

深層学習を用いた単純X線写真による 治療介入すべき脊椎疾患自動診断システムの開発

北海道大学病院整形外科

講師 山田 勝久

(共同研究者)

北海道大学大学院医学研究院整形外科学教室

北海道大学大学院医学研究院整形外科学教室

北海道大学大学院医学研究院整形外科学教室

客員研究員 小甲 晃史

特任助教 舘 弘之

客員研究員 鈴木 久崇

はじめに

脊椎は体幹を支え脊髄神経を保護する主要な構成要素であり、代表的疾患として腰椎椎間板ヘルニアや腰部脊柱管狭窄症などの神経障害を来す腰椎変性疾患が挙げられる。腰痛に加え、進行すると神経麻痺や脊柱変形を続発し、自立した健康的な生活をおこなう上での障害となる。高齢化社会に伴いこれらの罹患率は増加しており、患者数が多いことも合わせ生活の質を重視する現代社会においては克服すべき重要な疾患である。

治療には脊椎除圧固定術などの外科治療により一定の成果が認められるが、進行性の神経障害を呈している場合は治療介入の適切なタイミングを逃してしまうと十分な回復を得ることが難しくなってしまう。脊椎脊髄外科専門医による適切な判断が極めて重要となるが、通常は非専門医である一般整形外科医による診療が主となるため、専門医へ早期に紹介すべきかの判断が難しいことが問題点として挙げられる。また、これらの診断には通常MRIもしくはCT撮像が必要となるが、早期に検査することが難しい施設も多く、さらにその判断も非専門医にとっては困難であるという問題がある。これらの背景より、多くの施設で撮像可能な単純X線像から注意すべき腰椎疾患の判断が可能となれば、治療のタイミングを逸するいわゆる Doctor's delay を減らすことが期待される。

そこで本研究では、人工知能を用いて脊椎単純X線撮像から治療介入すべき腰椎疾患を自動判別するプログラムを開発することを目的とした。

結 果

- 画像診断用の Deep learning・ニューラルネットワークを使用した腰椎変性疾患の手術要否予測プログラム開発

腰部脊柱管狭窄症において手術加療を施行した症例を対象とし、単純X線画像を構築した深層学習モデルのインプットデータとして学習させ、手術が必要な病態予測精度について検

証した。

腰椎変性疾患（腰部脊柱管狭窄症、腰椎変性すべり症）に対し手術を施行した100症例を対象とした。腰椎単純X線側面像から、Windows標準装備のフォトを用いて第1/2腰椎から第4/5腰椎までの4椎間の関心領域を抽出し、合計400枚の画像を得た（図1）。

腰椎単純X線画像における各腰椎間の関心領域画像をインプット層、非手術群を0、手術群を1とする2値予測のためのアウトプット層とするニューラルネットワークモデルを構築した。

