

# 腹腔鏡手術における感覚融合技術を利用したトレーニング及びサポートシステムの研究開発 (131207003)

Research and development of training and support system using the sense of fusion technology  
in laparoscopic surgery

## 研究代表者

安藤英由樹 大阪大学大学院情報科学研究科

Hideyuki Ando Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

## 研究分担者

坂井 義治 小濱 和貴

Yoshiharu Sakai Kazuki Obama

京都大学大学院医学研究科消化管外科

Graduate School of Medicine and Faculty of Medicine Kyoto University

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

## 概要

臓器手術において切開の必要のない腹腔鏡手術では、患者への負担が軽く、回復が早いというメリットがあり、特に体力が不十分である高齢者や子どもには効果的であり、普及が望まれている。しかしながら、高度な技術を要するため、専門医が不足しており、熟練者の養成こそが重要な課題である。そこで本研究では、ICT 技術と感覚融合誘導手法を用いて、適切な教育者の介入を促す効果的な術式トレーニングシステム及び実際の手術中における支援システム開発の実現を目指す。

### 1. まえがき

この研究は情報通信技術を活用して腹腔鏡手術の熟練者を育成することを目的とした研究開発である。腹腔鏡手術は腹部に 5-12mm 程の穴を 4-5 箇所あけ、そこから専用カメラや電気メス、鉗子などの道具を入れて、テレビモニターを見ながら行う手術であり、最大の特徴はその低侵襲性にある。傷が小さいため、術後の痛みが軽く、早期の離床が可能、開腹術と比べて腹腔内が空気にさらされないため臓器への負担も軽い、美容的に優れており、入院期間の短縮、早期の社会復帰が可能であるとされている。特に体力が不十分である高齢者や子どもには効果的であり、大規模病院だけでなく、中規模レベルの病院でも運用可能な状況が望まれている。しかしながら、カメラを通じて状況を把握することや、ポート留置部を支点として特殊な腹腔鏡用鉗子を利用するため移動方向が手の動きと逆になるなど、術式を習得することが困難であり、結果として、手術の難易度が高く、習得に時間がかかることが問題となっており、短時間で適切に処置を行うことができる医師は多くないこと、またそのために熟練医の手術回数も多く熟練医が修練者のための教育に当てる時間も不足していることなどの要因から、熟練者不足が現状の最も大きな問題である。従って、熟練者を短時間で養成し増やすための術式教育そのものが重要な課題である。これは情報通信技術を活用することで推進が可能である。従来のトレーニング手法ではドライボックスを用いた手法が提案されてきた。しかしあくまで、手術の模擬を行うのみであって、熟練者が修練者に教示する場合には、モニター画面を指さして指摘するなど、言語などで指示することがほとんどで、鉗子の動かし方などのスキルのコミュニケーションは困難であり、多くの場合修練者は、熟練者のスキルにおける“コツ”を完全には理解しないまま、ドライボックストレーニングによる試行錯誤を繰り返すこととなり、作業を重視するあまり不用意な操作や、不正な癖なども身につけてしまうことや、

独学のあまり鉗子の操作の型式が大きく異なり、以後の熟練者のアドバイスが有効に活用できないことが問題となっている。一方で、研究代表者は今までに作業などのスキルを伝達する手法として、言語的な情報ではなく、感覚・運動などの非言語情報を熟練者と修練者の間で共有する手法を提案・実現している。特に、一人称視野共有システムを用いて 2 者間の視野画像を合成・切替する手法は非言語的な動きの伝達に効果が高く、これにより従来手法では伝達しにくい情報の伝達と、それによる学習効果について成果を上げてきた。そこで本研究では、内視鏡外科手術は術野像がモニターによって同じ視野が「共有される」という特性を利用して、段階的な学習ステップに応じた、熟練者の適切かつスムーズな動きを修練者の間で共有することで、非言語的なスキルのコミュニケーションを図り、効果的なトレーニングを行う。さらに、基礎を習得した修練者は熟練者の指示の下、失敗の許されない実際の手術を行う。通常は、口頭による言語的な指示が主体であり、熟練者の意図が伝わりにくいことも問題となっている。この際においても、提案システムは非言語的な指示のコミュニケーションツールとして実時間的なサポートが可能なシステムを可能にする。

### 2. 研究開発内容及び成果

基本的なハードウェアとして一般的に用いられているボックストレーニングシステムの内視鏡カメラからの映像を画像処理機能の高い PC を経由してモニターに映し出すシステムをベースとして、鉗子の動きを計測するための位置姿勢を計測するセンサ、鉗子进行操作する手の力や活動を計測するセンサ、PC で計測・制御できる環境を構築した。特に基礎は習得したが実践経験少ない医師（修練医）を熟練医が実際の手術において支援することを目的としたシステムとして、手術現場に携わる医師からの要求事項を再度確認した結果、初歩的な各要素を分解するのではな

く、比較的症例が多く応用的ではあるがある程度定形かつ、スキルとして重要な点が多い実際の手術を選び、実際の手術をトレースする形でトレーニングを行うシステムの構築を行った。これまでのトレーニングシステムは模擬臓器を熟練者が結紮、切断などする映像を記録し、同じ視点(同じカメラ位置)から修練者が自分の鉗子と熟練者の鉗子を重ね合わせることで、具体的にどのように鉗子を動かしたらよいかという初歩的なスキルの伝達が可能であった。一方で、中級者が取得すべき重要なスキルは、個々の作業のトレーニングではなく、一連の手術をスムーズに進めるところにある。例えば、消化器でポピュラーな手術である S 状結腸の切除の手術では鉗子でどの箇所を掴み、どの場所に空間を作り、手術を進めていくかという点が重要であるが、手術が進むに連れて、作業部位は奥へと進んでいく。そしてカメラも徐々に奥へと移動するという工程により進んでいく。しかし、カメラが移動すると鉗子の見え方(例えば鉗子の根本の位置の映像)も変わるため正しい姿勢で熟練者の鉗子に重ね合わせることができなくなる。そこで新たに、内視鏡カメラが移動しても熟練者の鉗子のカメラ映像と、修練者の鉗子の映像を重ね合わせることを可能とするシステムを提案し構築した(図1)。

