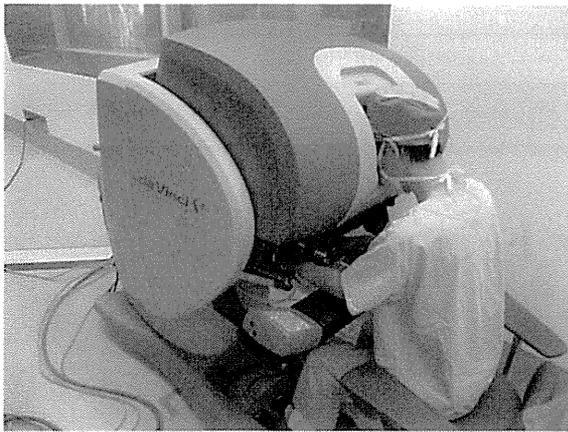


図1. 術者はコンソールで操作を行う。

っているところである。その際、京都大学病院臨床研究総合センターでデータ管理や解析などのマネジメントを行う予定である。最終的には、薬事申請を行い、頭頸部癌での適応拡大を目指している。そのあかつきには、国内で da Vinci Surgical System に対する certification 取得が可能となり、その他の施設でもロボット支援手術を行うことができると思われる。

#### ロボット支援下経口的咽喉頭癌切除術

経口的手術は、喉頭および中・下咽頭の悪性腫瘍に対する直達鏡下の腫瘍切除として始まり、1970年代頃より様々な工夫を用いて、根治切除へのツールとして改変する試みがなされてきた。近年、臓器温存の目的から、化学放射線療法が行われるようになったが、永続的な嚥下機能障害や口渇・味覚障害などの晩期障害など様々な合併症が問題となり、低侵襲で機能温存が可能な内視鏡を用いた経口的な腫瘍切除が開発され有用性が報告されている[9]。当科でも、以前よりリンパ節転移のないSTAGE I, IIの咽頭癌に対して、内視鏡下に経口的咽頭癌切除術を行っていた。しかしこの方法では、視野の確保や狭い操作腔での操作など、困難な点が存在する。

Weinsteinらは、これらの欠点を克服するため、da Vinciを導入した。これにより3D画像を見ながら、操作性の良い鉗子を用いて手術を行うことができるため、狭い操作腔でかつ複雑な解剖を有した咽頭の手術を安全でかつ確実に手術することができ、術者のストレスを軽減することも可能となった。FDA認可以来、現在に至るまで、世界中に広く普及し、有効性及安全性が報告されており、T1, T2の中咽頭癌に対するTORS症例のメタ解析によると、2年生存率は約90%と良好であったと報告されている[8]。

