

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K10024

研究課題名(和文) 視野融合とウェアラブルデバイスを用いた低侵襲手術の統合的教育システムの開発

研究課題名(英文) Development of integrated training system for minimally invasive surgery using view-sharing system and wearable devices

研究代表者

小濱 和貴 (Obama, Kazutaka)

京都大学・医学研究科・准教授

研究者番号：50322649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：当研究では、感覚融合のひとつである「視野共有手法」と「ウェアラブルデバイス」を用いて、低侵襲外科手術の統合的なトレーニングシステムの開発を目的としている。熟練外科医の「非言語的な“コツ”」を効率的に伝達できるシステム構築を目指して、追体験型手術トレーニングシステム「追体験アドバンス」を開発し、その有効性を確認することができた。また、低侵襲手術の統合的な教育・コミュニケーション支援システムの開発のために、HoloLens(Microsoft社)を用いたシステム開発を進め、手術中の効率的な教育的コミュニケーションを可能とするアプリケーションのプロトタイプを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to develop an integrated training system for minimally invasive surgery using “view-sharing method” and “wearable devices”. For efficient surgical education, it is important to effectively transmit the “non-verbal skills” of experts to trainees. In this context, we developed the re-experience type of surgical training system “Oitore advance”, by which trainees were able to perform training of “follow-up experience of real surgery”. The effectiveness of this training system was already confirmed by the experiment in which surgical interns and residents participated. Moreover, we have developed a prototype of applications of an integrated educative communication support system using wearable devices.

研究分野：上部消化管内視鏡手術および手術教育

キーワード：感覚融合 内視鏡下手術 手術教育

1. 研究開始当初の背景

消化器外科領域における低侵襲手術とは、体腔鏡（腹腔鏡や胸腔鏡）を使用した内視鏡下手術である。内視鏡下手術では、従来の開腹・開胸手術と異なり、手術で使用される鉗子の動作制限や、2次元のモニター上に映し出される術野の画像を術者が頭の中で3次元に変換しながら手術しなければいけないという問題があり、難易度が高い。一方で、低侵襲手術により患者が享受する恩恵は大きいため、低侵襲手術を安全かつ精確に施行できる外科医の育成は急務である。しかし、その教育システムは未だ確立しているとは言いがたい。

低侵襲手術において、外科医がマスターすべき重要な技術には、正確で安全な剥離操作（特にがんの手術におけるリンパ郭清など）と内視鏡下縫合結紮手技がある。しかし、動きの制限される鉗子を使って限られた狭い空間の中で行う剥離操作や縫合結紮は、高度な技術が要求され、一朝一夕に身につくような技術ではないと言える。

このような高度な技術の習得支援においては、いかに効率よく技術を伝達するかが重要となる。すなわち、言語による伝達以外に、指導者の持つ非言語的な知覚を修練者に獲得させることがカギとなる。このような非言語的知覚の伝達方法の確立こそ、低侵襲外科手術に必要とされる高度な技術（いわゆる“匠の技”）の教育に求められている。

そこで我々は、「視覚の融合」と「ウェアラブルデバイス」に着目した。

低侵襲外科手術では、術野の画像がモニターに提示されるため、複数の人間が同じイメージを共有することになる。これは、手技

のトレーニングにおいても同じである。従来のトレーニングでは、指導者の動きを見て学習者が学び、それを自分で試行錯誤しながらトレーニングするのが一般的である。すなわち、指導者の動きを「三人称の視点」から見て、それを「一人称の視点」に変換し、学習者がモニター上で動きを再現しようとするようになる。そこには視点の変換の煩雑さや、指導者の手技からの学びと実際に自分で手技を再現するまでのタイムラグが問題となり、指導者の手技の伝達という点では効率が良くない。そこで、指導者の「手本」となる動画と、学習者の実際の動きを同一モニター上に重畳することによって、「一人称の視点」のままリアルタイムに指導者の動きを学習者が再現できるシステムを考案した。これが「視覚の融合」を用いた、より直観的にトレーニングが可能となる教育システムである（図1）。

