

学位論文審査の結果の要旨

審査区分 課・論	第729号	氏名	折本大樹
審査委員会委員		主査氏名	白下 英史 
		副査氏名	下村 剛  
		副査氏名	安徳 恭彰 
<p>論文題目</p> <p>Development of an artificial intelligence system to indicate intraoperative findings of scarring in Laparoscopic cholecystectomy for cholecystitis (胆嚢炎に対する腹腔鏡下胆嚢摘出術において癒痕化の術中所見を教示する人工知能システムの開発)</p> <p>論文掲載雑誌名 Surgical Endoscopy</p> <p>論文要旨</p> <p>〈緒言〉胆嚢炎に対する腹腔鏡下胆嚢摘出術(LC)の手術難易度と胆道損傷(BDI)の危険性は、炎症による組織の線維化や癒痕化の程度に大きく依存するので、これらの術中所見を正しく認識することが、安全な手術を行うために重要である。特に癒痕化は安全な手術を困難にし、BDIリスクを増大させる。本研究は、胆嚢炎におけるLCにおいて癒痕化の術中所見を示す人工知能(AI)システムを開発することを目的とした。</p> <p>〈研究対象および方法〉深層学習に基づく領域抽出アルゴリズムを用いて、癒痕化所見を示す領域を検出するAIソフトウェアを開発した。大分大学医学部附属病院で施行した21症例のLC動画より2025枚の画像を抽出し、癒痕化所見のアノテーションを行いAIの学習データセットとして用いた。AIの学習に使用していない他施設のLC動画20例を使用し、外部評価委員(EEC)によるAIシステムの評価を行なった。EECは癒痕化所見を示す領域の検出精度とAIシステムの有用性についての評価を行い、これらは機械学習の精度の評価指標であるDICE係数と5段階のリッカート尺度質問標に基づいて評価された。</p> <p>〈結果〉AIシステムが教示した癒痕化領域とEECがアノテーションした領域との平均DICE係数は0.612であった。リッカート尺度を用いたEECによる教示性能の評価は3.98 ± 0.76の結果となった。AIシステムはEECによって臨床および教育に有用であると評価された。</p> <p>〈考察〉開発したAIシステムは、他施設症例の画像を用いた定量的評価で高い精度を示し、手術動画を用いた定性的評価でもCalotの三角部を含めた胆嚢領域内の癒痕化の術中所見を十分に検出し有用性の評価を得た。一方で、癒痕化の程度が比較的軽微な症例では、静止画および動画での評価いずれにおいても低い結果を示した。これは癒痕化の程度が比較的軽微な症例の数が不足していることが原因と考えられ、大規模データを用いた学習によるAIシステムの精度向上が今後の課題である。</p> <p>〈結語〉胆嚢炎に対するLCにおける癒痕化の術中所見をリアルタイムで教示するAIシステムを開発に成功した。開発したAIシステムは手術難易度に関連する術中所見の認識を支援することで、手術の安全性を向上させ、BDIを予防することが期待される。</p> <p>本研究は、AIシステムを用いて、腹腔鏡下胆嚢摘出術の際に、リアルタイムに癒痕部分を表示することに成功したもので、このシステムを使用することで、外科医は癒痕部分の認識が容易となり、術中胆道損傷を回避した安全な手術の施行が期待できる。</p> <p>このため、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。</p>			