先にも述べた通り、現在鳥取大学、東京医科大学、京都大学の3施設が共同して、先進医療BのもとでTORSの臨床研究の準備を行っているところである。エンドポイント

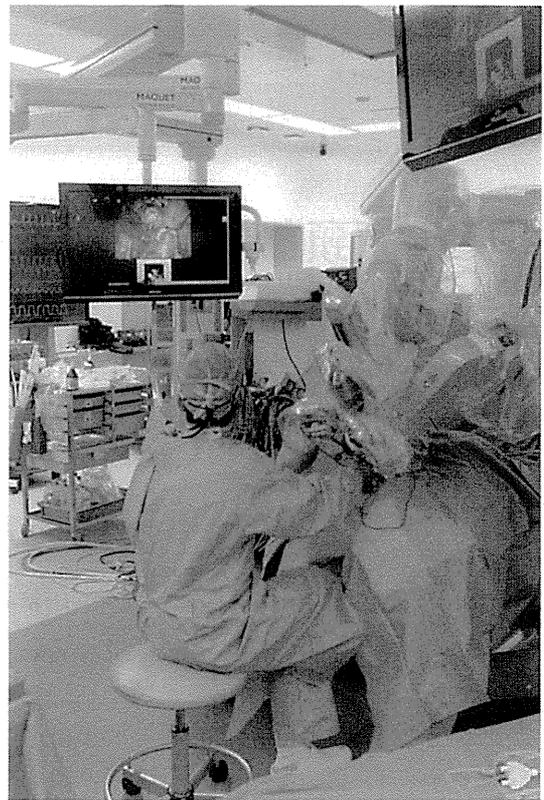


図2. 助手は患者の頭元で、吸引や牽引などの処置を行う。

としては、断端陽性率としている。また、臨床研究の対象としては、腫瘍学的に以下の条件を考えている。

1. 中咽頭癌、下咽頭癌、または喉頭癌の単発性の癌
2. 組織学的に扁平上皮癌と診断されている。
3. T分類がTis, T1, T2
4. N分類がN0, または登録の10日以上前に実施された頸部リンパ節郭清において、節外浸潤がない。
5. M分類がM0
6. 原発巣の可動性が良好で周囲組織との癒着を認めない。

また、開口障害などの経口的手術が困難と考えられる症例や同時性の重複癌および同重部位に発生した異時性癌は除外することとしている。さらに、手術の際も出血量や機器の不具合など厳格な中止基準を設けている。

実際の手術は以下のような手順で行う。手術は仰臥位で施行され、気管内挿管による全身麻酔導入の後、開口器を挿入して術野を展開する。ペイシェントカート患者の右下30度からロールインし、内視鏡と鉗子を経口的に挿入してドッキングを行う。術者はサージョンコンソールで、マスターコントローラーを使用し、腫瘍を切除・摘出する(図1)。助手は患者の頭側から経口的に手術器具を挿入し、吸引などの手術操作の補助を行う(図2)。腫瘍摘出後に入念な止血操作を行い、手術を終了する。



図3. 切除部位は、瘢痕形成し治癒している。



図4. ポート挿入位置  
前胸部、乳輪および腋窩に切開を行い、前胸部から頸部にかけて皮下を剝離した。

術後は、創部の状態にもよるが、経鼻胃管を挿入し経管栄養を行う。術後1～2日に嚥下造影検査を行い確認した後、経口摂取を開始し、1週間程度で退院としている。当科で施行した症例では、術後の合併症はなく、嚥下機能も良好であった。切除部位は開放創のまま終了しているが、1カ月程度で瘢痕形成し治癒している(図3)。

#### ロボット支援下甲状腺手術

頸部に対する内視鏡外科手術は、1996年Gagnerが腹腔鏡を利用し、上皮小体を摘出したことから始まり、その後甲状腺手術に内視鏡下手術が応用された[10]。本邦でも完全内視鏡下甲状腺手術(TVANS)や内視鏡補助下甲状腺手術(VANS)がいくつかの施設で施行されている。当科では、北野らが開発した吊り上げ法による前胸部アプローチでの内視鏡下甲状腺手術を行っているが[11, 12]、その他、腋下・乳輪アプローチ(AAE-ETS)法や腋下法などが報告されている。

しかし、内視鏡下甲状腺手術は、手術操作腔の確保、内視鏡鉗子の自由度の不十分さ、さらに周囲に反回神経や頸動静脈が存在することなどの点により、手技的に熟練が必要であり、一般的に普及はしていない。

現在、甲状腺内視鏡手術の技術を応用し、ロボット支援下甲状腺切除術が開発され、特に韓国で発展をみせている。ロボット手術のメリットである高解像度拡大3D画像、自由度の高い鉗子、手ぶれ防止機能および狭い入り口から繊細な手術を行うことができる点などにより、甲状腺内視鏡手術での問題点を克服し、新たな発展をみせている。本邦ではda Vinci Sに附属している超音波駆動凝固切開装置の使用が認められていない点、甲状腺手術を行う際には問題であるが、この点を考慮しても、da Vinci Sを用いた甲状腺手術は有用であると考えられる。ロボット支援下甲状腺切除術のアプローチとしては、現在Axilla-breast, transaxillaryおよびretroauricularのアプローチ法が報告されている。いずれの方法も整容性に優れ、良好な成績が報

告されている。

先にも述べた通り、本邦の頭頸部領域におけるロボット支援手術は、薬事未承認の状態であり、ロボット支援下甲状腺切除術も東京医大、金沢医大など、一部の施設で施行されているのみである[13]。

