

症例報告

腹腔鏡下鼠径部ヘルニア根治術における 内視鏡ホルダーロボット EMARO の使用経験

新潟県厚生連糸魚川総合病院、外科¹⁾、
富山大学 学術研究部医学系、消化器・腫瘍・総合外科²⁾

田澤 賢一¹⁾、荒木 幸紀^{1,2)}、森 康介^{1,2)}、小檜山亮介^{1,2)}、
澤田 成朗¹⁾、山岸 文範¹⁾、藤井 努²⁾

背景：世界的に普及した内視鏡外科手術はそのひとつの課題として、カメラ術者（以下、スコピスト）の熟練が必要である。この問題を解決すべく、国産の内視鏡ホルダーロボット、EMARO (Endoscopic MAnipulator RObot) は作られた。今回、我々は、腹腔鏡下鼠径部ヘルニア3症例に対するEMAROの臨床経験を報告する。

症例内容：対象症例は全例男性、平均年齢は74歳、病変局在は全例片側で右側、JHS分類は全例でL-2であった。平均手術時間は130分、平均腹膜剥離時間は39.3分（範囲：30-44分）であった。メッシュは全例で15×10 cm、非形状記憶型を挿入、タッカーは全例で吸収性、腹膜縫合時間の平均値は15.3分。症例累積に伴い、各作業時間の短縮を認めた。術後 follow-up 期間は平均43か月、再発、漿液腫、メッシュ感染、慢性疼痛のいずれも認めなかった。

結論：EMAROは安定した視野と直感的操作で使用可能で、人的代用効果も高い。内視鏡外科診療における有用なツールとなる可能性がある。

キーワード：EMARO、TAPP、鼠径部ヘルニア

症 例 内 容

I. EMARO の詳細

EMAROは頭部にジャイロセンサーを装備（図2）した術者の頭の動作（上下・左右）で、本体のアームに装備した内視鏡をタイムラグなく自ら操作（連動）できるシステム（図2）で、そのアーム稼働は世界初の空気圧駆動システムを採用している。術者の足元のEMARO フットペダル（図3）による内視鏡の本体回転と近接遠景の操作も可能で、スコピストによる手術支援を不要とする。本体規格は1,771×963×732 mm大、重量128 kg（図1）、価格は約1,500万円と比較的安価に抑えられている。東京工業大学と東京医科歯科大学による大学発ベンチャー、リバーフィールド社によって開発製造、ホギメディカル社により販売がなされている。空気圧の稼働は類似製品の電動モーターのそれに比較し、柔軟で滑らかな動きを可能とし、手振れなく、安定した視野獲得が可能である。また、本体からのアーム稼働操作も可能で、専用のアタッチメントにより様々な直径の内視鏡把持が出来る、既存の内視鏡システムとの併用を意図している。

II. 対象と方法

①対象症例とヘルニア病変の詳細（表1）

当科では、2017年09月にEMAROを連続した3例の腹腔鏡下鼠径部ヘルニア手術に対し運用した（連日）。対象症例は全例男性、平均年齢は74歳（範囲：63-82歳）、BMIは平均25.1（範囲：23.5-27.2）、病変局在は全例片側で右側、JHS分類は全例でL-2、de novo 症例であった（表1）。

②術者、腹腔鏡とEMAROの運用設定（表2）

術者は症例1と2で技術認定医、症例3で技術認定未取得医であった。EMARO運用法は一人法が前二症例、二人法（術者とスコピストが別）が一例（症例3）であった（表2）。症例3のスコピストは2例のEMARO術者経験を経た技術認定医が行った。カメラは全例5 mm軟性鏡を使用した。EMARO配置は右鼠径部ヘルニアと同側の患者横（術者の対側）：2例、同ヘルニアの対側の患者頭側（術者の背側）：1例とした。ヘッドセンサーを全例術者、およびスコピストの頭部に装着、EMAROフットペダルは右足操作：2例、左足操作：1例とした。鉗子類の通電操作パネルは右

背 景

世界的に普及した内視鏡外科手術はそのひとつの課題として、カメラ術者（以下、スコピスト）の熟練が必要で、手術内容の理解、術者との意思疎通、患部や鉗子の動きの注視労力、操作視野の固定、手振れ、回転の補正などが重要である。スコピストの習熟したスコープ操作にはある程度の症例経験が必要である(1)。今回、我々はこれらの問題点を克服すべく開発された、国産の内視鏡ホルダーロボット、EMARO (Endoscopic MAnipulator RObot) (2-6) (図1) を使用する機会を得た。腹腔鏡下鼠径部ヘルニア3症例に対するEMAROの臨床経験を報告する。

