

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18210

研究課題名（和文）早期胃癌におけるAIを用いたEUS画像リアルタイム自動診断技術の開発

研究課題名（英文）Development of AI-based real-time EUS image diagnostic system for early-stage gastric cancer

研究代表者

上間 遼太郎（Ryotaro, Uema）

大阪大学・大学院医学系研究科・特任助教（常勤）

研究者番号：30939161

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、胃癌の超音波内視鏡（endoscopic ultrasonography；EUS）画像を、深層学習を用いてコンピュータに学習させることで、正確かつ再現性の高い診断システムを構築し、さらにその有用性を実地臨床において検証することを目的とした。セグメンテーションモデルと画像分類モデルを組み合わせたアルゴリズムを用いることで、AIが熟練医に匹敵する診断能を有することを明らかにした。また、システムの精度を多施設のデータセットにおいても検証し、同様に熟練医に匹敵する診断能を有することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、従来は困難と考えられた早期胃癌の超音波内視鏡診断における人工知能をもちいた診断システムの有用性を示すことができた。本研究を通じて開発したシステムを用いることで、非熟練医であっても専門医に匹敵する診断を下せるようことが期待できる。これは診断精度の向上を通じて早期胃癌の治療成績の向上につながる可能性があり、社会的意義は大きいものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to develop an accurate and reproducible diagnostic system by training computers on endoscopic ultrasonography (EUS) images of gastric cancer using deep learning, and to validate its utility in clinical practice. Using an algorithm that combines segmentation and image classification models, we demonstrated that the AI has diagnostic performance comparable to those of experts. In addition, the system's performance was validated on multi-institutional datasets, confirming that it achieves diagnostic performance on par with experts.

研究分野：消化器癌

キーワード：早期胃癌 超音波内視鏡 人工知能 ディープラーニング

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

胃癌の治療方針は主に深達度に基づいて決定されるが、浸潤が粘膜層 (M) や粘膜下層浅層 (SM1) にとどまる場合、リンパ節転移はまれであり、内視鏡的粘膜下層剥離術 (Endoscopic submucosal dissection; ESD) が適応となる。このため、粘膜下層への浸潤の評価が重要である。超音波内視鏡 (Endoscopic ultrasonography; EUS) は、通常内視鏡では観察することができない胃壁の断層像を得られることから、胃癌の深達度評価に広く使用されている。特にミニチュアプローブを用いた EUS は早期胃癌の深達度診断に有用である。EUS の診断精度は 70-90% と報告されているが、一部の研究では 90% 以上の高い診断能を示す一方、70% 未満と報告する研究もあり、その診断精度には一貫性がない。これは、EUS の診断が施行する医師の能力に大きく依存するためと考えられる。EUS による正確な診断を行うには、胃癌の EUS 診断に関する十分な経験と知識が必要である。

最近では、深層学習を利用した人工知能 (AI) が医療分野で著しい進歩を遂げており、胃癌の分野でも AI を用いた病変検出やがん・非がんの鑑別、境界の同定、深達度診断などに関する報告が増えている。しかし、EUS に AI を適用した報告はこれまでにない。胆膵領域におけるコンベックス型 EUS においては、膵腫瘍の良悪性鑑別など (Kuwahara T, et al. Clin Transl Gastroenterol. 10:1-8, 2019) の報告はあるが、ミニチュアプローブ型 EUS における報告は、胃癌のみならず他の消化管癌においても、国内外において本研究と同様の研究活動の報告はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、胃癌の EUS 画像を、深層学習を用いてコンピュータに学習させることで、正確かつ再現性の高い診断システムを構築すること、およびその有用性を実地臨床において検証することである。EUS 画像の読影には、消化管壁の壁構造の理解、腫瘍の浸潤形態と EUS 所見との関連性などの高度な知識が要求されることに加えて、腫瘍の深達度を適切に反映する部分は腫瘍範囲のごく一部に限られる、といった検査自体の特性があり、診断システムの開発は容易ではない。本研究においては、EUS 画像の特性に合わせた適切なスコアリング方法や、モデル選定など、最適なアルゴリズムを探索する。さらに、動画を用いてリアルタイム診断ができるシステムの確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、2009 年 6 月から 2019 年 12 月までに大阪大学で実施された早期胃癌に対する EUS 症例を収集し、AI システムの開発および内部検証に使用するデータセットを作成した。また、2017 年 5 月から 2021 年 1 月までの間に大阪大学を含む 11 機関で前向きに登録された早期胃癌の EUS 施行症例のうち、大阪大学を除く 10 機関において実施された EUS の画像を外部検証コホートとして使用した。

AI システムの開発には、Python および Deep learning フレームワークである PyTorch を使用し、最適なアルゴリズムの探索を行った。AI システムの診断性能は、内部検証コホートおよび外部検証コホートを用いて検証した。内部検証においては、6 名の熟練医と 8 名の非熟練医、および AI システムで深達度診断を行い、診断精度の比較検討を行った。外部検証においては、前向き研究登録時の各施設における EUS の深達度診断と、AI システムの診断能を比較検討した。