適応としては以下の通りである。

- ① T1-2の甲状腺癌と良性腫瘍
- ② N0またはN1a
- ③ BMI<30
- ④ 出血傾向なく、頸部や腋窩の手術歴がない。
- ⑤ 上肢緊張テストが正常
- ⑥ インフォームド・コンセントが適切になされ、外切開へのコンバートへの可能性について了解している。

手術操作腔を確保しやすくするため、肥満傾向の患者は適応外とされている。

経腋下法の手術方法については、次項を参照されたい。

当科は、Chinese University of Hong Kongと共同で、前胸部アプローチにて甲状腺葉切除を行った。実際の手術方法は以下の通りである。

手術は仰臥位で行い肩枕は挿入しない。また、アームが干渉しないように前胸部、乳輪および腋窩にも切開を行う(図4)。皮下を剝離した後、つり上げ器を用いて、頸部皮下を挙上し、手術操作腔を確保する。頸部皮下を剝離する際、胸鎖乳突筋、内頸静脈前頸筋が、解剖学的指標となる。これらの筋肉を周囲に牽引し、甲状腺を露出させる。ペーシェントカートは頭側より尾側に向けてドッキングする。切開した孔より、da Vinci Sの内視鏡1本と2本の鉗子を挿入し、甲状腺の周囲を剝離し、反回神経に注意しながら、腫瘍を摘出する。術者は、コンソールでマスターコントローラーを使用し手術操作を行う。手術助手は患側のベッドサイドで吸引操作やガーゼの交換などを行うことに加え、ダヴィンチの内視鏡およびアームの交換および調整

を行いながら、アーム同士が干渉しないか、患者に損傷を起こさない注視する。具体的な手術手順は前胸部アプローチによる内視鏡下甲状腺摘出と同様であるが、印象としては鉗子先端が自由に動き、立体視ができたので腹腔鏡を用いた手術と比べ格段に容易であった[11]。本症例では、術中・術後の合併症も認めなかった。

ロボット支援下甲状腺手術もTORSと同様に、海外特に韓国に大きく遅れをとっているが、今後は、前項で述べたTORSの臨床研究に追随して、薬事承認にむけて歩み出していくものと期待される。

## 今 後

現在、da Vinci Sから、後継機種であるda Vinci Siが多くの施設で導入されている。ダブルコンソール機能が追加されただけでなく、ナビゲーション画像とのコラボレーション機能により、繊細かつ安全な手術が可能となっている。また、単孔式の手術支援ロボットも海外では臨床応用が開始されているようである。さらに、研究段階ではあるが、高感度圧力センサーを使い、触覚を術者の手にフィードバックする技術なども開発されている。これらの科学技術を積極的に取り入れ、ロボット支援手術もさらなる発展を遂げていくことは間違いない。頭頸部領域では、他領域に比べ狭い操作腔での手術操作を要するため、独自のロボットの開発が理想であると考えられる。

## 【文 献】

1. Kang SW, Lee SC, Lee KY, et al.: Robotic thyroid surgery using a gasless, trans axillary approach and the da Vinci System. The operative outcomes of 338 consecutive patients. *Surgery* 146: 1048-1055, 2009
2. Lewis CM, Chung WY, Holsinger C: Feasibility and surgical approach of transaxillary robotic thyroidectomy without CO2 insufflation. *Head Neck* 32: 121-126, 2010
3. Tae K, Ji YB, Jeong JH, et al.: Robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast or axillary approach: Our early experiences. *Surg Endosc* 25: 221-228, 2011
4. Weinstein GS, O'Malley BW, Desai SC, et al.: Transoral robotic surgery: does the ends justify the means? *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 17: 126-131, 2009
5. Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, et al.: Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 133: 1220-1226, 2007
6. O'Malley BW, Weinstein G: Robotic anterior and midline skull base surgery: Preclinical investigations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 69: 125-128, 2007
7. Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, et al.: Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 133: 1209-1214, 2007
8. Dowthwaite SA, Franklin JH, Palma DA, et al.: The role of transoral robotic surgery in the management of oropharyngeal cancer: a review of the literature. *ISRN Oncol* 945162, 1-14, 2012
9. Steiner W: Experience in endoscopic laser surgery of malignant tumors of the upper aero-digestive tract. *Adv Otorhinolaryngol* 39: 135-44, 1988
10. Gagner M: Endoscopic subtotal parathyroidectomy in patients with primary hyperthyroidism. *Br J Surg* 83: 875, 1996
11. Kitano H, Fujimura M, Kinoshita T, et al.: Endoscopic thyroid resection using cutaneous elevation in lieu of insufflation. *Surg Endosc* 16: 88-91, 2002
12. Shimizu K, Akira S, Tanaka S: Video-assisted neck surgery: Endoscopic resection of benign thyroid tumor aiming at scarless surgery on the neck. *J Surg Oncol* 69: 178-180, 1998
13. 伊藤博之, 清水 顕, 塚原清彰他: 頭頸部領域におけるda Vinci手術支援ロボットの臨床応用. *日気管食道会報* 64: 1-7, 2013

