

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3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 を開発・評価するためのデータセットと、手術動画の視聴支援システムを開発した。

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

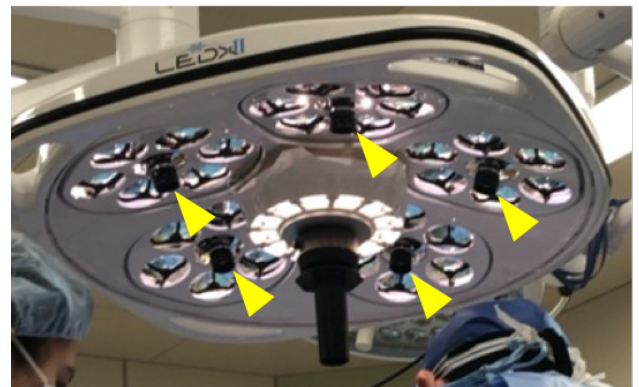


図1 マルチカメラ搭載型无影灯  
（プロトタイプ1号機）

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3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・解析技術およびデータセットの開発に取り組んだ。

- ・術具の識別AI開発のためのデータセット
- ・多視点動画からのカメラ自動選択
- ・手術動画の視聴支援システム

B-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。Open surgeryでは非常に多くの種類の術具が用いられるため、AI研究が先行している内視鏡外科領域や眼科領域と比較して、AIが術具を正しく識別する難易度が高い。Open surgeryにおける術具の判別（図2）の課題に取り組むにあたり、公開されたデータセットは存在しないため、研究代表者・研究分担者らは形成外科手術の動画に映る術具を矩形で囲むアノテーションを行い、オリジナルのデータセットを作成した。ここでは、Virtual object Tagging Tool (VoTT)と呼ばれるアノテーションツールを活用してデータセットを作成した（図3）。

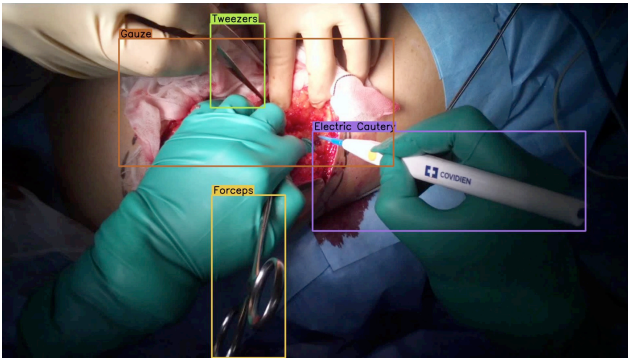


図2 Open surgery ビデオからの術具検出例

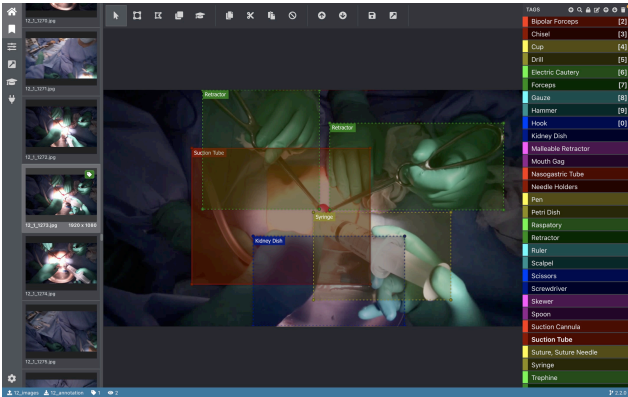


図3 Virtual object Tagging Tool (VoTT)によるアノテーション作業の様子

なお、使用中の手術器具のアノテーションに着目し、使用していない手術器具（例えば、手術台上に置かれた手術器具）のアノテーションは除外した。

### B-2. 一人称視点映像の特徴を学習したカメラ選択AIの開発

従来の手術全録画AIは人による術野のアノテーションが施された手術動画を学習したモデルに基づいており、学習データに含まれない手術については自動視点切替が良好に動作しない懸念があった。新たな領域の手術動画を学習するに際し、人がアノテーションを行うには甚大な労力が必要である。アノテーションを行わずにAIの学習が可能となるように、一人称視点映像の特徴を **variational autoencoder (VAE)** によって学習して再現する自己教師あり学習の手法を開発した。この手法で作成されたカメラ選択AIに、一人称視点映像カメラ (Tobii) とマルチカメラ搭載型无影灯を同時に使用した手術の動画を学習させ、カメラ選択の精度を評価した。

