

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K09150

研究課題名(和文)縫合不全"0"を実現する高難度肝胆膵内視鏡外科手術シミュレータ開発

研究課題名(英文)Development of a surgical simulator for high difficulty hepatobiliary endoscopic surgery

研究代表者

山田 耕嗣(YAMADA, Koji)

鹿児島大学・医歯学域鹿児島大学病院・助教

研究者番号：80528042

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：内視鏡を用いた手術の普及に伴い、従来高難度とされた術式に対しても適応が拡大されている。外科医の技術向上のために、疾患を模した手術シミュレータの開発を行った。我々の研究室では先天性胆道拡張症に対する腹腔鏡下手術シミュレータを開発し、外科医の鉗子運動特性の解析に用いた。それにより、外科医の習熟度や専門分野により鉗子運動特性が異なることを明らかにした。このことを応用したシミュレータを用いた効率的なトレーニングにより手術成績の向上が期待出来ることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内視鏡手術中に外科医が扱う鉗子の動きは、外科医の習熟度や専門分野毎にそれぞれ特徴があることが明らかとなった。従来のシミュレータを用いた内視鏡手術トレーニングプログラムは、手術のプロセスの学習や基本動作の反復練習などが主なものであり、このような術者の特性を考慮されたものとはなっていない。本研究の成果を応用することで、術者の特性別に習熟の不足している動作を予め予測することができ、必要な技術を重点的に習得できる効率的なトレーニング方法を開発することが可能となる。多忙な外科医が練習に割く時間を短縮する効果が期待でき、外科医の働き方改革に貢献することが出来る。

研究成果の概要(英文)：Recently, laparoscopic surgery for highly difficulty operation has become feasible and widespread. In order to improve the skills of surgeons, we developed a high-fidelity disease-specific surgical simulator. In our laboratory, we developed a laparoscopic simulator for congenital biliary dilatation with surgical skill validation and reported the characteristics of the forceps movement of surgeons using this simulator. It was found that the characteristics of forceps movement differed depending on the surgeon's proficiency and field of specialties. It was found that efficient training using the simulator could be expected to improve surgical outcomes.

研究分野：小児外科

キーワード：腹腔鏡 トレーニング シミュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

内視鏡外科手術の普及に伴い、従来高難度手術とされていた術式(腹腔鏡下脾頭十二指腸切除術・腹腔鏡下肝切除術・腹腔鏡下胆道拡張症手術・腹腔鏡下胆道閉鎖症手術)に対し、保険収載が拡大されている。外科医の技術力向上が求められるが、現状の内視鏡外科手術の修練方法として坐学に加えドライボックス内での基本操作の反復練習、生体(動物)を用いた術式習得などがあげられるが、再現性の低さから修練を積むに十分なトレーニング環境が整っているとは言い難い。エネルギーデバイスの発達により止血および出血の対処は向上しているが、吻合技術がボトルネックとなるため縫合不全のリスクを伴う術式に対しては安全な普及が望まれる。

### 2. 研究の目的

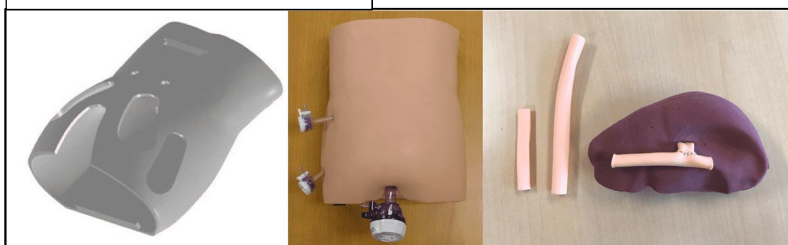
本研究では、疾患に特徴的な吻合操作を忠実に再現したシミュレータを開発しそのトレーニングの有効性を検証する。これにより高難度手術において縫合不全“0”による重篤な合併症低減と手術成績の向上、安全な内視鏡外科手術の普及を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 3Dスキャナーと腹部CTデータから臓器及び体幹の3Dモデルを作成する。得られたデータから3Dプリンターを用いて体幹モデルを作成し、ウレタン樹脂などの生体の感触に近い素材を用いて臓器モデルを作成する。

1歳10kgの気腹状態の体幹データから3Dプリンターを用いてシミュレータの外殻となる体幹モデルを作成した。内部にウレタン製の肝臓、スチレン製の肝管、空腸の臓器モデルを配置し、肝管空腸吻合モデルを作成した。(図1)

