

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4年度において、手術映像解析 AI の要素技術として術具や手術工程を判別する AI を開発した。

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
- ・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。

本研究の目的は、マルチカメラ搭載型无影灯に

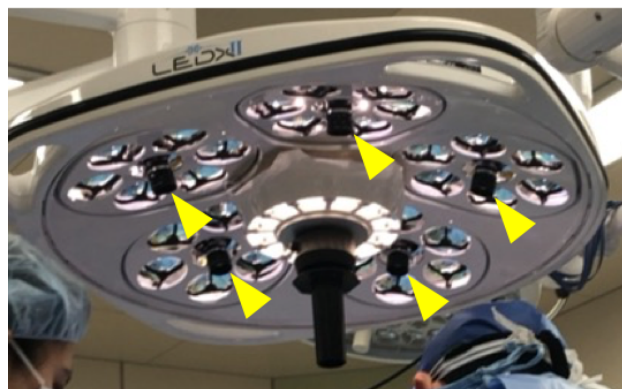


図1 マルチカメラ搭載型无影灯
（プロトタイプ1号機）

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

令和4年度には、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。

- ・術具の識別AI開発のための物体検出モデル
- ・手術工程判別AI開発のための工程判別モデル
- ・3D空間のAIモデル表現による術野の3D可視化

B-1. 術具の識別AIの開発

令和3年度に作成した、15の手術動画から得た19,000の画像について、31種類の術具を矩形で囲うアノテーションを施した術具のデータセットを用いて、術具の識別AIを開発した。大規模なopen surgeryのデータセットを使用した物体検出に取り組んだ先行研究は無いため、異なるバックボーンを持つ2つのよく知られた物体検出モデルであるFaster R-CNNとRetinaNetを用いて再学習を行い、精度について検討した。

B-2. 手術工程判別AIの開発

ルーペ設置型の術野カメラで撮影された15の形成外科手術について、open surgeryの手術工程を「デザイン、局所麻酔、切開、剥離、閉創、止血」の6種に分けてアノテーションを行った。そ

の際に使用されている7種の術具（バイポーラ、剪刀、スキンマーカ、シリンジ、メス、電気メス、針糸）についてもアノテーションを加えた。このデータセットについて、術具の有無を推定し参考にしつつ、工程を判別するAIを開発した。

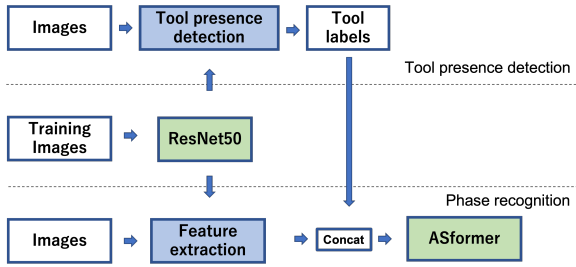


図2 工程判別AIの構成

このとき、手術工程は強いデータ不均衡を持つため、Importance Balanced Loss と Focal Loss を導入した。また視覚特徴抽出器として用いる ResNet50 モデルは工程と術具の分類を行うマルチタスク学習となるため、これらの重みを調節する Automatic Weighted Loss を導入した。

B-3. AIモデル表現による術野の3D可視化

3D空間において術野の3D形状を表現するためのAIモデルとして、NeRF（ニューラル放射場）という体積空間表現AIモデルを利用して、マルチカメラ搭載型无影灯で撮影された術野の多視点画像から術野の3D可視化を行った。また、3D空間を複数面画像（MPI）表現し、任意の視点から自由に観察可能な画像を合成することによる術野の3D可視化を行った。図3に、その処理の流れを示す。また、この方法により、図3右にあるような術野の立体表示も実施している

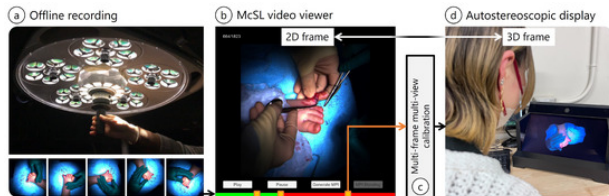


図3 MPIによる3D空間表現を利用した術野の3D可視化手法の流れ

（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. 術具の識別AIの開発

ResNet-X101 をバックボーンとしたFaster R-CNNで最も良い精度が得られ、バリデーションデータで51.3%、テストデータで29.7%の値であった。テストデータで高い精度が得られた術具は開口器（73.7%）、竹串（77.3%）、メス（64.0%）、剥離子（60.9%）、電気メス（58.4%）、鑷子（58.1%）などであった。一方で精度が振るわなかったものとして、鉗子（8.9%）、筋鉤（1