手術日に基づき、最初の75症例から得られた300画像を内部検証用に、後

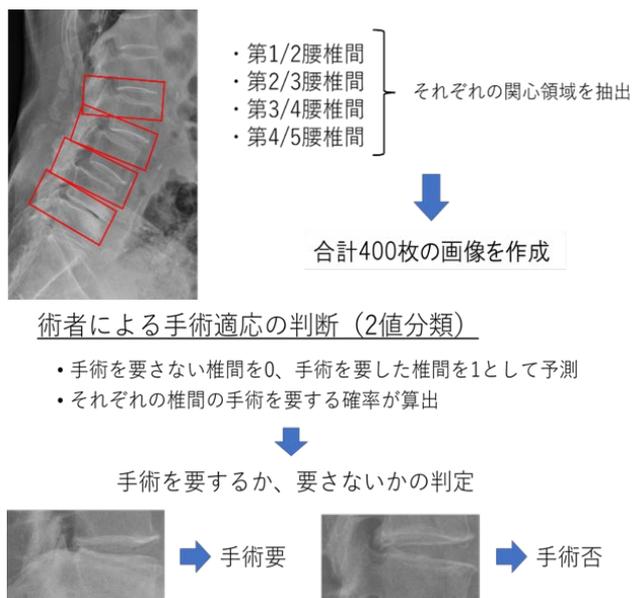


図1 畳み込みニューラルネットワークによる腰部脊柱管狭窄症の手術要否判定の検証

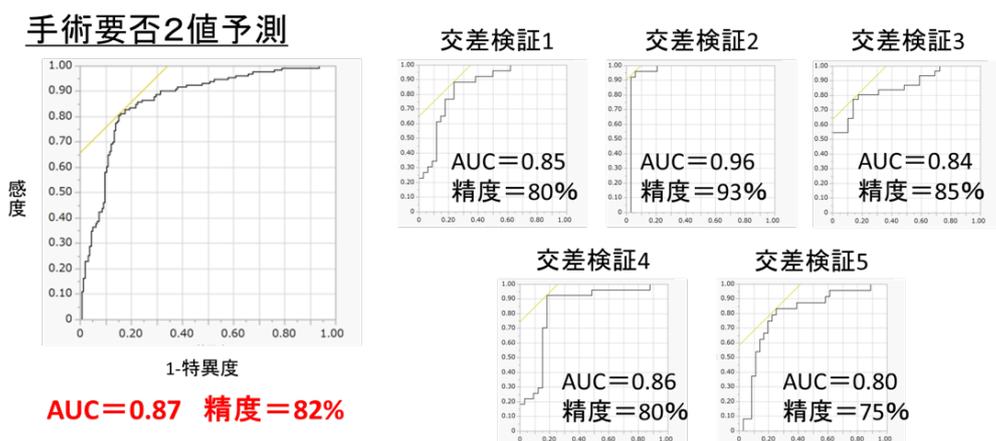


図2 手術要否予測内部検証

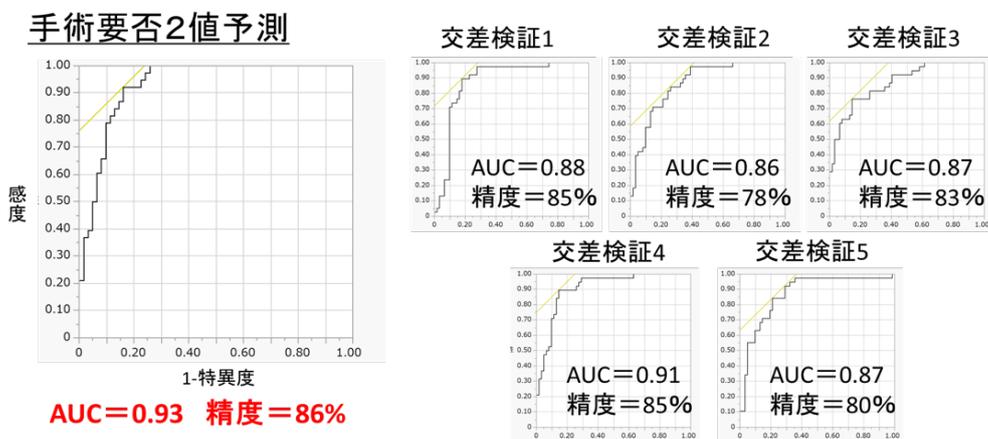


図3 手術要否予測外部検証

の25症例から得られた100画像を外部検証用に使用した。内部検証では、300枚の画像を患者単位で60枚ずつランダムに5群に分割し、4群を学習用、残りの1群を検証用とし、検証用の群を順に変え検証を5回施行した(5分割交差検証)。外部検証では、5つの学習済みモデルを用いた。

手術レベルと非手術レベルの2値分類を行い、手術要否判定を検証し、内部検証ではAUCは0.80～0.96、精度は75%～93%(図2)、外部検証ではAUCは0.93、精度は86%であった(図3)。

Grad-cam (heat map)にて人工知能が判断する特徴量が高い部位を確認したところ、椎間関節と椎間板後方に高い特徴密度を示した(図4)。

手術要否の2値予測

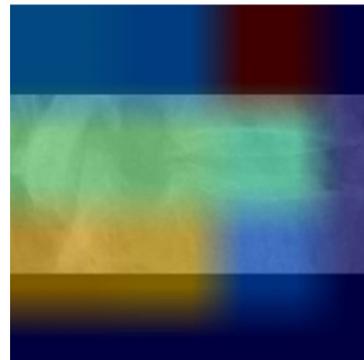


図4 手術要否予測 Grad-cam

考 察

本研究では、腰椎単純X線側面像から腰部脊柱管狭窄症の有無を自動診断するアルゴリズムを構築し、外部検証においても80%以上の精度を維持することが可能であった。本研究結果は、この深層学習アルゴリズムが、腰椎単純X線写真からLSCSを診断することに有用である可能性を示唆している。

