

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K18151

研究課題名（和文）CTと術中動画を用いた膵上縁リンパ節郭清シミュレーションモデルの開発

研究課題名（英文）Development of a simulation model for suprapancreatic marginal lymph node dissection using CT and intraoperative videos

研究代表者

山崎 悠太（Yamazaki, Yuta）

神戸大学・医学研究科・医学研究員

研究者番号：60817823

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：3DプリンタでCT画像から臓器血管モデル作成を試みた。手術動画からデータセットを作成。AIの学習を行い、腹腔鏡下胃切除術中の手術器具自動認識システムを作成し、Journal of the American College of Surgeonsに報告。さらに、幽門下リンパ節郭清・膵上縁リンパ節郭清中の術具使用を術者技術レベルで比較、Journal of Gastrointestinal Surgeryにてpublish。drybox内で鉗子を操作し、動画から3次元座標を算出しトラッキングした。腹腔鏡下胃切除術の動画から右胃大網状脈・右胃動脈・左胃動脈・左胃静脈の自動認識した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

腹腔鏡下胃切除術のシミュレーションモデル開発に必要な、手術動画からの臓器・手術器具の抽出及びトラッキングを、人工知能を用いて行うことに成功した。とくに術中動画からの手術器具の抽出システムの実装、さらにそれを用いた臨床研究（術者レベルごとの差異の評価）の成果報告は、消化器外科領域では本研究を除いてほとんど類を見ず、画期的であったとともに、消化器外科領域におけるAIを用いた研究の草分けとなった。上記を踏まえ、本研究は学術的にも社会的にも有意義であった。

研究成果の概要（英文）：1) Attempted to create organ vessel models from CT images using a 3D printer. We created a dataset from surgical videos, trained AI to create an automatic surgical instrument recognition system during laparoscopic gastrectomy, and reported the results in the Journal of the American College of Surgeons. In addition, we compared the use of surgical instruments during subpyloric and suprapancreatic marginal lymph node dissection at the level of surgeon skill, and published the results in the Journal of Gastrointestinal Surgery. (4) Automatic recognition of the right gastric reticular vein, right gastric artery, left gastric artery, and left gastric vein from videos of laparoscopic gastrectomy.

研究分野：消化器外科

キーワード：腹腔鏡下胃切除術 ディープラーニング

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

胃癌に対する標準術式はリンパ節郭清を伴う胃切除術である。リンパ節郭清は胃を栄養する血管に沿ってリンパ節を含む脂肪組織を切除する手技である。脾臓上縁に沿ったリンパ節郭清は、脾動静脈の位置関係や脾の形状に個人差が大きく、難易度が高い。

これまで我々は、胃切除予定の患者に対して術前 CT 画像から脾上縁血管を 3D 構築し、脾上縁臓器の配置を術前にシミュレーションしていた。しかし術中の牽引により脾は回転し背尾側へ偏移する。術中状況を再現するには、手術ビデオからの情報を活用する必要があった。

加えて我々は手術操作の自動抽出・解析を目的に、3D 内視鏡で撮影した手術ビデオから、人工知能 (AI) を用いて鉗子及び臓器の画像情報を自動認識させ、その 3 次元位置情報を抽出するアルゴリズムを開発してきた。(Hiasa Y, Otake Y et al. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2018) 今年度から胃切除術も保険収載されたロボット手術では、鉗子の 3 次元操作記録が本体に集積されるが、臓器に対する鉗子の位置関係を得るには臓器位置情報が必要である。そこで、手術ビデオから抽出した臓器位置情報とロボット手術の鉗子操作情報を利用し、臓器に対する手術操作を再現できる可能性に着目した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、術前 CT 及び手術ビデオから鉗子・臓器の画像認識を用いた、ロボット支援下胃切除術における脾上縁リンパ節郭清シミュレーションモデルの作成である。

