

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K09068

研究課題名(和文) 感覚融合法を用いた追体験没入型内視鏡外科手術教育システムの開発と有効性の評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of the efficacy of immersive education system for endoscopic surgery using a view-sharing method

研究代表者

小濱 和貴 (Obama, Kazutaka)

京都大学・医学研究科・教授

研究者番号：50322649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：「一人称視野共有システム」を用いて内視鏡外科手術の「追体験没入型教育システム」の開発を行った。従来のヒトの腹腔鏡下手術に対しては、追体験の基盤技術を活用して、効率的なコツの伝達が可能な手術教育システムを開発した。カダバールラボにおいて若手医師のトレーニングを施行して、前述の手術教育システムの有用性を示した。また、ロボット支援手術に関しては、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いて、追体験のコンセプトである「追体験没入型」の教育システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

習得が難しい低侵襲外科手術(直腸癌手術・胃癌手術・婦人科手術)に対して、追体験のコンセプトを用いた追体験没入型教育システムを作成した。これにより、若手外科医の手術習得のラーニングカーブをより短縮でき、また習得できる技術もより精確なものとなることが期待できる。それは、追体験のコンセプトによって非言語的なコツ(=non-verbal knacks)がダイレクトに学習者に伝達可能となり、学習効果が向上すると考えられるためである。技術の進歩によって外科医の育成が大きな課題となるが、この研究成果にはその課題を解決可能な社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A "first-person field-of-view sharing system" was used to develop a "follow-up immersive education system" for endoscopic surgical procedures. For conventional human laparoscopic surgery, we created a surgical education system that enabled efficient transmission of tips and tricks by utilizing the basic technology of "Oitore" training method. We demonstrated the usefulness of the aforementioned surgical education system by conducting training of young surgeons in our cadaver laboratory. As for robot-assisted surgery, we also developed an educational system that employs a head-mounted display (HMD) using the concept of Oitore.

研究分野：消化器外科学

キーワード：視野融合 追体験 ロボット支援手術 ヘッドマウントディスプレイ 腹腔鏡下手術 手術教育 パ
ーチャルリアリティ カダバートレーニング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

内視鏡外科手術は、低侵襲で患者メリットがある一方、動作制限のある鉗子を使って限られた狭い空間の中で手術操作を行うため、学習者が容易に習得できるようなものではない。そのため、われわれは「一人称視野共有システム」の手法を用いた内視鏡外科手術手技のトレーニングシステムの開発に取り組んできた。ドライボックスを用いて、学習者のモニターに指導者の映像を重畳させ、指導者の鉗子の動きを追いかけようとするように動かすことで、自然と縫合結紮手技が身につくように設計した「追いトレ」(アニメーション再生されている熟練者の鉗子) アニマルラボにおけるブタの腹腔鏡下 S 状結腸切除術を教材として、同じように学習者がドライボックス上で指導者の実際の手術における鉗子の動きを学習できる「追いトレアドバンス」(図1)などである。

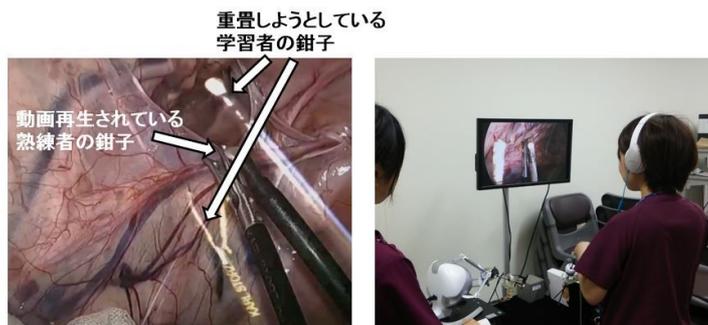


図1 ブタの腹腔鏡下 S 状結腸切除術を教材化した追いトレアドバンス。手術全体を通して熟練者の言語的および非言語的なコツが効率的に伝達できた (Proc. of ASIAGRAPH 2017, 22-24, 2017)。

この「追いトレ」のコンセプトは、伝達困難な言語化されない熟練者の“コツ”を、そのまま学習者へ直感的に技術移転 (skill transfer) することにある。非言語的な“コツ”を“見える化”することはなかなか困難なので、「一人称視野共有システム」である「追いトレ」により自然と理想的な鉗子の動きや軌道が身につくように設計されている(図2)その開発過程で、学習者がより興味をもって継続的に手術学習に取り組み、なおかつより効率的な技術伝達が可能となる教育システムの開発が課題として浮き上がってきた。