最終試験
の結果の要旨
~~学力の確認~~

審査区分 (課)・論	第729号	氏名	折本大樹
審査委員会委員	主査氏名	白下英史	
	副査氏名	下村剛	
	副査氏名	長徳恭彰	
<p>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。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 急性胆嚢炎での線維化と瘢痕の定義と画像評価 2. 急性胆嚢炎以外の線維化および瘢痕をきたす疾患 3. 急性胆嚢炎の手術の難易度に影響する線維化以外の要因 4. 胆嚢壁の線維化および瘢痕の術前画像所見 5. 評価に使用したデータセットの総数および対象症例の選択方法 6. 評価に使用した映像の撮影条件の評価 7. 胆嚢壁の瘢痕の病理学的確認の有無 8. 偽陽性の確認方法 9. アノテーションの画像選択およびアノテーションの範囲、作業員の数 10. ハイパーセグ以外のアルゴリズムの候補 11. Precision = TP / (TP + FN) から Precision = TP / (TP + FP) への修正 12. 外部評価者の選定方法 13. 組織学的な瘢痕の範囲との比較ではなく、外部評価者とAIの一致率を評価した理由 14. 外部評価者および手術難度による評価の不一致の理由 15. Dice係数の結果の評価および改善方法 16. 本AIシステムの臨床応用方法 17. 本AIシステムの実用化に向けての必要症例数 18. 本AIシステムのロボット支援手術への導入の利点 <p>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。</p>			

(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 折本 大樹

論 文 題 目

Development of an artificial intelligence system to indicate intraoperative findings of scarring
in Laparoscopic cholecystectomy for cholecystitis

(胆嚢炎に対する腹腔鏡下胆嚢摘出術において癒痕化の術中所見を教示する人工知能システム
の開発)

要 旨

諸言:

腹腔鏡下胆嚢摘出術 (LC) は胆嚢結石症や胆嚢炎に対する標準的な術式である。胆道損傷 (BDI) は LC における最も重篤な合併症であり、追加手術や入院期間の延長を要し、時に致命的となる。技術の進歩にも関わらず、BDI の発生率は長期間減少していない。我々の研究チームでは BDI を予防するための人工知能 (AI) システムを開発してきた。しかし、開発した AI システムは高度な炎症を伴った胆嚢炎症例への対応が課題となっている。胆嚢炎に対する LC の手術難易度と BDI の危険性は、炎症による組織の線維化や癒痕化の程度に大きく依存する。そのため、これらの術中所見を正しく認識することが、安全な手術を行うために重要であることが報告されている。とりわけ癒痕化は安全な手術を困難にし、BDI リスクを増大させる。本研究は、胆嚢炎における LC において癒痕化の術中所見を示す人工知能 (AI) システムを開発することを目的とした。

研究対象および方法:

深層学習に基づく領域抽出アルゴリズムを用いて、瘢痕化所見を示す領域を検出する AI ソフトウェアを開発した。大分大学医学部附属病院で施行した 21 症例の LC 動画より 2025 枚の画像を抽出し、瘢痕化所見のアノテーションを行い AI の学習データセットとして用いた。AI の学習に使用していない他施設の LC 動画 20 例を使用し、外部評価委員 (EEC) による AI システムの評価を行なった。EEC は瘢痕化所見を示す領域の検出精度と AI システムの有用性についての評価を行い、これらは機械学習の精度の評価指標である DICE 係数と 5 段階のリッカート尺度質問標に基づいて評価された。

結果：

AI システムが教示した瘢痕化領域と EEC がアノテーションした領域との平均 DICE 係数は 0.612 であった。リッカート尺度を用いた EEC による教示性能の評価は 3.98 ± 0.76 の結果となった。AI システムは EEC によって臨床および教育に有用であると評価された。

考察：

開発した AI システムは、他施設症例の画像を用いた定量的評価で高い精度を示し、手術動画を用いた定性的評価でも Calot の三角部を含めた胆嚢領域内の瘢痕化の術中所見を十分に検出し有用性の評価を得た。一方で、瘢痕化の程度が比較的軽微な症例では、静止画および動画での評価いずれにおいても低い結果を示した。これは学習データが単一施設由来の症例に限られており、瘢痕化の程度が比較的軽微な症例の数が不足していることが原因と考えられ、多施設からの大規模データによる学習と検証による AI システムの精度向上が今後の課題である。

結語：

胆嚢炎に対する LC における瘢痕化の術中所見をリアルタイムで教示する AI システムを開発に成功した。開発した AI システムは手術難易度に関連する術中所見の認識を支援することで、手術の安全性を向上させ、BDI を予防することが期待される。