図1：体幹・臓器モデル



(2) 消化器外科医・小児外科医のそれぞれのエキスパートと修練医を被験者とし、シミュレータを用いたValidationを行う。

消化器外科医、小児外科医を対象に模擬手術を実施し、手術中の鉗子運動特性を磁気式3次元位置測定装置を用いて測定し解析した。(図2,3)

図2：模擬手術実施風景

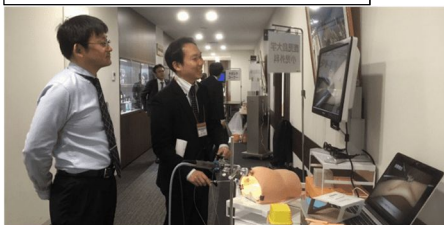


図3：鉗子軌跡の測定



(3) シミュレータを用いて、手術における様々な条件の手術に与える影響を検証する。

術者立ち位置を正面視と側面視で行った場合の違い、モニターサイズの影響、手術中の術者の頭部運動及び眼球運動を計測し検証した(図4,5,6)

図4：モニターサイズの違いの検証



図5：眼鏡型ウェアラブル端末



図6：側面視による手術



(4) トレーニング効果が実臨床における手術成績にどの様に影響したかを検証する。

反復練習によるトレーニング効果の検証と、トレーニング実施後に行った腹腔鏡下肝管空腸吻

合術における縫合不全の有無について検証する。

#### 4. 研究成果

鉗子運動特性の解析において、エキスパートと初心者では左手鉗子運動に特に違いが生じることを見出した(図7)。また小児外科医と消化器外科医の比較において、専門領域に異なる外科医間では左右の鉗子運動特性が異なることを報告した。(図8)

術者立ち位置の違いは側面視において高難度化することを見出した。

モニターサイズの違いによる影響の検討において、大型モニターが有利となりえず、手技に応じた至適モニターサイズの存在を示唆する結果を得た。(図9)

眼球及び頭部運動とモニターサイズの関連性に関する研究では、サイズによる術者の動きに有意差が乏しいことを見出し、心理的影響の存在する可能性を指摘した。(図10)

反復練習のトレーニング効果に関する検討においては、反復する毎に手術時間の短縮効果が得られる可能性を見出した。トレーニング後の手術における縫合不全は13例中0件発生と、シミュレータによるトレーニングは手術合併症発生率の低下に寄与することを見出した。(図11)

内視鏡手術中に外科医が扱う鉗子の動きは、外科医の習熟度や専門分野毎にそれぞれ特徴があることが明らかとなった。従来のシミュレータを用いた内視鏡手術トレーニングプログラムは、手術のプロセスの学習や基本動作の反復練習などが主なものであり、このような術者の特性を考慮されたものとはなっていない。本研究の成果を応用することで、術者の特異性に習熟の不足している動作を予め予測することができ、必要な技術を重点的に習得できる効率的なトレーニング方法を開発することが可能となる。多忙な外科医が練習に割く時間を短縮する効果が期待でき、外科医の働き方改革に貢献することが出来る。

図7：左手鉗子運動特性

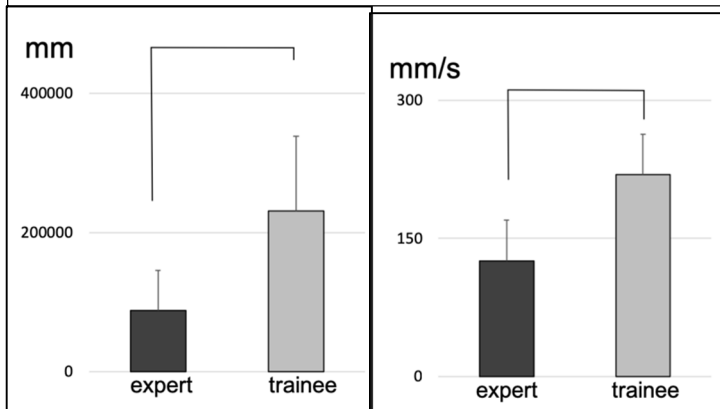


図8：小児外科医(PS)と消化器外科医(GIS)の比較

	PS	GIS	p value
Time (s)	939.57 ± 302.37	755.17 ± 442.27	0.15
Rt. total path length (m)	55.13 ± 51.21	143.53 ± 98.55	< 0.01
Lt. total path length (m)	188.02 ± 111.91	44.35 ± 40.75	< 0.01
Rt. average velocity (mm/s)	56.18 ± 46.59	201.78 ± 112.36	< 0.01
Lt. average velocity (mm/s)	188.05 ± 65.29	57.72 ± 39.70	< 0.01