足操作：2例、左足操作：1例とした(表2)。

手術は12-5-5 mm設定の3ポートの膨潤TAPP法(7)、腹膜剥離操作は全例モノポーラシザーズを使用した。以上の設定で3例のEMARO運用における手術時間、腹膜剥離時間、ヘルニア囊処理法、メッシュ挿入固定時間、メッシュの種類およびサイズ、タッカーの種類、糸の種類、および腹膜縫合法、出血量を検討、術後のフォローアップ期間、再発、漿液腫、メッシュ感染、慢性疼痛の有無を検討した。

III. 結果

①各操作における所要時間、使用デバイスと出血量(表3)

平均手術時間は130分(範囲：110-140分)、平均腹膜剥離時間は39.3分(範囲：30-44分)であった(図3)。ヘルニア囊処理法は引き抜き法：2例、環状切開法：1例であった。メッシュ挿入固定時間の平均値は23.8分(範囲：11-45分)、メッシュサイズと種類は全例で15×10 cm非形状記憶型を使用、症例2では15×10 cmのメッシュが腹膜剥離部でずれて固定、一枚追加で同一メッシュ再挿入、操作施行時間の延長をみた(表3)。タッカーは全例で吸収性、腹膜縫合時間の平均値は15.3分(範囲：11-19.5分)、縫合糸は全例で3-0吸収性、非熱糸、非有棘糸を使用、外側から内側に向かう連続縫合とした。平均出血量は3 ml(範囲：2-5 ml)であった。

②各症例における作業時間の変動(図4)

手術は3例の症例集積に伴い、各作業時間の内訳をグラフ化した。腹膜剥離時間、腹膜縫合時間、その他の作業時間(トロッカー挿入除去時間、EMARO設定時間、膨潤麻酔注入時間を含める)で症例集積に伴い、作業時間の短縮を認めた。その傾向は二人法で施行した症例3でも同様であった(図4)。一方、症例2ではメッシュ挿入固定においてメッシュのズレによる操作時間の延長を認め、臍部12 mmのカメラポートからのデバイスの挿入、EMAROカメラ位置補正に時間を要した。

③術後経過

術後follow-up期間は平均43か月(範囲：33-48か月)、再発、漿液腫、メッシュ感染、慢性疼痛のいずれも認めなかった。

考 察

世界的に普及した内視鏡外科手術はそのひとつの課題として、スコピストの熟練がある。手術内容の理解、術者との意思疎通、患部や鉗子の動きの注視労力、手術操作部を常時中心固定、追認、カメラ本体の回転の適宜補正、手振れ防止、遠近操作、レンズの曇り除去、フォーカスの調節、ハレーション予防など、術者の指導的負担減が重要であるが、スコピストのカメラ操作熟練はlearning curveも長い(1)。

これらの問題点を克服すべく、開発されたのが内視鏡ホルダーロボットである(8-11)。従来のものは電気駆動で動きが重く、ときに非効率的で機器重量も重い傾向にある。EMAROは東京工業大学と東京医歯科大学が合同ベンチャーで開発した純国産の手術支援ロボット(内視鏡ホルダーロボット)で、駆動システムに世界初の空気圧ポンプを使用、しなやかに静かな運用が可能で(2-5)、機器の軽量化にも貢献している。術

者の頭部につけたヘッドセンサー(ジャイロセンサー)により、ロボットアームの駆動を行い、極めて直感的な操作が可能である(6)。さまざまな領域での内視鏡外科手術の運用がなされ(3-5)、ソロサージャリーを基本とする、術野展開の変化に乏しい鼠径部ヘルニアでの運用ではその有用性があり(3)、人員補充効果も高い(3)。

近年、手術支援ロボット・マニピュレーターの研究開発の動向として、以下、三つの方向性が示されている(12)。①情報誘導型(IG)(例：CyberknifeやNeuromate)、②マスタースレーブ型(MS)(例：DaVinci)、③身体負担軽減型(LR)の三つに分類され、内視鏡ホルダーロボットのEMAROは③に該当する(12)。2019年DaVinciの特許が切れ、国産ロボット開発は飛躍的に前進する可能性があり、空気圧駆動を中心とするEMAROの次世代機の開発も待たれる。

