

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K09292

研究課題名（和文）AI組込型情報提示システムを導入した低侵襲脊椎手術支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of a minimally invasive spine surgery assisting system with an integrated information presentation system

研究代表者

折田 純久（Orita, Sumihisa）

千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：60638310

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：腰仙椎前外側椎体間固定術OLIF51は、腰椎すべり症などの腰仙椎部変性疾患に対し低侵襲でのL5/S1椎間前方固定を実現する脊椎手術手技である。一方で総腸骨静脈の損傷リスクが高く、これは致命的出血を引き起こす可能性がある。これに対し、本研究では術中補助内視鏡動画に対して深層学習を用い、総腸骨静脈をリアルタイムでセグメンテーションするモデルを開発した。深層学習モデルとしてU-Net++とResNet18を使用し、Dice係数0.65、処理速度2.72fpsを記録した。さらにガンマ補正を適用することで精度が向上し、静脈の識別が容易となった。今後はモデルの最適化とデータセットの改善が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、低侵襲脊椎手術における静脈損傷リスク低減に向けた深層学習の応用にある。具体的には、U-Net++とResNet18を使用したリアルタイムセグメンテーションモデルを開発し、ガンマ補正により精度向上を達成したことが重要である。この成果は術中の大血管損傷リスクを効果的に低減し得る技術的進展を示している。

社会的意義としては、本モデルの実用化により腰仙椎前外側椎体間固定術OLIF51の安全性が向上し、術者の負担軽減と患者の予後改善が期待される。さらに、本技術は他の低侵襲手術にも応用可能であり、医療全体の質の向

研究成果の概要（英文）：The Oblique Lateral Interbody Fusion (OLIF51) is a minimally invasive spinal surgery technique that enables anterior fixation of the L5/S1 intervertebral space for degenerative diseases of the lumbosacral spine, such as spondylolisthesis. However, there is a high risk of injury to the common iliac vein, which can lead to fatal bleeding. To address this, our study developed a model that uses deep learning to segment the common iliac vein in real-time from intraoperative endoscopic videos. The deep learning model employed U-Net++ and ResNet18, achieving a Dice coefficient of 0.65 and a processing speed of 2.72 fps. Additionally, applying gamma correction improved the accuracy and made the identification of veins easier. Future work will focus on optimizing the model and improving the dataset.

研究分野：低侵襲脊椎外科支援システムの開発

キーワード：腰仙椎前方固定 OLIF51 セグメンテーション 手術支援

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

腰仙椎前外側椎体間固定術 (Oblique Lateral Interbody Fusion for L5/S1: OLIF51[®], 図1) は, 腰椎すべり症などの腰仙椎部変性疾患に対して低侵襲での L5/S1 椎間前方固定を実現する脊椎手術手技である.

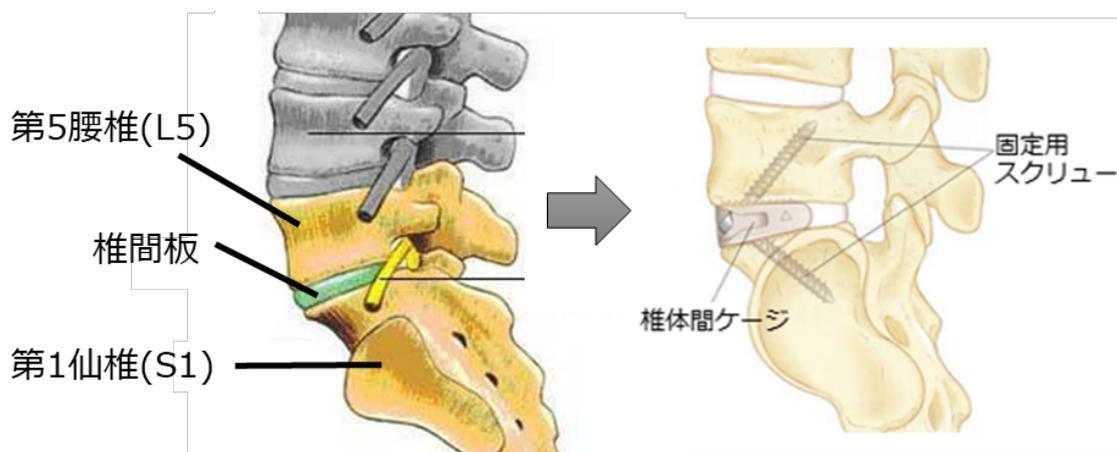


図 1 : L5/S1 椎間板の郭清と OLIF51 における椎間ケージの挿入

OLIF51 は低侵襲な前方腰仙椎間固定を実現する一方で術野近傍を走行する総腸骨静脈の損傷リスクがあり, 時に致命的な出血を引き起こす可能性がある (図2).

