

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12724

研究課題名（和文）ロボット支援術中臓器への加圧程度を手術映像のみから判断するAIシステム開発と実装

研究課題名（英文）Development and Implementation of an AI System to Determine the Degree of Pressure on Organs from only Images during Robot-Assisted surgery

研究代表者

増井 仁彦（Masui, Kimihiko）

京都大学・医学研究科・助教

研究者番号：50882057

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：我々の最終目標である「手術映像の視覚情報のみから臓器へかかっている（加力）程度を感知すること」を達成するためにまずは「限られた一定の条件において、鉗子による臓器圧迫変形映像から鉗子先端に発生している力の推定」を行うモデルを作成した。具体的にはブタの摘出臓器を腹腔鏡手術トレーニング環境下に設置し、鉗子で臓器を圧迫しながら圧を測定した。圧の実測値は、先端をロボット用鉗子と同じ形とし、圧測定が可能な3軸力覚センサ搭載腹腔鏡手術鉗子を作成して計測した。その際の映像を録画してデータを収集することで、映像のみから鉗子先端に生じる力を推定する基本モデル作成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在多くの手術が低侵襲なロボット支援腹腔鏡手術へと移行し、経験の浅い若手医師がロボット支援手術を行うことも多いが、「触覚（haptics）」を感知できず力も強いことから不慣れな術者の場合術中臓器損傷に遭遇することがある。

現在の手術においては、安全性を術者や手術チームに委ねられている面が大きいが、手術中に臓器へかかっている加圧（加力）程度を術者に明示できることができれば、さらに手術の安全性を向上させ、質の高い医療を提供できるようになる。今回モデル内での測定を可能にしたので、今後は生体内（ブタ）での測定でデータを集め、実際の手術映像と識別させての学習へと応用されていく基盤となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to achieve our purpose, "estimating the degree of pressure on organs from only images during surgery", we created a model to perform "Estimating how much force is generated at forceps tip from images of Organ compression deformation by forceps under limited and fixed conditions". Specifically, the extracted organs of pigs were placed in a laparoscopic surgical training environment, and pressed with forceps. the pressure on organs was measured. A laparoscopic surgical forceps with the same shape as a robotic forceps and equipped with a triaxial force sensor capable of pressure measurement was prepared, and the measured value of pressure was measured using it. By recording the video and collecting the data, we succeeded in creating a basic model to estimate how much the force is generated at the forceps tip from the video alone.

研究分野：医用システム関連

キーワード：AI ロボット支援手術 触覚 手術安全

## 1. 研究開始当初の背景

現在多くの手術が低侵襲なロボット支援腹腔鏡手術へと移行した結果、手術経験の浅い若手医師もロボット支援手術を行うことが増えている。手術支援ロボットは「触覚 (haptics)」を感知できず力も強いことから、不慣れな術者の場合術中臓器損傷に遭遇することがある。

習熟した術者になるための手術手技トレーニングとして、自らの手で臓器などを操作する開放手術、腹腔鏡鉗子を自らの手で操作し、鉗子を介して臓器を操作する非ロボット支援腹腔鏡手術を経験することで、触覚がないロボット支援手術においても、「経験」から臓器にかかっている圧を「イメージ」することで安全な手術を施行できるようになると考えられている。ところがロボット支援手術症例数が増えることで、段階的なトレーニングを経験することなく若手医師が比較的早い段階でロボット支援手術を行う状況が生まれている。その結果危惧されるのが「手術における安全性の担保」である。

申請者はこれまで臨床面で長年腹腔鏡下手術/ロボット支援手術に従事してきた。その経験の中で、「感知できないはずの触覚を、ロボット手術操作で感じる」現象に気づいた。この現象は「視覚が触覚に影響を与える」Pseudo-Haptic feedback という概念 (Lecuyer A, et al. Proceedings IEEE Virtual Reality, 2000)や「視覚情報のみから発生している力を推定する」Vision-based sensing of forces という概念 (Wang X, et al. Sensors and Actuators A: Physical, 2001)として知られており、同様の感覚が熟練の外科医にも生じているものと考えられる。しかし、手術を初めて行う若手医師にはこの感覚が生じていない。それによって起こりうる臓器損傷などの合併症は、通常は熟練した医師が指導することで若手医師の経験を補うことで、手術の安全性を担保している。この外科医の経験に基づく「Pseudo haptics」を何らかの形で客観的な根拠を持って表現し、明示することで安全システムを構築することを考えた。