## ロボット支援手術の概要について

鳥取大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野

福原 隆宏 藤原 和典 北野 博也

### *Topic of robotic surgery in Japan*

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Tottori University Faculty of Medicine

Takahiro Fukuhara, Kazunori Fujiwara and Hiroya Kitano

低侵襲手術である内視鏡外科手術は、近年ロボット支援手術へと発展してきた。手術支援ロボット da Vinci (da Vinci surgical system, Intuitive Surgical Inc.) は、2000年にFDA (アメリカ食品医薬品局) により承認された。2006年に開発された後継機種 da Vinci S は、視認性や操作性などの点で格段に改良されたため、海外では甲状腺手術や頭頸部癌に対する経口的手術などにも使用されている。一方、本邦では2009年に泌尿器科、婦人科、胸腹部外科 (心臓外科を除く)、消化器外科領域に薬事申請が認められ、手術支援ロボットによる手術が可能となった。しかし保険に関しては、2012年に前立腺全摘術が保険収載されたのみであり、他の手術は依然として保険の適応がない。

**Key words:** 甲状腺 (thyroid), ロボット支援手術 (robotic surgery), da Vinci (da Vinci), 低侵襲外科 (minimally invasive surgery), 内視鏡手術 (endoscopic surgery)

#### 1. 手術支援ロボット da Vinci の導入の経緯と現状

1990年頃から始まった内視鏡外科手術への変革に伴い、内視鏡の画像技術とマニピュレーターを体内に持ち込む技術 (マスタースレイブマニピュレーターシステム) も大きく発展した。1990年代後半からは、米国においてロボットによる遠隔手術への発展が注目されてきた。

そして、1998年 ZEUS<sup>®</sup> System (Computer Motion Inc., Goleta, CA, USA) [1, 2], および、1999年 da Vinci<sup>®</sup> Surgical System (Intuitive Surgical Inc.) [3] が開発され、市販された。双方とも心臓外科を対象として開始されたが、

2000年に da Vinci が FDA (アメリカ食品医薬品局) により承認された後、積極的に内視鏡外科手術が行われていた消化器外科、泌尿器科、および産婦人科などへ対象を広げていった。代表的な手術としては前立腺や子宮に対する手術があり、その他、冠動脈バイパス手術 (CABG) [1] や腎移植 [2] など多くの低侵襲手術に使用されている。

2006年 da Vinci の後継機種である da Vinci S (da Vinci surgical system, Intuitive Surgical Inc.) が開発された。da Vinci S は Hi vision 対応で小型化し、4th arm が装備された。視認性や操作性などの点で改良されたため、頭頸部手術にも応用可能となった。海外では甲状腺手術 [4~6], 中咽頭癌, 下咽頭癌, 声門上癌に対する経口的手術 [7~9], 頭蓋底手術 [10, 11] などにも使用されている。一方、本邦では da Vinci S は 2009年に泌尿器科、婦人科、胸腹部外科 (心臓外科を除く)、消化器外科領域に薬事申請が認められ、手術支援ロボットによる手術が可能となった。しかし保険に関しては、2012年に前立腺全摘術が保険収載されたのみ

