



手術支援ロボット操作技術トレーニングのための 追体験システム

早石 直広¹⁾, 高安 健太²⁾, 吉田 健志²⁾, 松田 公志²⁾, 安藤 英由樹³⁾,

1) 株式会社計数技研(〒559-0034 大阪市住之江区南港北 2-1-10)

nhayaishi@keisuu.co.jp

2) 関西医科大学(〒573-1191 大阪府枚方市新町 2 丁目 5-1)

3) 大阪大学大学院 情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-4)

概要:我々は今までに内視鏡手術の追体験トレーニングシステム「追トレ」を実現してきた。一方で、手術支援ロボットの保険適用範囲が広がったことで外科手術の効率は向上した一方、これを用いる手術のトレーニング不足が問題になっている。そこで、「追トレ」を手術支援ロボットに適用するシステムの開発を行った。この手法と評価について議論する。

キーワード:手術支援ロボット, 追トレ, 追体験トレーニングシステム, 内視鏡外科手術

1. はじめに

我々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ている[1]。これを応用して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が追体験することで、非言語的なスキルの伝達を行い、効果的なトレーニングを行うシステムである「追トレ」を提案し評価してきた[2][3]。これらの外科手術トレーニングの対象として今までに、初心者を対象とした縫合結紮, 外科手術の現場において、共通の作業スキルである外科結び, 実際の S 状結腸手術を対象とした「追トレ・アドバンス[4], などを実現してきた。

一方で、医師の負担の多い腹腔鏡手術を支援する目的で開発された, Intuitive Surgical, Inc. da Vinci Surgical System に代表される手術支援ロボットシステムの普及が進んでおり, 250 台程度のシステムが既に大学病院や公立病院などに導入されている[5]。また, 2017 年までは前立腺全摘術のみが保険適用であったが, 2018 年 4 月より健康保険

の適用範囲がさらに 12 件承認され, 我々がトレーニングの対象としてきた, 胃がんや食道がん, 大腸がんといった消化器外科分野も含まれるようになった[6]。

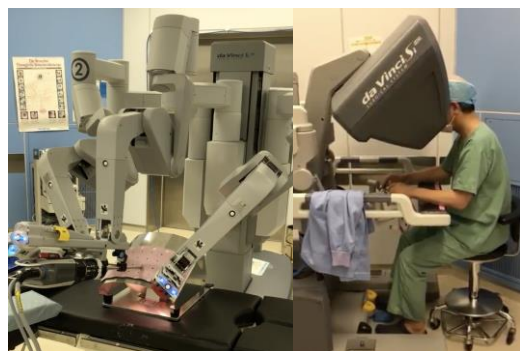


図 1. da Vinci Si Surgical System

ロボット支援手術は一般的に腹腔鏡手術など訓練を積んだ熟練者によって使用される, しかしながら, 熟練者だけが利用しては, 修練者が育たないため人材育成の観点から問題が生ずる。また, 実際に研修医のトレーニング不足によって未熟のまま執刀の可能性がある問題が指摘されている[7]。一般的な da Vinci のトレーニングとしては da Vinci コンソール (マスター) のみで行うシミュレーション”da Vinci スキルシミュレーター”によって針持操作など, 腹腔鏡手術のドライボックストレーニングに相当するトレーニングを行うことができ, 特に da Vinci 特有の操作であるカメラおよびクラッチのトレーニングを行うことができる[8]。また, シミュレーションではなく実際にドラ

Naohiro Hayaishi, Kenta Takayasu, Kenji Yoshida, Tadashi Matsuda, Hideyuki Ando

イボックスとロボット（スレーブ）も利用したトレーニングも行われている[9]。しかしどちらも、特定の術技を独学で学ぶものであり、熟練者と同じ技術が取得されるものではない。一方で、1台のスレーブに2台のマスターを接続し、それぞれに熟練者と修練者を着座させ切り替えながら手術を進めるデュアルコンソール[10]が利用されている。これによって、熟練者が修練者に適切に指示を出したり、スキルの伝達を行うことが可能であるが、根本的に熟練者が不足していることから、実際に常時このシステムを用いて熟練者から技術を学ぶ機会を多く得ることは難しい。

一方で、ロボット支援手術においても内視鏡外科手術と同様に熟練者の手術動画を記録することは常時行われていることから、熟練者の手術情報は多く集められている。

そこで、ロボット支援手術における熟練技術についても「追いつトレ」システムを用いて教材化したトレーニングすることで、従来手法よりも短期間にスキルを身に付けられる可能性について検討を行った。