4. 研究成果

まずは EUS 画像の診断に最適なアルゴリズムの探索を行った。EUS 画像において最も重要となるのは消化管壁の層の適切な認識であり、これを AI システムに組み込むため、まずは EUS 画像から腫瘍、粘膜下層、筋層を認識するセグメンテーションモデルを作成した。このセグメンテーションモデルを追加することで、EUS 画像の診断精度が有意に向上することを明らかにした。また、深達度診断を行う画像分類モデルにおいては、単純に深達度が深い浅いかを判別する 2 値モデルではなく、深達度が深い、深達度が浅い、画像の質、という 3 つのスコアで診断する、3 ベクトルの診断スコアを設定した。これは、非常にバリエーションに富む EUS 画像に対応するための施策であり、このアルゴリズムを採用することで、診断精度がさらに向上することが明らかとなった。最終的に、これらのセグメンテーションモデルと、3 ベクトルの画像分類モデルを直列に接続したモデルを、本研究における診断システムとした (図 1)。

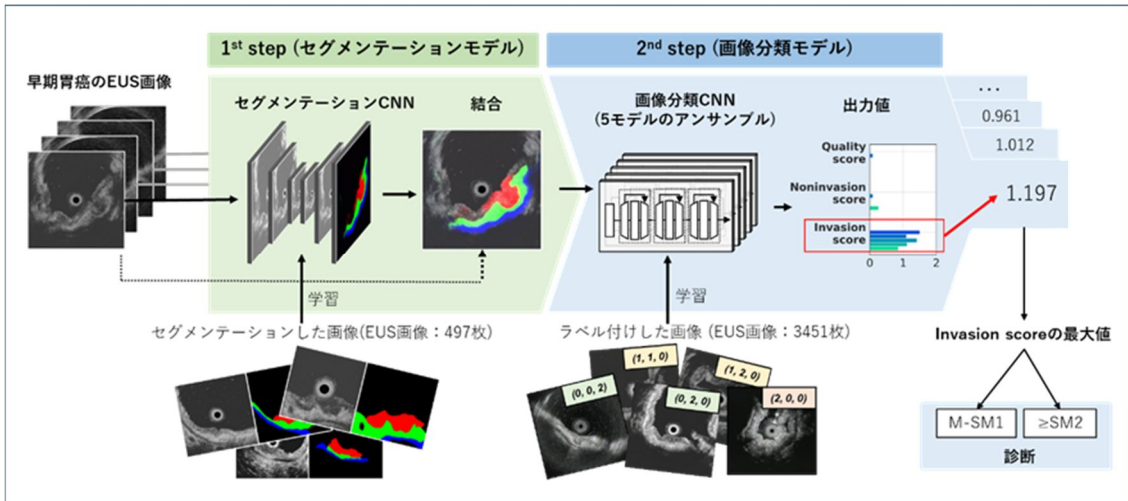


図 1 : 当研究における AI システムの概要

この診断システムの精度を検証するため、内部検証および外部検証を行なった。内部検証では、診断精度は AUC 0.870 (95% CI: 0.796-0.944) と高く、AI システムは専門医と同等の診断能力を示した。また、非専門医に比べて有意に高い精度を示した (図 2)。

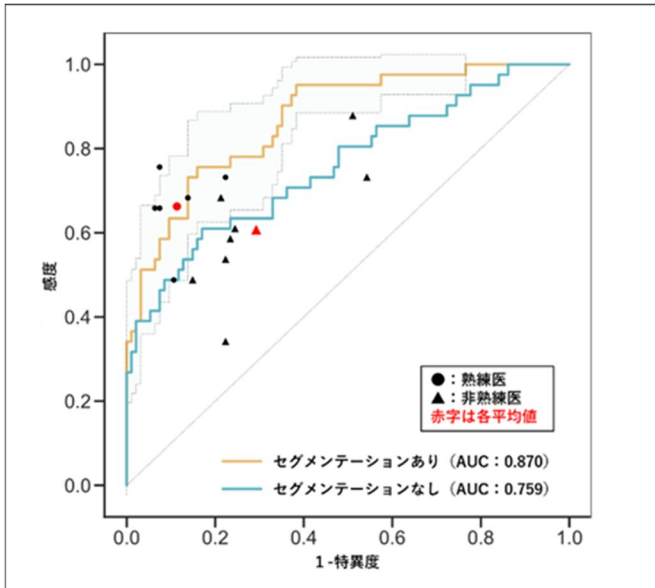


図 2 : 内部検証における AI の診断能

外部検証では、AI モデルをそのまま適用した場合の AUC 値は 0.738 (95% CI: 0.655-0.821) であった。これは内部検証よりも低い精度であり、その原因について検討を行った。内部検証データセットでは、主にオリンパス社製の EU-M2000 という機種が使用されている一方、外部検証データセットでは、主にオリンパス社製の EU-ME1 および EU-ME2 が使用されていた。これらの撮影機器の違いが性能低下の原因になっているのではないかと考察し、CycleGAN という異なるドメイン間の画像変換を行う敵対的生成ネットワークの一種を用いることで、EU-ME1/2 の画像を EU-M2000 の画像に変換する CycleGAN モデルを作成した。この CycleGAN モデルによって変換した画像を使用したところ、セグメンテーションモデルの精度が大幅に向上することが明らかになった。これによって AI システムの AUC 値は 0.815 (95% CI: 0.743-0.886) に改善し、各施設の前向き研究の診断能と同等となった (図 3)。