別冊請求先: 〒683-8503 鳥取県米子市西町86

鳥取大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野  
福原隆宏

E-mail address: tfukuhara3387@med.tottori-u.ac.jp

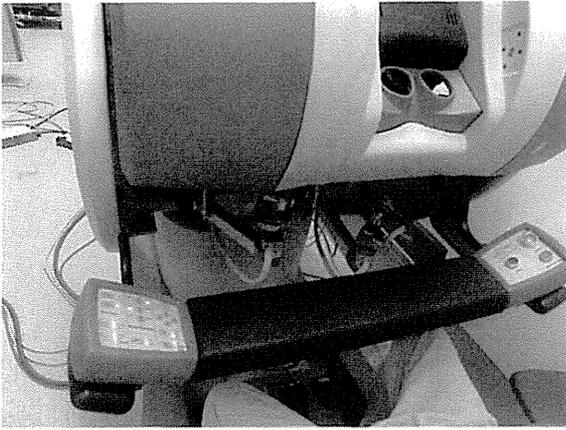


図1. サージョンコンソール  
術者は患者から離れて、非清潔区域で手術を行う。

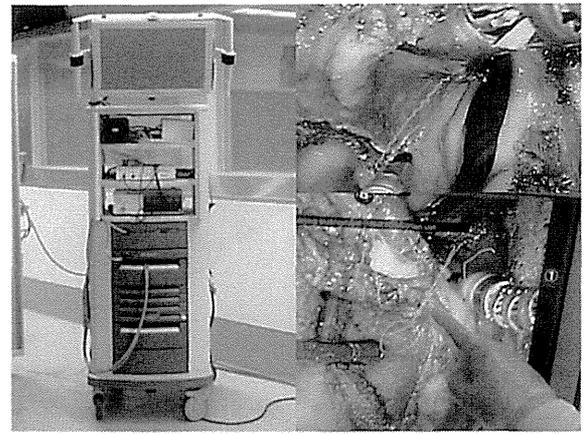


図3. ビジョンカート  
タッチスクリーンとなっている。

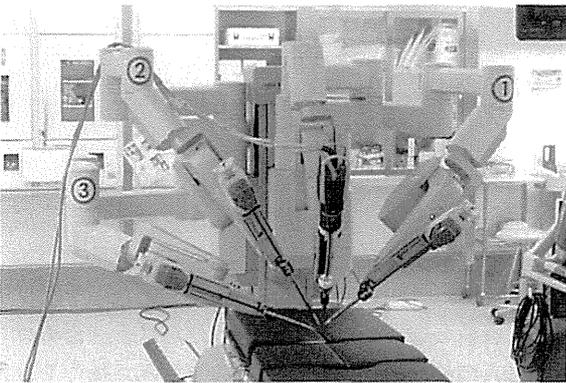


図2. ペーシェントカート  
4本のアームのうち、1本は内視鏡カメラが付く。残りの3本にインストゥルメントを装着する。

であり、他の手術は依然として保険の適応がない。なお、頭頸部外科領域では、米国において2009年にFDAより認可され、その後急速に普及をみせているが、本邦では薬事未承認である[12, 13]。

## 2. 手術支援ロボットda Vinci S, Siについて

da Vinciサージカルシステムは、サージョンコンソールとペーシェントカートとビジョンカートの3つの装置より構成されている。

### a. サージョンコンソール

術者は患者から離れたサージョンコンソールに座って、非清潔区域で手術を行う(図1)。ステレオビューワは双眼の内視鏡から取り込んだ画像を融合させ三次元画像を作り出す。術者はフルスクリーンモードの他、外部から読み込ませた画像を同時に見ることができる。術者は、マスターコントローラーに両手の母指と示指を挿入し、操作する。回転や開閉などの術者の手の動きは1,300分の1秒で追跡され、ほぼ遅延を感じることなくそのまま鉗子の動きとなる。コンソールにはヘッドセンサーがついており、術者の

頭が離れるとロボットの動きにロックがかかる。

### b. ペーシェントカート

ペーシェントカートは4本のアーム(3本のインストゥルメントアームと1本のカメラアーム)からなる(図2)。インストゥルメントアームは3本のうち、任意の2本を選んで操作でき、残る1本を補助、または非使用にできる。

### c. ビジョンカート

高解像度3次元ハイビジョンシステムが搭載されたトrolleyである(図3)。タッチスクリーンモニターとなっており、タッチセンサーによりテレステーション(画面への表示)ができる。