また、「ウェアラブルデバイス」に関しては、ヘッドマウントディスプレイ（HDM）を用いた手術教育・術中コミュニケーション支援システムの構築を考えた。ウェアラブルデバイスならではの利点を生かして、言語化できない低侵襲手術手技の「コツ」の伝達を支援する教育システムを構築することができれば、内視鏡外科手術教育に役立つであろうと考えたためである。

2. 研究の目的

本研究では、上記の「視覚の融合」と「ウェアラブルデバイス」を用いて、低侵襲外科手術の手技（剥離操作や縫合結紮手技）の統合的なトレーニングシステムを開発・構築することを目的とした。

3. 研究の方法

1) 「視野の融合」を用いたシミュレーションによるトレーニング

従来の内視鏡下手術手技のトレーニング方法とは異なり、視野合成法を用いることで、内視鏡下縫合結紮のトレーニングの学習効率が高まることをすでに我々は示している。具体的には、指導者の手本となる手技の動画を学習者のモニター上に重ねて表示し、学習者がトレーニング装置の鉗子を使って指導者の鉗子の動きを追いかけ、「一人称の視点」のまま直感的に熟練者の動きを習得していくという方法論である。これを、リンパ郭清など組織の剥離操作にも応用するため、ブタを用いた手術（大腸切除術や胃切除術）での指導者の剥離操作を編集した手本となる動画を作製する。その動画作成にあたっては、アニマル・ラボでのブタを用いた指導者による手術が必要となると考えられる。また、内視鏡下手術用のスコープの三次元的な位置座標のデータを経時的に記録、トレーニング装置でスコープの視野と動きとして再生させる必要があり、そのシステム構築も必要である。この指導者の手本動画をトレーニング装



図1 内視鏡下結紮縫合のためのトレーニングシステム「追いトレ」

置の学習者のモニター上に重ねて表示（視野の融合）し、学習者が剥離操作をシミュレーションする（指導者の鉗子操作を“追いかけるように”なぞる）ことで、学習者の学習効率がどれくらい向上するのかを評価検討することとした。

2) 「ウェアラブルデバイス」を用いた手術支援システムの開発

ウェアラブルデバイスを用いた内視鏡下手術トレーニングシステムの開発については、これまでに報告がほとんどなく未知の領域である。我々は、先述の通り、視野合成法を用いた内視鏡下縫合結紮手技のトレーニング装置でその有効性を確認している（図1）。つまり、視野の融合という観点からウェアラブルデバイスを選択するとすれば、視野共有システムの考え方を用いたビデオスルーヘッドマウントディスプレイ（HMD）を使用するのが理に適っている。これを用いて、術中の手術教育や術中コミュニケーションシステムの構築を行う。

3) 教育効果の検証実験

トレーニング効果の検証実験は、京都大学病院やアニマルラボで行う。具体的には、医学部学生や研修医、現役の外科医師に実際にトレーニングしてもらい、手技にかかる時間・鉗子の動きのスムーズさ・正確さを経時的に評価し、トレーニング前後での比較や通常のトレーニング方法を用いたグループとの学習効率の比較検証を行う。なお、動きのスムーズさや正確さについては、鉗子運動をいくつかのステップに分けて到達目標を設定し、その規準に基づいて熟練者が採点をする方法で定量的に評価する。

4. 研究成果

執刀医坂井（京大）、スコピスト小濱（京大）助手1名により施行・撮影されたアニマルラボでのブタ腹腔鏡下S状結腸切除術の動画を用いて、教材を作製した。

この教材は、手術動画を約30秒から5分の、複数の工程（10個）に分解し、視野合成法を用いてシーケンシャルに学習者のモニター上に提示する。手術の進行に伴いスコップの位置も変化するが、これはスコップ先端の位置情報を光学的・磁気的に記録し、学習時に安価なカメラロボットにより再現することで、手本動画の視野と学習者の視野をずれることなく重畳することに成功した。手本動画の熟練者の鉗子の動きを追いかけるように、学習者が鉗子を動かすことで、まるで自分が実際の手術をしているような没入感が得られ、熟練者の操作をそのまま体得することが可能となる。いわば、「追体験型」の教育システムといえる（図2）。

