

## 学位論文審査の結果の要旨

審査区分 課・論	第 712 号	氏名	河村昌寛
審査委員会委員	主査氏名	谷川 雅人	
	副査氏名	北野 敬明	
	副査氏名	新井 千尋	
論文題目			
<p>Development of an artificial intelligence system for real-time intraoperative assessment of the Critical View of Safety in laparoscopic cholecystectomy  (腹腔鏡下胆嚢摘出術において術中にリアルタイムに Critical View of Safety を評価する人工知能システムの開発)</p>			
論文掲載雑誌名			
Surgical Endoscopy			
論文要旨			
<p>本論文は、腹腔鏡下胆嚢摘出術 (LC) における胆道損傷 (BDI) を予防するための人工知能 (AI) システム (術中ランドマーク教示システム) の開発を行ったものである。ここでは、BDI を予防するために、LC において解剖学的構造物を確実に同定する方法である Critical View of Safety (CVS) に着目し、多くの場合、CVS の達成度は主観的に評価されているため、LC において術中にリアルタイムに CVS を評価する AI システムを開発した。</p> <p>深層畳み込みニューラルネットワークに基づく画像分類アルゴリズムを用いて、CVS の達成度を評価する 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 72 症例の LC 動画より Calot 三角展開シーンのショートクリップを作成し、23,793 枚の画像に対して CVS 評価値のラベル付けを行った。学習データとした。データ処理の後、6000 枚のデータセットからモデル A を、関心領域 (ROI) を切り抜いたデータを含めた 12000 枚のデータセットからモデル B を作成した。学習モデルの性能は、機械学習で一般的に用いられる指標を用いて検討した。</p> <p>結果は、関心領域を適用したモデル B の方が精度が高く、Precision、Recall、F-measure、Specificity、Overall accuracy の平均値は、それぞれ 0.971、0.737、0.832、0.966、0.834 であった。1 枚の画像のスコアを得るのに約 6fps を要した。この AI システムを用いて、術中使用に耐える処理速度で、精度の高い CVS の達成度評価を実現できた、一方で、画像上で関心領域である Calot 三角が中央に表示されていない場合や、構造物と背景組織との色調の差が少ない場合の判断は困難であることも見出した。</p> <p>本研究は、AI システムを用いて、LC における Calot 三角展開シーンの静止画と動画を用いて、CVS の達成度を評価することに成功したもので、このシステムの適用により、外科医に CVS を意識することを促し、LC の安全性を向上させることが期待される。</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712号	氏名	河村昌寛
審査委員会委員	主査氏名	谷川雅人	
	副査氏名	北野敬明	
	副査氏名	新宮千尋	
<p>学位申請者は本論文の公开发表を行い、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"> <li>1. CVSはAIシステムを用いた臓器等の部位の認識や手術過程の判定の際にも有効か</li> <li>2. CVSの評価を3段階ではなく、2段階で行った理由</li> <li>3. EfficientNetで、モデルとしてはB5を用いた理由</li> <li>4. Sharpnes-Aware Minimization とはどのようなものかと、この研究で用いた理由</li> <li>5. 深層畳み込みニューラルネットワークでラプラスフィルタを用いた理由</li> <li>6. データから導きだした示標であるPrecision, Recall, F-measure, Accuracyのそれぞれの意味</li> <li>7. Region of Interest を生成した方法の詳細について胆道損傷の定義について、および、その発症時期</li> <li>9. 以前の開腹手術における合併症の比較</li> <li>10. 用いたdatasetの詳細とそれぞれのモデルの特徴</li> <li>11. Precision, Recall, F-measure, Specificity, Overall accuracyの重要性</li> <li>12. CVSにおけるC1, C2, C3の重要性の違い</li> <li>13. 炎症があるときの有効性</li> <li>14. 学習用や実際の手術の際に用いる機器の性能</li> <li>15. 腹腔鏡下胆嚢摘出術における4つのランドマークとCVSをAI手術で利用する運用方法</li> <li>16. 出血等で可視画像ではランドマークを弁別できない状況での今後の解析方法</li> <li>17. 今後、他臓器の腹腔鏡手術においても、同様のAIの活用を検討しているが、今回のCVSのような明確なランドマークを定義すること、特に結腸などにおける難かしさ</li> </ol> <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 河村 昌寛

## 論 文 題 目

Development of an artificial intelligence system for real-time intraoperative assessment of the Critical View of Safety in laparoscopic cholecystectomy

(腹腔鏡下胆嚢摘出術において術中にリアルタイムに Critical View of Safety を評価する人工知能システムの開発)

## 要 旨

## 緒言:

腹腔鏡下胆嚢摘出術 (LC) の普及に伴い、胆嚢摘出術の合併症である胆道損傷の発生率は開腹術の時代に比べて増加している。胆道損傷 (BDI) は胆嚢摘出術における最も重大な合併症の 1 つであり、追加手術や、入院期間の延長を要する場合があります、時に致命的となりうる。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 (術中ランドマーク教示システム) を開発してきた。本研究では、BDI を予防するために、1995 年に提唱された Critical View of Safety (CVS) に着目した。CVS は、①胆嚢に向かう 2 つの構造物が視認できること、②胆嚢床の下 1/3 が視認できること、③ Calot 三角のクリアランスが確保されていることの 3 要素で構成される。CVS は LC において解剖学的構造物を確実に同定する方法であり、多くのガイドラインで推奨されている。しかし、CVS の達成度は主観的に評価されており、適切な理解・適用がなされていない場合があることが報告されている。本研究では、LC において術中にリアルタイムに CVS を評価する AI 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：**

深層畳み込みニューラルネットワークに基づく画像分類アルゴリズムを用いて、CVSの達成度を評価する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72症例のLC動画よりCalot三角展開シーンのショートクリップを作成し、23,793枚の画像に対してCVS評価値のラベル付けを行った。学習データとした。データ処理の後、6000枚のデータセットからモデルAを、関心領域(ROI)を切り抜いたデータを含めた12000枚のデータセットからモデルBを作成した。学習モデルの性能は、機械学習で一般的に用いられる指標を用いて検討した。

**結果：**

関心領域を適用したモデルBの方が精度が高く、Precision、Recall、F-measure、Specificity、Overall accuracyの平均値は、それぞれ0.971、0.737、0.832、0.966、0.834であった。1枚の画像のスコアを得るのに約6fpsを要した。

**考察：**

AIシステムを用いて、術中使用に耐えうる処理速度で、精度の高いCVSの達成度評価を実現した。一方で、画像上で関心領域であるCalot三角が中央に表示されていない場合や、構造物と背景組織との色調の差が少ない場合の判断は困難であった。これは、外科医によるCVS評価は、術野のROI、それまでの記憶、事前の解剖学的知識などの認知情報に基づいて行われるが、AIによるCVS評価は、1つの入力画像に対して2次元で行われることによると考えられる。ほとんどの画像において、ROIを適用することで精度が向上したが、一部の画像では精度の低下が見られた。ROIの適用は画像分類モデルの精度向上に有効であったが、その最適化は今後の課題である。また、多施設データを使用・学習させることにより、さらなる精度向上が期待される。

**結語：**

AIシステムを用いて、LCにおけるCalot三角展開シーンの静止画と動画を用いて、CVSの達成度を評価することに成功した。このシステムの適用により、外科医にCVSを意識することを促し、LCの安全性を向上させることが期待される。