### d. 内視鏡

内視鏡カメラは外径12mmの硬性内視鏡で、0度と30度が選択でき、先端に二つのカメラが搭載され立体視が可能となる。手元の操作で、自由に拡大・縮小が可能であり、平面画像を見ながら手術操作を行う従来の内視鏡外科手術とは根本的に異なり、安全かつ微細な操作が可能となっている。

### e. インストゥルメント

鉗子にはEndo Wrist技術が搭載され、7軸の作業角度で540度回転するため、今まで手の届かなかった部位への操作が可能となった。更に、術者の手の動きと鉗子の動きを2:1, 3:1, 5:1に調整するscaling機能と手ぶれを補正するfiltering機能が搭載されている。シャフト径は従来8mmであったが、近年5mmの細径のものも販売されるようになった。各アームに自由にインストゥルメントを装着して使用する。現在承認がおりているインストゥルメントには、①ニードルドライバ、②グラスパ、③シザーズ、④モノポーラ、⑤バイポーラなどがある(図4)。超音波駆動メスは、まだ本邦では薬事未承認である。

これらの機能によって、誰でも簡単に高いレベルの手技の再現が可能となり、内視鏡手術の経験の浅い医師でも手術を習得しやすいと考えられる。

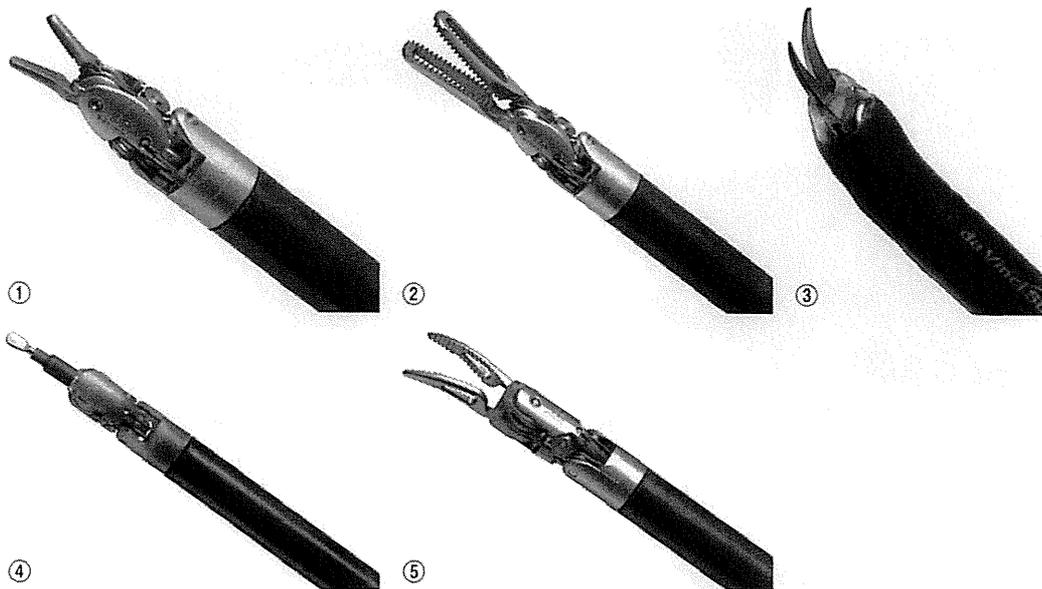


図4. インストゥルメント

①ニードルドライバ, ②グラスパ, ③シザーズ, ④モノポーラ, ⑤バイポーラ

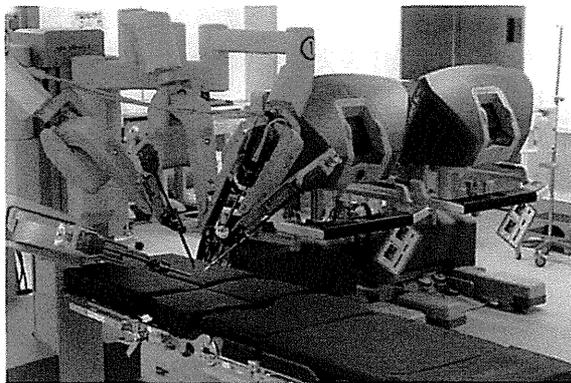


図5. da Vinci Si

2台のコンソールで同時に手術ができる。

#### f. 注意点

手術は、コンソールサージョンがインストゥルメントとカメラを操作し、オンサイトサージョンがロボット手術器具の交換と調整を担当する。しかし、ここで留意しておかなければならない点は、術者は内視鏡により良好な術野を得ているように思われるが、実は内視鏡の視野外は全く見えていないということである。このため、助手であるオンサイトサージョンが内視鏡やインストゥルメントアームがお互いに干渉しないか、また、アームが術野外で患者に損傷をおこさないか、常にベッドサイドで注意し対応することが重要である。