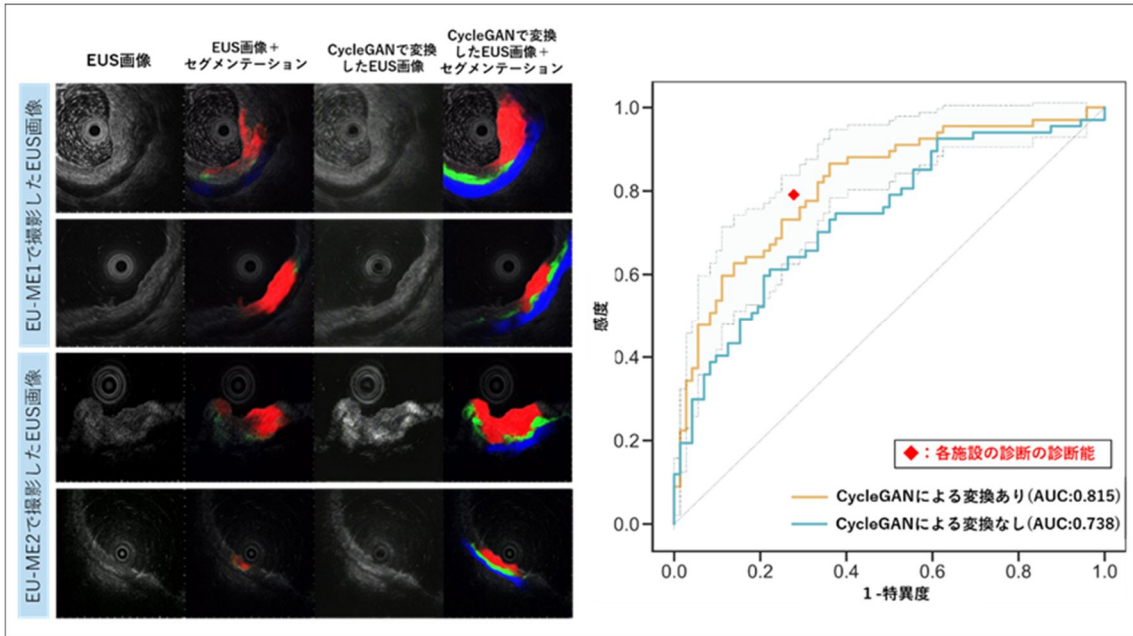


図3 : CycleGAN による EUS 機種間画像変換と外部検証における AI の診断能

本研究の結果は、既存の AI 技術が早期胃癌の EUS 診断という領域においても診断精度を向上させる可能性を示した初の研究であり、今後のさらなる研究と実際の臨床応用が期待される。さらに、実際のリアルタイムの検査動画に対しても診断することが可能なプロトタイプも作成しており、今後の開発と臨床応用を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Uema Ryotaro, Hayashi Yoshito, Kizu Takashi, Igura Takumi, Ogiyama Hideharu, Yamada Takuya, Takeda Risato, Nagai Kengo, Inoue Takuya, Yamamoto Masashi, Yamaguchi Shinjiro, Kanesaka Takashi, Yoshihara Takeo, Kato Minoru, Yoshii Shunsuke, Tsujii Yoshiki, Shinzaki Shinichiro, Takehara Tetsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 A novel artificial intelligence-based endoscopic ultrasonography diagnostic system for diagnosing the invasion depth of early gastric cancer	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Gastroenterology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00535-024-02102-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上間遼太郎
2. 発表標題 人工知能を用いた早期胃癌における超音波内視鏡（EUS）深達度診断システムの開発および有用性
3. 学会等名 第5回メディカルAI学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上間遼太郎、林義人、竹原徹郎
2. 発表標題 人工知能を用いた早期胃癌における超音波内視鏡（EUS）深達度診断システムの開発および有用性の検証
3. 学会等名 JDDW2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryotaro Uema, Yoshito Hayashi, Takashi Kizu, Hideharu Ogiyama, Takuya Yamada, Risato Takeda, Kengo Nagai, Takuya Inoue, Masashi Yamamoto, Shinjiro Yamaguchi, Takashi Kanesaka, Takeo Yoshihara, Minoru Kato, Shunsuke Yoshii, Yoshiki Tsujii, Tetsuo Takehara
2. 発表標題 A novel artificial intelligence-based endoscopic ultrasonography diagnostic system for diagnosing the invasion depth of early gastric cancer
3. 学会等名 DDW2024（国際学会）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------