また、ロボット支援手術は、本邦で2018年4月に12術式が一気に保険収載されたことから、国民の低侵襲手術の志向もあいまって、手術件数が増加している。一方では、術者の養成がなかなか進んでいないことが現状の大きな課題である。したがって、より効率的に熟練者の“コツ”を伝達できて、多くの優秀な術者の育成が可能となる手術教育システムの開発が急務である。

上記のような背景から、実際のヒトの腹腔鏡下手術を、どのように「一人称視野共有システム」を用いてリアリティをもって実現するか、そして3D visionのロボット支援手術でもこの手法を用いて実現可能か、またこの「一人称視野共有システム」による学習効率の定量的な評価法の確立は可能か、がこの研究における核心的な問いである。

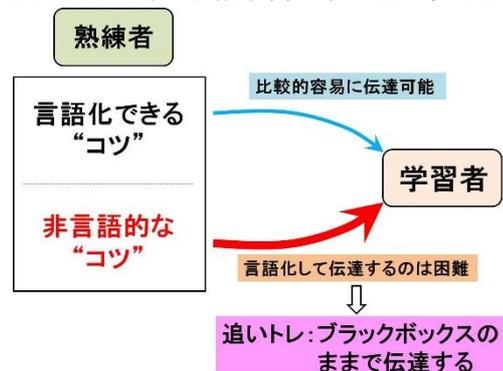


図2 「追いトレ」のコンセプトと熟練者のコツの伝達。

2. 研究の目的

「一人称視野共有システム」を用いて内視鏡外科手術の「追体験没入型教育システム」の開発を目指す。従来のヒトの腹腔鏡下手術に対しては、追いトレの基盤技術を活用して、効率的なコツの伝達が可能システムを開発する。ロボット支援手術に関しては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて、追いトレのコンセプトである「追体験没入型」の教育システムを開発する。さらに、その教育効果を定量的に評価する方法を確立する。

なお、本研究は、「一人称視野共有システム」という手法を用いて、熟練者の非言語的なコツの伝達の効率化を図り、新たな教育システムの開発を目的としている点が特色である。特にロボット支援手術に対しては、HMDを用いて、ロボット支援手術の実際と同様の没入感と3D動画を維持しながら、かつ仮想鉗子で熟練者の鉗子を追いかけ、その理想的な鉗子の動きと軌道を自然に身につけるといふ、独自性と創造性の高いコンセプトに基づいた開発となる。

HMDを用いた3D VR画像を外科手術に利用する試みはこれまでいくつか報告されているが、実際の手術動画を教材化し、没入感を伴う追体験型の教育システム開発を行った例はない。

より効率的な手術教育システムを開発することより、より多くの熟練した内視鏡外科医を育成でき、低侵襲手術をより多くの国民が享受できることになる。また、合併症の減少・QOLの

改善・生命予後の改善による健康寿命の改善・社会保障費の削減にもつながる。

3. 研究の方法

一人称視野共有システムによるヒト腹腔鏡下 S 状結腸切除術の手術教育システムの開発
平成 31 年度：すでに実際のヒトの腹腔鏡下 S 状結腸切除術における熟練者の手技の動画を用いて教材の作製を開始している。スコープの動きの再現と画角の調整には、緻密な経時的 3 次元座標の計算と実際の操作感の改善の繰り返しが必要であり、平成 30 年 10 月現在もプロトタイプ完成に向けて調整を続けている。平成 31 年度の前半でプロトタイプを完成し、 の評価に移行する。

令和 2 年度以降：cadaver ラボによる定量的な評価ののちに、腹腔鏡下直腸癌手術や腹腔鏡下胃切除術など、他の術式についての教材の作成を行う。S 状結腸切除術と同様に、

- ・手術動画の分節化と編集（約 30 分程度、約 10-20 程度のステップに分節化し、学習しやすいように編集する）および音声解説の作成
- ・分節化して編集された熟練者の手技動画と学習者の鉗子画像の重畳
- ・リアルタイムな音声解説（＝“言語的なコツ”の伝達）の調整
- ・取得していたスコープの経時的 3 次元的位置情報の再生のための調整
- ・操作感の改善のための画角調整