図9：モニターサイズの比較

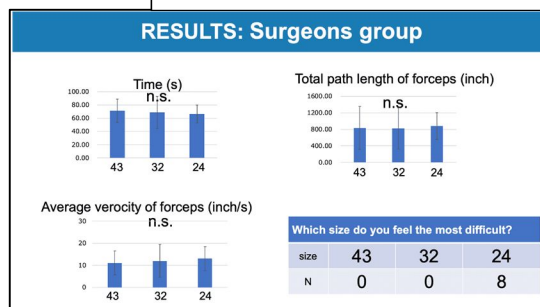


図10：眼鏡型端末

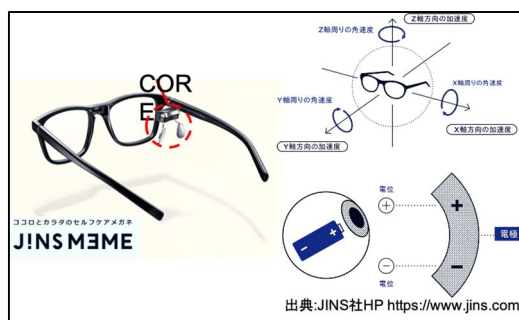
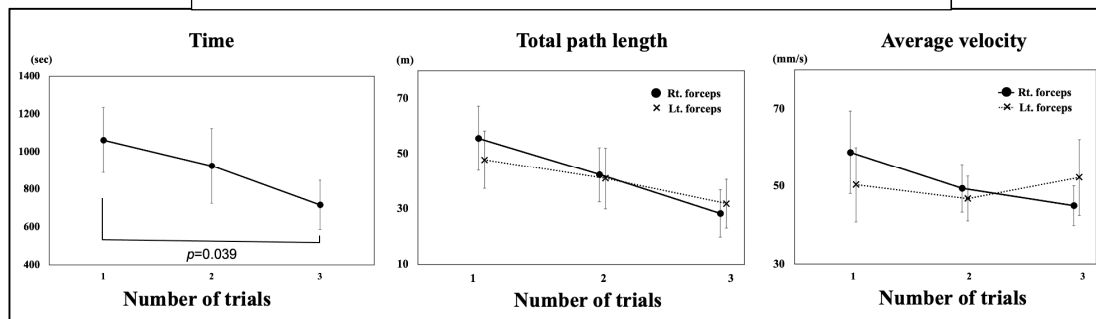


