

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）

分担研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究分担者 小坂太一郎 長崎大学病院 移植・消化器外科 助教
伊藤信一郎 長崎大学病院 移植・消化器外科 講師
足立 智彦 長崎大学大学院 医歯薬総合研究科移植・消化器外科 講師

研究要旨

ロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させ、同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能させることを目的とする。

本年度は AI システムの構築として、AI システムに対する学習用の手術時動画、静止画を用いたデータベースの構築の基礎を完成。また、改良を行った内視鏡操作支援ロボットにデータベースを基にした AI を用いた手術ナビゲーションシステムを組み込み、ブタの胆嚢摘出術モデルで動作検証を実施した。

A. 研究目的

当研究グループは、離島医療など外科医数が少ない環境下でも腹腔鏡手術が施行できる新規デバイスを目指し、内視鏡担当医に代わって腹腔鏡を支持し、術者の操作信号に沿って腹腔鏡の操作を行うロボット型内視鏡操作支援システムの開発に取り組んでいる。本研究課題では現在開発を進めているロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させることを目的としている。本システムは、外科医の負担軽減と精度の高い判断を支援すると同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能する。具体的には本研究は次の二つの研究目的を有する。

- (1) 上記内視鏡操作支援システムに AI を組み込み、事前に熟練外科医の内視鏡操作を学習させることで、熟練の内視鏡担当医のような腹腔鏡操作を可能とし、より確実にスムーズな一人手術

を実現する。

- (2) AI によるナビゲーション機能の実装とそのためのデータベースの構築方法および標準化の方法を検討する。開発するシステムは、一人手術の実現に加えて、若手外科医の執刀時に、あたかも熟練外科医が内視鏡担当として立会い、内視鏡操作を行うと同時にアドバイス提供を行うような高度な外科手術サポート機能を実現する。

B. 研究方法

昨年度は胆嚢摘出術 50 以上の手術画像をマーキングし教師画像を作成。胆嚢、胆嚢管、総胆管の各所の部位を学習させ、術中ナビゲーションシステム、操作支援、自動運転システムの根幹となるデータベースを構築した。

また、AI ナビゲーション、操作支援、自動運転システムを搭載すべく、当科で開発した内視鏡操作支援システムの改良を行

い、操作性の向上を獲得した。

また、畳み込み学習を踏まえた術中画像診断シミュレーションシステムを作成し、これを内視鏡操作支援システムにフィードバックする自動運転システムを作成。実装確認を行った。

以上を踏まえ、本年度は以下の課題に取り組んだ。

課題1) 操作支援、(自動操作) ナビゲーションシステムのためのデータベースの改良

昨年度、独自ネットワークを応用したAIを用いた手術画像診断システムにおいて、検証画像を用いたテストで、85%以上の臓器判別率を確認した。本年度は引き続き、診断精度向上に向けて、教師画像を追加で作成。また、臨床動画から作成した教師画像に対して加工を加えることで、1枚の教師画像から複数の教師画像を獲得できるように工夫した。AIによる畳み込み学習を用いて、更なる手術画像学習を行った。

(江口、伊藤、足立、小坂、(収集情報の決定、収集方法の検討担当)喜安、柴田(情報収集技術担当))

課題2) 手術ナビゲーション機能の実装と改良

課題3) 内視操作支援機能の実装

課題4) 内視鏡自動操作機能の実装

昨年度に検証した際、ブタ胆嚢摘出モデルに対する手術ナビゲーションシステムの胆嚢検出精度が低く、胆嚢摘出の操作中のロボット型手術操作支援システム自動運転への反映が不十分であった。それを踏まえて、手術ナビゲーションシステム、自動運転システムの改良を行った。

データベースを学習したAI画像診断システムを元に作成した、リアルタイムに画面上に臓器(胆嚢、総胆管、胆嚢管など)を色調変化として臓器上に重ねて表示。画面上の適切な位置に適切なタイミングで執刀医の安全・確実な施術に役立つ情報をリアルタイムで提示する術中画像ナビゲーションシステムを確立した。このシステムにおいて、ヒト、ブタの臓器の色調差を

