

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

研究代表者 梶田 大樹 慶應義塾大学医学部特任助教

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 の有用性を示し、手術映像解析 AI の要素技術として術具を判別する AI と、映像のうち外科医が注目する領域を推定する AI を開発した。

研究分担者 斎藤 英雄 慶應義塾大学
理工学部教授

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
- ・无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。

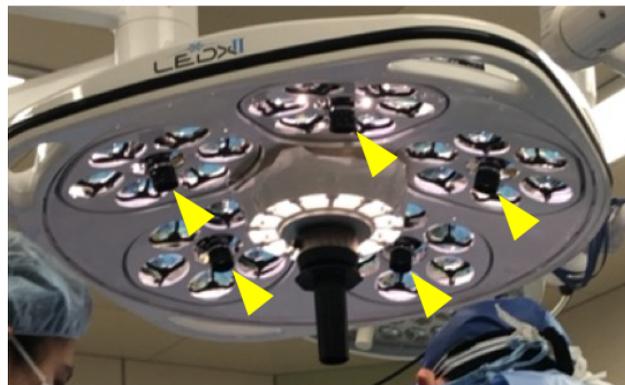


図1 マルチカメラ搭載型无影灯
(プロトタイプ1号機)

本研究の目的は、マルチカメラ搭載型无影灯による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

令和2年度には、手術全録画AIの有用性の実証研究、手術映像データ収集、手術映像解析AIの開発に取り組んだ。

B-1. 手術全録画AIの有用性の実証研究

従来の撮影手法とマルチカメラ搭載型无影灯で多様な臨床手技の撮影を行い、手術全録画AIの有用性を実証することとした。

B-1-1. 実物大人体模型を使用しての検証

マルチカメラ搭載型无影灯（プロトタイプ2号機）を使用して、実物大の人体模型を対象に、胸腔・腹腔・骨盤腔を術野とする手術シミュレーションの撮影実験を行い、プロトタイプ2号機の従来型のセンターカメラと、周囲4台のカメラにおいて、模型が映っている時間の割合（捕捉率）を

評価した。

B-1-2. 実際の手術での検証

マルチカメラ搭載型無影灯（プロトタイプ1号機）を使用して、実際の手術（乳癌に対する乳房切除術）4件の撮影を実施し、捕捉率を評価した。

また映像の視聴の質（Quality of View: QoV）について、外科医を評価者とした比較も行った。手術は口唇裂に対する口唇形成術とし、全録画AIの比較対象は医療用のウェアラブルカメラ（ナノカム®）とした。ナノカム®は、手術用のルーペに設置できる製品であり、外科医がルーペを通して見ている術野をそのまま映像として記録できる特徴がある。プロトタイプ1号機を用いて撮影された5視点の映像について、手術全録画AIで自動視点切替の処理を施した映像と、ナノカム®で撮影した映像とを時間同期して左右に並べ、映像を20人の外科医に視聴してもらい、QoVについて評価票を用いて評価してもらった。

B-2. 手術映像データ収集

マルチカメラ搭載型無影灯（プロトタイプ1号機）やメガネ型アイトラッカーを使用して、手術の撮影を実施した。

B-3. 手術映像解析AIの開発

手術映像解析AIとして、2020年度には術具の識別AIと術野の被注視領域・被注視点予測AIの開発に取り組んだ。

B-3-1. 術具の識別AIの開発

AIが手術中に使用されている術具を正しく識別できれば、手術の進捗管理などの応用に活用できる。しかし手術中には術具の先端は患者の組織に隠れ、また手で把持された部位も見えなくなる課題があり、単純な物体検出のモデルでは安定した精度を発揮できないことが懸念された。またopen surgeryにおいて使用される術具には、持針器と剪刀など、形状は似ているものの役割が異なるものが存在することも、術具の識別を行う上での課題と考えられた。そこで本研究では、持針器と剪刀を扱う際の外科医の手の動きに特徴があることを見出し、手の動きを加味した学習を行うこととした。

B-3-2. 術野の被注視領域・被注視点予測AIの開発

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推定するAIを開発した。

（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やっている。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. 手術全録画AIの有用性の実証研究

