

医療安全の確保に向けた手術動画の記録および解析におけるAI活用の有用性の実証

研究分担者 齋藤 英雄 慶應義塾大学理工学部教授

研究要旨

Open surgery を多視点で撮影し、手術動画を AI によって自動編集・解析することで、医療安全の確保につながることを期待される。本研究では令和 2 年度において、多視点動画を自動編集する手術全録画 AI および医療安全に貢献するための手術映像解析 AI を構成する画像認識・解析技術について研究を実施し、実際の手術映像を用いてその有効性と性能を検証した。

A. 研究目的

厚生労働行政の課題として、安全・安心な医療の提供が挙げられる。医療安全管理体制の向上に寄与するAIは、医療事故の防止に役立つことは当然として、一定の割合で必ず起きる人為的なミス の発生に備え、科学的な医療事故調査が実施できる体制を確立することにも有用なことが重要と考えられる。特に手術に関しては、第三者の事後検証が実施できるように、カルテの記録やインシデント・アクシデントレポートのみならず、術中の映像を残し、調査の対象に含められることが望ましい。撮影・録画・保存された手術動画が、術中事故の原因分析や、患者への情報提供に活用されることによって、医療機関の安全管理面において有用な場合は多い。特に医療安全の確保を目的に、常に発生しうる医療事故に備える場合、手術の全件録画・全録画が望ましいとされるが、実際の現場には多くの課題がある（表1）。

表1. 医療機関で手術を録画されない理由

- ・角度的に術野全体を録画することができない
- ・開腹手術は撮影が困難
- ・無影灯や天井から吊したビデオカメラでは、カメラ目線と術者の目線が異なるため、手術内容の細部まで明瞭に映し出せない
- ・術野モニターの設定が困難なため
- ・整理・保管に時間と労力を要するため
- ・手間がかかる

ICTインフラの面では、内視鏡や顕微鏡が使用されない限り、手術動画の録画・保存のために必要かつ利便性の高い機器は開発されていないという問題がある。特に、開腹手術に限らず、外科医が直視下に行う手術（open surgery）においては、手術室のスタッフがわざわざカメラを細かく調整する必要があるうえ、術中にはカメラと術野の間に外科医の頭や体が入り込むため、術野の撮影は困難であり、全録画など不可能であった。

本研究の研究代表者・研究分担者らは、この課題を解決するために、AMED 事業を通じて「マルチカメラ搭載型无影灯」（図1）を開発し、スタッフが撮影を意識せずとも、open surgeryの全録画が可能であることを実証した。

本研究の目的は、マルチカメラ搭載型无影灯に

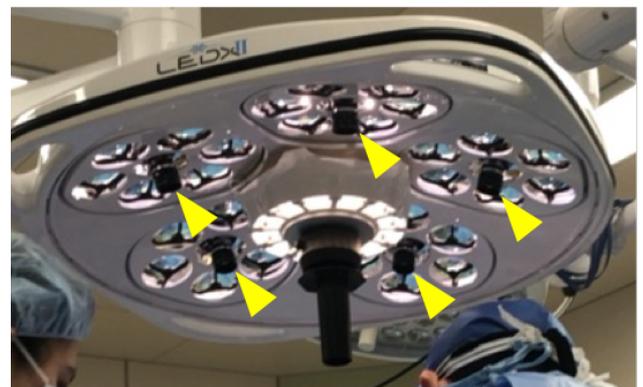


図1 マルチカメラ搭載型无影灯
（プロトタイプ1号機）

よるAIを活用した手術の全自動録画（手術全録画AI）およびAIによる手術映像の解析が、医療の質や安全の向上に有用であるとするエビデンスを確立することである。

B. 研究方法

手術全録画AIおよび手術映像解析AIを構成する下記の画像認識・解析技術の開発に取り組んだ。

- ・多視点動画からのカメラ自動選択
- ・術具の画像識別
- ・医師の視線データ解析

B-1 多視点動画からのカメラ自動選択

多視点動画を医師が見ながら適切な映像を選択するアノテーションを施した教師データを用意して、深層学習を利用して映像データの入力に対して各映像が選択される確率を出力する回帰モデルを作成した。このとき、選択されなかった他の4視点の映像の特徴もglobal featureとして活用し、各カメラとの空間的な関係性も考慮した学習がなされるように工夫した。またBiLSTM (bidirectional long-short term memory) を用いて時系列も考慮した学習を行った。

