

緊急経膈単孔式腹腔鏡補助下虫垂切除術の完遂予測モデル

天 野 隆 皓 ¹⁾²⁾	柳 田 佳 嗣 ²⁾	小 西 健一郎 ³⁾
佐 藤 圭 佑 ⁴⁾	赤 井 隆 司 ²⁾	豊 島 明 ²⁾
須 並 英 二 ⁵⁾	山 田 大 輔 ⁶⁾	木 村 浩一朗 ⁷⁾
表 原 拓 也 ¹⁾	伊 藤 正 裕 ¹⁾	佐々木 慎 ²⁾

¹⁾東京医科大学人体構造学分野

²⁾日本赤十字社医療センター大腸肛門外科

³⁾東京大学小児外科

⁴⁾東北大学消化器外科学

⁵⁾杏林大学一般・消化器外科

⁶⁾聖路加国際病院放射線科

⁷⁾東京医科歯科大学病院放射線科

【要旨】 急性虫垂炎は外科医が日常的に診療する疾患であり、保存的加療後の再発もまれではなく、その根治的治療は依然として手術である。虫垂切除に関しては、その早期の術後回復と整容性の利点から腹腔鏡下虫垂切除術が一般的となっている。近年では、更なる低侵襲化を目指して経膈単孔式腹腔鏡補助下虫垂切除術（TULAA）が広まってきている。一方で、一般に単孔式腹腔鏡下手術は技術的難度が高く、患者の状態によっては手術時間の延長や術式変更を要し、かえって患者に不利益が生じてしまうことがある。

今回、我々は TULAA の緊急手術時において、TULAA が適正時間内に完遂可能か術前に判断するため、緊急 TULAA 困難因子を検証し、適正完遂予測モデルの作成・検討を行った。

対象は 2015 年 8 月から 2019 年 10 月までに日本赤十字社医療センター大腸肛門外科で虫垂炎に対して緊急手術を施行した 142 例とした。予測モデル作成前の 78 例のうち、経験的に TULAA を試みた 30 例を、90 分以内に完了した群と 90 分以上または術式変更を要した群とで緊急 TULAA 完遂困難症例に関与する因子について比較した。両群間で有意差を認めた 7 項目（発症から手術まで 24 時間以上、CRP 4.0 mg/dl 以上、虫垂根部の炎症、虫垂周囲の炎症、糞石／虫垂最大径比 > 0.5、局所腹水、小腸拡張）を緊急 TULAA 困難因子とし、スコアリングによる予測モデルを作成した。その後、連続 64 例の虫垂炎緊急手術において同予測モデルを適用することで術式選択をして手術を行い、その有用性を検証した。その結果、TULAA 適正完遂率は予測モデル作成前の 52.3% から 90.3% に改善したことから同予測モデルの有用性が示唆された。

はじめに

急性虫垂炎は外科医が日常的に診療する疾患であ

る。単純性虫垂炎に対する抗生物質による保存的加療後も、1 年以内に 27.3% が虫垂切除術を施行し、5 年間のうちに約 30～40% も再燃すると報告され

令和 2 年 7 月 3 日受付、令和 2 年 9 月 9 日受理

キーワード：急性虫垂炎、経膈単孔式腹腔鏡補助下虫垂切除術、予測モデル

（別冊請求先：〒160-8402 東京都新宿区新宿 6-1-1 東京医科大学人体構造学分野 天野隆皓）

TEL：03-3351-6141（内線 231） E-mail：jian_liuhao@icloud.com E-mail：anatomy@tokyo-med.ac.jp

ており、その根治的治療は現在も手術療法である¹⁻⁴⁾。長年にわたり開腹虫垂切除術（Open Appendectomy：以下 OA と略す）が行われてきたが⁵⁾、1983 年に Semm らにより腹腔鏡下虫垂切除術が報告された⁶⁾。現在では、腹腔鏡下手術は早期の術後回復と整容性の高さから、虫垂炎に対しても一般的となっている⁷⁾。その中でも、近年では経臍単孔式腹腔鏡補助下虫垂切除術 Transumbilical single-incision Laparoscopic-Assisted Appendectomy：以下 TULAA と略す）はマルチポート式腹腔鏡下虫垂切除（Multi-port Laparoscopic Appendectomy：以下 MLA と略す）と比べて整容性に優れており、術後結果も同等であることが報告されている⁸⁻¹⁰⁾。

日本赤十字社医療センター大腸肛門外科では、2015 年 8 月より TULAA を導入し、症例を重ね虫垂炎緊急手術にも適応とした。しかし、症例を重ねていく中で、MLA や OA への変更や長時間手術となった症例が経験された。このような場合、TULAA からの術式変更に伴う創の追加や延長による整容性の低下、長時間の手術による患者への負担、追加の手術器具使用による経済的な損失が生じる。緊急 TULAA に適した症例を術前に予測する方法があれば、これらの負担を防ぐことができると想定されるものの、そのような報告はない¹⁰⁻¹²⁾。本研究では、緊急 TULAA 完遂困難症例に関与する因子を検証することにより、TULAA 完遂予測モデルを作成し、その有用性の検討を目的とする。

研究材料および方法

2015 年 8 月から 2019 年 10 月までに日本赤十字社医療センター大腸肛門外科で緊急虫垂切除術の適応となった 16 歳以上の 142 例を対象とした。当科での虫垂炎緊急手術は、適正時間内で終了可能な根治手術を計画するが、可能な範囲で侵襲性・整容性にも配慮して術式を最終決定する。なお、当科での適正手術時間は、教育的な配慮も含めて 90 分以内とした。

TULAA の手順であるが、まず臍を縦切開により小開腹し、スマートリトラクター[®] およびフリーアクセス[®]（いずれも TOP 社）を用いて気腹し、5 mm ポートを 2～3 本挿入した（Fig. 1A）。鏡視下で鉗子と電気メスを用いて虫垂を臍まで誘導し、必要であれば回盲部までの授動も追加した。臍から創外に出した虫垂を OA と同様の手順で直視下にて切除し、虫垂根部を腹腔内に戻したのち、再気腹して出血・遺物遺残がないことを確認後、閉腹し終了した（Fig. 1B）。ただし、TULAA で対応不能な場合はポートを追加し、MLA や OA に移行した。

