

福岡工業大学 機関リポジトリ

FITREPO

Title	鉗子の操作感覚を体得する内視鏡外科手術訓練装置の開発
Author(s)	徳安 達士
Citation	福岡工業大学情報学研究所所報 第28巻 P1-P4
Issue Date	2017-10
URI	http://hdl.handle.net/11478/745
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

Fukuoka Institute of Technology

鉗子の操作感覚を体得する内視鏡外科手術訓練装置の開発

元土肥 久美子 (修士課程情報システム工学専攻)

徳安 達士 (情報工学部情報システム工学科)

Development of Training System for Laparoscopic Surgery aiming to Learn Forceps Operation Feeling

Kumiko MOTODOI (Master's Program of Information and Systems Engineering, Graduate School of Engineering)

Tatsushi TOKUYASU (Department of Information and Systems Engineering, Faculty of Information Engineering)

Abstract

Faced with a shortage of the certifying physician of laparoscopic surgery, more effective training environment has been expected by the advising doctors. This study proposes the training system, which comprises one desktop computer, a web camera, and two lab-made forceps control devices. In order to make the fundamental training program of this system, both the forceps operation and the camera image while a skilled surgeon sutured the enteric canal model were recorded. The system gives a trainee the virtual experience of suturing the enteric canal model in a training. This paper introduces the system structure and the functions of the training system.

Keywords : Virtual reality, Training system, Laparoscopic surgery.

1. はじめに

1990年代に低侵襲外科手術の術式のひとつとして登場した内視鏡外科手術は、ロボット手術が普及し始めた現在においても年間の症例数が増加傾向にある。Fig. 1は内視鏡外科手術の概要を示すものである。本術式においては、まず患者の体表に3cm程度の穴を開け、そこにトロッカーもしくはトロッカーチューブと呼ばれる器具を取り付ける。そこから超音波メスや把持鉗子など、柄の長い特殊な手術機器を挿入する。また、トロッカーより内視鏡カメラを挿入して、執刀医らは内視鏡カメラの映像から、患者腹腔内の様子を確認しながら処置を行う。手術で用いる鉗子は柄の長さが30cm程度の特殊な形状をしており、従来の器具とはまるで異なる構造となっている。そのため、執刀医には従来の開腹手術とは異なる技能が求められる[1]。また、術中に得られる患者情報が内視鏡カメラ映像に限られるため、執刀医の負担は開腹手術のそれよりも大きなものとなっている。また、年間の症例数が増える一方で、専門医不足は深刻であり、加えて専門医の認定試験合格率は全体の30%程度と伸び悩んでいる。

このような現状に対して、現在までに内視鏡外科手術の訓練環境として、ボックスタイプのシミュレータや仮想現実技術を用いたVRシミュレータが開発されており、医学部における臨床実習や経験の浅い外科医の訓練環境として利用されている。Fig. 2は医学生もしくは研修医が専門医の認定試験を受験するまでのトレーニングフローを示したもの

である。まず、ドライボックスと呼ばれる箱形のトレーニング環境で鉗子操作の特徴を理解する。次に、VRシミュレータを用いて、いくつかの症例に対して必要な処置の手順を経験する。VRシミュレータでは訓練者のレベルに応じて様々な症例がプログラムとして用意されており、患者へのリスクなしで各々の症例に対する一連の手術手技を試行することができる。これらを繰り返しながら、一通りの鉗子操作を学んだ後で、豚などの動物を用いて実践的なトレーニングと技術評価が行われる。

ここで、ボックスシミュレータとVRシミュレータには、鉗子の誤操作を指摘し、修正する機能がないため、訓練者が繰り返しトレーニングを重ね、主観的に満足できるレベルの鉗子操作を身につけたとしても、適切な処置能力が身についたという保証はない。このことが認定医試験の低い合格率になっているものと考えられる。現在、縫合操作における訓練後の客観的技術評価に関する研究は行われているものの、訓練段階で基本操作技術の習熟度を客観的に評価する試みはなされていない[3][4]。したがって、基本的な鉗子操作の習得は訓練者自身に頼るところが大きい。大分大学医学部猪股教授グループが行った本研究の予備調査において、ボックスシミュレータまたはVRシミュレータを用いて一定期間訓練をした若手医師らの間に、豚を使った技術評価(出血量、達成度、所要時間)の結果に際立った差が見られなかった。この原因について、鉗子操作が未熟な医師は、内視鏡カメラの映像から鉗子をどの位置に移動させるべきかは理解できているものの、手元の動作に結びつ

けることができていないのではないかと著者らは考えた。つまり、鉗子を自分が意図する場所に正確に移動させるための動作要因は、従来のシミュレータでトレーニングを重ねても身につけにくいと仮説を立てたのである。