EMAROは術者が五体をフル活動させる医療機器、および手術手技であり、完全なる術者とスコピストの一体化を目指す。同様の医用機器はマスタースレーブ型のDavinciを除けば、古今例がない。故にEMAROによる手術を施行する際、従来の内視鏡外科手術の手術手技に加えて、スコピストの役割を担うため、導入時の煩雑さを感じる可能性がある。しかし、本検討でも3例(同一術者の連続2例の試用を含む)の運用で、メッシュの挿入固定以外の手術操作の時間短縮を認め、運用の慣れに伴い各種操作時間のさらなる短縮効果が期待される。症例2でのメッシュ挿入固定時の作業時間の延長の主要因は、広範囲のMPO(myopectineal orifice)の剥離により、15×10 cmのメッシュが腹膜ポケット内でずれたことが要因であった。メッシュ、縫合糸など、デバイスを腹腔内挿入する際は12 mmカメラポートより挿入、作業の度にEMAROロボットアームを外し、臍部12 mmカメラポートからデバイスを挿入、再度ホルダーアームの位置補正を必要があり、時間延長の要因と考えられた。今後、側腹部ポートよりデバイスの腹腔内挿入を検討、①デバイスの引き入れ法の改良、②デバイスの最小化、③ポートサイズの変更(5 mm→12 mm)などである。内視鏡ホルダー部分のプラスチックパーツが硬く、5 mmの軟性鏡の出し入れが内視鏡破損へつながる可能性もあり細心の注意を要する(EMAROは硬性鏡推奨)。また、軟性鏡使用時、見上げ、見下ろしの内視鏡自体の屈曲はカメラ本体のマニュアル操作であり、EMARO本体の操作での対応は難しい。EMARO本体のロボットアームが若干術者の右手(優位鉗子)に重なり手元が視認しにくい、頭頸部動作に不都合な術者(頸椎症、頸椎ヘルニアの既往者)には運用困難が予想される。完全な一人法の手術に固執せず、ブレのない安定化した視野を得ることを最優先としたEMAROスコピストとの分業(二人法)も有効で、症例3はそのモデル運用で、初回ながら技術認定医と同等の手術時間で手術施行が可能であった。通常の内視鏡外科手術より安定的な視野が得られれば、JSES技術認定試験の申請にも有利に働く可能性も含む(現在まで内視鏡ホルダーロボットによるJSES技術認定医取得の報告はない)(13)。今後、AIによる視認点のカメラ追従、上下補正など、新規技術の開発などにより内視鏡外科の常識が大きく変わる可能性もある。従来の内視鏡外科システムを流用可能な、安価で、人的補充効果のあるロボットシステムであり、症例蓄積を踏まえ、今後のさらなる検討が

待たれる。

結 語

今回、我々は空気圧駆動型内視鏡ホルダーロボット EMARO を使い、右鼠径部ヘルニアに対して膨潤 TAPP 手術を 3 例に施行した。EMARO は安定した視野と直感的操作で使用可能で、人的代用効果も高い。運用上の特性を理解し、操作の習熟により内視鏡外科診療における有用なツールとなる可能性がある。

利益相反：開示すべき、利益相反はありません。

文 献

1. 田嶋公久、黒川哲司、保野由紀子他. 腹腔鏡下手術におけるスコープ操作の自己トレーニング法. 産婦内視鏡学会誌 2008 ; 24 : 425-8.
2. 小倉修. プレゼンス向上ツールとしての手術ロボットロボットによる手術支援効果検証 内視鏡支援ロボットを用いた消化器病手術の現在と未来. EMARO の使用経験を通じて. 新医療 2017 ; 44 : 113-6.
3. Yoshida D, Maruyama S, Takahashi I et al. Surgical experience of using the endoscope manipulator robot EMARO in totally extraperitoneal inguinal hernia repair: A case report. Asian J Endosc Surg 2020 ; 13 : 448-52.
4. 宮地禎幸、森中啓文、藤田雅一郎他. LSC における内視鏡ホルダーロボット (EMARO) の使用経験. 日本女性骨盤底医学会誌 2017 ; 14 : 19-22.
5. 森下敦司、先山正二、本田純子他. 内視鏡手術支援ロボットの使用経験. 四国医学雑誌 2019 ; 75 : 109-12.
6. 小嶋一幸. 胃癌の腹腔鏡下手術 ヘッドマウントディスプレイの臨床応用. 日本ミニマム創泌尿器内視鏡外科学会雑誌 2014 ; 6 : 91-5.
7. Tokumura H, Nomura R, Saijo F et al. Tumescant TAPP: laparoscopic inguinal hernia repair after the preperitoneal tumescant injection of diluted lidocaine and epinephrine saline solution and carbon dioxide gas. Surg Today 2017 ; 47 : 52-7.
8. Bacá I, Schultz C, Grzybowski L et al. Voice-controlled robotic arm in laparoscopic surgery. Croat Med J. 1999 ; 40 : 409-12.
9. Takahashi M, Takahashi M, Nishinari N et al. Clinical evaluation of complete solo surgery with the "ViKY[®]" robotic laparoscope manipulator. Surg Endosc 2017 ; 31 : 981-6.
10. Ohmura Y, Suzuki H, Kotani K et al. Laparoscopic inguinal hernia repair with a joystick-guided robotic scope holder (Soloassist II[®]): retrospective comparative study with human assistant. Langenbecks Arch Surg 2019 ; 404 : 495-503.