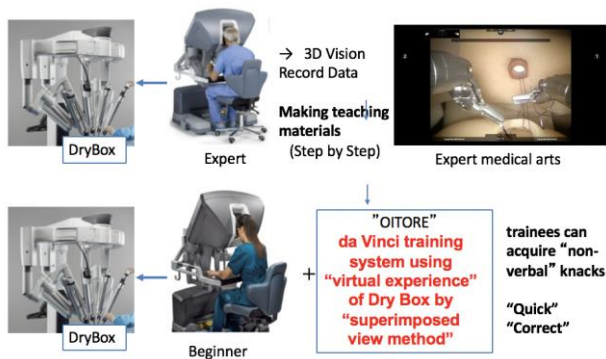


図2. ロボット支援手術における「追いつトレ」システム

2. 手術支援ロボットの「追いつトレ」システム

医療機器である da Vinci システムの内部に手を加えることは困難であるため、改造無しで熟練医のロボット支援手術記録画像を重畳する検討を行った。da Vinci Si システムにおいては、内視鏡カメラの左右のそれぞれの出力（SXGA*2）があることが確認され、また、da Vinci Si システムには汎用の入力として TilePro Input が備わっている。この TilePro Input に対して、内視鏡カメラの左右それぞれを接続したところ、da Vinci コンソールに表示される TilePro 画面において立体視で内視鏡カメラの映像が映し出されていることを確認した。これは内視鏡カメラのダイレクトの映像と同様の視野角の情報であり、この画像上での作業が可能であることがわかった。（実際には、TilePro 画面は da Vinci コンソール上で最大 70% の表示しか表示されない（図 3）、また最大 2 フレーム（約 66ms）の画像遅延を確認）

そこで、この内視鏡カメラ出力と TilePro Input の間に左右 2 チャンネルの SXGA 映像を合成する装置を間に挟むことで、実現を試みた。（図 4）



図3. da Vinci コンソール左目画像
(PC で赤半透明と画像合成)

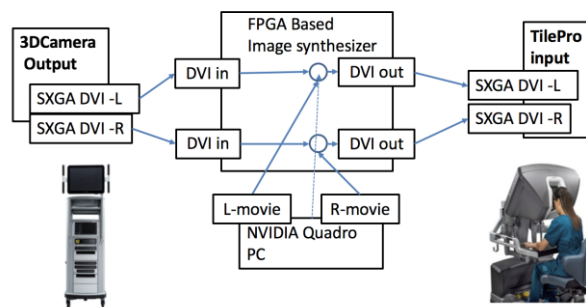


図4. 画像合成イメージ

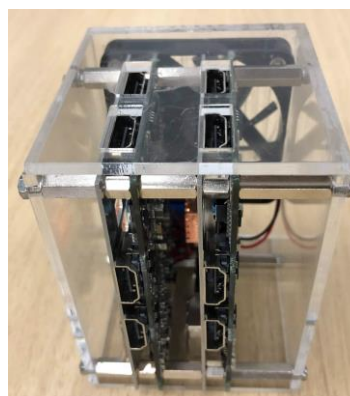


図5. リアルタイム合成機

このとき、当初は PC での画像合成を試みたが 4 フレーム以上の遅延が確認され作業に支障をきたすことが自明であったので、FPGA(Kintex-7)[11]を用いて、内視鏡カメラ画像と PC に記録された動画をリアルタイム（内視鏡カメラの映像に対して 1 ライン以下の遅延）で合成するシステムを構築した。また、記録映像はそれぞれの内視鏡カメラの映像を録画し、PC に取り込み、左右映像を動画編集ソフトにてサイドバイサイドに加工し、NVIDIA 社のグラフィックカード QUADRO の機能である MOSAIC を用いて左右映像を出力した。また、PC と FPGA は USB で接続されておりこれにより合成比率を任意に変更できる。次節ではこのシステムを用いた評価手法について述べる。

3. 評価手法

ここでは、ロボット支援手術における「追いトレ」システムの効果について評価するための実験について議論する。「追いトレ」システムによって追体験を行うことで技術の向上の評価を行うために、関西医科大学の腎泌尿器科で研究されている尿道結紮のドライボックスを用いる。da Vinci 手術において尿道結紮は腎泌尿器外科では最もポピュラーな手術手技の一つである。まず腎泌尿器外科の熟練者に尿道結紮ドライボックスを用いて教師データを作成(図6)する。教師データは、手順毎に分節化することで教材化する。