### B-3. 手術動画の視聴支援システムの有用性の評価

令和2年度に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し、術野映像のうち外科医が注視する可能性が大きい領域を予測するモデルを作成した。このモデルを利用して手術動画の自動拡大・自動要約を可能とした視聴支援システムについて、17人の外科医からの

評価を得た。

### (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み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

15の手術動画から得た19,000の画像について、登場する全ての手術器具カテゴリをアノテーションし、出現回数が10回未満の手術器具カテゴリを除外したところ、本データセットには31の手術器具カテゴリが初期アノテーションとして含まれていることになった。図4に術具のカテゴリごとのサンプル数の分布を示す。

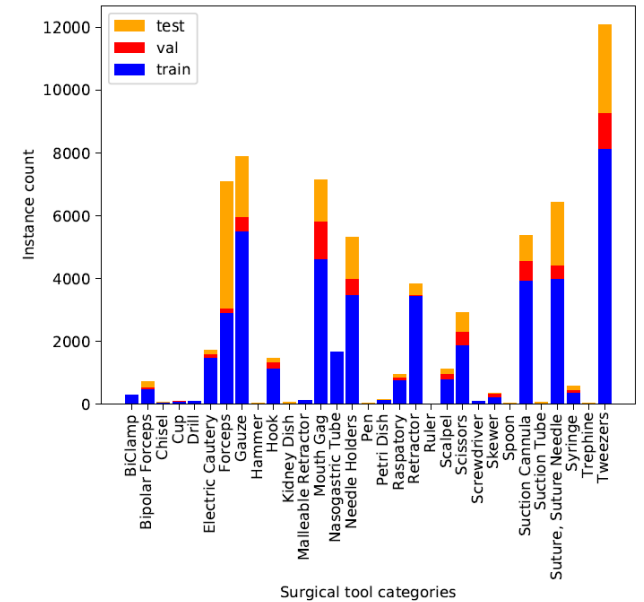


図4 トレーニングセット、検証セット、テストセットにおける術具のカテゴリごとのサンプル数の分布（それぞれ図の青、赤、オレンジのバーで表示）

これは手術動画の術具検出に関するデータセットとしては、内視鏡手術に関するものも含め、世界的にも最大規模のものである。また **open surgery** を対象としたデータセットは非常に貴重であり、今後のAI開発を大きく加速させることが期待される。

### C-2. 一人称視点映像の特徴を学習したカメラ選択AIの開発

同じ手術の別のシーンの動画でのテストで84.5%、別の手術の動画で79.7%の適合率で正しい視点のカメラを選択することができた。従来の教師あり学習によって視点選択を行うAIでは、学習データに含まれない手術の動画を対象とした適合率は76.7%に留まっていたのに対し、本手法では人

手でのアノテーションが不要であるにも関わらず、高い精度が得られた。

### C-3. 手術動画の視聴支援システムの有用性の評価

外科医に自動要約の有無と、自動拡大（アイトラッカーの計測点およびAIの推定領域のいずれかに向かう拡大）の有無で動画を比較してもらったところ、手術場面の視認性、術野の視認性、外科手技の視認性、再生速度の適切さ、術野の映る大きさ、動画視聴の効率性の項目において、AIによる自動拡大・自動要約が施された動画が最も優れた評価を得た。