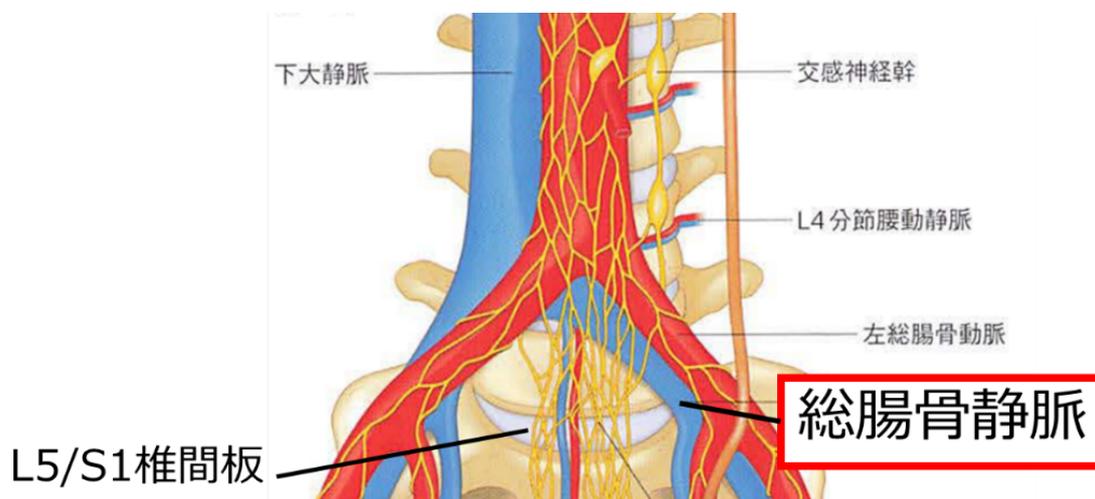


図 2 : L5/S1 椎間板と総腸骨静脈の解剖学的位置

これに対する効果的な支援システムはこれまで開発されておらず、手術実施はあくまで術者の経験に依存することが多かったことから、安全かつ確実な術野の確保と提供を支援するシステムの開発が望まれた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、腰仙椎前外側椎体間固定術 (OLIF51) における総腸骨静脈の損傷リスクを低減するために、術中支援内視鏡による術野動画に対して深層学習を用いて術中補助内視鏡動画から総腸骨静脈をリアルタイムでセグメンテーションするモデルを開発し、その精度とリアルタイム性を評価することである。

3. 研究の方法

本研究では、千葉大学医学部附属病院整形外科教室から提供された OLIF51 術中補助内視鏡動画を用いた。以下の手順で研究を進めた。

データセットの構築: 4 症例から 15 フレーム毎に総腸骨静脈が写った画像を抽出し、学習用 401 枚、検証用 168 枚、テスト用 45 枚のデータセットを作成した。

モデルの開発: セマンティックセグメンテーション用に U-Net, U-Net++ のアーキテクチャと ResNet18, ResNet34 のバックボーンを組み合わせた 4 種類のモデルを開発した。