そこで、本研究では操作感覚の涵養を目的とする訓練装置の開発に取り組む。本装置では、指導医が実験装置上で事前に行った鉗子操作について、鉗子先端部の軌道およびカメラ映像を見本データとして記録する。訓練においては、記録しておいたカメラ映像を再生し、訓練者に提示する。このとき訓練者が把持する鉗子は実験装置によってカメラ映像の鉗子軌道に追従するように誘導される。これらにより、訓練者はあたかも自分がカメラ映像の操作を行っている感覚に陥り、こうしたトレーニングを重ねることによって操作感覚を涵養させる効果について検証していく。本稿においては、これら技術要素について述べ、試作機による簡易的な評価実験を行ったので、これらについて報告する。

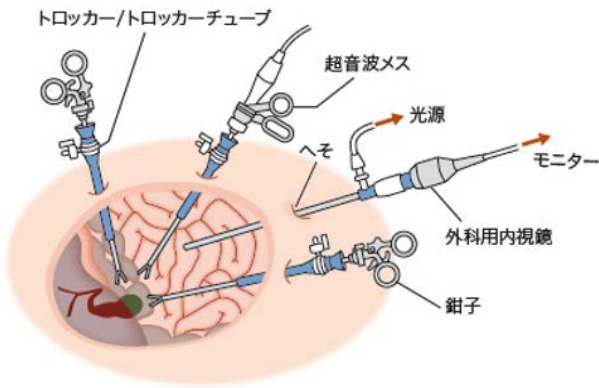


Fig. 1 Schematic diagram of laparoscopic surgery [2]

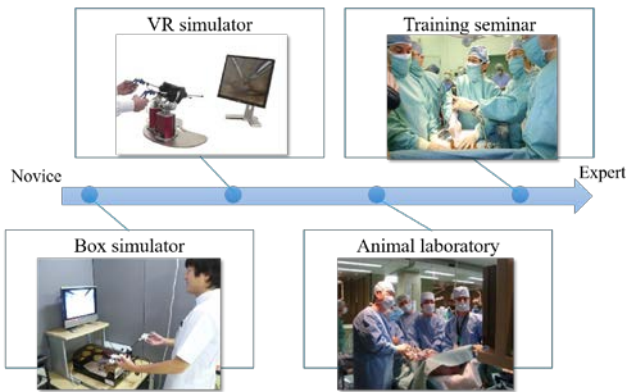


Fig. 2 Training flow for certain physician examination

2. 方法

2.1 実験装置

Fig. 3 に本研究で構築した実験装置を示す。装置は、デスクトップ型コンピュータとドライボックスシミュレータを基礎として、本研究が独自に構築した鉗子制御装置とボッ

クス内を撮影する WEB カメラによって構成される。また装置には実際の内視鏡鉗子を利用することができ、本稿においては訓練対象とする鉗子操作を、腸管モデルに対する 1 針の縫合結紮とするため、鉗子には持針器(カールストルツ・エンドスコープ・ジャパン株式会社社製, K26173KAF)と把持鉗子(オリンパス, WA64160A, A60800A, A60210A)を用いた。

本研究の開発環境は、Windows 7 32bit, Visual C++ 2010 であり、実時間制御のための PCI カード(Interface Inc., PCI-6103), エンコーダを読み取るための PCI カード(Interface Inc., PCI-6205C), DC サーボモータへの制御信号送信のための PCI カード(Interface Inc., PCI-3329)の 3 枚をコンピュータに組み込んでいる。

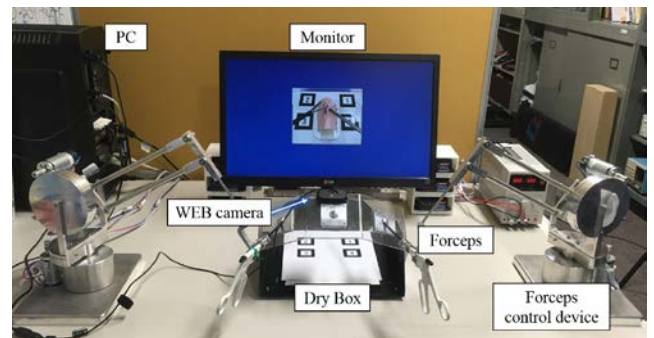


Fig. 3 System structure

2.2 鉗子制御装置

Fig. 4 に、鉗子制御装置の外観図を示す。また Fig. 5 に鉗子制御装置の機構図を示す。本装置は、3つの自由度(q_1, q_2, q_3)を持ち、各関節部にはエンコーダ付き DC サーボモータが取り付けられている。機構図より、鉗子の先端位置を示す順運動学は、式(1)~(4)のように導かれる。

