

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18095

研究課題名（和文）内視鏡外科技術の“定量化”と“セルフフィードバック”を目指した教育システムの構築

研究課題名（英文）Establish of an educational system for endoscopic surgical techniques with "quantification" and "self-feedback"

研究代表者

福田 篤久（Fukuta, Atsuhisa）

九州大学・大学病院・助教

研究者番号：20709795

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）：本研究ではartificial intelligence(AI)を用いて内視鏡手術トレーニングシミュレータにおける鉗子操作の客観的評価システム開発検証を行った。トレーニングボックス上部からiPadで撮影した動画を用いて鉗子の動きを計測した。鉗子の認識と位置計測には、DeepLabCutと呼ばれるAIを用いた姿勢推定手法を使用しkey pointにおける追従安定性を検証した。検証の結果、改善すべき点はあるもののAIを用いた鉗子軌道評価システムは、内視鏡技術を客観的に視覚化し、将来的には内視鏡外科医の研修や技術評価に有用なツールになり得ると考えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって内視鏡手術教育におけるAIの活用法を検証することができた。今回、着手したAIを活用した鉗子操作評価システムは検証を重ねることで更なる高度化が可能である。将来的にソフトウェア化することで、「いつでも」、「どこでも」利用可能な内視鏡外科医教育システムに繋がる有用なツールであると考えられる。AIを用いたフィードバックを行うことで、指導医の局在による教育格差をなくし、「質の高い医療を日本全体に整備する」という我が国の医療体制の下支えとしてのツールにつながる発展性を期待される。

研究成果の概要（英文）：We aimed to develop a new objective assessment system using artificial intelligence (AI) for forceps manipulation in a surgical training simulator.

To quantitatively evaluate tracking accuracy, we selected a random sample comprising 5% of the frames that were not used for AI training from the complete set of video frames. We compared the AI detection positions and correct positions and found an average pixel discrepancy of 9.2 pixels. To qualitatively evaluate, the tracking stability was good at the forceps hinge; however, tracking of the forceps tip was unstable during rotation.

The AI-based forceps tracking system can visualize and evaluate endoscopic surgical skills. An objective evaluation not only facilitates the assessment of the surgeon's achievements but also promotes effective learning. We believe that this system is a useful tool for the training and assessment of endoscopic surgeons.

研究分野：小児外科、外科教育

キーワード：人工知能 小児外科 外科教育 シミュレータ 技術評価 外科

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、小児外科領域においても内視鏡手術の適応は拡大し、確立された治療となった。小児外科を志す若手外科医にとって、内視鏡手術のトレーニングは重要課題である。しかしながら、症例数の少なさから技術向上の機会は限られており、標準的な手術であっても技術習得は困難である。そのような理由から我々のグループでは客観的手術技術評価システムを備えた疾患特異的内視鏡手術シミュレータを開発し報告してきた。更に、噴門形成術モデルを用いた継続的手術トレーニングにおける学習効果を検証し成果を得た。しかしながら実臨床では「見て学ぶ」、「慣れて学ぶ」といった主観的かつ経験的指導が行われているのが現状である。

更には技術指導を行う医師数も限られており、2020年6月時点での日本内視鏡外科学会が定める技術認定取得者は小児外科領域ではわずか2.1%(日本小児外科学会正会員数2143名中46名)と少なく、消化器・一般外科領域であっても5.8%(日本外科学会正会員数40269名中2359名)と少数である。多くの若手外科医は技術認定医などの熟練医から「見て学ぶ」機会も得られ難い環境下でのトレーニングを行わざるを得ず、技術の担保が難しい状況にある。技術の担保は「医療安全」に関わり、「医療安全」は常に社会問題のトピックスとして注目され、内視鏡外科手術による医療事故が社会問題になっている現代において、安全な内視鏡外科医療を安定的に供給できる教育環境の構築が求められる。このような背景から、これまで主観的かつ経験的に語られていた熟練医の手術技術を定量化し、「視覚化」かつ「聴覚化」することで熟練医による技術指導を再現可能な内視鏡手術シミュレータを用いた次世代教育システムの構築を行うこととした。

### 2. 研究の目的

本研究は我々が開発してきた技術定量評価システムを備えた内視鏡外科シミュレータを応用し、熟練医の手技を定量化しシミュレータ内に再現することで、修練医が効率的に熟練医の手技を獲得し得る事を科学的に証明する。その結果、身近に熟練医が不在の環境下においても修練医が自らリアルタイムにフィードバックが可能な次世代教育システムを構築することを目的とした。

### 3. 研究の方法

シミュレータボックス内で3つの手順(needle trail, ring transfer, suturing)を行った。ボックス上部から撮影した動画を用いて鉗子の動きを計測した。鉗子の認識と位置計測にはDeepLabCut(DLC)と呼ばれるAI(深層学習)を用いた姿勢推定手法を使用した。DLCは、マウスや猿など動物各パーツ(例えば指や尻尾など)がどのように移動しているかを定量的に計測するために用いられており、特に生物の行動解析や医療領域の研究に幅広く活用されている。DLCはAIによる追跡手法であり、学習データセットを必要とする。学習データセットの作成にはラベル付けが必要となる。ラベル付けとは、AIに追跡対象を学ばせるために必要となる手続きであり、動画から複数のフレーム(画像)を抽出し、抽出したフレームに映る対象物の特定の部分を選択することを指す。ラベル付けされたそれぞれの点はkeypointと呼ばれる。