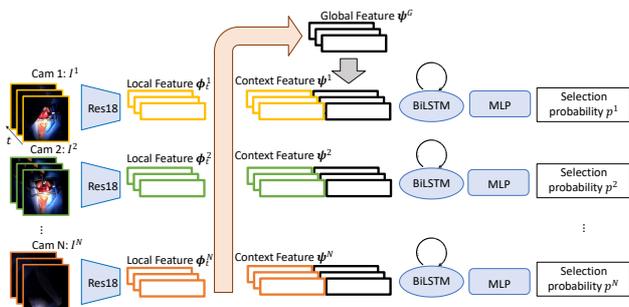


図2 医師の選択による教師データを用いたカメラの自動選択のための深層学習モデル

B-2 術具の画像識別

多種多様の直視下手術においては、使用される術具も多種多様である。中には、Webster持針器と眼科用剪刀のように、使用される目的は異なるのに形状は類似している術具も含まれている。通常の物体検出のモデルを適用しても、これらの術具を精度良く分類することは困難である。また、腹腔鏡下手術などと同様に術具の先端は患部に隠れる場合があり、また直視下手術においては術具の把持部は外科医の手によって隠れてしまうという課題もある。

手術映像解析AIが縫合や糸切りなどの外科医の行動を正しく判別するためには、形状の似た機能が異なる術具であっても、正しく分類できる必要がある。我々は、これらの術具が用いられるときには、外科医の手の使い方が異なることに着目した。すなわち、縫合中の持針器は手を回転させるようにして用いられるのに対し、剪刀が用いられる際には回転のような動作はほとんど見られない。術具の判別の際に、術後を把持する手の動きの情報も考慮した学習を施すことによって、術具の画像認識だけを用いた場合よりも、術具認識性能を向上させる技術の研究を実施した。

B-3 医師の視線データ解析

手術動画に映る領域のうち、重要な部分をAIが検出できれば、人に注意を促すなどの応用に活用できる。人にとって重要な領域には視線が集まるため、本研究ではメガネ型アイトラッカーで得られた外科医の一人称視点の映像において、外科医が注視している領域の画像的な特徴を学習することで、術野の重要な領域を画像認識し、それを映像の自動編集や自動解析に利用するための研究を実施した。

(倫理面への配慮)

本研究における手術の撮影およびデータの使用は、慶應義塾大学医学部倫理委員会で承認済のプロトコルに従い、患者および代諾者に文書での同意を得たうえでを行っている。本研究の実施にあたり、研究対象者のプライバシーには十分に配慮しており、研究対象者に対する不利益や危険性の懸念は無い。

C. 研究結果

C-1 多視点動画からのカメラ自動選択

カメラ切り替えの定性的な結果を図3に示す。訓練データセットは他の種類の手術の映像しか含

まれていないにもかかわらず、我々のモデルは、医師が選択したカメラと同様に最もよく見えるフレームを選択することに成功している。最後のフレームでは、医師が選択したカメラと一致していないが、フレーム内に術野、手術道具、手が写っており、手術の様子を適切に捉えたカメラが選択されていることが示されている。

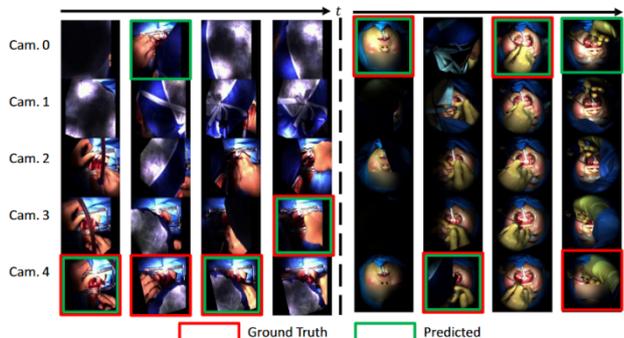


図3 カメラの自動選択結果の例.