考慮できるよう、臓器判断に対し、色調を考慮しないように調整。臓器の配置、サイズなどを重要視して臓器判断を行えるように改良。

操作支援、自動操作機能に重要となる対象物追尾機能を内視鏡操作支援システムに実装し、対象物をナビゲーションシステムで確認し、その画像情報を基に、追尾したい対象臓器、部位を判断し、これを追尾、センタリングすることで上記の機能実現を図る。

ここにおいて、安全性、操作補助の観点から、AIナビゲーションを基にした自動運転とともに、術者自身の操作入力における操作を共存できるように(オーバーライドシステム)自動運転を調整する。

改良型内視鏡操作支援システムの完成後に、AI搭載手術画像診断システムを搭載した術中ナビゲーションシステム、操作支援システム、自動操作システムの実証を行うべく、ブタ手術モデルを用いた評価を実施。

(手術ナビゲーションシステム改良:江口、伊藤、足立、小坂、柴田

操作支援、自動操作機能の実装、改良:諸麥、喜安、園田、柴田

実装後の確認実験:江口、伊藤、足立、小坂)

(倫理面への配慮)

長崎大学の倫理審査の承認を受けるとともに、人体組織を対象として取得される画像データを研究に用いる場合には、個人情報が含まれないことに注意して実験を行った。

C. 研究結果

前述で提案した方法を用いて、手術ナビゲーションシステム、ロボット型内視鏡操作支援システムの操作支援、自動操作システムを作成し、実装。これをブタ胆嚢摘出モデルで、手術実験を用いて、検証した。

結果、外科専門医を有した外科医(外科医19年目)、外科修練医(外科1年目)とも

に、ロボット型内視鏡手術支援システム、手術ナビゲーションシステムを用いたワンマン胆嚢摘出手術を遂行可能であることを確認した。

D. 考察

ブタ胆嚢摘出手術モデルに対するロボット内視鏡による実験において、外科修練医による手術が施行し得たことから、AIナビゲーション、自動操作システムを実装したロボット型内視鏡操作支援システムは、外科医単独による内視鏡手術の実現に大きく寄与できる可能性が示唆されたと考えている。一方で、ブタ手術モデルも後いたことによる問題点も指摘された。特に、ナビゲーションシステム実装検証において、ヒトの臓器との色調、配置など解剖学的差異が大きく、これが明らかにナビゲーションシステムの誤操作に影響を及ぼした。今後は本システムの検証においては、ヒトにおける実証(手術画像を用いた模擬実験等)で施行する必要があると思われる。

また、操作支援、自動運転システムに関しては、実用に近いレベルで実証されたが、自動運転と術者が入力デバイスを用いて操作する術者操作のオーバーライドに関して、不具合をきたす場面も見受けられた。今後は、オーバーライドに関するアルゴリズムの改良、術者入力デバイスの入力方式の改良、安全装置の設置などを行い、製品化に向けて、をさらにシステムを頑健なものにする必要がある。

E. 結論

AIナビゲーション、自動操作システムを実装したロボット型内視鏡操作支援システムは、外科医単独による内視鏡手術の実現に大きく寄与できる可能性が示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 小坂太一郎、足立智彦、伊藤信一郎、山口俊、円城寺貴浩、哲翁華子、金高賢悟、高槻光寿、江口晋
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第119回日本外科学会定期学術集会 大阪 2019.4.20 ワークショップ
- 2) 小坂太一郎、井上悠介、足立智彦、伊藤信一郎、金高賢悟、高槻光寿、江口晋
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第81回日本臨床外科学会総会 高知 2019.11.15 シンポジウム
- 3) 小坂太一郎、井上悠介、足立智彦、江口晋、伊藤信一郎、金高賢悟、高槻光寿
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第32回日本内視鏡外科学会総会 横浜 2019.12.7 ミニオーラル

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