11. 小林英津子. 内視鏡手術における最新支援機器 新たなスコープホルダー. 医科学 2005 ; 75 : 759-64.
12. 荒田純平. 手術ロボット・マニピュレータの研究 開発動向. 日本コンピューター外科学会誌 2017 ; 19 : 142-3.
13. 早川哲史. JSES 技術認定取得をめざせ！臓器別：ヘルニア 技術審査委員からのアドバイス. 臨床外科 2019 ; 74 : 596-601.

英 文 抄 録

Case Report

Our Experience of Using the Endoscopic Holder Robot EMARO in Laparoscopic Inguinal Hernia Repairs

Department of Surgery, Itoigawa General Hospital¹, Department of Surgery and Science, Faculty of Medicine, Academic Assembly University of Toyama², Kenichi Tazawa¹, Yukinori Araki^{1,2}, Kosuke Mori^{1,2}, Ryosuke Kobiyama^{1,2}, Shigeaki Sawada¹, Fuminori Yamagishi¹, Tsutomu Fujii²

Background : One of the challenges in endoscopic surgery, which has become widespread worldwide, is the skill of the camera operator ("scopist"). To solve this problem, a domestically developed endoscopic holder robot, EMARO (Endoscopic MANipulator ROBot), has been developed. In this article, we report our clinical experience with EMARO in three cases of laparoscopic inguinal hernia repairs.

Case description : All patients were male, mean age was 74 years, the localization of the lesion was unilateral and right-sided in all patients, and JHS classification was L-2 in all patients. The mean operative time was 130 minutes, and the mean peritoneal dissection time was 39.3 minutes (range: 30-44 minutes). Mesh was 15×10 cm, non-shape-memory type was inserted in all cases and the tucker was absorbable in all cases and the mean peritoneal suture time was 15.3 minutes. The time for each operation decreased with the accumulation of cases. The mean postoperative follow-up period was 43 months, and there was no recurrence, seroma, mesh infection, or chronic pain.

Conclusion : EMARO can be used with a stable field of view and intuitive operation, and is a highly effective human substitute. It has the potential to become a useful tool in endoscopic surgical practice.

Key words : EMARO, TAPP, inguinal hernia

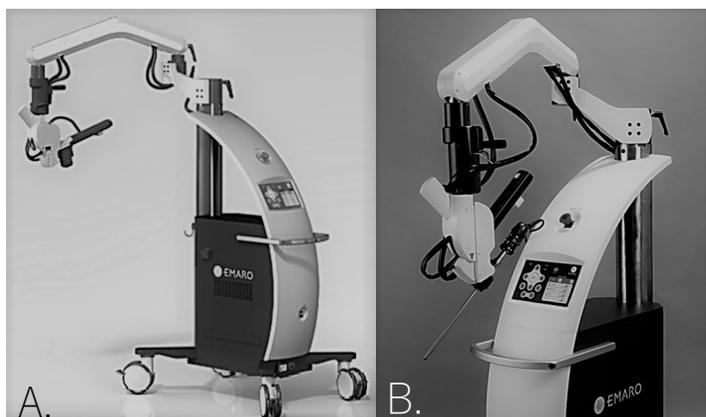


図1 EMAROの外観 (A. 全体像、B. 内視鏡装着時)