C-2 術具の画像識別

表1に示すように、単純に手術動画の各フレームの画像を対象に、代表的な物体検出のアルゴリズムであるFaster R-CNNを用いて術具の検出を行うと、持針器と剪刀の分類の精度は66.3%にとどまった。これに対し、手の動きを加味した学習を行うことで、精度は89.5%まで向上した。なおフレームに映る手の画像のみを用いた場合の精度は52.4%であり、手の動きを用いることで、術具の識別の精度が向上することが示された。

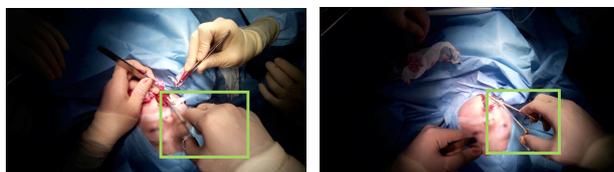


図4 眼科用剪刀(左)とWebster 持針器(右)

表1: 画像認識だけの場合 (only Faster R-CNN) や手の動き認識だけの場合 (only hand) に比べ、両者を利用した提案手法が術具の認識精度が上回っている

Method	Accuracy	Recall	Precision	F-measure
proposed method	0.895	0.810	0.981	0.888
only Faster R-CNN	0.663	0.811	0.970	0.883
only hand	0.524	0.559	0.230	0.326

C-3 医師の視線データ解析

メガネ型アイトラッカーで得られた注視点を中心とする領域をGrand truthとして学習を施したモデルにおいて、実際の被注視点を含む被注視領域を推定することが可能であった。この推定領域を利用して、手術動画の自動拡大を可能とした。

また、映像に映る外科医の手の領域と被注視点の位置関係を学習したモデルを作成し、手の検出結果をもとに被注視点を予測するモデルも作成した。

D. 考察

実際の手術での検証では、乳房や顔面の手術において、手術全録画AIを備えたマルチカメラ搭載型無影灯の有用性が示された。また実物大人体模型を使用しての検証を通じて、骨盤腔などの深い術野でも撮影が実施できる可能性が示された。今後は、実際の体腔内の手術においても、手術全録画AIの有用性の実証が求められる。

また手術映像解析AIの開発において、形態の類似した術具を判別したり、映像において重要な領域を推定したりする技術は、外科医の行動を判別し、自動的に手術工程の認識と分解、構造化を行うAIの要素技術として用いられる可能性がある。このようなAIが開発されれば、モデルにおける「異常値」を検出することで、手術中のヒヤリハットやインシデントの検出ができることも期待される。

そもそもopen surgeryは撮影が困難でデータが集められないため、AI開発の報告はほとんどない。本研究グループでは、世界で唯一であるopen surgeryの多視点全録画データの活用が可能であり、引き続き世界に先駆けたAI開発が継続されることが期待される。