検討 ① では手術結果を検証することで予測モデルの作成を行い、検討 ② で予測モデルを適用することで術式を選択して手術を行い、その結果から予測モデルの有用性を検証した。本検討における手術は、外科専門医 4 名と外科専門医取得前のレジデントが担当し、術式や術中の変更は各外科専門医の判断に委ねた。

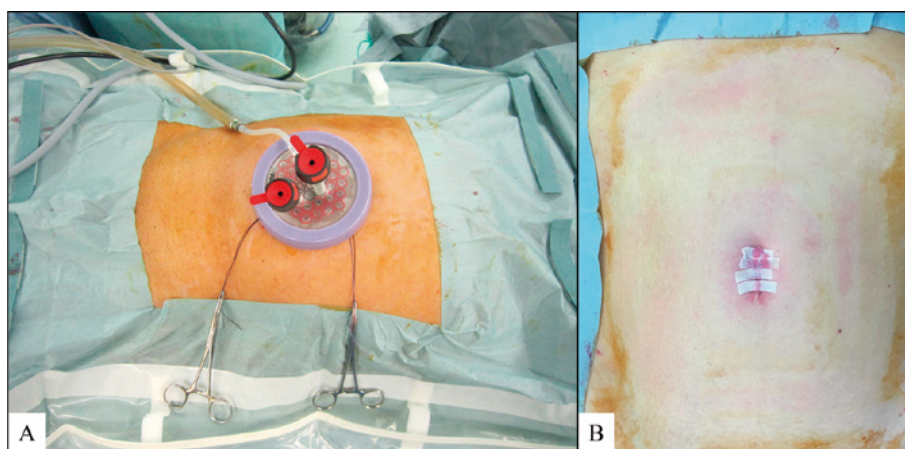


Fig. 1 Intraoperative findings of TULAA and skin incision.

A) Transumbilical narrow single incision and laparoscopy with pneumoperitoneum are performed by use of the smart retractor and free access (TOP[®]). The appendix is guided to the umbilical incision on laparoscopically, and appendectomy is performed directly similar to open appendectomy.

B) The skin incision after TULAA shows good esthetic outcome.

検討①：2015年8月から、画像診断で穿孔性虫垂炎や広範囲に腹腔内ドレナージを要すると診断した症例を除き、虫垂炎緊急手術時にTULAAを第一選択として治療を行った。2015年8月から2017年5月まで、TULAAで緊急虫垂炎手術を開始した30例を、TULAAで90分以内に完遂した非困難例E (Easy) 群と、術式変更もしくは90分以上を要した困難例D (Difficult) 群の2群に分類した。術前に緊急TULAA適応外と判断した48例は除外した (Fig. 2)。術前検査などで得られるデータのうち、虫垂炎に関する種々の報告¹³⁻²³⁾を参考に、患者因子 (性別、年齢、BMI、発症から手術までの推定時間、複数回の虫垂炎既往の有無)、血液生化学検査所見因子 (白血球数、CRP値)、CT所見因子 (虫垂最大径、虫垂根部の炎症の有無、虫垂周囲の炎症の有無、糞石の有無、虫垂根部糞石の有無、糞石径/虫垂最大径 > 0.5、虫垂が盲腸の背側を上行している retrocecal appendix の有無、小腸拡張の有無、局所腹水の有無、骨盤内腹水の有無) を両群間で比較した。なお、CT所見における「虫垂根部の炎症」は「虫垂根部周囲の脂肪濃度上昇」、「虫垂周囲の炎症」は「虫垂走行に沿った虫垂周囲脂肪濃度の上昇」とそれぞれ定義した。CT所見は外科医3名、放射線科医2名が画像所見のみで判定し、判定の相違に際しては優勢を最終判定とした。

有意差を認めた因子のうち、『retrocecal appendix あり』を除いた7因子を緊急TULAA完遂困難因子とし、1項目陽性につき1点とカウントする予測モデルを作成した。

統計学的手法はFisherの正確検定、Mann-Whit-

ney U検定を用いて $p < 0.05$ を統計学的有意差ありとした。連続変数は中央値と四分位範囲を用いて記載した。有意差を認めた連続変数についてはROC曲線を作成しカットオフ値を算出した。すべての解析はEZR[®] version 1.38を使用した。

検討②：予測モデル作成後より2019年10月まで、連続64例の虫垂炎緊急手術において、予測モデルを適用し術式選択をして手術を行った。検討①のE群と同様に、TULAAで術式の変更なく90分以内に手術終了した場合を「TULAA適正完遂」とした。このTULAA適正完遂となった割合を検討①のE群の割合と比較しFisherの正確検定を行い、 $p < 0.05$ を統計学的有意差ありとした。

「緊急虫垂炎手術に対して、本予測モデルを適用してTULAAを行い適正完遂となった割合 (以下、「TULAA適正完遂率」とする)」を主要評価項目とした。加えて、「緊急虫垂炎手術に対して、本予測モデルを適用してTULAA適正完遂困難症例と判断し、他の術式にて手術を施行した症例における、適正時間内で終了した割合または、術式変更なく終了した症例の割合」を副次評価項目とした。

本研究は、東京医科大学の倫理委員会ならびに日本赤十字社医療医療センターの倫理委員会から承認されており (承認番号 T2020-0117、1043)、ヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に則り実施した。

