

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00893

研究課題名（和文）モーションキャプチャを用いた熟練の腹腔鏡手術手技の言語化・見える化と手術教育支援

研究課題名（英文）Motion analysis of laparoscopic surgical skills in experts and its use for surgical education

研究代表者

安部 崇重（Abe, Takashige）

北海道大学・医学研究院・准教授

研究者番号：10399842

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：赤外線カメラを用いた鉗子動態測定系を確立した。ブタ臓器を用いた腹腔鏡手術トレーニングでは参加者70名の計測データを用いて、手術経験数を熟練度の指標として、鉗子動態と機械学習に基づく手術技量分析能を評価し、良好な弁別能を観察し論文報告した。また記録ビデオに関して、腹腔鏡手術技術評価表であるGOALS評価表を使用した2名の腹腔鏡技術認定医による技術評価を行い、2名の平均点を正解ラベルとした機械学習によるGOALSスコア予測回帰モデルを作成し、論文報告した。カダバートレーニングにおいても鉗子動態測定系を確立、その結果を現在論文投稿中である。現在、計測データの解析をさらに進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉗子動態に基づく客観的フィードバックを行うことで、指導者の負担軽減・学習者のラーニングカーブの加速に寄与できる可能性がある。鉗子動態の更なる解析により、手術熟練者の暗黙知を言語化できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We established a motion capture system (Mocap) of surgical forceps using an infrared camera. Using the measurement data of 70 participants in laparoscopic surgical training using porcine organs, we reported the favorable ability to discriminate surgical skills based on forceps dynamics and machine learning, according to the previous case-loads as an index of proficiency. In addition, using the recorded videos, technical evaluation was performed by two certified laparoscopic surgeons using the GOALS evaluation table (already validated assessment tool of laparoscopic surgery), and we developed GOALS score prediction model, using Mocap metrics and machine learning with the average score of the two doctors as the correct answer label, which showed an error of approximately 1-2 points for the total score. We also established a Mocap system for cadaveric training, and submitted the results. We are currently further analyzing the measurement data.

研究分野：泌尿器癌に対する手術治療・薬物療法、外科教育研究

キーワード：腹腔鏡手術 シミュレーショントレーニング 鉗子動態 機械学習 カダバートレーニング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡手術は、腹部外科・泌尿器科・婦人科領域において手術手技の中心となった。その実施においては、モニターからの二次元画像情報に基づいた体内での鉗子操作が要求される。しかし、医療安全面・労働時間短縮に伴う研修医の手術参加機会の減少、また近年のロボット支援手術の普及により腹腔鏡手術の on the job トレーニングの機会が減少している。現状を考慮した場合、腹腔鏡手術手技の熟練のプロセスを言語化・見える化し、技術習得の最短経路を解明していく試みは、前述の診療科における腹腔鏡手術教育方法の向上に大きく貢献できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、モーションキャプチャー装置を用いて、ブタ臓器を用いたウェットラボ、及び篤志献体を使用したカダバートレーニングにおいて、腹腔鏡手術で用いる複数の手術鉗子に関して、鉗子毎に動態の特徴量を算出し、熟練医の技術の言語化・見える化を行う。さらに、学習者に対して手術技量を定量的にフィードバックする教育効果を評価し、学習効率を高めた統合的腹腔鏡手術修練プログラムを構築する。

3. 研究の方法

1. ブタ臓器ウェットラボにおける鉗子動態計測と鉗子動態に基づく手術技量評価法の開発

ブタ臓器を用いたウェットラボにおいて、赤外線モーションキャプチャー装置を用いた腹腔鏡手術鉗子の先端位置情報を記録する。本モデルは、鉗子に取り付ける赤外線マーカのパターンを変えることで、複数の手術鉗子の動態を同時に測定可能で、複雑な手術手技においても、すべての鉗子の動態測定が可能な利点を有している。ビデオも全て記録し、腹腔鏡手術技術評価表であるGOALS評価表を使用し、2名の腹腔鏡技術認定医による技術評価を行う。GOALS評価表は、1. Depth perception, 2. Bimanual dexterity, 3. Efficiency, 4. Tissue handling, 5. Autonomy の5項目を、それぞれ1-5段階で評価を行う形式で、5-25点の点数が割り付けられる。GOALS評価表の5項目に関して、サロゲートになる動態計測値の組み合わせ(予想例: autonomyが高い idle timeが短い等)を決定し、動態計測値に基づくGOALSスコアの自動計算とその結果をオンラインでフィードバックするプログラムを開発する。