図11：トレーニング効果



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ieiri Satoshi, Koga Yoshinori, Onishi Shun, Murakami Masakazu, Yano Keisuke, Harumatsu Toshio, Yamada Koji, Muto Mitsuru, Hayashida Makoto, Kaji Tatsuru	4. 巻 29
2. 論文標題 Ambidextrous needle driving and knot tying helps perform secure laparoscopic hepaticojejunostomy of choledochal cyst (with video)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences	6. 最初と最後の頁 1--3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jhbp.1100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tatsuru Kaji, Keisuke Yano, Shun Onishi, Mayu Matsui, Ayaka Nagano, Masakazu Murakami, Koshiro Sugita, Toshio Harumatsu, Koji Yamada, Waka Yamada, Makoto Matsukubo, Mitsuru Muto, Kazuhiko Nakame, Satoshi Ieiri	4. 巻 -
2. 論文標題 The evaluation of eye gaze using an eye tracking system in simulation training of real-time ultrasound-guided venipuncture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Vascular Access	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1129729820987362	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Murakami Masakazu, Kaji Tatsuru, Nagano Ayaka, Matsui Mayu, Onishi Shun, Yamada Koji, Ieiri Satoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Complete laparoscopic choledochal cyst excision and hepaticojejunostomy with laparoscopic <sc>Roux Y</sc> reconstruction using a 5 mm stapler: A case of a 2 month old infant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asian Journal of Endoscopic Surgery	6. 最初と最後の頁 824 ~ 827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ases.12928	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 山田耕嗣、家入里志	4. 巻 5046
2. 論文標題 臨床各科 差分解説「シミュレータを用いた内視鏡外科手術トレーニング」	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 週刊日本医事新報	6. 最初と最後の頁 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harumatsu Toshio, Nagai Taichiro, Yano Keisuke, Onishi Shun, Yamada Koji, Yamada Waka, Matsukubo Makoto, Muto Mitsuru, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Differential advantage of liver retraction methods in laparoscopic fundoplication for neurologically impaired patients: a comparison of three kinds of procedures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pediatric Surgery International	6. 最初と最後の頁 591 ~ 596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00383-020-04646-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ieiri Satoshi, Murakami Masakazu, Baba Tokuro, Harumatsu Toshio, Yamada Koji	4. 巻 4
2. 論文標題 Technical tips concerning laparoscopic hepaticojejunostomy for choledochal cyst in children with a focus on secure anastomosis for small hepatic ducts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery	6. 最初と最後の頁 20 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21037/ales.2019.02.03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Moriguchi Tomoe, Machigashira Seiro, Sugita Koshiro, Kawano Masato, Yano Keisuke, Onishi Shun, Yamada Koji, Yamada Waka, Masuya Ryuta, Kawano Takafumi, Nakame Kazuhiko, Mukai Motoi, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 A Randomized Trial to Compare the Conventional Three-Port Laparoscopic Appendectomy Procedure to Single-Incision and One-Puncture Procedure That Was Safe and Feasible, Even for Surgeons in Training	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques	6. 最初と最後の頁 392 ~ 395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/lap.2018.0195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Onishi Shun, Ikee Takamasa, Murakami Masakazu, Yano Keisuke, Harumatsu Toshio, Baba Tokuro, Yamada Koji, Yamada Waka, Masuya Ryuta, Machigashira Seiro, Nakame Kazuhiko, Mukai Motoi, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 A Comparison of the Effectiveness Between Three Different Endoscopic Surgical Skill Training Programs for Medical Students Using the Infant Laparoscopic Fundoplication Simulator: A Randomized Controlled Trial	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques	6. 最初と最後の頁 1252 ~ 1258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/lap.2019.0212	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Koji, Murakami Masakazu, Yano Keisuke, Baba Tokuro, Harumatsu Toshio, Onishi Shun, Yamada Waka, Masuya Ryuta, Machigashira Seiro, Nakame Kazuhiko, Mukai Motoi, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Impact and Characteristics of Forceps Manipulation of Three-Dimensional in Laparoscopic Hepaticojejunostomy Mimicking a Disease-Specific Simulator: A Comparison of Expert with Trainee	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques	6. 