このトレーニングシステムの内視鏡下手術学習効果の評価を行った。実際のブタS

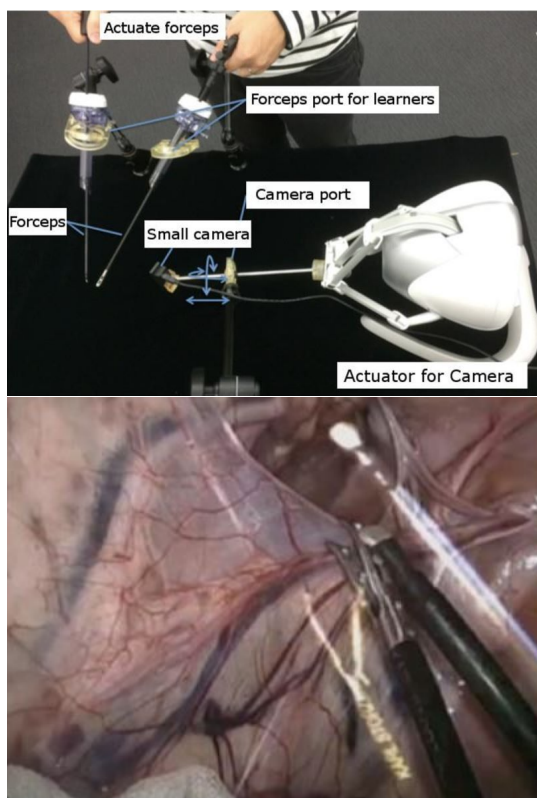


図2：ブタの腹腔鏡下手術の追体験型教育システム「追トレアドバンス」

状結腸切除術を複数の学習者に施行してもらい、その技術点数を熟練者によって評価したところ、このシステムの学習効果の高さが示された。具体的には、このシステムを用いてトレーニングを行ったグループ（4名）と、通常のトレーニング（トレーニングボックスなど）を行ったグループ（4名）の、アニマルラボにおけるブタの腹腔鏡下S状結腸切除

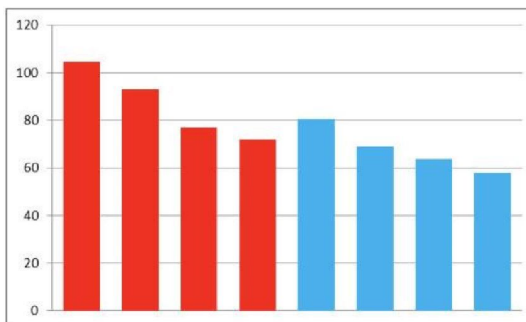
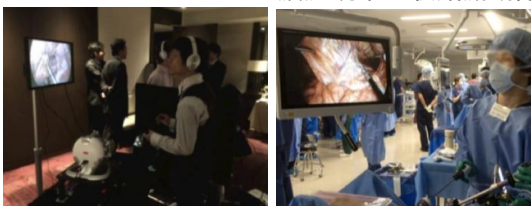


図3 上：トレーニングの様子と、実際のブタの腹腔鏡下手術の様子。下：追トレアドバンスによるトレーニング施行群（4名、赤）と独学でのトレーニング施行群（4名、青）

術の点数評価(3名の日本内視鏡外科学会技術認定医による8名の学習者のブタ手術の点数評価)を行い、比較した。すると、この追体験型トレーニングシステムを用いてトレーニングを行ったグループの方が、手術技術の点数が高い傾向にあり、有効性を確認することができた。

アニマルラボによる手術でこのシステムの有効性が示されたため、実際のヒトの手術で教材作製することとした。研究プロトコルを作成して京都大学病院の倫理委員会の適正な審査を受けたのちに、実際の腹腔鏡下S状結腸切除術で熟練者(執刀医坂井)の動画を撮影、同時にスコープの経時的な位置情報を光学および磁気的に記録した。撮影した動画の分節化と編集作業、およびスコープの位置情報と実際の手術進行とをズレの内容に調整する作業を終了し、プロトタイプ完成の最終段階にある。このプロトタイプが完成すれば、この評価のために、cadaverもしくはシミュレーターを用いた実験を、「追いつトレアドバンス」と同様に行う予定である。これにより教育効果が得られることが判明すれば、S状結腸切除のみでなく、胃切除や食道切除、その他の外科手術やロボット支援手術にもコンテンツを増やしていく予定である。