2. カダバーを用いた腹腔鏡下腎摘除術トレーニングプログラムの開発と鉗子動態の計測・解析

使用するカダバーは、シール法と呼ばれる固定方法の献体で、生体と比較し良好な組織類似性が特徴である。ウェットラボで計測したハサミ鉗子、把持鉗子、クリップアプライヤー鉗子、持針器に加えて、エナジーデバイス(Ligasure®)、吸引管、ケリー型剥離鉗子にもパターンを変えた赤外線マーカを取り付けた。腸管の脱転、腎門部血管の処理等の各行程毎・鉗子毎の動態に関して特徴抽出を行う。

3. 実臨床での腹腔鏡手術における鉗子動態の測定

上記1,2で確立した方法論を用いて、実際の腹腔鏡手術での鉗子動態の計測を行う。

4. 研究成果

1. ブタ臓器ウェットラボにおける鉗子動態計測と鉗子動態に基づく手術技量評価法の開発

R3, 4 年度はこれまでの記録動画、鉗子動態計測値を用いて、鉗子動態測定値を利用した GOALS 自動計測アルゴリズムを開発し、誤差 2 点程度で推定可能であること(Ebina K, Abe T et al. LangenbecksArch Surg. 2022)、手術経験数に基づいた上級者(腹腔鏡執刀経験数 50 件以上)、中級者(10-49 件)、初級者(0-9 件)の弁別能に関して、約 70%の精度で expert の弁別が可能であることを論文報告した(Ebina K, Abe T et al. Plos One. 2022)。これらの結果をオンサイトで学習者にフィードバックするプログラムの開発を終了した。

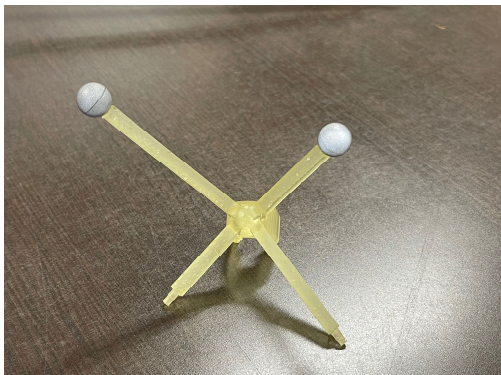
R5 年度は、鉗子動態計測値に基づく機械学習を用いた自動技術評価プログラムの検証実験を行った。49 個人 108 件の鉗子動態データを採取した。そのほか、過去の実験(In Proc. Ebina K, Abe T et al. 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control.)で計測したリンパ節郭清タスクにおける把持鉗子の把持力・把持点データに対し、術具動態データとの複合解析を新たに実施し、上級者は効率的な組織トラクションを行っていることを定量的に明らかにした。現在、Surgery Open Science 誌に論文投稿中である。また、これまでのトレーニングで取得した鉗子動態データを対象に自動特徴量計算ライブラリ tsfresh を活用した追加解析を行い、操作の振動性など新たな特徴を抽出するとともに、機械学習モデルの精度向上を図った。GOALS に基づく 3 群分類モデル(初級者: $5 \leq t_o < 10$, 中級者: $10 \leq t_o < 20$, 上級者: ≥ 20)では、例えばリンパ節郭清タスクにおいては従来特徴量から構築されるモデルが 75.0%の精度であったのに対し、新たな特徴量を加えたモデルで 83.1%に向上した。これらの結果は現在論文作成中である。

今後は、オンサイトで学習者に鉗子動態に基づく定量的フィードバックを行う腹腔鏡トレーニングを開催し、初学者のラーニングカーブの特徴の解析をすすめる予定である。フィードバックに関しても、説明可能 AI を組み込むことで、「何故そのように弁別されたか?」を学習者に提供できるように改良を加えていく。