結 果

検討①：E群は16例、D群は14例であった (Fig. 2)。手術結果、病理組織学的所見、術後経過につい

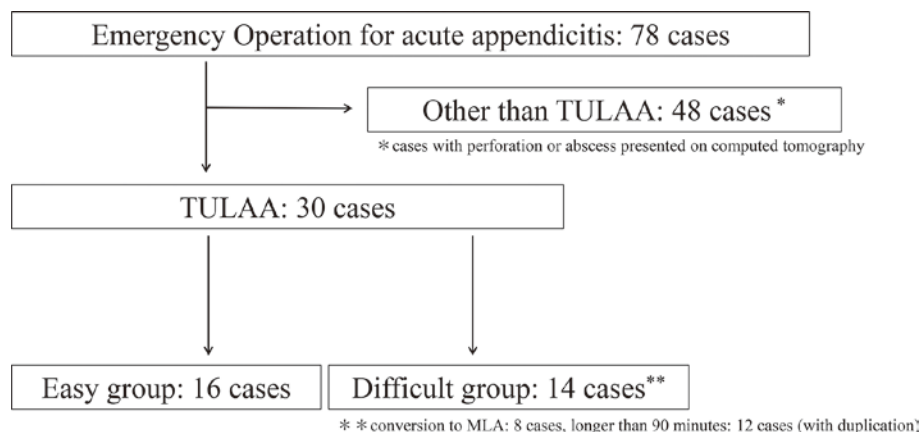


Fig. 2 Details of the operative procedure before construction of the prediction model.

Thirty out of 78 consecutive patients are eligible for the emergency TULAA empirically, and only 16 patients are performed TULAA within appropriate operation time without requiring conversion.

Table 1 Surgical findings and postoperative outcome without prediction model.

	E group (n=16)	D group (n=14)
Operation time (min.)	53.0* [49.0-59.5]**	114* [105-125]**
Blood loss (g)	0 [0-0]**	0 [0-15]**
Pathology		
Catarrhal	2	0
Phlegmonous	14	5
Gangrenous	0	9
Perforation	0	4
Complication	0	Ileus : 2
Length of stay (day)	2* [2-3]**	5* [4-9]**

*median, **interquartile range

In the D group, operative time and length of hospital stay are longer, with presentation of pathologically severe appendicitis.

て両群間で比較した (Table 1)。D 群では、E 群より手術時間が長く (E 群 vs D 群、53 分 [49.0-59.5] vs 114 分 [105-125])、12 例で 90 分以上の手術時間を要し、8 例が MLA に移行した。D 群では病理組織学的に壊疽性虫垂炎を 5 例に認め、穿孔例は 4 例あり、合併症として術後イレウスを 2 例に認めた。術後在院日数は D 群で長い傾向にあった (E 群 vs D 群、2 日 [2-3] vs 5 日 [4-9])。両群間での患者因子と血液生化学検査所見因子の比較では、年齢 (E 群 vs D 群、28.0 歳 [25.5-33.0] vs 38.5 歳 [34.0-46.5]、 $p < 0.01$)、発症から手術までの時間 (E 群 vs D 群、20.5 時間 [16.5-24.5] vs 33.5 時間 [24.6-56.3]、 $p < 0.05$)、CRP (E 群 vs D 群、0.26 mg/dl [0.08-0.58] vs 2.79 mg/dl [1.63-5.35]、 $p < 0.005$) の 3 項目に有意差を認めた (Table 2)。発症から手術までの時間、CRP について作成された ROC 曲線によるカットオフ値はそれぞれ 26 時間、3.8 mg/dl であったが、本検討では臨床現場での簡便性を考慮し、発症から手

術までの時間のカットオフ値を 24 時間、CRP のカットオフ値 4.0 mg/dl とした。なお、年齢においても E 群と D 群の間で有意差を認めたが、作成された ROC 曲線によるカットオフ値が 33 歳と若年であったため、緊急 TULAA 完遂困難因子として不適切と判断し、本検討では年齢を緊急 TULAA 完遂困難因子から除外した。

両群間での CT 所見因子の比較 (Table 3) では、虫垂根部の炎症の有無 ($p < 0.05$)、虫垂周囲の炎症の有無 ($p < 0.005$)、糞石/虫垂最大径比 > 0.5 ($p < 0.05$)、Retrocecal appendix の有無、小腸拡張の有無 ($p < 0.05$)、局所腹水の有無 ($p < 0.05$) の計 6 項目に有意差を認めた。虫垂の最大径、糞石の有無、骨盤内腹水の有無では有意差を認めなかった。Retrocecal appendix は 7 例に認めたが、発症までの時間や CRP 値に関わらず、また、有意差を認めた他の CT 所見の有無に関わらず、全例で 90 分以上の手術時間を要しており TULAA で完遂できなかった。その

Table 2 Patient and blood analysis characteristics.

	E group (n=16)	D group (n=14)	P value
Sex : Male/Female	5/11	5/9	1
Age	28.0* [25.5-33.0]**	38.5* [34.0-46.5]**	<0.01
BMI (kg/m ²)	20.2* [18.7-21.1]**	20.6* [19.0-21.6]**	0.88
Time to operation (hr)	20.5* [16.5-24.5]**	33.5* [24.8-56.3]**	<0.05
>24 hours	4 (25%)	10 (71.4%)	
Past history of appendicitis	2 (12.5%)	1 (7.1%)	1
WBC (/μL)	12,800* [10,685-14,950]**	14,250* [12,100-16,025]**	0.76
CRP (mg/dl)	0.26* [0.078-0.580]**	2.79* [1.63-5.35]**	<0.005
>CRP 4.0 mg/dl	1 (6.3%)	6 (42.9%)	

*median, **interquartile range

Significant differences are found with age, time to operation, and value of CRP.

Table 3 CT findings.

CT findings	E group (n=16)	D group (n=14)	P value
Maximum diameter (mm)	10.1* [8.48-11.8]**	10.7* [9.87-13.2]**	0.26
Inflammation of root	1 (6.3%)	7 (50%)	<0.05
Peri-appendiceal inflammation	0	7 (50%)	<0.005
With fecalith	5 (31.2%)	6 (42.9%)	0.71
With fecalith of root	1 (6.3%)	3 (21.4%)	0.32
Maximum diameter ratio of fecalith/ swelling appendix >0.5	0	4 (28.6%)	<0.05
Small bowel distention	0	5 (35.7%)	<0.05
Retrocecal appendix	0	7 (50%)	<0.005
Peri-appendiceal ascites	1 (6.3%)	6 (42.9%)	<0.05
Pelvic ascites	4 (25%)	6 (42.9%)	0.44

*median, **interquartile range

Significant differences in CT findings include inflammation of appendiceal root, appendicular inflammation, maximum diameter ratio of fecalith / swelling appendix > 0.5, retrocecal appendix, peri-appendiceal ascites and small bowel distention.