#### g. 後継機種da Vinci Siの特徴

da Vinci Sに比べ3D-HD visionがハイビジョンからフルハイビジョンに改善し、外部の画像（CTの3Dイメージやエコー画像など）がステレオビューワにリンクできる。術者の体に合わせてアームレストとフットスイッチパネル

を調整可能となり、術者によって設定を記憶してワンタッチで設定を再現することができるようになった。また、コンソールのフットペダルを使用し、モノポーラとバイポーラを併用することが可能となり、第4アームのクラッチ切り替えも容易となった。最も変わった点は、2台のコンソールで2人の外科医が同じ術野を共有でき、操作を分担できるところである(図5)。術者の指導・育成に生かされることが期待されている。

### 3. ライセンスの取得

da Vinci Sを使用するには、システムを学ぶためのトレーニングを受けcertificationを取得することが推奨される。トレーニングは、以下の4つのステップにより構成される。①オンライントレーニング；Intuitive Surgical社のオンライン教育システムをインターネットで受講する。②オンサイトトレーニング；da Vinciチームメンバーによって、実際の手術室で手術を想定した手順に従って役割を確認する。③オフサイトトレーニング；指定施設で2日間のトレーニングを行う。動物（ブタ）を使用し、機器の操作や手術手技を訓練する。④症例見学；領域別に臨床見学を行う。国内に認定された症例見学施設がない場合は、国外で手術見学しなければならない。

### 4. ロボット手術を安全に行うために

#### a. 低侵襲外科センターの設立

ロボット手術を安全に行う上で最も大切なことはチームワークをいかにして確立するかである。鳥取大学医学部附属病院では、各科共通の機器を用いるロボット手術を開始するにあたり、外科系の診療科が各診療科の壁を越えて意

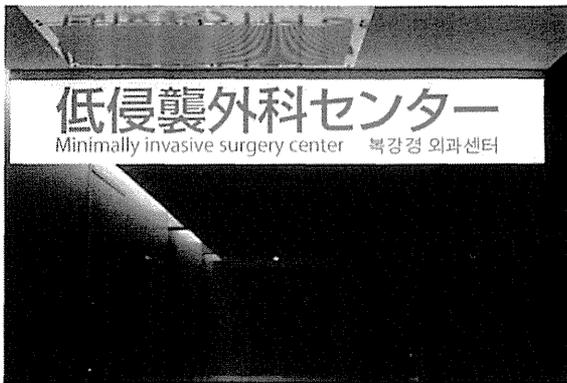


図 6. 鳥取大学医学部附属病院低侵襲外科センター



図 7. da Vinciのための手術室

100m<sup>2</sup>の広さがあり、窓が電動スクリーンになっている観察室がある。手術室内のモニターは、スイッチ1つで2Dと3Dを切り替えることができる。

見交換し技術向上に取り組むことを理念とし低侵襲外科センターを設立した(図6)[14]。同センターではロボット手術のトレーニングシステムの構築や、ロボット手術などの低侵襲手術に関する新たな手技や機器を開発することも目的としている。更に、センターでは、術者の認定、術式の認定、同センター担当者による手術中止要請について病院内規で定めている。具体的には、ロボット手術の術者の申請には、術者申請書を提出し、低侵襲外科センター運営委員会での審議を経て承認を得る必要がある。また術者認定と同様に、ロボット手術の新しい術式の申請には、da Vinci手術術式申請書を提出し、同様に低侵襲外科センター運営委員会の許可を得る必要がある。各手術には手術中止の条件が定められており、手術時間や出血量、機器のトラブルなどでロボット手術が継続不能となった場合は、その手術の中止要請責任者に指名されたセンター長に準ずる医師が中止要請を行うこととなっている。