下図ではこのうち U-Net++ アーキテクチャの概要を示す

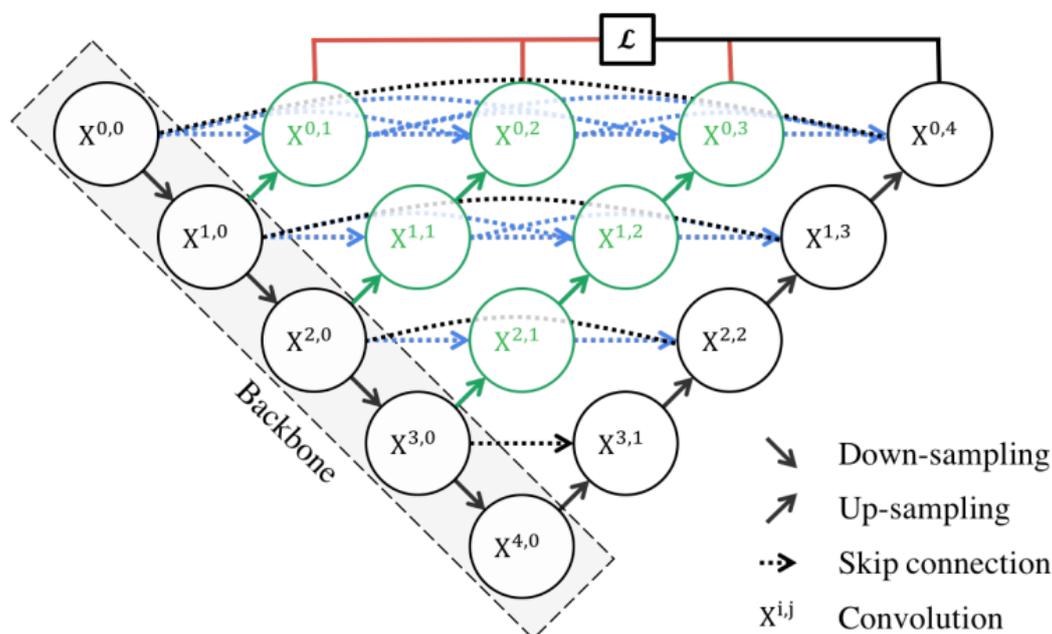


図 3 : U-Net++ の構造

前処理: 静脈の視覚的特性を強調するために Red チャンネルにガンマ補正を施した。

評価指標: セグメンテーション精度には Dice 係数を用い、リアルタイム性の検証としてフレーム毎の処理速度をフレーム/秒 (fps) で評価した。

4. 研究成果

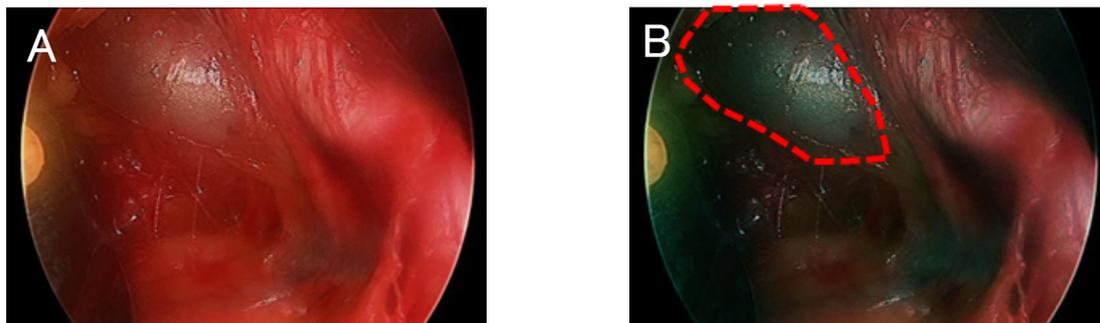
本研究の主な成果は以下の通りである。

セグメンテーション精度: U-Net++ と ResNet18 を使用したモデルは、Dice 係数 0.65 を記録した。

リアルタイム性の評価: 最速処理速度は 2.72fps を記録し、リアルタイムな情報提供に十分で

あることを示唆した。

ガンマ補正の有効性: ガンマ補正を適用することで (図 4), セグメンテーション精度が平均 Dice0.51 から 0.65 に向上し, 静脈の識別が容易になったことが確認された(図 5).