本研究では、非専門医や地域の医療現場でも手術加療が必要とされる腰椎疾患を簡便に把握するシステムの作成を目指している。本研究開発で目的としている単純X線写真を用いた腰椎変性疾患の自動判別システムを実用化するにあたり、アプリの開発やwebコンテンツの作成、クラウドを利用したサービスの提供、もしくは電子カルテシステムに紐付けられた画像参照システムへの実装としての製品化・事業化することが目標となる。まずは深層学習をはじめとした人工知能やデータサイエンスなどの革新的技術をもった企業と共同研究を行い実用性のあるシステムを開発していくことを目標として、今後実用化を目指した共同研究につなげていくことを検討している。

また、本研究開発による自動判別システムは非専門医、特に地域医療にとって有用な診断ツールとなることが期待される。本プログラムを遠隔医療システムに組み込むことで、地域医療において新たに展開する可能性が考えられる。さらに、本プラットフォームを起点として、腰椎・頸椎疾患のみならずあらゆる脊椎疾患の診断および予後予測に関しても応用可能な発展性を有している。

本研究結果は、脊椎外科関連におけるトップジャーナルであるThe Spine Journal誌に掲載されました⁽¹⁾。また、本研究と同様の手法を用いて頸椎X線画像における手術適応を自動判別するアルゴリズムを開発し、その研究成果がEuropean Spine Journal誌に掲載されました⁽²⁾。

最後に、本研究にあたり貴財団より多大なご支援をいただきましたことに心より深く感謝申し上げます。

要 約

腰部脊柱管狭窄症などの神経障害を来す腰椎変性疾患は治療介入の適切なタイミングを逃してしまうと十分な回復を得ることが難しくなるため、脊椎脊髄外科専門医による適切な判断が極めて重要となるが、診断には通常MRIが必要となること、また専門医へ早期に紹介すべきかの判断が難しいことが問題となる。多くの施設で撮像可能な単純X線像から注意すべき腰椎疾患の判断が可能となれば、Doctor's delayを減らすことが期待される。

そこで本研究では、人工知能を用いて脊椎単純X線撮像から治療介入すべき腰椎疾患を自動判別するプログラムを開発しその精度を評価した。腰部脊柱管狭窄症に対し手術を受けた患者100名の腰椎単純X線データを用い、手術要否を予測する深層学習モデルを作成した。手術要否判定検証を実施し、内部検証ではAUCは0.80～0.96、精度は75%～93%、外部検証ではAUCは0.93、精度は86%であった。

本研究結果は、この深層学習アルゴリズムが、腰椎単純X線写真から腰部脊柱管狭窄症を自動診断することに有用である可能性が示唆された。本研究開発による自動判別システムは非専門医、特に地域医療にとって有用な診断ツールとなることが期待されるため、本プログラムを遠隔医療システムに組み込むことで地域医療において新たに展開する可能性が考えられる。さらに、本プラットフォームを起点として、腰椎疾患のみならず脊椎疾患の診断および予後予測に関しても応用可能な発展性を有している。

文 献

1. Suzuki H, Kokabu T, Yamada K, Ishikawa Y, Yabu A, Yanagihashi Y, Hyakumachi T, Tachi H, Shimizu T, Endo T, Ohnishi T, Ukeba D, Nagahama K, Takahata M, Sudo H, Iwasaki N, Deep learning-based detection of lumbar spinal canal stenosis using convolutional neural networks. *Spine J*, 24(11): 2086-2101, 2024
2. Tachi H, Kokabu T, Suzuki H, Ishikawa Y, Yabu A, Yanagihashi Y, Hyakumachi T, Shimizu T, Endo T, Ohnishi T, Ukeba D, Sudo H, Yamada K, Iwasaki N. Prediction of cervical spondylotic myelopathy from a plain radiograph using deep learning with convolutional neural networks, *Eur Spine J*, 34(9): 3786-3797, 2025