のステップを経て、作製していく。また、消化管外科領域のみならず、婦人科領域でも教材作製を進めていく。

視野共有と HMD によるロボット支援手術の追体験没入型教育システム開発

平成 31-令和 2 年度：3D で録画されたロボット支援手術動画（胃切除術、直腸切除術など）を教材用に分節化して編集する。手元動画も撮影して合成し、学習者が手元の動きを術野の動きと連動して学習できるようにする。仮想鉗子を HMD 上で表示できるように入力鉗子とアプリケーション、教材の 2 種類の動画を切り替えられるようなアプリケーションを作成する。それらを統合し、教材として完成させる。

令和 3 年度以降：cadaver ラボによる教育効果の評価を行う。

Cadaver ラボによる定量的な評価

平成 31 年度：ヒト腹腔鏡下 S 状結腸切除術の手術教育システムの教育効果を、cadaver ラボにより評価する。Cadaver は非常に貴重であるため、このシステムによる学習者とコントロールとなる若手外科医を 4-6 人程度ずつとし、2-3 回に分けて行う。学習者とコントロールとなる若手医師は腹腔鏡下 S 状結腸切除を施行、録画した手術ビデオを日本内視鏡外科学会の技術認定医が、学会が定めた基準にもとづいて採点し比較する。

令和 2 年度以降：前述のロボット支援手術の術式や追加となった腹腔鏡の術式（胃切除や直腸切除）でも同様に cadaver ラボで定量的評価を行う。

4. 研究成果

実際のヒトの腹腔鏡下 S 状結腸切除術の動画を使って、視野共有法を用いたトレーニングシステム（追いトレ）のプロトタイプを作製し、実際の操作感の改善を繰り返し行ったのち、カダバーラボによる評価を行った。具体的には、追いトレ群 4 名、コントロール群 4 名の研修医によるカダバートレーニングを行い（実際にカダバーラボで S 状結腸切除術を執刀）、その手技の評価を施行した。その結果、被検者の主観的な技術向上感、手術時間の短縮を認めた。この比較研を遂行するにあたり、いくつかのハードルが存在した。すなわち、御献体は貴重でリソースが有限であるため、比較に十分な N 数を確保するには時間がかかるという点、そして令和 2 年 2 月ごろから始まったコロナ禍のため、カダバーラボによる評価を進めるのは一定の困難を伴ったという点である。

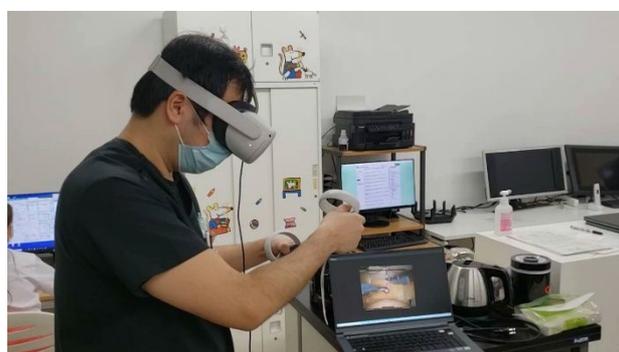


図3 「追いトレ VR」の操作風景。Oculus Quest を用いた教材で、実際に手を動かしながら術式の操作手順や操作のコツを理解し習得する。

なお、教材作製に関する倫理性、およびカダバーラボによるトレーニングとその評価に関する倫理性を担保することは非常に重要であるが、この研究においては、丁寧な手続きによる倫理審査を受けて承認を受けており、適正に研究の倫理性を担保しつつ進められたといえる。

また、視野共有と HMD によるロボット支援手術の追体験没入型教育システム開発に関しては、ロボット支援手術の 3D 動画撮影を複数の症例（直腸癌および胃癌手術症例）で行い、教材用に分節化して動画の

編集作業を完了、HMD (Oculus Quest) を用いて付属の入力装置で操作するプロトタイプを作成した (図 3)。この操作性の検証を実施しつつ視野角や User interface などの最適化を行った。また、汎用性を持たせるために、VR 教材をスムーズに作製できるソフトウェアの開発も終了し、これを使用してさらなるコンテンツの作製、および教育への活用を進めている。現在は、このソフトウェアを用いてさらに婦人科手術術式についてもコンテンツ作製を開始し、VR 教材のプロトタイプを作製した。それを用いて、婦人科の若手医師によるバリデーションを現在施行している。