最初と最後の頁 1378 ~ 1382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/lap.2019.0211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Koji, Murakami Masakazu, Yano Keisuke, Baba Tokuro, Harumatsu Toshio, Onishi Shun, Yamada Waka, Masuya Ryuta, Machigashira Seiro, Nakame Kazuhiko, Mukai Motoi, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Impact and characteristics of two- and three-dimensional forceps manipulation using laparoscopic hepaticojejunostomy mimicking a disease-specific simulator: a comparison of pediatric surgeons with gastrointestinal surgeons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pediatric Surgery International	6. 最初と最後の頁 1051 ~ 1057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00383-019-04538-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakame Kazuhiko, Onishi Shun, Yano Keisuke, Murakami Masakazu, Kawano Masato, Baba Tokuro, Harumatsu Toshio, Yamada Koji, Yamada Waka, Masuya Ryuta, Kawano Takafumi, Machigashira Seiro, Mukai Motoi, Kaji Tatsuru, Ieiri Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Effectiveness of Simulator Training Mimicking a Patient's Specific Situation for Neonatal Congenital Diaphragmatic Hernia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques & Part B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/vor.2018.0542	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yamada K, Yamashita T, Yonemori S, Yano K, Harumatsu T, Yamada W, Matsukubo M, Muto M, Kaji T, Ieiri S
2. 発表標題 Effect of monitor size on forceps manipulation of endoscopic surgery using medical students and pediatric surgeons
3. 学会等名 IPEG 's 30th Annual Congress for Endosurgery in Children (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田耕嗣、祁答院千寛、松井まゆ、村上雅一、矢野圭輔、春松敏夫、大西 峻、山田和歌、武藤 充、加治 建、家入里志
2. 発表標題 腹腔鏡下肝管空腸吻合術シミュレータの開発
3. 学会等名 第44回日本膵・胆管合流異常研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 里井俊太郎、志築朋和、山田耕嗣、松井まゆ、長野綾香、村上雅一、矢野圭輔、春松敏夫、大西峻、山田和歌、松久保眞、武藤充、加治建、家入里志
2. 発表標題 術者立ち位置が内視鏡外科手術の手技の精確性に与える影響 医学生を対象とした検討
3. 学会等名 第58回日本小児外科学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田耕嗣、祁答院千寛、松井まゆ、村上雅一、矢野圭輔、春松敏夫、大西 峻、山田和歌、武藤 充、加治 建、家入里志
2. 発表標題 腹腔鏡下高難度肝胆膵手術シミュレータ開発 肝管空腸吻合術の技術評価およびトレーニングツールへ向けて
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 耕嗣, 長野 綾香, 松井 まゆ, 矢野 圭輔, 春松 敏夫, 大西 峻, 山田 和歌, 松久保 眞, 武藤 充, 加治 建, 家入 里志
2. 発表標題 小児内視鏡外科手術における疾患シミュレータの開発とその検証
3. 学会等名 第36回日本小児外科学会秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 春松 敏夫, 長野 綾香, 松井 まゆ, 村上 雅一, 矢野 圭輔, 大西 峻, 山田 耕嗣, 山田 和歌, 松久保 眞, 武藤 充, 加治 建, 家入 里志
2. 発表標題 Needlescopic Surgeryの導入による完全内視鏡外科手術の実現
3. 学会等名 第36回日本小児外科学会秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下 哲平, 米盛 隼弥, 山田 耕嗣, 矢野 圭輔, 春松 敏夫, 松久保 眞, 武藤 充, 加治 建, 家入 里志
2. 発表標題 モニターサイズが内視鏡外科手術の手技に与える影響の検討 外科医を対象とした検討
3. 学会等名 第 57 回日本小児外科学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米盛 隼弥, 山下 哲平, 山田 耕嗣, 矢野 圭輔, 春松 敏夫, 松久保 眞, 武藤 充, 加治 建, 家入 里志
2. 発表標題 モニターサイズが内視鏡外科手術の手技に与える影響の検討 医学生を対象とした検討
3. 学会等名 第 57 回日本小児外科学会学術集会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Yamada K, Murakami M, Yano K, Baba T, Harumatsu T, Onishi S, Yamada W, Masuya R, Machigashira S, Nakame K, Mukai M, Kaji T, Ieiri S.
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF HIGH-FIDELITY TRAINING SIMULATOR OF LAPAROSCOPIC SURGERY FOR CHOLEDOCAL CYST AND BILIARY ATRESIA
3. 学会等名 The 28th Annual Congress of the International Pediatric Endosurgery Group (IPEG) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田耕嗣、山田耕嗣、村上雅一、矢野圭輔、馬場徳朗、春松敏夫、大西 峻、山田和歌、 榎屋隆太、町頭成郎、中目和彦、向井 基、加治 建、家入里志
2. 発表標題 小児高難度腹腔鏡下胆道手術（胆道閉鎖症・胆道拡張症）トレーニングシミュレータ開発 稀少疾患に対する技術標準化への取り組み
3. 学会等名 第119回日本外科学会定期学術集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	家入 里志  (IEIRI Satoshi)  (00363359)	鹿児島大学・医歯学域医学系・教授   (17701)	
研究分担者	矢野 圭輔  (YANO Keisuke)  (30757919)	鹿児島大学・鹿児島大学病院・特任助教   (17701)	
研究分担者	加治 建  (KAJI Tatsuru)  (50315420)	鹿児島大学・鹿児島大学病院・特任教授   (17701)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	春松 敏夫  (HARUMATSU Toshio)  (70614642)	鹿児島大学・鹿児島大学病院・特任助教    (17701)	
研究分担者	向井 基  (MUKAI Motoi)  (80468024)	鹿児島大学・医歯学総合研究科・客員研究員    (17701)	
研究分担者	武藤 充  (MUTO Mitsuru)  (70404522)	鹿児島大学・医歯学域鹿児島大学病院・講師    (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関