2.6%）、ガーゼ（18.5%）などが挙げられた。全体の精度としては、データセット内で登場頻度が小さい稀な術具の精度が伸びないために、3割に満たない精度となってしまった。稀でないが精度が優れなかった術具の特徴としては、鉗子やガーゼのように変形する物、筋鉤のように同じ名称の術具の中に大きさ・形状などのバリエーションが大きい物が見られた。

C-2. 手術工程判別AIの開発

15本の動画を12本のトレーニングデータと3本のテストデータに分割し学習したところ、既存手法（TeCNO）では63.3%の精度が得られ、提案手法では77.6%の精度が得られた。

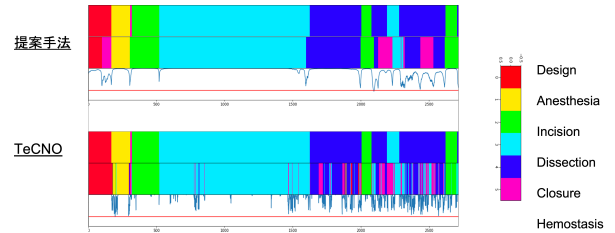


図4 手術工程の推定結果

図4に1つの手術動画における判別結果を示す。既存手法（TeCNO）では、正解の上段に対して、ところどころで誤った判別が行われている。一方で提案手法では誤りの回数が低減していることが分かる。

C-3. AIモデル表現による術野の3D可視化

カメラには撮影されていない任意の視点からの画像を合成してオクルージョンフリー画像を生成すること手法を提案し、その有効性を確認した。図5に、4台のカメラ画像から提案手法により合成した新たな視点の画像を示す。同じ視点で実際に撮影された画像に比べて画質は劣るものの、他の4視点画像から妥当な合成に成功している。

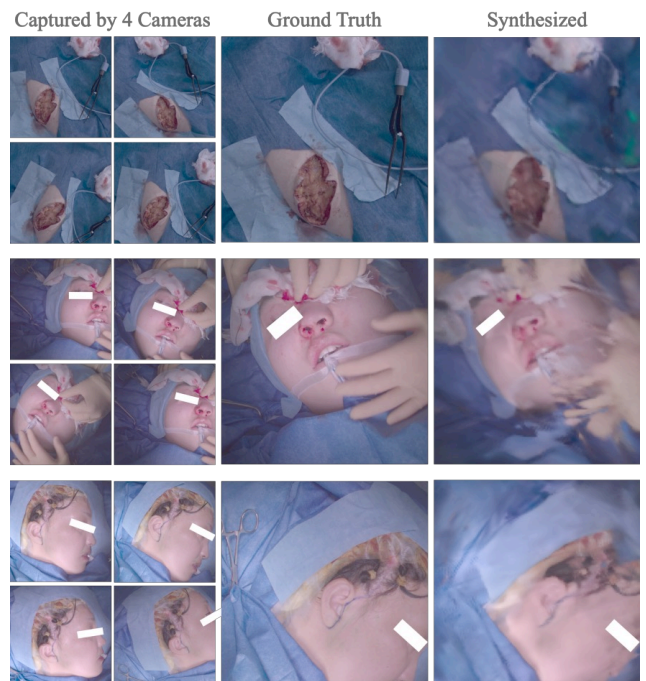


図5 4視点からの新しい視点の合成結果

D. 考察

Open surgeryでは内視鏡手術やロボット手術と比べ多種多様の術具が登場するため、術具の識別のタスクの難易度が非常に大きいことが確認された。今後は、稀な術具や変形する術具に対する検出の精度を向上させることが課題として挙げられる。

手術工程の判別のタスクにおいては、既存の手術工程を推定するモデルは内視鏡手術を対象としたものであり、open surgeryの手術工程の推定では高い精度が得られないことが確認された。そこで我々は一般の行動分類タスクに特化した Transformer ベースのモデルであるASFormerを用いることで高い精度を得ることに成功した。今後は判別結果を利用して医療安全の向上に寄与するような仕組みを組み立てることについて検討していきたい。

術野の3D可視化については、非常にチャレンジングなタスクであるが、近年急速に進歩してきたAIモデルによる3D空間表現手法が術野を撮影した画像に対しても有効であることを検証することができた。今後も引き続き進歩していくことが期待できる関連技術の成果を手術のAI可視化に活用するためにも、さらに検討を進めていきたい。