C-1-1. 実物大人体模型を使用しでの検証

センターカメラでは、7分19秒の映像のうち4分8秒（56.6%）において、外科医の頭で隠れてしまい、術野は撮影できなかった（捕捉率43.4%）。一方、同時に撮影された周囲4台のカメラの映像では、4台すべてで術野が見えなかったのは21秒間（4.8%）のみであり、手術全録画AIは的確に術野が映ったカメラ映像を選択し、捕捉率は95.2%であった（図2）。

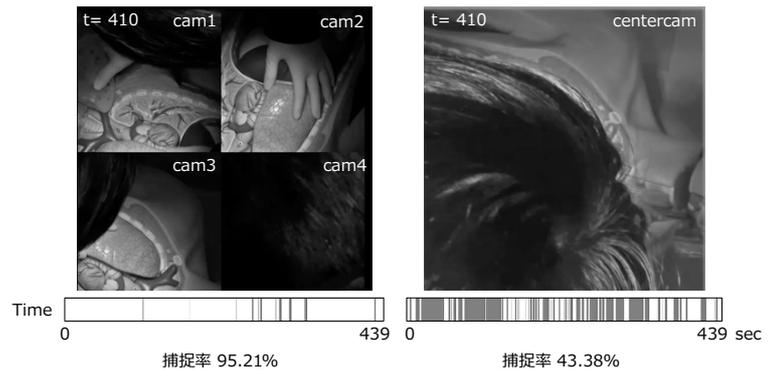


図2 マルチカメラ（左）とセンターカメラ（右）の同時刻の映像の比較

C-1-2. 実際の手術での検証

5視点の映像について、カメラが1台の場合の捕捉率は、4手術（計20動画）の平均で79.6（±18.9）%、最低値は30.6%、4手術それぞれにおける最低値（5視点のうち最も術野が映らなかったカメラ）の平均は52.95%であった。一方、手術全録画AIによる切替映像では、4手術の平均で95.6（±6.6）%、最低値は86.0%であった（表2）。

表2 各カメラと全録画AIの捕捉率

	cam1	cam2	cam3	cam4	cam5	Average ± 1 SD	全録画AI
Surgery 1	30.6	83.6	94.4	86.8	71.1	73.3 ± 22.6	86.0
Surgery 2	60.4	63.8	100.0	96.6	93.0	82.8 ± 17.0	99.8
Surgery 3	92.8	100.0	85.9	74.8	68.8	84.5 ± 11.4	99.6
Surgery 4	92.8	52.0	92.8	97.8	54.3	77.9 ± 20.3	97.6
Mean ± 1 SD						79.6 ± 18.9	95.6 ± 6.6

また外科医によるQoVの評価では、手術全録画AIが作成した映像は、統計学的にナノカム®に劣らない点数を得た。特にStability（映像の安定性）、Line of Sight（術野が動画の中心に映っているか）の評価項目では有意に優れていた。

C-2. 手術映像データ収集

令和2年7月から令和3年3月までに、22件の手術の動画撮影を実施し、本研究以前の令和2年6月までの手術も含め、動画を研究に利用可能な手術の総数を63件（うち42件でマルチカメラを使用、39件でメガネ型アイトラッカーを使用）とした。そのうち13件の手術について、手術工程と術具の情報を付与するアノテーション作業を実施した。

C-3. 手術映像解析AIの開発

C-3-1. 術具の識別AIの開発

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62.1%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53.1%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。

C-3-2. 術野の被注視領域・被注視点予測AIの開発

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

本研究を通じて手術全録画AIの有用性が確立すれば、手術動画の記録が奨励され、医療事故の客観的な検証が促される。また本研究で開発される手術映像解析AIによって、手術の進捗がリアルタイムに監視されれば、リスクの早期発見にもつながる。本研究では引き続き、これら2つのAIの有用性を示すことによって、安全・安心な医療の実現を目指す。

F. 健康危険情報

なし

(分担研究報告書には記入せずに、総括研究報告書にまとめて記入)

G. 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 and 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
- 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

H. 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