本研究では、これまで難しかった術中の非剛体臓器の変形・移動を再現するために、3D 手術ビデオから臓器位置情報を抽出する手法を用いる点で独自性がある。

3. 研究の方法

CT 画像からの臓器血管 3D 構築画像の収集、手術動画中の鉗子自動認識システムの開発、複数カメラ映像からの 3 次元座標の同定、物体検出モデルを用いた臓器血管の自動認識、を行った。

当科で行った腹腔鏡下胃切除術症例のうち約 30 症例の CT 画像で脾・脾上縁血管の 3D 構築画像を作成し収集した。

汎用の物体検出モデル YOLOv3 を腹腔鏡手術動画に応用するという手法である。腹腔鏡下胃切除術の手術動画から 10000 枚以上の画像を切り出し、手術器具 14 種類についてマニュアルアノテーションを行い学習用データセットを作成した。ニューラルネットワークの学習を行い、腹腔鏡下胃切除術中の手術器具自動認識システムを作成し、約 3000 枚のテスト用データセットを作成して精度評価を行った。さらに同システムを用いて、腹腔鏡下胃切除術中の多様なシーンや術具に対応させるためデータセットの拡充を行い、学習させた。

3D 内視鏡画像からの臓器・鉗子位置情報の抽出を目的として、まずは基礎的な実験・検証を行った。dry box 内で鉗子を操作し、同 dry box 内に平行に配置したカメラで撮影した映像中から YOLOv3 によって認識された鉗子の 3 次元座標を、三角測量の手法を用いて算出した。さらに実際の手術操作への応用を考慮し、複数鉗子が縫合等の操作で動いている状況でのトラッキングに対応させるべく、実施検証する。

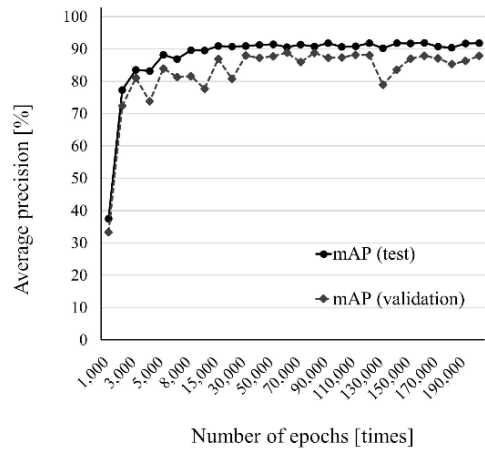
YOLOv3 を用いて、腹腔鏡下胃切除術の動画からデータセットを作成し、右胃大網静脈・右胃動脈・左胃動脈・左胃静脈の自動認識を試みた。

4. 研究成果

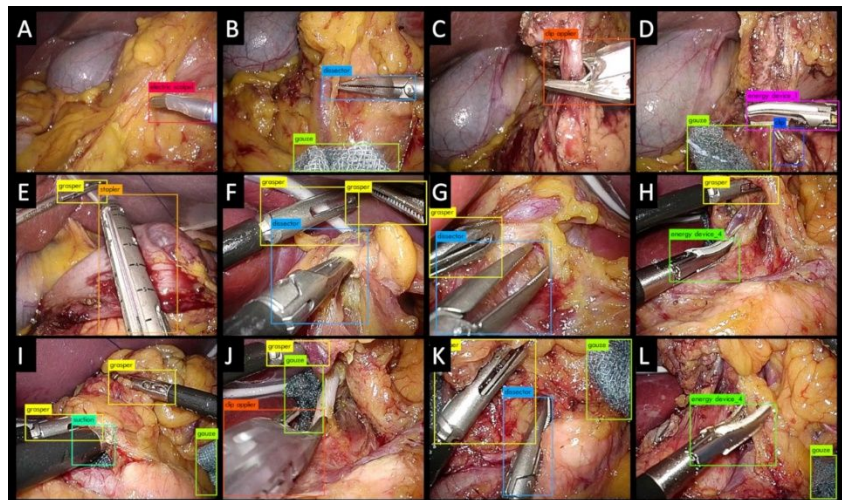
CT 画像からの臓器血管 3D 構築画像の収集

科で行った腹腔鏡下胃切除術症例のうち約 30 症例の CT 画像で脾・脾上縁血管の 3D 構築画像を作成し収集し、3D プリンタを用いて CT 画像から症例ごとの臓器血管モデルを作成するため、3D プリンタを導入しモデルの作成を試みたが、機器のキャリブレーションに難渋し、精巧なモデルを作成するには至らず。