$$l = d_2 \cos q_2 + d_3 \sin q_3 \quad (1)$$

$$x = l \cos q_1 \quad (2)$$

$$y = l \sin q_1 \quad (3)$$

$$z = d_2 \sin q_2 + d_3 \cos q_3 \quad (4)$$

また、鉗子の先端位置から関節角度を導く逆運動学は式(5)~(7)で導かれる。

$$q_1 = \text{atan2}(y, x) \quad (5)$$

$$q_2 = -\text{acos}\left(\frac{1.0}{l^2 + z^2} d_3 z \cos(q_2 + q_3) + \frac{l(l^2 + z^2 + d_2^2 - d_3^2)}{2.0 \times d_2}\right) \quad (6)$$

$$q_3 = \text{asin}\left(\frac{l - d_2 \cos q_2}{d_3}\right) \quad (7)$$

本研究では、電流値を指令信号とする PID 制御則によって鉗子制御装置の DC サーボモータを駆動させることで、目標となる見本データの鉗子軌道に追従するように鉗子先端部の位置制御を行う。

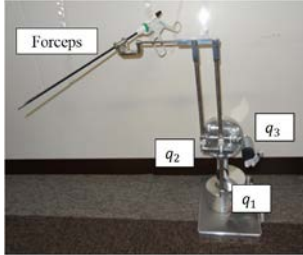


Fig. 4 Forceps control device

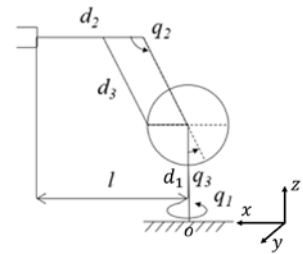


Fig. 5 Schematic diagram of the mechanism map of the forceps control device

2.3 見本データの取得

予備実験として、実験装置の環境において、認定医が 1 針の縫合結紮を縫合用腸管シート（11395-010, 株式会社京都科学）に対して行う。このとき、ボックス内部のカメラ映像と鉗子先端部の軌道を見本データとして記録する。Fig. 6に示すように縫合用腸管シートには直径 15mm の切開創が設けられており、縫合結紮の際には、Fig. 7 のように 3D プリンタで独自に製作した取り付け台に固定する。

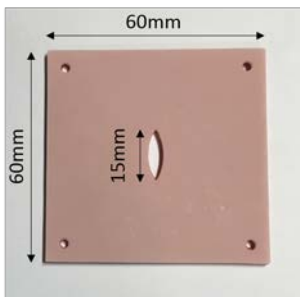


Fig. 6 An enteric canal sheet



Fig. 7 An enteric canal sheet on the anchorage

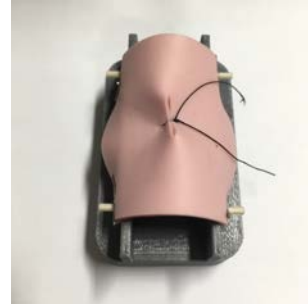


Fig. 8 The sutured enteric canal sheet

訓練においては、見本データであるボックス内部のカメラ映像と鉗子制御装置による鉗子誘導を同時系列で再生する必要がある。そのため、認定医が鉗子进行操作している最中、ボックス内部のカメラ映像と鉗子制御装置の順運動学が導く鉗子先端部の 3 次元座標を 120Hz で記録する。

3. 実験

3.1 方法

本稿では日本消化器内視鏡学会より専門医・指導医の認定を受けた医師 1 名の協力を得て予備実験を行った。実験では、医師が実験装置において縫合用腸管シートの切開創に対して 1 針の縫合結紮を行い、ボックス内部のカメラ映像と鉗子先端部の 3 次元座標を 120Hz で記録した。これらを見本データとして、数名の医学生および研修医の協力を得て、実験装置の機能を検証するための簡易的な実験を行った。

見本データを用いた訓練においては、見本データのカメラ映像が訓練者に Fig. 9 のように提示される。訓練者はこの映像上を移動する鉗子先端部の動きに合わせて手元の鉗子进行操作する。訓練中のボックス内部には、鉗子の動きを妨げないように何も置かないようにしているため、訓練装置のボックス内部は Fig. 10 のような状況となる。また、訓練者の手元には、鉗子先端部が見本データに追従するように、鉗子制御装置による誘導のための力が伝達される。

3.2 結果

訓練中は見本データのカメラ映像を見ながら操作するた

め、ほぼすべての被験者において見本データの鉗子軌道と訓練者が操作する鉗子軌道との間に差が生じた。鉗子制御装置による鉗子誘導は、被験者らにとっては初めて体験するものであったため口頭での評価に戸惑いを見せた。被験者のなかには鉗子制御装置によって誘導されている力の向きを検知することができず、そこに意識が注がれることで見本データに追い付かず、自身が操作する鉗子の位置さえも見失うことが起きた。