ため、retrocecal appendix はスコアリングのための 1 項目としては不適当と判断した。

以上より、両群間で比較検討した患者因子、血液生化学検査所見因子、CT 所見因子のうち、『発症から手術まで 24 時間以上』、『CRP 4.0 mg/dl 以上』、『虫垂根部の炎症あり』、『虫垂周囲の炎症あり』、『糞石／虫垂最大径比 > 0.5』、『小腸拡張あり』、『局所腹水あり』の 7 項目を緊急 TULAA 困難因子とした (Table 4)。

困難因子陽性数ごとに 2 群の分布を比較すると、陽性因子数が多くなるにつれ E 群の割合は低下する傾向にあった (Fig. 3)。陽性因子が 3 項目以下 (3 点以下) と 4 項目以上 (4 点以上) における E 群の割合は、3 点以下で 72.7% (16 例／22 例) に対して、

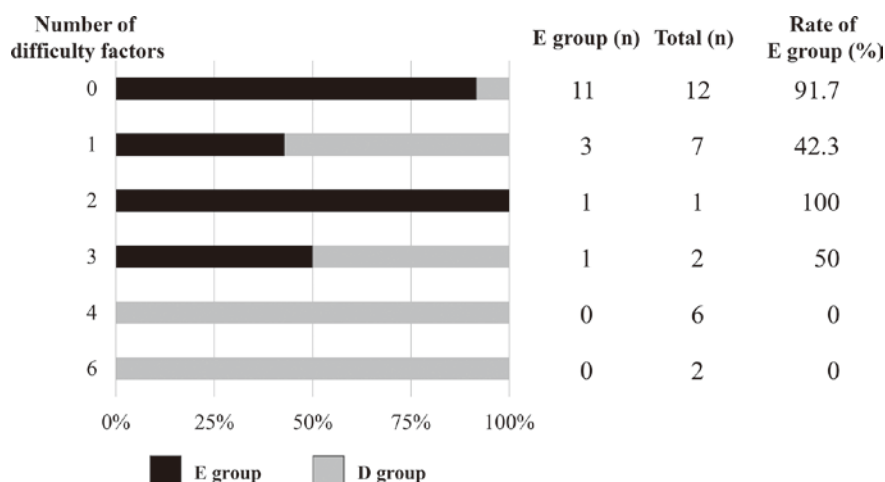
Table 4 Difficulty factors for emergency TULAA.

- ・ Time to operation >24 hours
- ・ CRP >4.0 mg/dl
- ・ Inflammation of appendiceal root
- ・ Peri-appendiceal inflammation
- ・ Maximum diameter ratio of fecalith/swelling appendix >0.5
- ・ Small bowel distention
- ・ Peri-appendiceal ascites

Seven factors are selected as difficulty factors for TULAA.

4 点以上は 0% (0 例／8 例) であった。以上から、緊急 TULAA 困難因子該当数をカウントし、3 点以下の場合を「緊急 TULAA 適正完遂可能症例」とする予測モデルを作成した。

検討 ②：予測モデル作成後、連続 64 例の虫垂炎

**Fig. 3** Intergroup distribution of the number of difficulty factors before construction of the prediction model.

As the number of difficulty factors increases, the probability of the Easy Group decreases. There are no cases with 4 difficulty factors performed within appropriate operation time or without requiring conversion.

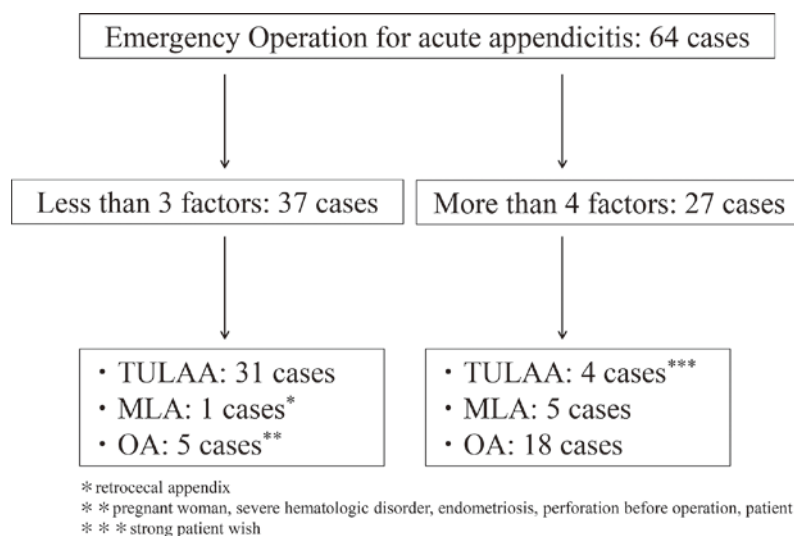


Fig. 4 Details of the operative procedure after construction of the prediction model.
Thirty-one out of 64 consecutive patients are eligible for emergency TULAA according to the prediction model.

Table 5 Clinical characteristics and difficulty scores with use of the prediction model.

	≤3 (n=37)	≥4 (n=27)
Sex : Male/Female	14/23	11/16
Age	37.0* [25.0-48.0]**	50.0* [37.0-67.0]**
BMI (kg/m ²)	20.5* [19.5-22.4]**	21.5* [19.9-23.6]**
Score distribution	(0/1/2/3)=(7/7/15/8)	(4/5/6/7)=(14/11/2/0)
Difficulty factor		
Time to operation >24 hours	25 (66%)	27 (100%)
CRP>4.0 mg/dl	11 (30%)	26 (96%)
Inflammation of appendiceal root	5 (13.5%)	21 (78%)
Peri-appendiceal inflammation	12 (32.5%)	27 (100%)
Maximum diameter ratio of fecalith/swelling appendix >0.5	7 (19%)	10 (37%)
Small bowel distension	1 (2.5%)	5 (13.5%)
Peri-appendiceal ascites	0	7 (26%)

*median, **interquartile range

There are 37 cases with less than 3 points and 27 cases with more than 4 points. We present the distribution of difficulty factors.