これまで、模型の臓器を用いて圧迫操作を行い、複数台のカメラ映像から力の推定をする方法 (Marban A, et al. IROS.2018) や、画像自体を3次元コンピューターグラフィックに変換して力を推定する方法 (Noohi E, et al. IROS.2014) などが報告されているが、臓器模型や実際の手術では使用しない映像システムを用いてデータ収集をしていることから、力の計測に関してだけでも我々が臨床医として日常使用している腹腔鏡システムで実験されている報告は無いといえる。また、生体環境での操作力の推計と危険予測まで検討された報告は存在しない。

## 2. 研究の目的

ロボット支援手術において発生する臓器への加圧(加力)程度を、手術時の映像情報のみから推定して術者へ明示し、手術安全システムとして実装することである。現在の手術においては、安全性を術者や手術チームに委ねられている面が大きいですが、手術中に臓器へかかっている加圧(加力)程度を術者に明示できることができれば、さらに手術の安全性を向上させ、質の高い医療を提供できるようになる。

## 3. 研究の方法

我々の最終目標である「手術映像の視覚情報のみから臓器へかかっている（加力）程度を感知する」ことを達成するためにまずは「限られた一定の条件において、鉗子による臓器圧迫変形映像から鉗子先端に発生している力の推定」を行うモデルを作成した。具体的には、実際に臓器にかかっている圧力を測定するため、先端をロボット用鉗子と同じ形とした圧測定が可能な3軸力覚センサ搭載腹腔鏡手術鉗子を作成した。次に、ブタの摘出臓器を腹腔鏡手術トレーニング環境下に設置し、鉗子で臓器を圧迫しながら圧を測定してその映像を録画した。圧の実測値を正解と定義し、収集した映像と圧の実測値をAIで深層学習させることにより、映像のみから鉗子先端に生じる力を推定する基本モデルを作成した。

まずは映像で学習し、学習した映像ではほぼ100%正確に力が予測できることを確認した。その後、圧の実測値を圧の実測値を未学習の映像から予測した値と圧の実測値の乖離を調べた。次に鉗子で圧迫する力や向きなど条件を変えて臓器にかかる圧が予測できるかを検証した。

#### 4. 研究成果

学習した映像では98.6-99.0%の正確さで力を予測できることが確認できた。

未学習の同一条件下での映像では69.1-80.6%と正確性は低下した。実測値の圧波形と予測値の圧波形も乖離していた。AIの関心領域評価を行うと、鉗子の圧迫部以外にもAI関心領域が分散して精度が低下していると考えられた。このため、関心領域を制限したところ、正確性は85.7-87.6%へ改善した。異なるブタの臓器を用いて検討すると、関心領域を制限する前の状態では正確性の中央値は73.7%であったが、関心領域を制限すれば正確性の中央値が86.4%であった。関心領域を制限することで、効果的に学習し学習精度を上げられると考えられた。

以上より「限られた一定の条件において、鉗子による臓器圧迫変形映像から鉗子先端に発生している力の推定は可能」と考えられた。(Masui, et al. Sci. Rep. 2024)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kimihiro Masui, Naoto Kume, Megumi Nakao, Toshihiro Magaribuchi, Akihiro Hamada, Takashi Kobayashi, Atsuro Sawada	4. 巻 14
2. 論文標題 Vision-based estimation of manipulation forces by deep learning of laparoscopic surgical images obtained in a porcine excised kidney experiment	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 Online
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-024-60574-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 戸田 輝・中尾 恵・増井仁彦・糸 直人・松田哲也	4. 巻 vol. 121, no. 231,
2. 論文標題 摘出臓器を対象とした単一カメラ画像からの鉗子圧の推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 戸田 輝・中尾 恵・増井仁彦・糸 直人・松田哲也
2. 発表標題 摘出臓器を対象とした単一カメラ画像からの鉗子圧の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2021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
研究分担者	糸 直人 (Kume Naoto) (00456881)	京都大学・医学研究科・特定准教授  (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	中尾 恵 (Nakao Megumi)  (10362526)	京都大学・情報学研究科・准教授  (14301)	
研究分担者	澤田 篤郎 (Sawada Atsuro)  (10784796)	京都大学・医学研究科・講師  (14301)	
研究分担者	小川 修 (Ogawa Osamu)  (90260611)	京都大学・医学研究科・名誉教授  (14301)	

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