図2 頭部のジャイロセンサーの外観

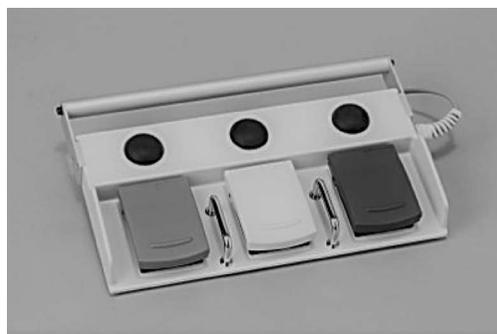


図3 EMARO フットペダルの外観

表1 対象症例とヘルニア病変の詳細

症例	性別	年齢(歳)	BMI(身長cm/体重kg)	局在	JHS分類	de novo
1	男性	82	24.5(161/63.0)	右	L-2	type C
2	男性	63	27.2(162/71.5)	右	L-2	type C
3	男性	78	23.5(164/63.2)	右	L-2	type A
平均値		74.3	25.1(162.3/65.9)			

表2 術者、腹腔鏡とEMAROの運用設定

症例	術者	運用法	腹腔鏡 (type、径)	EMARO 本体位置 (術者との位置関係)	EMARO フットペダル	通電スイッチ パネル
1	技術認定医	一人法	軟性、5mm	同側背側	左足	右足
2	技術認定医	一人法	軟性、5mm	対側正面	右足	左足
3	技術認定未取得医	二人法	軟性、5mm	対側正面	右足(助手)	右足

表3 各操作における所要時間、使用デバイスと出血量

症例	手術時間 (min)	腹膜剥離 (min)	ヘルニア囊処理	メッシュ挿入固定時間 (min)	メッシュサイズ (形態)	タッカー	腹膜縫合 (min)	縫合糸 (規格、種類、形状)	出血量 (ml)
1	140	44	引き抜き	15.5	15×10 cm (非形状記憶型)	吸収性	19.5	3-0 吸収糸、非燃糸、非有棘糸	2
2	140	30	引き抜き	45	15×10 cm×2 (非形状記憶型 +alpha)	吸収性	11	3-0 吸収糸、非燃糸、非有棘糸	2
3	110	44	環状切開	11	15×10 cm (非形状記憶型)	吸収性	15.5	3-0 吸収糸、非燃糸、非有棘糸	5
平均値	130	39.3		23.8			15.3		3

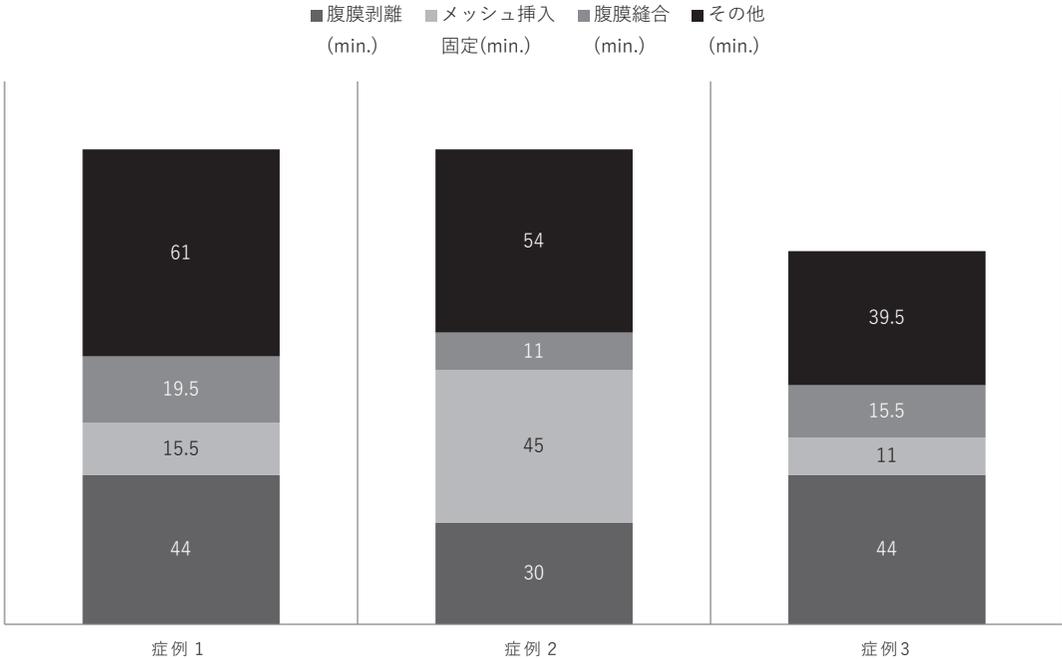


図4 各症例における作業時間の変動