緊急手術において、予測モデルを適用し術式選択を行った (Fig. 4, Table 5)。予測モデルで3点以下の症例は37例で、31例をTULAA適応とした (Table 6)。3点以下でTULAA適応外となった症例は、retrocecal appendix (1例)、妊婦 (1例)、重篤な血液疾患 (1例)、高度な子宮内膜症 (1例)、術直前に穿孔を強く示唆する症状の増悪 (1例)、患者希望 (1例) の合計6例であった。結果としては、31例中28例で術式の変更なく90分以内に手術終了した。残りの3例においては、90分以上要したが (110分、124分、151分)、術式変更例は認めなかった (Table 6)。手術に長時間要した3例は、retrocecal appendix

の1例、大網の虫垂への癒着を認めた保存治療歴のある1例、および穿孔は認めなかったものの混濁した腹水を認めたために腹腔内洗浄を行った1例であり、おのおのそれらが適正完遂を妨げた要因と考えられた。

TULAA適正完遂率を予測モデル作成前後で比較すると53.3% (16例/30例) から90.3% (28例/31例) に有意に上昇した ($p < 0.05$, Fig. 5)。

一方、予測モデルで4点以上の27例は緊急TULAA適正完遂困難と判定し、OA 18例、MLA 5例、TULAA 4例を施行した。TULAAを施行した4例を除いた23例で適正時間内に手術が終了した割合は

Table 6 Surgical outcome with use of the prediction model.

	≤ 3 (n=37)	≥ 4 (n=27)
TULAA	31	4
Complete	28 (90.3%)	1
Incomplete	3	3
over 90 minutes	3	3
with conversion	0	0
Non-specialist of JSS*	28	2
Other than TULAA	6	23
MLA	1	5
OA	5	18
within 90 minutes	3	8 (34.8%)
without conversion	6	21 (91.3%)
Complication	3	3
SSI	2	2
Retroperitoneal abscess	1**	1
≥ Clavian Dindo III	1	0

*Japan Surgical Society, ** Clavian Dindo Grade III
TULAA is performed completely in over 90% of cases that score less than 3 points. On the other hand, over 90% of cases with more than 4 points, a procedure other than TULAA is performed without conversion.

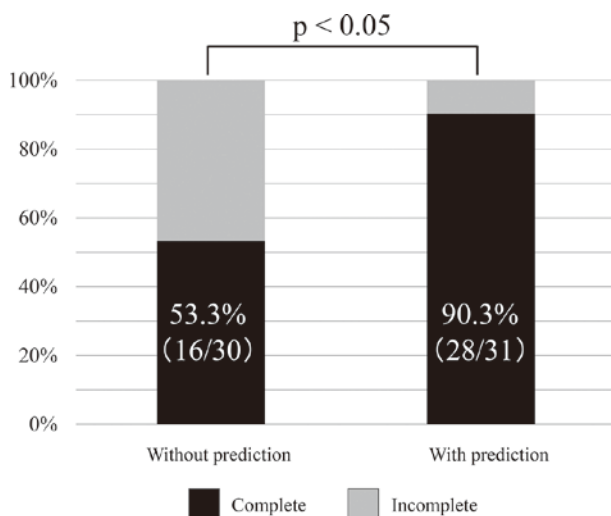


Fig. 5 Ratio of proper completion for emergency TULAA.
The ratio of proper completion for emergency TULAA increases from 52.3% without any prediction, to 90.3%

34.8% (8 例/23 例) のみであったが、計画した術式に変更なく終了した症例の割合は 91.3% (21 例/23 例、適正時間内に終了した 8 例を含む) であった。若年者で TULAA を強く希望された 4 例(男性 1 名、女性 3 名、16 歳~23 歳、外科専門医未取得者 2 例、外科専門医取得者 2 例ずつの執刀)に TULAA を施行した結果、いずれも術式変更例は認めなかったが、

手術時間は 3 例で 90 分以上要していた (Table 6)。

考 察

我々は虫垂炎に対して緊急手術を施行する際に、緊急 TULAA 適正完遂率を向上させるための完遂予測モデルを患者因子、血液生化学検査所見因子、CT 所見因子を用いて作成した。同予測モデルを適用して手術を施行し、その有用性を検討した結果、緊急 TULAA で適正時間内に術式変更を要さず施行可能な虫垂炎症例を予測できることが示唆された。また、予測モデル作成後の 64 例の全合併症発生率は 9.3% (6 例/64 例) で、Clavian-Dindo grade III 以上の合併症発生率は 1.6% (1 例/64 例) と良好な結果であり (Table 6)、本予測モデルは、現在、緊急 TULAA を施行している、もしくは今後、緊急手術にも TULAA の導入を検討している施設での活用が期待できると考えられた。

虫垂炎に関するスコアリングとしては、病歴と身体所見からスコアリングする Alvalado score が急性虫垂炎の診断によく用いられる¹³⁾。近年は虫垂炎の重症度に関するスコアリングも報告されており、小児の虫垂炎に対して臨床所見、採血検査所見、エコー所見からスコアリングすることで穿孔性虫垂炎と非穿孔性虫垂炎を鑑別できたという報告¹⁴⁾のほかに、Atema JJ らは臨床所見と CT 所見を組み合わせたスコアリングが単純性虫垂炎と複雑性虫垂炎の鑑別に有用であったと報告している¹⁵⁾。しかしながら、これらのスコアリングは、虫垂炎の診断や重症度に関するもので、診断後に行うべき術式に関する予測モデルの報告はなく、本予測モデルは臨床現場において有用な初めての予測モデルであると考えられた。

