

学位論文の要旨

Automated segmentation by deep learning of loose connective tissue fibers to define safe dissection planes in robot-assisted gastrectomy

(ロボット胃癌手術における安全な剥離層を構成する疎性結合組織の深層学習を用いた自動認識)

September, 2023

(2023年9月)

Kumazu Yuta

熊頭勇太

Department of Surgery

Yokohama city University Graduate School of Medicine

横浜市立大学 大学院医学研究科 医科学専攻 外科治療学

(Doctoral Supervisor: Aya Saito, Professor, Tetsuya Yamamoto, Professor, Munetaka Masuda, Emeritus professor)

(指導教員：齋藤 綾 教授, 山本 哲哉 教授, 益田宗孝 名誉教授)

学位論文の要旨

Automated segmentation by deep learning of loose connective tissue fibers to define safe dissection planes in robot-assisted gastrectomy

(ロボット胃癌手術における安全な剥離層を構成する疎性結合組織の深層学習を用いた自動認識)

<https://www.nature.com/articles/s41598-021-00557-3>

1. 序論

手術内視鏡と手術支援ロボットによる技術革新は外科医の目と手の支援を可能にした、しかし手術合併症は依然として克服できていない課題である。ヒューマンエラーに関連した手術合併症のおよそ3割は、手術中の誤認識が原因であるとされている(Suliburk et al., 2019)。外科医の手術時の認知能力は、外科医自身の経験や身体的、精神的状況に左右される。新たな技術革新によって外科医の認識、すなわち頭脳を支援することができれば、手術合併症の減少に貢献できる可能性がある。本研究は、手術中の複雑で認識が困難な解剖学的構造を認識するために、医用画像解析技術のディープラーニングを用いて検討した。手術中の安全な剥離層を構成する疎性結合組織を、AIは外科医が認める高い精度で自動的に推論し、ロボット支援下胃切除術におけるリンパ節郭清の際に外科医が安全な剥離層を可視化できるAIモデルを開発することを目的とした。

2. 実験材料と方法

1. AIモデルの開発方法：ロボット支援下胃癌手術の20例の手術動画を編集し、疎性結合組織が明瞭に映る静止画を1800枚抽出した。それぞれの静止画に対して、外科医が疎性結合組織の領域を20000箇所以上アノテーション(情報付け)し、教師画像を作成した。深層学習アルゴリズムを用いて原画像と教師画像をAIに学習させ、AIモデルを作成した。

2. AIモデルの評価方法

学習データに含まれる画像とは異なる手術動画10例から20フレームの評価画像を抽出してAIモデルの評価を行った。評価方法は下記の2つの方法に分けて解析した。

2.1 コンピュータ測定による定量的画像評価

評価画像に対して外科医が手動でアノテーションした正解画像とAI推論画像を比較して、画像中の画素の一致率を評価した。評価指標は、セグメンテーション技術を用いた深層学習アルゴリズムの評価に頻用されるRecall(感度)とDice係数(構造物の面積の類似率)を用いた。

2.2 外科医の目視による定性評価

20名の外科医が、原画像とAI推論画像を並列した画像を確認し、質問用紙を用いて下記の質問に回答した。

質問 1. (Sensitivity score:感度 スコア) 本来結合組織である領域を、AIが正確に認識しているか？

回答 1

0(Fail): 0-19%

1(Poor): 20-39%

2(Fair): 40-59%

3(Good): 60-79%

4(Excellent): 80-100%

質問 2. (Misrecognition score:誤認識 スコア) 本来結合組織でない領域を、AIが誤って認識していないか？

回答 2.