この教材を用いてトレーニングを行う。まず、熟練者ビデオに練習者が操作する鉗子が重なるように、練習させる。これを繰り返し、その後実際に尿道結紮のドライボックスで結紮作業を行わせる。

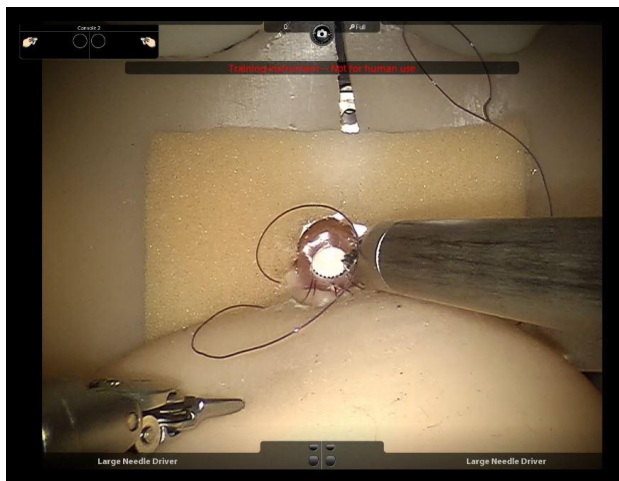


図6. 尿道結紮のドライボックス

コントロール条件として、同じ時間ビデオを見た被験者にも実際に尿道結紮のドライボックスで結紮作業を行わせ、作業のビデオを記録する。それぞれのビデオについてどちらの条件かを伏せて熟練医に採点させ、評価を行う。

4. 結論

本稿では手術支援ロボットの「追いトレ」システムを実装する方法について議論した。また、腎泌尿器科で研究されている尿道結紮のドライボックスを対象とした、効果の評価実験の方法論について議論を行った。

今後は実際のトレーニング効果の実験を実施し、その効果について議論を進める予定である。

謝辞

本研究は、日本医療研究開発機構 AMED「Medical Arts の創成に関する研究」「内視鏡外科手術における熟練技術

追体験システムを使用したトレーニングシステム の評価」の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] 米村 朋子, 近藤大祐, 橋本悠希, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎, "視野共有システムを用いた心肺蘇生法の訓練効果", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 16, 4, pp.623-632, 2011.
- [2] 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 Vol. 18, No. 4, pp.487-496, 2013.
- [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.
- [4] A Novel Training System of Laparoscopic Surgery Using "Virtual Experience" of Real Surgery by "Superimposed View Method", Kazutaka Obama, Hideyuki Ando, Kenji Kawada, Mami Yoshitomi, Koya Hida, Taro Maeda, Yoshiharu Sakai, 25th Congress of European Association of Endoscopic Surgery, 2017
- [5] da Vinci 導入実績, 日本ロボット外科学会 <http://j-robo.or.jp/da-vinci/nounyu.html>, (2018/7/21)
- [6] 「ダビンチに保険」拡大, 時事メディカル <https://medical.jiji.com/topics/533?page=1> (2018/7/21)
- [7] Terrible Training in Robotic Surgery, Wired <https://www.wired.com/story/med-students-are-getting-terrible-training-in-robotic-surgery/> (2018/7/21)
- [8] da Vinci スキルシミュレーター, intuitive surgical, https://www.intuitivesurgical.com/jp/products_si_skills_simulator.php (2018/7/21)
- [9] 杉本 真樹, 志賀 淑之, 磯部 陽, 西原 佑一, 佐田 尚宏, 遠藤 和洋, 手術支援ロボット da Vinci 認定資格取得後継続的トレーニング: Virtual reality と 3D プリンティングによる臓器体腔実体モデルシミュレーション, 日本コンピュータ外科学会誌, 17 巻 2 号 p. 73-81, 2015.
- [10] da Vinci Si オプションデュアルコンソール, intuitive surgical https://www.intuitivesurgical.com/jp/products_si_dualcon_ole.php (2018/7/21)
- [11] Cosmo-K DVI, 特殊電子回路株式会社 <http://www.tokudenkaiko.co.jp/kdvi/index.html> (2018/7/21)