急性虫垂炎は、無治療の場合、発症から時間の経過とともに重症化し、虫垂穿孔のリスクも増加する。虫垂炎に対して MLA を施行するときに、虫垂穿孔やそれに伴う汎発性腹膜炎・膿瘍形成は OA 移行への独立したリスクファクターと報告されている¹⁶⁾。虫垂穿孔までの時間に関する報告は、発症から手術までの平均時間は非穿孔性虫垂炎では約 31 時間、穿孔性虫垂炎では約 63 時間程度であったとの報告¹⁷⁾や CT 撮影から手術するまでの時間が長いほど、穿孔性虫垂炎のリスクが高くなり、24 時間以上経過すると 2 倍以上の発生を認めるとの報告¹⁸⁾がある。当院では、明らかな穿孔症例に対する TULAA は遺残膿瘍のリスクが高く不適としているが、「発

症から手術まで 24 時間以上経過した虫垂炎」は、穿孔するリスクが上昇する状態への移行期と考えられ、緊急 TULAA 完遂困難な複雑性虫垂炎症例を除外するのに有用な因子の一つとして妥当であると考えられた。また、CRP が複雑性虫垂炎を予測するのに有用であるとの報告もある¹⁹⁾。Özozan らは CRP 高値は虫垂穿孔の予測因子であると報告しており、その中で、非穿孔性虫垂炎群の平均 CRP 値は 3.24 mg/dl、穿孔性虫垂炎群は 11.7 mg/dl であった²⁰⁾。また、MLA から OS への術式変更を要する因子の検討¹⁶⁾では、MLA 施行群の平均 CRP 値は 4.9 mg/dl で、開腹移行群は 13.8 mg/dl であった。さらには、CRP 9.9 mg/dl 以上は、MLA から OA へのリスクファクターであるとの報告もある²¹⁾。本検討で使用した CRP のカットオフ値 4.0 mg/dl は、穿孔は認めていない症例が多いが、徐々に穿孔へのリスクが上昇してくるレベルと考えられ、「CRP 4.0 mg/dl 以上」は緊急 TULAA 完遂が困難な症例の予測するための因子の 1 つとして妥当と考えられた。

CT 所見も同様に単純性虫垂炎と複雑性虫垂炎の鑑別に有用とされている。Siddiqui AH らは虫垂周囲の炎症や腹水・膿瘍などの CT 所見は穿孔性虫垂炎を示唆すると報告しており²²⁾、本検討における「虫垂周囲の炎症あり」、「虫垂根部の炎症あり」、「小腸拡張あり」、「局所腹水あり」は既報で検討されている因子と比較しても、緊急 TULAA 完遂困難因子として妥当であると考えられた。さらに、Kulvatunyou N らは、糞石の存在が穿孔性虫垂炎の独立したリスクファクターと報告しているが²³⁾、本検討では「糞石の有無」ではなく、「糞石／虫垂最大径比 > 0.5」が緊急 TULAA 困難因子であった。糞石／虫垂最大径比が高い症例では、糞石による虫垂の緊満が強いほど虫垂炎による炎症が重症化し、その結果、腹腔内操作を難化させる要因の一つと推察された。

Retrocecal appendix は、MLA における OA 移行へのリスク因子と報告されている¹⁶⁾。さらに、一般に OA においても炎症の程度に関わらず長時間を要する場合や、開腹創の延長が必要となる場合がある。検討②の 64 例において retrocecal appendix は 11 例（3 点以下：7 例、4 点以上：4 例）に認められた。そのうち、3 点以下の 4 例でのみ TULAA 適正完遂が認められ、残りの 7 例はスコアや術式によらず 90 分以上要していた。このことから、retrocecal appendix の症例に関しては、基本的には TULAA 以外の

術式を計画する方が、手術時間や術式変更有無の観点から患者の負担軽減につながる可能性が高いと考えられた。そのため、retrocecal appendix に関してはスコアリングを行う際に、他の TULAA 困難因子と独立して考慮する方が良いと考え、予測因子としては加えなかった。一方で、予測モデルを適用して 3 点以下の場合、TULAA を適正完遂した症例もあった（7 例中 4 例）ため、MLA を考慮しながら手術を開始するが、術中判断で技量に応じて TULAA を試みることは問題ないと考えられた。

今回の予測モデル作成に使用した症例には若年者が多かったが、その後の 64 例の検討では 65 歳以上の症例が 8 例認められ、3 点以下の TULAA 適応症例は 2 例あり、TULAA を問題なく施行されていた。現在は、全身麻酔が安全に可能で腹腔鏡下手術が施行可能な状態であれば年齢を問わず、本予測モデルを適応し術式を決定しているが、高齢者の症例を重ねて検討する必要がある。また、予測モデル作成に用いた症例において、平均 BMI は 20.3 kg/m² とやせ型の症例が多かった。小児症例での報告だが、肥満症例では TULAA からポートの追加を要する可能性が高いとの報告がある²⁴⁾。加えて、単孔式腹腔鏡下胆嚢摘出術における報告において、肥満症例では非肥満症例より手術時間が長く術式変更率が高い傾向が見られたが、単孔式腹腔鏡下手術は安全に施行可能とされている²⁵⁾。本検討では BMI を考慮せず予測モデルを適用し術式選択を行った結果、肥満と分類される BMI 25 kg/m² 以上（25.0～30.2 kg/m²）は 10 例含まれた。3 点以下で TULAA を施行されたのは 4 例中 3 例であったが、いずれも適正時間内で終了し、平均手術時間は 57.7 分であった。残りの 1 例では来院時のスコアは 3 点であったが、手術直前の身体所見にて穿孔性腹膜炎への進行が強く疑われたため、TULLA 適応外とし OA を施行した。4 点以上は 6 例あり TULAA 以外の術式を選択していたが、適正時間内で手術を終了した症例は認めなかった。以上から、肥満症例でも TULAA 可能と予測した 3 点以下の症例では、非肥満例と遜色なく TULAA を適正時間内に完遂できる可能性がある。したがって、現時点では肥満症例においても本予測モデルにより TULAA の適応と判断した症例には、TULAA を試みることは問題ないと考えられた。今後も BMI によらず本予測モデルを継続して適応していく方針であるが、肥満症例を積み重ね、さらな