0(Excellent): 誤認箇所はない

1(Good): 1箇所

2(Fair): 2箇所

3(Poor): 3箇所

4(Fail): 4箇所以上

3.結果

定量評価では、平均 Recall は 0.606、平均 Dice 係数は 0.549 であった。外科医の定性評価では、4点満点の評価スコアで感度 score が 3.52 点 (範囲:2.45-3.95)、誤認識スコアが 0.14(範囲:0-0.7)であった。

感度スコアの回答の 78%が最高得点の 4 点 (80-100%) であり、外科医は AI が推論した疎性結合組織領域に高い評価を行なった。また、誤認識スコアの平均値は 0.14 (範囲 0-0.7) と低く、偽陽性はほとんど認められなかったが、一部の画像はガーゼの繊維や手術鉗子先端の細かい溝、脂肪や血液の表面の細かいハレーションなどの疎性結合組織と類似した外見的特徴を誤認識した。また、感度スコア (外科医の評価) と Recall (コンピュータ評価) には、強い相関があることが明らかになった(相関係数 0.733)。

外科医が手動でアノテーションした正解画像と AI 推論画像に不一致がほとんど認められず、肉眼的にはほぼ同様の領域を示していた画像の Dice 係数は 0.642 であった。

4. 考察

AI モデルの性能は定量的に実証された。さらに外科医の目視による評価を行い、感度

は高く、偽陽性は少ないという高い評価を得た。手術中の安全な剥離層を構成する疎性結合組織を、AIは外科医が高く評価する精度で推論が可能であった。本技術は外科医の安全な剥離層の認識を支援し、手術合併症の減少に貢献できる可能性がある。

キーワード：手術，胃切除術，疎性結合組織，AI，深層学習

引用文献

SULIBURK, J. W., BUCK, Q. M., PIRKO, C. J., MASSARWEH, N. N., BARSHES, N. R., SINGH, H. & ROSENGART, T. K. 2019. Analysis of Human Performance Deficiencies Associated With Surgical Adverse Events. *JAMA Netw Open*, 2, e198067.

論文目録

I.主論文

Automated segmentation by deep learning of loose connective tissue fibers to define safe dissection planes in robot-assisted gastrectomy.

Kumazu, Y., Kobayashi, N., Kitamura, N., Elleuch, R., Neculoiu, P., Misumi, T., Hojo, Y., Nakamura, T., Kumamoto, T., Kurahashi, Y., Ishida, Y., Masuda, M., Shinohara, H.: Sci Rep. Vol.11, No.21198, 2021.

II.副論文

該当なし

III.参考論文

【消化器外科と AI】 解剖学的ランドマークの自動認識による視覚支援 AI システムの開発.
熊頭勇太, 小林直, 中村達郎, 北條雄大, 隈本力, 倉橋康典, 石田善敬, 篠原尚: 消化器外科.第 44 巻第 7 (号) 1167 頁~1174 頁. 2021.

【がんに対する新しい治療法と未来型医療】 未来型医療の展望 AI を活用した医療の動向
手術における AI の貢献 医師の視覚・認識を支援する手術 AI システムの開発.
熊頭勇太, 小林直, 福井雄大, 木下和也, 中村達郎, 北條雄大, 隈本力, 倉橋康典, 石田善敬,
篠原尚: 腫瘍内科.第 29 巻第 5 (号) 591 頁~597 頁. 2022.

Relationship Between the Waiting Times for Surgery and Survival in Patients with Gastric Cancer.

Kumazu, Y., Oba, K., Hayashi, T., Yamada, T., Hara, K., Osakabe, H., Shimoda, Y., Nakazono, M., Nagasawa, S., Rino, Y., Masuda, M., Ogata, T., Yoshikawa, T., Oshima, T.: World J Surg. Vol. 44, No.4, Page 1209-1215,2020

Risk factors analysis and stratification for microscopically positive resection margin in gastric cancer patients.

Kumazu, Y., Hayashi, T., Yoshikawa, T., Yamada, T., Hara, K., Shimoda, Y., Nakazono, M., Nagasawa, S., Shiozawa, M., Morinaga, S., Rino, Y., Masuda, M., Ogata, T., Oshima, T.: BMC Surg. Vol 20, No 95, 2020.

Should the splenic hilar lymph node be dissected for the management of adenocarcinoma of the esophagogastric junction?

Kumazu, Y., Hasegawa, S., Hayashi, T., Yamada, T., Watanabe, H., Hara K., Shimoda Y., Nakazono, M., Nagasawa, S., Rino, Y., Masuda, M., Ogata, T., Oshima, T., Yoshikawa, T.:
Euro J Surg Oncol, Vol 49, No 1, Page 76-82, 2023.