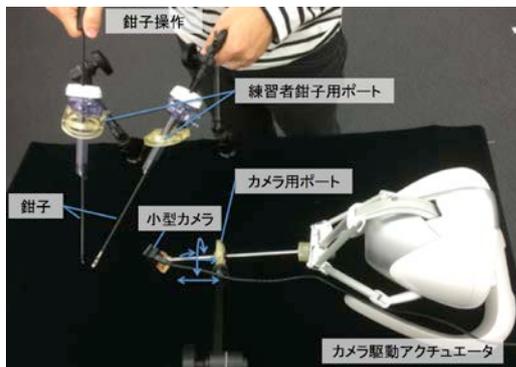


図1. カメラ追従システムを用いたトレーニング装置

アニマルラボにおける実際のブタを用いた S 状結腸手術について一週間前より、京大病院及び、京都市立病院にて追いトレアドバンスシステムを設置し、アニマルラボ執刀する研修医に毎日熟練者の動きをトレースするようにトレーニングさせた(図2)。その結果、トレーニングにおいては日を追うごとに軌跡の分散値が低下する傾向が見られた。つまり、同じ軌跡を正確にトレースする技能がトレーニングできたといえる。次に、この追いトレアドバンスによる1週間のトレーニングが、実際のアニマルラボにおけるブタの S 状結腸切除術の手術手技を、向上させるのかどうか検証した。卒業2年目の研修医2名(外科手術の経験なし)および卒業3年目の外科修練医2名(腹腔鏡下 S 状結腸切除術の執刀の経験はなし)を対象として、追いトレアドバンスによるトレーニングを1週間施行後、アニマルラボで腹腔鏡下 S 状結腸切除術を執刀してもらった。その結果、日本内視鏡外科学会の技術認定制度の評価方法に基づく評価・採点で、追いトレアドバンスによるトレーニングを行った研修医・修練医の方が、手術手技評価の得点が高い傾向にあった。特に、手術進行の円滑さやスピード・術野の臓器の視認性・血管の確実な固定と適切な処理、の項目に関して、トレーニング施行群の方が高得点であった。以上よりトレーニングを通して、熟練者の動きを繰り返しまねることにより、手術進行・手技の“コツ”を体得することができ、それがスムーズな鉗子

操作や安全な手術手技につながっていくことを示唆する結果となった。

また、実時間支援によってトレーニングでは伝達が困難な要素を明らかとするため、「追いトレ」における結紮作業のトレーニング後においても最もエラーが多く見られた、「鉗子に糸を巻き付けて結び目を作る作業」について、「追いトレ」では学習が進まなくなった作業について、リアルタイム支援によってこれが補えるかどうか確認する実験を行った。その結果、リアルタイム支援によって、従来では学習困難であったスキルを素早く学習できた。

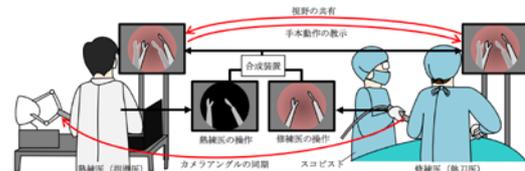


図2. リアルタイム支援を実現するシステムの概要

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

今後の研究開発の成果としては、現状実験は倫理的観点から前臨床実験としてアニマルラボで行われたことから、ブタ S 状結腸手術のトレーニングによって、実際のブタの S 状結腸の手術技術が飛躍的に向上することが確認された。今後人間の患者を対象とした手術のトレーニングが可能となるように、教材を作成のため京都大学医学部にて倫理審査申請を行なっている。

#### 【誌上发表リスト】

- [1]近藤 大祐、飯塚 博幸、安藤 英由樹、小濱 和貴、坂井 義治、前田 太郎、“腹腔鏡下手術トレーニングにおける視野共有手法による学習効果とその実証”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 18(4) pp487-496 2013
- [2]Ming Chang, Hiroyuki Iizuka, Yasushi Naruse, Hideyuki Ando, Taro Maeda, "Unconscious learning of auditory discrimination using mismatch negativity neurofeedback", Scientific Scientific Reports 4 Article number: 6729 doi:10.1038/srep06729. 2014
- [3]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の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 Vol.20 No.4 2015

#### 【申請特許リスト】

- [1]安藤 英由樹、前田 太郎、古川 正紘、手術トレーニング装置、出願国：日本、出願番号:2015-25269、出願日：2015年2月12日

#### 【受賞リスト】

- [1]近藤 大祐、飯塚 博幸、安藤 英由樹、小濱 和貴、坂井 義治、前田 太郎、平成26年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞、“腹腔鏡下手術トレーニングにおける視野共有手法による学習効果とその実証”、2013
- [2]常明、飯塚 博幸、成瀬 康、安藤 英由樹、前田 太郎、平成26年度 VR 学術奨励賞、“無意識的なピッチ弁別能力の向上のためのニューロフィードバック手法”、2014

#### 【報道掲載リスト】

- [1]“AR技術活用し腹腔鏡手術を訓練。熟練者の手順を反復しコツつかむ”、日刊工業新聞、平成28年8月18日