る検討を行いたい。

最後に、虫垂炎に対する手術は、外科専門医取得前の若手外科医が執刀することが多いため、執刀経験別の成績を考察する。単孔式腹腔鏡下手術はMLAに比較して難易度が高い²⁶⁾とされているが、TULAAは若手外科医でも安全に施行可能との報告⁸⁾がされている。本予測モデルで3点以下の緊急TULAA適応と判断した31症例において、外科専門医取得前の若手外科医による執刀の手術時間(平均±標準誤差)は65.8分±4.5(28例)で、外科専門医取得者による執刀では同58.7分±2.3(3例)であり、手術時間に統計学的有意差は認めなかった。したがって、本予測モデルで3点以下の虫垂炎は、若手外科医が緊急TULAAをより確実に執刀可能な症例と判定できる。

ただし、本検討は単一施設における短期間での解析であり、7項目の緊急TULAA完遂困難因子に対する多変量解析は症例数の観点から適当ではないと判断し行わなかった。多変量解析によるスコアリング時の各因子の重みづけについても今後症例数を重ねた後に検討する必要がある。

緊急虫垂炎手術は、術式を問わず可能な限り短時間に確実な手術を行う必要があると同時に整容性も考慮する必要がある、特に鏡視下手術を行う場合は、虫垂炎の重症度に応じてTULAA、MLAを選択することが望ましい。本予測モデルを用いることで、TULAAを安全に確実に施行できるか事前に判断する一助となることを期待する。

結 論

虫垂炎緊急手術において、客観的所見からスコアリングした本予測モデルは緊急TULAA適正完遂症例を術前に予測できる可能性を示唆した。

COI 申告の開示

COI (conflict of interest) なし

謝 辞

急性腹症の診療に尽力いただいた日本赤十字社医療センターのレジデントの先生方に深く感謝いたします。

文 献

1) Guaitoli E, Gallo G, Cardone E, Conti L, Famularo S,

Formisano G, Galli F, Giuliani G, Martino A, Pasculli A, Patini R, Soriero D, Pappalardo V, Casoni Patacchini G, Sparavigna M, Meniconi R, Mazzari A, Barra F, Orsenigo E, Pertile D: Consensus Statement of the Italian Polyspecialistic Society of Young Surgeons (SPIGC): Diagnosis and Treatment of Acute Appendicitis. *J Invest Surg*: 1-15, 2020

2) Gorter RR, Eker HH, Gorter-Stam MA, Abis GS, Acharya A, Ankersmit M, Antoniou SA, Arolfo S, Babic B, Boni L, Bruntink M, van Dam DA, Defoort B, Deijen CL, DeLacy FB, Go PM, Harmsen AM, van den Helder RS, Iordache F, Ket JC, Muysoms FE, Ozmen MM, Papoulas M, Rhodes M, Straatman J, Tenhagen M, Turrado V, Vereczkei A, Vilallonga R, Deelder JD, Bonjer J: Diagnosis and management of acute appendicitis. EAES consensus development conference 2015. *Surg Endosc* **30**: 4668-4690, 2016

3) Salminen P, Tuominen R, Paajanen H, Rautio T, Nordstrom P, Aarnio M, Rantanen T, Hurme S, Mecklin JP, Sand J, Virtanen J, Jartti A, Gronroos JM: Five-Year Follow-up of Antibiotic Therapy for Uncomplicated Acute Appendicitis in the APPAC Randomized Clinical Trial. *JAMA* **320**: 1259-1265, 2018

4) Salminen P, Paajanen H, Rautio T, Nordstrom P, Aarnio M, Rantanen T, Tuominen R, Hurme S, Virtanen J, Mecklin JP, Sand J, Jartti A, Rinta-Kiikka I, Gronroos JM: Antibiotic Therapy vs Appendectomy for Treatment of Uncomplicated Acute Appendicitis: The APPAC Randomized Clinical Trial. *JAMA* **313**: 2340-2348, 2015

5) Berry J Jr, Malt RA: Appendicitis near its centenary. *Ann Surg* **200**: 567-575, 1984

6) Semm K: Endoscopic appendectomy. *Endoscopy* **15**: 59-64, 1983

7) Garg CP, Vaidya BB, Chengalath MM: Efficacy of laparoscopy in complicated appendicitis. *Int J Surg* **7**: 250-252, 2009

8) Wakasugi M, Tsujimura N, Nakahara Y, Matsumoto T, Takemoto H, Takachi K, Nishioka K, Oshima S: Single-incision laparoscopically assisted appendectomy performed by residents is safe and feasible: A single institution, retrospective case series. *Ann Med Surg (Lond)* **15**: 43-46, 2017

9) Liao YT, Lai PS, Hou YZ, Wu CY, Chou TH, Liang JT: Is single-incision laparoscopic appendectomy suitable for complicated appendicitis? A comparative analysis with standard multiport laparoscopic appendectomy. *Asian J Surg* **43**: 282-289, 2020

10) Sozutek A, Colak T, Dirlik M, Ocal K, Turkmenoglu O, Dag A: A prospective randomized comparison of single-port laparoscopic procedure with open and standard 3-port laparoscopic procedures in the treatment of acute appendicitis. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* **23**: 74-78, 2013