(A) ガンマ補正前画像

(B) ガンマ補正後画像

図 4 ガンマ補正による画像変化

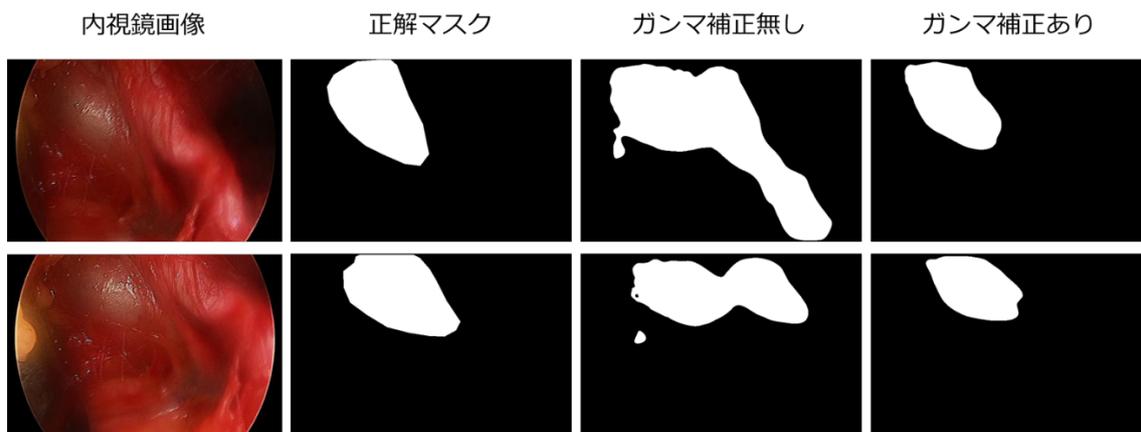


図 5 補正の有無によるセグメンテーションの比較

今後の展望: モデルのパラメータ最適化やデータセットの再構築により, さらなる精度向上が期待される. 特に連続フレームの映像が大きく変わらないことを利用し, 推論するフレームを限定することでシステムの負荷を軽減しつつ, 術者支援を維持する手法の探索が重要である.

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 Nozawa K, Maki S, Furuya T, Okimatsu S, Inoue T, Yunde A, Miura M, Shiratani Y, Shiga Y, Inage K, Eguchi Y, Ohtori S, Orita S.	4. 巻 18
2. 論文標題 Magnetic resonance image segmentation of the compressed spinal cord in patients with degenerative cervical myelopathy using convolutional neural networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Int J Comput Assist Radiol Surg .	6. 最初と最後の頁 45-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11548-022-02783-0	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6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上田玲央斗, 志賀康浩, 稲毛一秀, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司, 折田純久
2. 発表標題 OLIF51術中支援を目的とした術中補助内視鏡下における総腸骨静脈リアルタイムの物体検出モデルの確立
3. 学会等名 第37回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 折田純久, 上田玲央斗, 山本香織, 志賀康浩, 稲毛一秀, 江口和, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司
2. 発表標題 OLIF51術中支援を目的とした, 術中補助内視鏡画像における総腸骨静脈リアルタイム物体検出モデルの確立
3. 学会等名 第32回日本脊椎インストゥルメンテーション学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本香織, 上田玲央斗, 稲毛一秀, 志賀康浩, 江口和, 井上雅寛, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司, 折田純久
2. 発表標題 OLIF51手術支援を目的とした内視鏡画像における総腸骨静脈のセグメンテーションの精度に関する検証
3. 学会等名 第38回 日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本香織, 上田玲央斗, 稲毛一秀, 志賀康浩, 江口和, 井上雅寛, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司, 折田純久
2. 発表標題 OLIF51術中支援を目的とした内視鏡画像における総腸骨静脈のセグメンテーションモデルの精度検証
3. 学会等名 第32回 日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田玲央斗, 志賀康浩, 稲毛一秀, 江口和, 井上雅寛, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司, 折田純久
2. 発表標題 Establishment of an intraoperative assisted endoscopic common iliac vein segmentation model and object detection model for intraoperative support of OLIF51(Oblique Lateral Lumbar Interbody Fusion 51)
3. 学会等名 2023 International Society for the Study of the Lumbar Spine
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田玲央斗, 志賀康浩, 稲毛一秀, 江口和, 井上雅寛, 牧聡, 古矢丈雄, 大鳥精司, 折田純久
2. 発表標題 Establishment of an intraoperative assisted endoscopic common iliac vein segmentation model and object detection model for intraoperative support of OLIF51(Oblique Lateral Lumbar Interbody Fusion 51)
3. 学会等名 2023 Biospine Asia Pacific
4. 発表年 2023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
研究 分担 者	中口 俊哉 (Nakaguchi Toshiya) (20361412)	千葉大学・フロンティア医工学センター・教授 (12501)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	大鳥 精司 (Ohtori Seiji) (40361430)	千葉大学・大学院医学研究院・教授 (12501)	
研究分担者	江口 和 (Eguchi Yawara) (40507323)	千葉大学・大学院医学研究院・特任教授 (12501)	
研究分担者	成田 都（鈴木都） (Narita Miyako) (70734242)	千葉大学・大学院医学研究院・助教 (12501)	
研究分担者	稲毛 一秀 (Inage Kazuhide) (80793629)	千葉大学・大学院医学研究院・助教 (12501)	
研究分担者	志賀 康浩 (Shiga Yasuhiro) (90568669)	千葉大学・大学院医学研究院・特任准教授 (12501)	

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