#### b. 手術症例検討会

月に2回の手術検討会を行い、da Vinci手術の術後検討と術前検討、ならびに看護師や手術部ME技師など各分野のda Vinci手術の工夫などの発表が行われる[15]。da Vinci手術を予定する場合はこの検討会を経て、承認されることが必要となる。

#### c. 手術室

手術時にペーシェントカートをどの方向から挿入するかは、領域や術式によって大きく異なる。ペーシェントカートに合わせ、麻酔器の位置や機械台を動かす必要があるため、広い手術室が理想的である。更にda Vinci Siでは二つのサージョンコンソールを有するため、一般的な手術室では明らかに狭く、当院ではda Vinci用に設計された手術室が用意されている(図7)。

#### d. コスト

da Vinci購入費(保守料とリース料)以外に、消耗品を含めた維持費がかかる。このためロボット本体で億単位、年間のメンテナンス、消耗品も数千万円かかる。

手術にかかる費用はこれらの保守費・リース料の年額を症例数で割ったものに、1症例辺りの消耗品費を加えたものがda Vinci支援手術料金となる。更に先進医療承認がない場合は全額私費料金となり、入院料や手術・麻酔料、術前後の外来料金が加算される。

#### 5. 最後に

内分泌外科領域におけるロボット支援手術は、本邦ではまだ始まったばかりであるが、内視鏡外科手術の長い経験と卓越した技術力は必ずこの分野でも諸外国をリードすることになると確信している。また、国産のロボット手術支援機器の開発が強く望まれるところであるが、医療機器の開発には莫大な経費と国の規制が厳しいのが現状である。しかし、幾つかの企画が進んでおり、近い将来に国産の機種ができるものと考えている。

#### 【文 献】

1. Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, et al.: Use of the voice-controlled and computer assisted surgical system ZEUS of endoscopic coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg 118: 11-16, 1999
2. Cadriere GB, Himpens J, Germain O, et al.: Feasibility of robotic laparoscopic surgery: 146 cases. World J Surg 25: 1467-1477, 2001
3. Falk V, Diegeler A, Walther T, et al.: Total endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. Eur J Cardiothorac Surg 17: 38-45, 2000
4. Kang SW, Lee SC, Lee KY, et al.: Robotic thyroid surgery using a gasless, transaxillary approach and the da Vinci System: The operative outcomes of 338 consecutive patients. Surgery 146: 1048-1055, 2009
5. Lewis CM, Chung WY, Holsinger C: Feasibility and surgical approach of transaxillary robotic thyroidectomy with-

- out CO<sub>2</sub> insufflation. *Head Neck* 32: 121-126, 2010
6. Tae K, Ji YB, Lee SH, et al.: Robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast or axillary approach: Our early experiences. *Surg Endosc* 25: 221-228, 2011
  7. Weinstein GS, O'Malley BW, Desai SC, et al.: Transoral robotic surgery: does the ends justify the means? *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 17: 126-131, 2009
  8. Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, et al.: Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 133: 1220-1226, 2007
  9. Weinstein GS, O'Malley BW, Hockstein NG: Transoral robotic surgery: Supraglottic laryngectomy in a canine model. *Laryngoscope* 115: 1315-1319, 2005
  10. O'Malley BW, Weinstein G: Robotic anterior and midline skull base surgery: Preclinical investigations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 69: 125-128, 2007
  11. Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, et al.: Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 133: 1209-1214, 2007
  12. 藤原和典, 北野博也: 甲状腺・副甲状腺の鏡視下手術, ロボティック手術. *JOHNS* 27: 1065-1069, 2011
  13. 藤原和典, 福原隆宏, 北野博也: 頭頸部外科領域でのロボット手術—TORSを中心として— *日耳鼻会報* [in press]
  14. 鳥取大学医学部附属病院低侵襲外科センター編: ロボット手術マニュアル da Vinci手術を始めるときに読む本 メジカルビュー社, 東京, 2012, p12-64.
  15. 藤原和典, 福原隆宏, 北野博也: ダ・ヴィンチ手術の実際 (第5回) *耳鼻咽喉科におけるダ・ヴィンチ手術, 手術看エキスパート* 7: 30-34, 2013