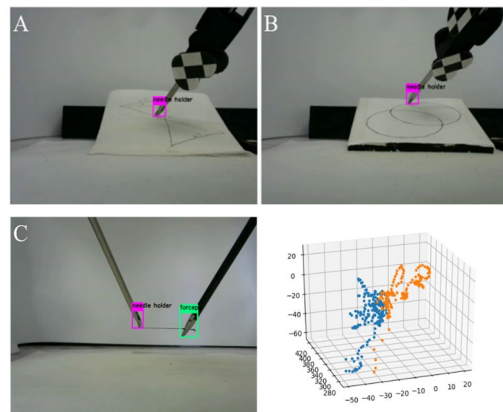
手術動画中の鉗子自動認識システムの開発
 腹腔鏡下胃切除術の手術動画から 10000 枚以上の画像を切り出し、手術器具 14 種類についてマニュアルアノテーションを行い学習用データセットを作成した。GPU 搭載のコンピュータを用いてニューラルネットワークの学習を行い、腹腔鏡下胃切除術中の手術器具自動認識システムを作成した。さらに約 3000 枚のテスト用データセットを作成して精度評価を行い既報と比しても遜色のない認識精度を確認した。また、同システムの出力結果をもとに手術器具使用分布を視覚化するヒートマップを作成し、吻合や出血の多少などの症例ごとの手術の特徴を表現することに成功した。上記研究成果を Journal of the American College of Surgeons に報告した。



さらに、この腹腔鏡下胃切除術中の手術器具自動認識システムを、データセットを充実させることで更に多種類の器具・シーンに対応させた。腹腔鏡下胃切除術中の幽門下リンパ節郭清及び脾上縁リンパ節郭清中の術具使用状況を、術者の技術レベルごとに比較し、その特徴を明らかにし分析した。消化器外科領域において、AI を用いてデータを採取したほぼ最初の臨床研究として、Journal of Gastrointestinal Surgery にて publish された。

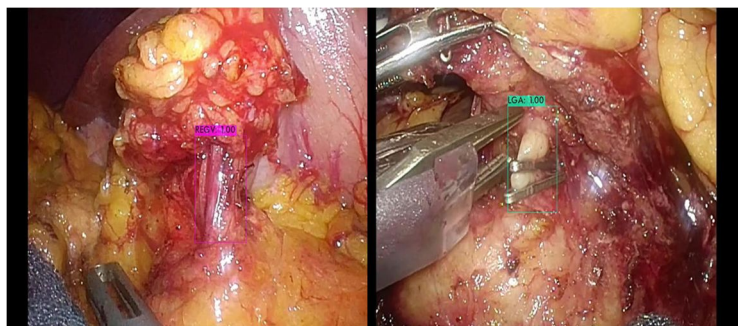


複数カメラ映像からの 3 次元座標の同定
 3D 内視鏡画像からの臓器・鉗子位置情報の抽出を目的として、まずは基礎的な実験・検証を行った。dry box 内で鉗子を操作し、同 dry box 内に平行に配置したカメラで撮影した映像中から YOLOv3 によって認識された鉗子の 3 次元座標を、三角測量の手法を用いて算出し得た。さらに複数鉗子の同時トラッキングにも成功し、dry box 内で実際に行った縫合結紮手技中の鉗子の軌跡を 3 次元的に図示することができた。