### 4. 研究成果

図1中のtip1-tip7、stick1-4に示すkeypointを300フレーム分ラベル付けした。図2は、DLCが検出した鉗子上の各パーツを丸印(○)、人によるラベル付けを十字印(+で示したものである。動画全体のフレームのうち、学習に使われていないフレーム5%をランダムにピックアップして丸印(検出結果)と十字印(正解データ)の位置の比べた結果、ピクセル距離の差分の平均値は9.2ピクセルであった。

なお、図2中のクロス印(x)は誤検知であると判断され追跡から取り除かれた点を示す。クロス印もDLCがパーツとして検知した点ではあるが、confidence scoreと呼ばれる検知の信頼性を示す値が低いため、誤検知であると判断された点を示している。

リミテーションとして鉗子の検出が不安定になる要因として、大きく分けて3つの種類の要因が確認された。

第一はKeypointが観測不可になるケースである。トレーニングキット上のオブジェクト等の遮蔽によりkeypointが確認できない、鉗子の回転によりkeypointが確認できない、高速移動時の激しいブレによりkeypointが確認できない、などの要因により

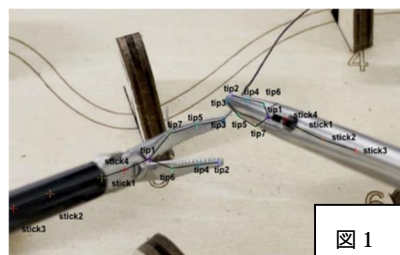


図1

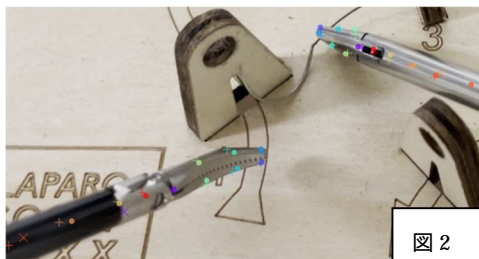
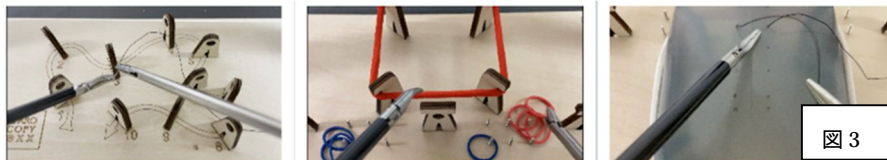


図2

検出が不安定になることが確認された。

第二に Keypoint の見た目上の特徴が少ないケースである。図 1 中の tip1,2,3, stick1,4 は比較的安定した追跡が可能であることが確認された、しかし、stick2,3 には検出位置のずれが発生するケースが多く見られた。原因として、stick2,3 の見た目上の特徴が tip1,2,3, stick1,4 に比べて少なく、かつ stick2,3 のそれぞれの見た目の特徴とラベル付けの位置がお互いに近いことが原因であることが想定される。

第三にラベル付けをした際の背景と追跡を行う際の背景に違いがあるケースである。本研究では、図 3 に示すような 3 種類のトレーニング内容の動画を検証に使用した。DLC の機械学習モデルの学習に



は、図 3 左の動画から収集した学習データセットを用いた。

機械学習モデルは、学習をおこなったデータと実際に推論(位置計測)を行うデータが近いほど精度が向上する特徴がある。

結果として、図 3 左の動画を入力した場合には安定した追跡が可能であることが確認されたが、図 3 中心のオレンジ色の紐がある箇所、図 3 中心右の青色のオブジェクトがある箇所においては、検出の安定性が大きく低下することが確認された。

対策として比較的安定して計測が可能であった tip1,2,3, stick1,4 のそれぞれの位置の関係(ジョイント)情報を用いて追跡を安定化させる手法が考えられる。例えば、鉗子は剛体であるため、tip1,2,3, stick1,4 それぞれの検出位置の関係が大きき歪むことは考えられない。そのため、検出された keypoints のうち 1 点のみが歪んだ位置に検出された場合には、その点が誤検知であると検知可能となる。また、1 点がトレーニングキット上のオブジェクトによって遮蔽された場合にも、他の keypoints の位置情報を用いて視認できない keypoint の位置を推測可能となる。トレーニングキットの背景ごとの検出精度のブレに関しては、それぞれの背景を満遍なく学習データとして使用することによって解決されることが予測され、更なる改良中である。

以上、技術的課題は残るが、鉗子の追従安定性を向上させ、背景のばらつきによる検出精度の問題を軽減することで、AI を活用した鉗子操作評価システムの高度化が期待できる。

将来的にソフトウェア化することで、「いつでも」、「どこでも」利用可能な内視鏡外科医教育システムに繋がる有用なツールである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Atsuhisa Fukuta, Satoshi Obata, Anupama PATEL, Shogo Yamashita, Junnosuke Maniwa, Takuya Kondo, Naonori Kawakubo, Yusuke Yanagi, Kouji Nagata, Toshiharu Matsuura, Tatsuro Tajiri
2. 発表標題 Innovative endoscopic surgical skill validation system using artificial intelligence technology
3. 学会等名 IPEG 's 32nd Annual Congress (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福田篤久, 川久保尚徳, 田尻達郎
2. 発表標題 AIを活用した鉗子軌道検出システムの開発
3. 学会等名 第36回 日本内視鏡外科学会
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
---------------------------	-----------------------	----

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