今後、作成した VR 教材による若手医師への教育効果の向上を定量化して評価する臨床研究を、各術式において計画している。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Hosogi Hisahiro, Obama Kazutaka, Tsunoda Shigeru, Hisamori Shigeo, Nishigori Tatsuto, Tanaka Eiji, Satoh Seiji, Okabe Hiroshi, Kanaya Seiichiro, Sakai Yoshiharu	4. 巻 51
2. 論文標題 Educational application of intraoperative records from an energy device in laparoscopic gastrectomy: a preliminary report	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surgery Today	6. 最初と最後の頁 829 ~ 835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00595-020-02160-x	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 Okabe H, Sunagawa H, Saji M, Hirai K, Hisamori S, Tsunoda S, Obama K.	4. 巻 15
2. 論文標題 Comparison of short-term outcomes between robotic and laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a propensity score-matching analysis.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotic Surgery	6. 最初と最後の頁 803-811
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11701-020-01182-4	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 安藤 英由樹	4. 巻 44
2. 論文標題 腹腔鏡手術手技習得支援のための追体験システムと習熟評価 (特集 手持ち操作の習熟)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 236-241
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 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 15.Okabe H, Obama K, Tsunoda S, Matsuo K, Tanaka E, Hisamori S, Sakai Y.	4. 巻 10
2. 論文標題 Feasibility of robotic radical gastrectomy using a monopolar device for gastric cancer.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surgery Today	6. 最初と最後の頁 820-827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00595-019-01802-z	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 Shibasaki S, Suda K, Obama K, Yoshida M, Uyama I.	4. 巻 50
2. 論文標題 Should robotic gastrectomy become a standard surgical treatment option for gastric cancer?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surgery Today	6. 最初と最後の頁 955-965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00595-019-01875-w	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 -

〔学会発表〕 計8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明 早石直広 角田茂 久森重夫 錦織達人 星野伸晃 池田篤志 前田太郎
2. 発表標題 Development of a new educational system for robotic surgery using virtual reality and follow-up experience of real surgery
3. 学会等名 Asian-Pacific Congress of Robotic Laparoscopic Surgery (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明
2. 発表標題 Development of a novel educational system for robotic surgery using VR
3. 学会等名 Japan Digestive Disease Week 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明 角田茂 久森重夫 河田健二 肥田侯矢 錦織達人 高井昭洋 岩本哲好 吉富摩美
2. 発表標題 熟練者の“コツ”を伝達するための内視鏡外科手術教育システム「追いトレ」
3. 学会等名 第82回日本臨床外科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明 住井敦彦 角田茂 久森重夫 河田健二 肥田侯矢 岩本哲好 錦織達人 吉富摩美 高井昭洋 寺島章宥 前田太郎 坂井義治
2. 発表標題 内視鏡外科手術教育システム“追いつレ”のカダバートレーニングによる評価
3. 学会等名 第81回日本臨床外科学会総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明 住井敦彦 角田茂 久森重夫 河田健二 肥田侯矢 岩本哲好 錦織達人 吉富摩美 高井昭洋 寺島章宥 前田太郎 坂井義治
2. 発表標題 視野共有法によって熟練者の“コツ”を伝達する：消化器内視鏡外科手術教育システム“追いつレ”の開発
3. 学会等名 日本消化器外科学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤英由樹 坂井義治 小濱和貴 内田広夫 出家亨一 松田公志 吉田健志 早石直広
2. 発表標題 内視鏡外科手術における熟練医の追体験トレーニングシステムとその評価
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小濱和貴 安藤英由樹 岡田倫明 早石直広 角田茂 久森重夫 錦織達人 板谷喜朗 肥田侯矢 前田太郎
2. 発表標題 A novel training system for robotic gastrointestinal surgery using VR and view-sharing method
3. 学会等名 日本消化器外科学会総会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小濱和貴
2. 発表標題 Robotic gastrectomy for Gastric cancer
3. 学会等名 The 34th World Congress of the IASGO (International Association of Surgeons, Gastroenterologists and Oncologists) (国際学会)
4. 発表年 2023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	安藤 英由樹 (Ando Hideyuki) (70447035)	大阪芸術大学・芸術学部・教授 (34405)	
研究分担者	坂井 義治 (Sakai Yoshiharu) (60273455)	京都大学・医学研究科・教授 (14301)	2020年3月に退官し、現在は大阪赤十字病院 病院長 (京都大学大学院医学研究科 名誉教授)
研究分担者	岡田 倫明 (Okada Tomoaki) (40848206)	京都大学・医学研究科・特定助教 (14301)	現在は大阪赤十字病院 外科医長(京都大学消化管 外科客員研究員兼務)

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
---------	---------