2. カダバーを用いた腹腔鏡下腎摘除術トレーニングプログラムの開発と鉗子動態の計測・解析

カダバートレーニングにおける鉗子動態計測・解析・熟練者の特徴抽出については、2024 年 1 月までに、51 例の鉗子動態の計測を行った。これまでに計測データの外れ値除去、スムージングおよび移動距離、速度、加速度等の特徴量を算出するためのプログラムの作成が完了した。カダバートレーニングの validation study の結果を Current Problems in Surgery 誌に投稿し、現在はリバイスの対応中である。

3. 実臨床での腹腔鏡手術における鉗子動態の測定



滅菌可能なレジンを用いた計測用治具の制作が完了した。

現在、実臨床での計測を目指した IRB 申請を準備中である。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Ebina Koki, Abe Takashige, Hotta Kiyohiko, Higuchi Madoka, Furumido Jun, Iwahara Naoya, Kon Masafumi, Miyaji Kou, Shibuya Sayaka, Lingbo Yan, Komizunai Shunsuke, Kurashima Yo, Kikuchi Hiroshi, Matsumoto Ryuji, Osawa Takahiro, Murai Sachiyo, Tsujita Teppei, Sase Kazuya, Chen Xiaoshuai, Konno Atsushi, Shinohara Nobuo	4. 巻 17
2. 論文標題 Automatic assessment of laparoscopic surgical skill competence based on motion metrics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0277105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0277105	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 Ebina Koki, Abe Takashige, Hotta Kiyohiko, Higuchi Madoka, Furumido Jun, Iwahara Naoya, Kon Masafumi, Miyaji Kou, Shibuya Sayaka, Lingbo Yan, Komizunai Shunsuke, Kurashima Yo, Kikuchi Hiroshi, Matsumoto Ryuji, Osawa Takahiro, Murai Sachiyo, Tsujita Teppei, Sase Kazuya, Chen Xiaoshuai, Konno Atsushi, Shinohara Nobuo	4. 巻 407
2. 論文標題 Objective evaluation of laparoscopic surgical skills in wet lab training based on motion analysis and machine learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langenbeck's Archives of Surgery	6. 最初と最後の頁 2123 ~ 2132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00423-022-02505-9	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Koki Ebina, Takashige Abe, Kiyohiko Hotta, Madoka Higuchi, Jun Furumido, Naoya Iwahara, Masafumi Kon, Shunsuke Komizunai, Yo Kurashima, Hiroshi Kikuchi, Ryuji Matsumoto, Takahiro Osawa, Sachiyo Murai, Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Nobuo Shinohara, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Development and validation of a measurement system for laparoscopic surgical procedures in practical surgery training.
3. 学会等名 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII 2023)I
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安部崇重、今雅史、岩原直也、古御堂純、樋口まどか、菊地央、堀田記世彦、松本隆児、大澤崇宏、篠原信雄
2. 発表標題 篤志献体を用いた腹腔鏡下根治的腎摘除術トレーニングの経験
3. 学会等名 第35回日本泌尿器内視鏡学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部崇重、海老名光希、堀田記世彦、古御堂純、岩原直也、今雅史、樋口まどか、小水内俊介、倉島庸、村井祥代、近野敦、篠原信雄
2. 発表標題 機械学習を利用した鉗子動態特徴量に基づく腹腔鏡手術基本手技の技量評価 Machine Learning-based Scoring System of Laparoscopic Fundamental Surgical Skills in Wet-lab Training
3. 学会等名 第109回日本泌尿器科学会総会
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	渡辺 雅彦 (Watanabe Masahiko) (70210945)	北海道大学・医学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	七戸 俊明 (Shichinohe Toshiaki) (70374353)	北海道大学・医学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	篠原 信雄 (Shinohara Nobuo) (90250422)	北海道大学・医学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	近野 敦 (Konno Atsushi) (90250688)	北海道大学・情報科学研究院・教授 (10101)	

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