E. 結論

本研究を通じてopen surgeryの手術動画を対象とするAI開発の礎を築いた。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、引き続き世界を先導するAI開発に邁進していきたい。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Taichi Kobayashi, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume, Yoshimitsu Aoki. Removing irrelevant frames in plastic surgery videos using semi-supervised learning combined with optical flow. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2022年 ; 17 : S128-S129
- 2) Ryosuke Fujii, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume, Taichi Kobayashi, Yoshimitsu Aoki. Machine-learning classification of surgical procedures using multiple views of surgical fields. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2022年 ; 17 : S131-S132
- 3) Haowen Hu, Ryo Hachiuma, Hideo Saito, Yoshifumi Takatsume, Hiroki Kajita. Multi-Camera Multi-Person Tracking and Re-Identification in an Operating Room. Journal of Imaging 2022年 ; 8 ; 219
- 4) Ryo Fujii, Ryo Hachiuma, Hiroki Kajita, Hideo Saito. Surgical Tool Detection in Open Surgery Videos. Applied Sciences 2022年 ; 12 ; 10473
- 5) Mana Masuda, Hideo Saito, Yoshifumi Takatsume, Hiroki Kajita. Novel View Synthesis for Unseen Surgery Recordings. Proceedings of the 18th International

oint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications 2022年 ; 5 ; 944-949

- 6) 富田寿子, 家永直人, 梶田大樹, 林田 哲, 杉本麻樹: 体内組織の識別による手術工程の解析. 日本コンピュータ外科学会誌 2022年 ; 24(2) : 137
 - 7) 尾林美月, 森尚平, 斎藤英雄, 梶田大樹, 高詰佳史: 多視点手術動画からの術野の3次元構造推定 —Open surgery の自由視点視聴に向けて—. 日本コンピュータ外科学会誌 2022年 ; 24(2) : 137
 - 8) Mizuki Obayashi, Shohei Mori, Hideo Saito, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume : Multi-View Surgical Camera Calibration with None-Feature-Rich Video Frames: Toward 3D Surgery Playback. Applied Sciences 2023年 ; 13(4) : 2447
- ### 2. 学会発表
- 1) 梶田大樹, 高詰佳史, 斎藤英雄, 貴志和生 : 無影灯マルチカメラにおけるHDRカメラの適用. 第65回日本形成外科学会総会・学術集会 2022年4月20日 ; 大阪 (オンライン)
 - 2) 土佐泰祥, 梶田大樹, 高詰佳史, 貴志和生 : 顔面領域における拡張現実(AR)、複合現実(MR)の応用と今後の展望. 第65回日本形成外科学会総会・学術集会 2022年4月22日 ; 大阪 (オンライン)
 - 3) 富田寿子, 家永直人, 梶田大樹, 林田哲, 杉本麻樹 : 体内組織の識別による手術工程と熟練度の解析. 第31回日本コンピュータ外科学会大会 2022年6月10日 ; 東京
 - 4) 尾林美月, 森尚平, 斎藤英雄, 梶田大樹, 高詰佳史 : 多視点手術動画からの術野の3次元構造推定 —Open surgery の自由視点視聴に向けて—. 第31回日本コンピュータ外科学会大会 2022年6月10日 ; 東京
 - 5) Taichi Kobayashi, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume, Yoshimitsu Aoki : Removing irrelevant frames in plastic surgery videos using semi-supervised learning combined with optical flow. CARS 2022 Computer Assisted Radiology and Surgery 2022年6月9日 ; 東京
 - 6) Ryosuke Fujii, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume, Yoshimitsu Aoki: Machine-learning classification of surgical procedures using multiple views of surgical fields. CARS 2022 Computer Assisted Radiology and Surgery 2022年6月9日 ; 東京
 - 7) 尾林美月, 森尚平, 斎藤英雄, 梶田大樹, 高詰佳史: 多視点手術動画からの術野の3次元構造推定. 第25回 画像の認識・理解シンポジウム 2022年7月28日 ; 兵庫 (オンライン)
 - 8) Mana Masuda, Hideo Saito, Yoshifumi Takatsume, Hiroki Kajita : Novel View Synthesis for Surgical Recording. Deep Generative Models for Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions Workshop 2022 2022年9月22日 ; シンガポール (オンライン)

- 9) 小林太一, 梶田大樹, 高詰佳史, 青木義満:
術具情報を考慮した形成外科手術における
自動工程分類. DIA2023 -動的画像処理実利
用化ワークショップ2023 2023年3月3日;
栃木

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