ウェアラブルデバイスについては、現在腹腔鏡下手術の統合的な教育・コミュニケーション支援システムの開発のために、HoloLens(Microsoft社)を用いたシステム開発を進めている。音声入力や視線入力、そのほか様々な入力形式により、手術中の効率的な教育的コミュニケーションを可能とするアプリケーションのプロトタイプを開発した。このプロトタイプの評価を京都大学病院で行い(京都大学消化管外科の医師が4名参加)現在細かな最適化を行っているところである。今後、入力方法の最適化・音声認識の最適化などを行い、インターフェイスの変更を行って、さらにプロトタイプを改良していく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

常明, 青山一真, 古川正紘, 小濱和貴, 坂井義治, 前田太郎, 安藤英由樹、腹腔鏡手術のボックストレーニングにおける立体情報提示が針刺入スキルの学習に与える影響、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol.20、2015、pp.299-309

Naohiro Hayaishi¹, Kazutaka Obama, Yoshiharu Sakai, Hideyuki Ando、Laparoscopic Surgery training system using follow-up experience of real surgery、ASIAGRAPH 2017 International Conference Proceedings、2017、pp.22-24

[学会発表](計9件)

小濱和貴、安藤英由樹、松尾宏一、山本栄司、坂井義治、前田太郎、3D画像を用いた視野合成法による内視鏡下縫合結紮技術のトレーニング、第115回日本外科学会定期学術集会、2015年4月、名古屋
小濱和貴、安藤英由樹、松尾宏一、山本栄司、前田太郎、坂井義治、視野融合の技術を利用した内視鏡手術トレーニングシステムの開発、第77回日本臨床外科学会総会、2015年11月、福岡

近藤大祐, 常明, 小濱和貴, 坂井義治, 安藤英由樹、視野共有による腹腔鏡下手術サポートシステムの提案、ロボティクスメカトロニクス講演会2016、2016年6月、横浜

小濱和貴ほか、視野共有手法を応用した腹腔鏡手術トレーニングシステム「追いつトレアドバンス」の有用性、第78回日本臨床外科学会総会、2016年11月、東京
安藤英由樹ほか、意識下応答を活用した情報提示デバイスの研究、平成28年度第1回フォーラム-日本基礎心理学会、2016年5月、東京

小濱和貴ほか、内視鏡手術トレーニングシステムを用いた手術の“コツの見える化”、2016年度第4回次世代医療システム産業化フォーラム、2016年9月、京都
Kazutaka Obama, Hideyuki Ando, Kenji Kawada, Mami Yoshitomi, Koya Hida, Taro Maeda, Yoshiharu Sakai, A Novel Training System of Laparoscopic Surgery Using “Virtual Experience” of Real Surgery by “Superimposed View Method”、25th Congress of European Association of Endoscopic Surgery: “Amazing Technology”、2017、Frankfurt、Germany

小濱和貴 安藤英由樹 前田太郎 坂井義治、熟練者の非言語的な“コツ”を学習者にどう伝達するか? ~視野共有法を用いた“追いつトレ”の開発~、第67回日本泌尿器科学会中部総会、2017年11月、大阪

Naohiro Hayaishi, Kazutaka Obama, Yoshiharu Sakai, Hideyuki Ando、Laparoscopic Surgery training system using follow-up experience of real surgery、ASIAGRAPH 2017 in Kaohsiung、2017、Taiwan

6. 研究組織

(1)研究代表者

小濱 和貴(OBAMA, Kazutaka)
京都大学・大学院医学研究科・准教授
研究者番号: 50322649

(2)研究分担者

安藤 英由樹(ANDO, Hideyuki)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：70447035

坂井 義治 (SAKAI, Yoshiharu)
京都大学・大学院医学研究科・教授
研究者番号：60273455

前田 太郎 (MAEDA, Taro)
大阪大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：00260521