E. 結論

画像認識・解析技術は近年非常に急速に進歩しており、2020年度はそのような最新の技術を利用しながら、実際の医療現場で得られたデータに対して手術全録画AIが有用である可能性を示すことができた。引き続き次年度も、最新技術を導入しながら、AIによる画像認識・解析を基盤として構築される手術全録画AIが手術動画の記録に大きく貢献できることを示しつつ、手術映像解析AIの開発にも取り組んでいきたい。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) R Hachiuma, T Shimizu, H Saito, H Kajita, Y Takatsume: Deep Selection: A Fully Supervised Camera Selection Network for Surgery Recordings. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention - MICCAI 2020 2020年; 12263(3): 419 - 428
- 2) K Yoshida, R Hachiuma, J Pan, H Kajita, T Hayashida, M Sugimoto: Learning Gaze for AI Based Spatial Video Editing in Egocentric Surgical Videos. Proceedings of the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年; 62 - 63
- 3) H Tomita, K Yoshida, R Hachiuma, H Kajita, T Hayashida, N Ienaga, M Sugimoto: Predicting Gaze of Surgeon by Hand Regions in First-Person Surgical Video. Proceedings of the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年; 64 - 65
- 4) Y Itabashi, F Nakamura, H Kajita, H Saito, M Sugimoto: Smart Surgical Light: Identification of Surgical Field States Using Time of Flight Sensors. Proceedings of the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年; 122 - 123

gs of the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年; 122 - 123

- 5) T Shimizu, R Hachiuma, H Kajita, Y Takatsume, H Saito: Hand Motion-Aware Surgical Tool Localization and Classification from an Egocentric Camera. Journal of Imaging 2021年; 7(2): 15

2. 学会発表

- 1) 梶田 大樹, 高詰 佳史, 岡部 圭介, 坂本 好昭, 玉田 一敬, 加藤 達也, 酒井 成貴, 鈴木 悠史, 鎌田 将史, 飯田 千絵, 今西 宣晶, 貴志 和生: 手術動画アーカイビングの現状. 第41回慶應義塾大学形成外科 同門会学術集会 2020年7月4日; 東京
- 2) 梶田 大樹, 高詰 佳史, 斎藤 英雄, 杉本 麻樹, 加藤 達也, 坂本 好昭, 岡部 圭介, 貴志 和生: 形成外科で期待される「AIを用いた医療技術の革新」に向けた取り組み【手術動画編】: 第63回日本形成外科学会総会・学術集会 2020年8月27日; オンライン
- 3) R Hachiuma, T Shimizu, H Saito, H Kajita, Y Takatsume: Deep Selection: A Fully Supervised Camera Selection Network for Surgery Recordings. the 23rd International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention - MICCAI 2020 2020年10月7日; オンライン
- 4) 飯田 千絵, 梶田 大樹, 鎌田 将史, 高詰 佳史, 岡部 圭介, 清水 友博, 八馬 遼, 斎藤 英雄, 貴志 和生: 手術動画の視聴における多視点固定カメラの切替映像と執刀医視点映像のQoV (quality of view)の比較検討: 第29回日本形成外科学会基礎学術集会 2020年10月8日; 横浜
- 6) 梶田 大樹, 坂本 好昭, 貴志 和生: 「見えない」ものを「見る」ための取り組み - 新技術の研究開発に携わって: 第38回日本頭蓋顎顔面外科学会学術集会 2020年11月12日; 東京
- 7) K Yoshida, R Hachiuma, J Pan, H Kajita, T Hayashida, M Sugimoto: Learning Gaze for AI Based Spatial Video Editing in Egocentric Surgical Videos. the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年11月27日; オンライン
- 8) H Tomita, K Yoshida, R Hachiuma, H Kajita, T Hayashida, N Ienaga, M Sugimoto: Predicting Gaze of Surgeon by Hand Regions in First-Person Surgical Video. the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年11月27日; オンライン
- 9) Y Itabashi, F Nakamura, H Kajita, H Saito, M Sugimoto: Smart Surgical Light: Identification of Surgical Field States Using Time of Flight Sensors. the 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) 2020年11月27日; オンライン

10) C Iida, H Kajita, Y Takatsume, K Okabe, T Shimizu, K Oishi, H Saito, K Kishi: Comparison of Quality-of-View between Overhead Multi-View Camera System and Head Mounted Cameras Recording Surgery Video. virtual Plastic Surgery The Meeting (vPSTM) 2020 2020年10月16日 ; オンライン

G. 知的財産権の出願・登録状況
(予定を含む。)

1. 特許取得
なし

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし