

## 学位論文審査の結果の要旨

審査区分 課・論	第727号	氏名	青山佳正
審査委員会委員	主査氏名	緒元正男	
	副査氏名	谷川雅人	
	副査氏名	駒阿勉	
論文題目 Artificial intelligence for surgical safety during laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: Indication of anatomical landmarks related to postoperative pancreatic fistula using deep learning (胃癌に対する腹腔鏡下胃切除術における安全性向上のためのAIシステム： 深層学習による術後膵液漏回避のための解剖学的ランドマーク教示)			
論文掲載雑誌名 Surgical Endoscopy			
論文要旨 胃癌手術における術後膵液漏 (POPF) は腹腔鏡下胃切除術 (IG) において重大な合併症の一つである。POPF を回避するための熟練外科医の「暗黙知」である解剖学的ランドマークを認識することが重要とされているが、これらを可視化した報告はまだない。本研究は、IG 中の POPF 回避に関連する解剖学的ランドマークを同定し、人工知能 (artificial intelligence: AI) を用いてこれらのランドマークを可視化するシステムを開発することを目的とした。 本研究では、POPF を回避するための術中解剖学的ランドマークとして、膵臓と周辺臓器の間に形成される窪み・境界を Dimpling Lines (DLs) を定義した。膵臓と胃間膜との DLs を DMP、膵臓と十二指腸との DLs を DIP、膵臓と横行結腸間膜との DLs を DTP と命名した。まず熟練胃外科医に対して、術中の解剖学的ランドマークについて質問しコンセンサスを確認した。次に、2017年8月～2019年12月に当院で施行した LG50 例を学習データとして用い、AI モデルは HyperSeg を使用し AI システムを開発した。AI システムのランドマーク教示精度評価は、臨床性能試験 (2020年12月～2021年3月) で前向き登録した 10 症例を用いて行った。ランドマーク教示精度の評価には、主観的評価として外部評価委員による 5 段階の Likert scale、客観的評価として Dice 係数を用いた。 POPF の原因として様々なものが挙げられたが、最も高く評価されたものが膵臓の解剖誤認であり、我々はそこに着目した。また POPF 回避に関する術中解剖学的ランドマークとして、臓器と比較し DLs がリンパ節郭清前よりも郭清進行中に注目されていることがわかり、DLs のコンセンサスが得られた。次に我々の開発した AI システムは、術中リアルタイムに DLs 及び膵臓を教示することができ、その遅延も 210ms とわずかであった。各 DLs の中でも DMP が他の DL よりも有意に高く評価され ( $p < 0.001$ )、教示精度が高いことを示した。さらに膵臓の Dice 係数は 0.70 と高値であった。 本研究では、胃がん腹腔鏡下手術における膵液漏回避のため、外科医の「暗黙知」である DLs の定義をまず行い、これを可視化する AI システムを開発した。AI を合併症回避のために導入した世界初の報告と考えられる。開発された AI システムは術中リアルタイムに DLs を可視化することが可能で、外部評価委員による評価よりも AI システムの有効性が示されている。この研究は腹腔鏡下手術における AI の実用的な応用の重要なステップとなる可能性がある。この研究の意義をふまえ、審査員の合議により本論文は学位論文に値するものと判定した。			

最終試験  
の結果の要旨  
~~学力の確認~~

審査区分 課・論	第727号	氏名	青山佳正
審査委員会委員	主査氏名	齋藤正男	
	副査氏名	谷川雅人	
	副査氏名	坂阿勉	

学位申請者は本論文の公開発表を行い、各審査委員から研究の目的、方法、結果、考察について以下の質問を受けた。

1. 消化器外科手術では現在どのような場面にAIが導入されているか
2. 術後合併症を抑制することを目的にAIを導入しているが、このような報告はほかにあるか
3. 現在までに術後膵液瘻を抑制するためにどのような試みが行われているか
4. 進行癌でも陥没線 (dimpling lines: DLs) は有効か
5. 胃間膜の解剖学を説明せよ
6. 胃癌の外科的治療として腹腔鏡下手術が標準的な術式となっているが、膵液漏の合併率が腹腔下手術の方が高い。どのような適応基準があるか
7. いわゆる暗黙知には他にどのようなものがあるか
8. Dimpling lineは、名称はともかく、その存在は外科医の間では公知のものか
9. AIシステムの有用性は明らかだと思いが、弊害はないか
10. そもそもDLsが有用であること自体が今回はじめて示されたのか、またそれが暗黙知のことか
11. HyperSegの特徴は？これを選んだ理由は
12. アノテーション画像はどのように作成されたか
13. リンパ節郭清前後でスコアを示した理由は
14. Dice係数0.7はどのように捉えられる値か
15. Dice係数は静止画像を用いて検討したのか
16. DL検出率は、検出できない例はなかったか
17. AIが誤ってランドマークを示す可能性や合併症につながる可能性は
18. 男性や高齢者などの条件によって画像に違いについて
19. この研究の対象である膵液漏以外への活用の可能性について
20. 開発したシステムでは連続時間補間を行っているかについて
21. モデル作成に用いた2771枚の画像の妥当性について
22. モデル作成の際のパラメータの調整について
23. 幽門下領域と膵上領域の結果の違いとその意味について
24. Dimpling lineの中での有効性のDMPについて
25. 本研究でのKendall's Wの評価について
26. ロボット手術への応用について

これらの質疑に対して、申請者は概ね適切に回答した。よって審査委員の合議の結果、申請者は学位取得有資格者と認定した。

(注) 不要の文字は2本線で抹消すること。

# 学 位 論 文 要 旨

氏名 青山 佳正

## 論 文 題 目

.....Artificial intelligence for surgical safety during laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: Indication of anatomical landmarks related to postoperative pancreatic fistula using deep learning.....

.....(胃癌に対する腹腔鏡下胃切除術における安全性向上のための AI システム： 深層学習による術後膵液漏回避のための解剖学的ランドマーク教示).....

## 要 旨

### 緒言 (目的)

.....胃癌手術における術後膵液漏 (postoperative pancreatic fistula : POPF) は腹腔鏡下胃切除術 (laparoscopic gastrectomy : LG) において重大な合併症の一つである。POPF を回避するための熟練外科医の「暗黙知」である解剖学的ランドマークを認識することが重要とされているが、これらを可視化した報告はまだない。本研究は、LG 中の POPF 回避に関連する解剖学的ランドマークを同定し、人工知能 (artificial intelligence : AI) を用いてこれらのランドマークを可視化するシステムを開発することを目的とした。.....

### 研究対象及び方法

.....本研究では、POPF を回避するための術中解剖学的ランドマークとして、膵臓と周辺臓器の間に形成される窪み・境界を Dimpling Lines (DLs) を定義した。膵臓と胃間膜との DLs を DMP : dimpling line between the mesogastrium and pancreas、膵臓と十二指腸との DLs を DIP : dimpling line between.....

the intestine and pancreas、膵臓と横行結腸間膜との DLs を DTP : dimpling line between the transverse mesocolon and pancreas と命名した。まず熟練胃外科医に対して、①術後膵液漏の要因は？②術中の解剖学的ランドマークは何か？について質問しコンセンサスを確認した。次に、2017年8月～2019年12月に当院で施行した LG50 例を学習データとして用い、AI モデルは HyperSeg を使用し AI システムを開発した。AI システムのランドマーク教示精度評価は、臨床性能試験（2020年12月～2021年3月）で前向き登録した 10 症例を用いて行った。ランドマーク教示精度の評価には、主観的評価として外部評価委員による 5 段階の Likert scale、客観的評価として Dice 係数を用いた。

## 結果

POPF の原因として様々なものが挙げられたが、最も高く評価されたものが膵臓の解剖誤認であり、我々はそこに着目した。また POPF 回避に関する術中解剖学的ランドマークとして、臓器と比較し DLs がリンパ節郭清前よりも郭清進行中に注目されていることがわかり、DLs のコンセンサスが得られた。次に我々の開発した AI システムは、術中リアルタイムに DLs 及び膵臓を教示することができ、その遅延も 210ms とわずかであった。各 DLs の中でも DMP が他の DL よりも有意に高く評価され ( $p < 0.001$ )、教示精度が高いことを示した。さらに膵臓の Dice 係数は 0.70 と高値であった。

## 考察

本研究は、胃癌手術における合併症回避のための外科医の「暗黙知」である DLs を可視化する AI システムを開発した世界初の報告である。DLs は手術の進行に伴い継続的に変化していく。そのため AI システムのランドマーク教示能は、術中形状の変化を伴わない膵臓に対しては Dice 係数を、動的な変化を伴う DLs に対しては 5 段階 Likert scale を用いることで主観的かつ客観的に評価することができた。一方で、解剖誤認以外の膵液漏の要因や他施設での手術、ロボット手術などに対するランドマーク教示精度については、今後新たな観点から検証を行い、システムを再構築していく必要がある。

## 結語（まとめ）

我々は POPF 回避に関する解剖学的ランドマークとして DLs を定義し、その有用性を示した。開発した AI システムは、LG の術中リアルタイムに DLs を可視化することができ、POPF 回避に役立つ可能性が示唆された。