物体検出モデルを用いた臓器血管の自動認識

腹腔鏡下胃切除術中の主要シーンにおける、主要血管（右胃大網静脈・右胃動脈・左胃動脈・左胃静脈）を画像上でアノテーションしてデータセットを作成、YOLOv3 をもちいて学習させた。右図の示すように、特定術野にて主要血管を正確に認識することが可能であった。3D カメラの映像中から血管を自動認識することにより、血管と鉗子の 3 次元的な位置情報を得ることができると可能性がある。また、これを用いて手術動画から主要シーンのみを自動抽出したり、手術の進捗状況を自動的に評価したりするようなシステムの開発できる可能性がある。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 0件）

1. 著者名 Yamazaki Yuta, Kanaji Shingo, Kudo Takuya, Takiguchi Gosuke, Urakawa Naoki, Hasegawa Hiroshi, Yamamoto Masashi, Matsuda Yoshiko, Yamashita Kimihiro, Matsuda Takeru, Oshikiri Taro, Nakamura Tetsu, Suzuki Satoshi, Otake Yoshito, Sato Yoshinobu, Kakeji Yoshihiro	4. 巻 26
2. 論文標題 Quantitative Comparison of Surgical Device Usage in Laparoscopic Gastrectomy Between Surgeons' Skill Levels: an Automated Analysis Using a Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Gastrointestinal Surgery	6. 最初と最後の頁 1006 ~ 1014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11605-021-05161-4	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 山崎悠太、金治新悟、掛地吉弘	4. 巻 44
2. 論文標題 AIを用いた腹腔鏡下胃癌手術における手術器具自動認識システムの開発と利用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 消化器外科	6. 最初と最後の頁 1193-1202
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 -

1. 著者名 Yamazaki Yuta, Kanaji Shingo, Matsuda Takeru, Oshikiri Taro, Nakamura Tetsu, Suzuki Satoshi, Hiasa Yuta, Otake Yoshito, Sato Yoshinobu, Kakeji Yoshihiro	4. 巻 230
2. 論文標題 Automated Surgical Instrument Detection from Laparoscopic Gastrectomy Video Images Using an Open Source Convolutional Neural Network Platform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American College of Surgeons	6. 最初と最後の頁 725 ~ 732.e1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jamcollsurg.2020.01.037	査読の有無 有
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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山崎悠太、金治新悟、工藤拓也、原田仁、澤田隆一郎、裏川直樹、後藤裕信、長谷川寛、山下公大、松田武、押切太郎、掛地吉弘
2. 発表標題 内視鏡外科領域における外科医による人工知能の開発の一成果と展望
3. 学会等名 第3回 日本メディカルAI学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 悠太、金治 新悟、瀧口 豪介、裏川 直樹、長谷川 寛、山本 将士、松田 佳子、山下 公大、松田 武、押切 太郎、中村 哲、鈴木 知志、掛地 吉弘
2. 発表標題 オープンソースの物体検出アルゴリズムを用いた腹腔鏡下胃癌手術ビデオにおける手術器具自動認識 システムの開発と利用
3. 学会等名 第 120 回日本外科学会定期学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 悠太、金治 新悟、山本 将士、松田 佳子、山下 公大、松田 武、押切 太郎、中村 哲、鈴木 知志、掛地 吉弘
2. 発表標題 腹腔鏡下胃切除術動画における手術器具自動認識システムの開発と臨床研究への応用
3. 学会等名 第 75 回日本消化器外科学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 悠太、金治 新悟、瀧口 豪介、裏川 直樹、長谷川 寛、山本 将士、松田 佳子、山下 公大、松田 武、押切 太郎、中村 哲、鈴木 知志、掛地 吉弘
2. 発表標題 Computer-based video analysis of device usage in laparoscopic gastrectomy.
3. 学会等名 内視鏡外科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎悠太、金治新悟、瀧口豪介、裏川直樹、長谷川寛、山本将士、松田佳子、山下公大、松田武、押切太郎、中村哲、鈴木知志、掛地吉弘
2. 発表標題 物体検出アルゴリズムを用いた鉗子軌道解析法の開発
3. 学会等名 コンピュータ外科学会
4. 発表年 2019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
---------	---------