11) Frutos MD, Abrisqueta J, Lujan J, Abellan I, Parrilla

- P : Randomized prospective study to compare laparoscopic appendectomy versus umbilical single-incision appendectomy. *Ann Surg* **257** : 413-418, 2013
- 12) St Peter SD, Adibe OO, Juang D, Sharp SW, Garey CL, Laituri CA, Murphy JP, Andrews WS, Sharp RJ, Snyder CL, Holcomb GW, 3rd, Ostlie DJ : Single incision versus standard 3-port laparoscopic appendectomy : a prospective randomized trial. *Ann Surg* **254** : 586-590, 2011
- 13) Alvarado A : A practical score for the early diagnosis of acute appendicitis. *Ann Emerg Med* **15** : 557-564, 1986
- 14) Blumfield E, Yang D, Grossman J : Scoring system for differentiating perforated and non-perforated pediatric appendicitis. *Emerg Radiol* **24** : 547-554, 2017
- 15) Atema JJ, van Rossem CC, Leeuwenburgh MM, Stoker J, Boermeester MA : Scoring system to distinguish uncomplicated from complicated acute appendicitis. *Br J Surg* **102** : 979-990, 2015
- 16) Antonacci N, Ricci C, Taffurelli G, Monari F, Del Governatore M, Caira A, Leone A, Cervellera M, Minni F, Cola B : Laparoscopic appendectomy : Which factors are predictors of conversion? A high-volume prospective cohort study. *Int J Surg* **21** : 103-107, 2015
- 17) Temple CL, Huchcroft SA, Temple WJ : The natural history of appendicitis in adults. A prospective study. *Ann Surg* **221** : 278-281, 1995
- 18) Harmon LA, Davis ML, Jupiter DC, Frazee RC, Regner JL : Computed tomography to operating room in less than 3 hours minimizes complications from appendicitis. *Am J Surg* **212** : 246-250, 2016
- 19) Kim M, Kim SJ, Cho HJ : International normalized ratio and serum C-reactive protein are feasible markers to predict complicated appendicitis. *World J Emerg Surg* **11** : 31, 2016
- 20) Ozozan OV, Vural V : High C-reactive protein level as a predictor for appendiceal perforation. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* **26** : 63-66, 2020
- 21) Shimoda M, Maruyama T, Nishida K, Suzuki K, Tago T, Shimazaki J, Suzuki S : Preoperative high C-reactive protein level is associated with an increased likelihood for conversion from laparoscopic to open appendectomy in patients with acute appendicitis. *Clin Exp Gastroenterol* **12** : 141-147, 2019
- 22) Siddiqui AH, Afzal S : Perforated appendicitis : accuracy of ct diagnosis and correlation of ct findings with the length of hospital stay. *J Coll Physicians Surg Pak* **17** : 721-725, 2007
- 23) Kulvatunyou N, Zimmerman SA, Joseph B, Friese RS, Gries L, O'Keeffe T, Stroster JA, Tang AL : Risk Factors for Perforated Appendicitis in the Acute Care Surgery Era-Minimizing the Patient's Delayed Presentation Factor. *J Surg Res* **238** : 113-118, 2019
- 24) Gates NL, Rampp RD, Koontz CC, Holcombe JM, Bhattacharya SD : Single-Incision Laparoscopic Appendectomy in Children And Conversion to Multiport Appendectomy. *J Surg Res* **235** : 223-226, 2019
- 25) Wakasugi M, Tanemura M, Tei M, Furukawa K, Suzuki Y, Masuzawa T, Kishi K, Akamatsu H : Safety and feasibility of single-incision laparoscopic cholecystectomy in obese patients. *Ann Med Surg* **13** : 34-37, 2017
- 26) Greaves N, Nicholson J : Single incision laparoscopic surgery in general surgery : a review. *Ann R Coll Surg Engl* **93** : 437-440, 2011

An operable prediction model of emergency transumbilical single-incision laparoscopic-assisted appendectomy

Takahiro AMANO¹⁾²⁾, Yoshitsugu YANAGIDA²⁾, Kenichiro KONISHI³⁾, Keisuke SATO⁴⁾,
Ryuji AKAI²⁾, Akira TOYOSHIMA²⁾, Eiji SUNAMI⁵⁾, Daisuke YAMADA⁶⁾, Koichiro KIMURA⁷⁾,
Takuya OMOTEHARA¹⁾, Masahiro ITO¹⁾, Shin SASAKI²⁾

¹⁾Department of Anatomy, Tokyo Medical University

²⁾Department of Coloproctological Surgery, Japanese Red Cross Medical Center

³⁾Department of Pediatric Surgery, Tokyo University

⁴⁾Department of Gastroenterological Surgery, Tohoku University Graduated School of Medicine

⁵⁾Department of Surgery, Kyorin University School of Medicine

⁶⁾Department of Radiology, St. Luke's International Hospital

⁷⁾Department of Radiology, Tokyo Medical and Dental University Hospital

Abstract

BACKGROUND : Appendicitis is the most common acute abdomen for surgeons. Its definitive therapy is still appendectomy, and recently, laparoscopic appendectomy has been widely performed. In particular, transumbilical single-incision laparoscopic appendectomy (TULAA) is also widely performed for both its minimal invasiveness and good esthetic outcomes. However, TULAA is technically challenging, and sometimes, there are disadvantages, such as longer operation time, conversion, and post operative complications. This study aims to produce and evaluate a prediction model that can determine whether patients can undergo TULAA within appropriate operation time and without requiring conversion during an emergency appendectomy.

METHODS : Firstly, we reviewed the operative outcomes of 30 patients who underwent TULAA and divided them into two groups depending on length of operative time and whether they required conversion. The patients' data were compared between the two groups to identify factors associated with the surgical difficulty of TULAA. A scoring system to predict whether TULAA can be completed in its proper time without requiring conversion was constructed according to the identified factors. Secondly, we applied the prediction model to 64 consecutive cases of emergency appendectomy and was able to select the operative procedure for these patients. The cases in which TULAA was properly conducted with the prediction model were compared with those without.

RESULTS : Seven difficulty factors (time to operation > 24 hours, CRP > 4.0 mg/dl, inflammation of appendiceal root, appendicular inflammation, maximum diameter ratio of fecalith / swelling appendix > 0.5, peri-appendiceal ascites, small bowel distention) were identified in the patients' group that resulted in longer operative time or requiring conversion. The number of factors applicable for each patient was used as a prediction model. A patient with less than or equal to 3 factors was considered as a suitable case for TULAA. Thirty-one out of 64 consecutive patients were eligible for the emergency TULAA by the prediction model. The ratio of proper completion for emergency TULAA increased from 52.3% without any prediction to 90.3% ($p < 0.05$). There were no cases in which TULAA was changed to another operative procedure during the operation.

CONCLUSION : The prediction model may be useful for surgeons to predict which emergency TULAA cases can be completed in an appropriate manner.

〈Key words〉 : appendicitis, transumbilical single-incision laparoscopic-assisted appendectomy, prediction model