既に内視鏡外科手術のトレーニング経験のある研修医の場合、見本データのカメラ映像に違和感なく操作することができていた。同被験者は、自分の鉗子操作が見本データに追従できているかを知ることが訓練の効率化につながると考え、見本データのカメラ映像上に自身が操作する鉗子位置を提示することについて要求があった。また、そもそも縫合結紮の手順を十分に把握できていない医学生の場合、見本データのカメラ映像を認知することだけで精一杯の状態となり、手元に誘導のための力が伝わっているにも関わらず鉗子を動かすこともままならない様子であった。

予備実験で見本データの取得に協力した医師は縫合結紮に必要な鉗子の旋回運動を「手首の返し動作」によって実現していた。この旋回運動は縫合結紮だけでなく、臓器を傷つけずに処置を行っていくうえで重要な動作である。しかしながら、鉗子制御装置には、鉗子の旋回運動に対応する機能がなく、また手首の返し動作がカメラ映像にも映っていないかったことで、多くの被験者が鉗子の旋回運動を再現することができていなかった。

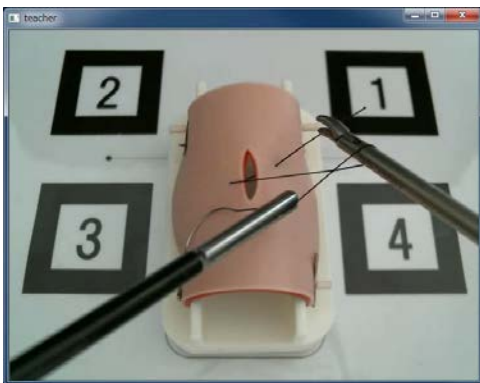


Fig. 9 Camera image of skilled surgeon's forceps operation

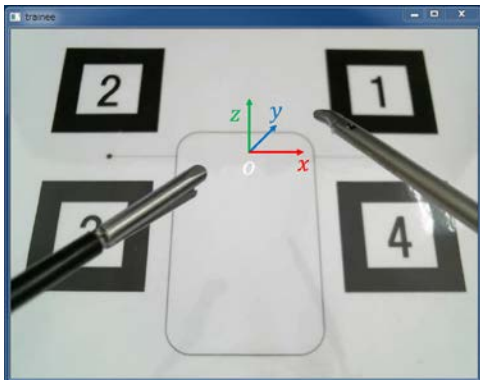


Fig. 10 Camera image of box inside in a training

4. 考察

本稿では、切開創のある腸管シートに対する1針の縫合結紮を対象とする内視鏡外科手術訓練装置の試作機を構築した。また、同試作機を用いて医師らによる簡易的な機能検証を行った。予備実験においては、指導医は糸の長さが不適切であると、縫合結紮が著しく困難になることを指摘した。この糸の長さ調整は、トレーニングや実戦経験を多く重ねた医師が自分の操作感覚に適合するように行うものと考えられる。本研究の実験装置は、このような鉗子操作以前の条件設定の熟練度を対象とするものではない。しかしながら、切開創のある腸管シートを1針の縫合結紮で閉じることを訓練のターゲットとする場合、適切な糸の長さを訓練者に調整させることも必要であると著者らは考えた。

見本データの提示において、ボックス内部のカメラ映像だけを訓練者に見せ、鉗子先端部の並進運動を誘導したとしても、鉗子の旋回動作を実現する「手首の返し動作」を被験者が繰り返すことはなかったことから、「手首の返し動作」を視覚および力覚の両面から刺激することの必要性が示された。このためには、鉗子制御装置には鉗子の旋回動作を計測・制御するように機能的な変更が必要となる。また、見本データのカメラ映像に、訓練者がどれほど追従できているかを示すための工夫も必要である。今後本研究は、これらの課題解決に向けて基礎研究を行い、これらの機能が満たされたあとで、医学生、研修医、認定医を被験者とする機能検証のための実験を行う予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、内視鏡外科手術に関する豊富な知見を快くご教授頂き、また現地での検証実験を快く実施させて頂いた大分大学医学部・消火器小児外科講座の皆様へ感謝致します。

(平成29年6月30日受付)

文 献

- (1) http://www.jfmda.gr.jp/kikaku_2/
- (2) 北野正剛, 白石憲男, 猪股雅史, 「消化管がんに対する腹腔鏡外科手術のいろは」, メジカルビュー社
- (3) 深津尚希, 青木聖文, 山口智子, 植村宗則, 橋爪誠, 中村亮一, "トレーニング映像からの画像処理を用いた鉗子運動解析に基づく定量的な腸管縫合手技評価システムの開発", 日本コンピュータ外科学会誌, vol. 18, no. 4, p.300 (2016)
- (4) 植村宗則, 富川盛雅, 松岡紀之, 橋爪誠, "内視鏡外科手術における客観的消化管縫合技術評価シミュレータの開発-第2報-", 日本コンピュータ外科学会誌, vol. 18, no. 4, p. 301 (2016)