### D. 考察

実際の手術での検証では、整形外科の手術において、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。

また手術映像解析AIの開発において、正解ラベル付きの大規模なデータセットを作成できたことの意義は非常に大きい。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) Yuki Saito, Ryo Hachiuma, Hideo Saito, Hiroki Kajita, Yoshifumi Takatsume, Tetsu Hayashida. Camera Selection for Occlusion-Less Surgery Recording via Training with an Egocentric Camera. IEEE Access 2021年 ; 9 : 138307-138322
- 2) Yuta Itabashi, Fumihiko Nakamura, Hiroki Kajita, Hideo Saito, Maki Sugimoto. Smart Surgical Light: Identification of Surgical Field States Using Time of Flight Sensors. Journal of Medical Robotics Research 2021年 ; Online Ready
- 3) Keitaro Yoshida, Ryo Hachiuma, Hisako Tomita, Jingjing Pan, Kris Kitani, Hiroki Kajita, Tetsu Hayashida, Maki Sugimoto. Spatiotemporal Video Highlight by Neural Network Considering Gaze an

d Hands of Surgeon in Egocentric Surgical Videos. Journal of Medical Robotics Research 2021年 ; Online Ready

- 4) 梶田大樹: Open surgeryにおける術野撮影と深層学習の利用. 日本コンピュータ外科学会誌 2021年 ; 23(2) : 59 - 64
- 5) 斎藤英雄: AIを活用した手術動画の記録と解析. 電波技術協会報 FORN 2021年 ; 340 : 22 - 25
- 6) 杉本麻樹, 梶田大樹, 林田哲, 北川雄光: 手術映像におけるAIによる時間的・空間的推定技術の確立と応用. 臨床雑誌外科 2021年 ; 83(11) : 1166 - 1170
- 7) 高詰佳史, 梶田大樹, 岡部圭介, 飯田千絵: 手術動画は患者サービスの質的向上に貢献するか. 医療の広場 2021年 ; 61(12) : 9 - 12
- 8) 藤井亮輔, 梶田大樹, 高詰佳史, 青木義満: 複数術野視点映像を用いた機械学習による外科手術工程の自動分類. 第40回日本医用画像工学会大会予稿集 2021年 ; 499 - 502
- 9) 梶田大樹, 斎藤英雄: 医療安全視点からのマルチカメラ搭載無影灯とAIを活用した手術映像記録の意義. 月刊新医療 2022年 ; 49(2) : 34 - 37

#### 2. 学会発表

- 1) 下野綾乃, 吉田啓太郎, 八馬遼, Jingjing Pan, 杉本麻樹, 梶田大樹, 林田哲, 貴志和生: 形成外科手術における機械学習を用いた執刀医視点動画の自動拡大. 第64回日本形成外科学会総会・学術集会 2021年4月16日 ; 東京 (オンライン)
- 2) 梶田大樹, 高詰佳史, 鎌田将史, 玉田一敬, 佐久間恒, 杉本麻樹, 斎藤英雄, 貴志和生: すべての手術を知的コンテンツとして活用するために. 第64回日本形成外科学会総会・学術集会 2021年4月16日 ; 東京 (オンライン)
- 3) 鎌田将史, 梶田大樹, 玉田一敬, 岡部圭介, 矢澤真樹, 加藤達也, 高詰佳史, 貴志和生: 新たな手術教育手法の提案 手術動画視聴者の視線及び解説音声情報を用いて習熟度を定量的に評価する試み. 第64回日本形成外科学会総会・学術集会 2021年4月16日 ; 東京 (オンライン)
- 4) 梶田大樹, 高詰佳史, 斎藤英雄, 杉本麻樹: マルチカメラ搭載型無影灯と AI 活用による open surgery の映像記録への取り組み. 第7回日本医療安全学会学術総会 2021年5月29日 ; オンライン
- 5) 藤井亮輔, 梶田大樹, 高詰佳史, 青木義満: 複数術野視点映像を用いた機械学習による外科手術工程の自動分類. 第40回日本医用画像工学会大会 2021年10月15日 ; 東京
- 6) Hiroki Kajita: Clinical application of new imaging technologies in the field of plastic and reconstructive surgery. The 17th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS 2021) 2021年12月10日 ; オンライン
- 7) 梶田大樹, 高詰佳史, 杉本真樹, 斎藤英雄, 貴志和生: 手術動画の撮影と編集における

基本、工夫、研究開発. 第27回日本形成外科手術手技学会 2022年2月19日 ; 千葉 (オンライン)

- 8) 高詰佳史, 梶田大樹, 今西宣晶: 写真測量技術を活用した3D解剖学教材の可能性. 第127回日本解剖学会総会・全国学術集会 2022年3月27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